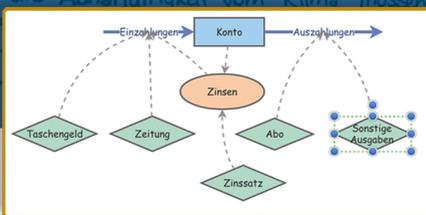
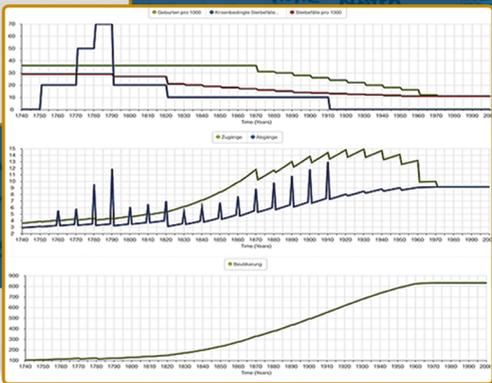


Handwritten notes in German: "durch Einstig", "viel Land und viel Ertrag -> Druck", "Kosten können nicht getragen werden", "mangelndes Kapital".



FAU Lehren und Lernen 2

Holger Arndt

Systemisches Denken im Fachunterricht



Holger Arndt

Systemisches Denken im Fachunterricht

FAU Lehren und Lernen

Band 2

Herausgeber der Reihe:

Prof. Dr. Holger Arndt, Friedrich-Alexander Universität
Erlangen-Nürnberg (Didaktik Wirtschaft und Recht)

Holger Arndt

Systemisches Denken im Fachunterricht

Erlangen
FAU University Press
2017

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.
Die Rechte an allen Inhalten liegen bei ihren jeweiligen Autoren.
Sie sind nutzbar unter der Creative Commons Lizenz BY-NC-ND.

Der vollständige Inhalt des Buchs ist als PDF über den OPUS Server
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg abrufbar:
<https://opus4.kobv.de/opus4-fau/home>

Verlag und Auslieferung:
FAU University Press, Universitätsstraße 4, 91054 Erlangen

Druck: docupoint GmbH

ISBN: 978-3-96147-050-1 (Druckausgabe)
eISBN: 978-3-96147-051-8 (Online-Ausgabe)
ISSN: 2511-0632

Inhalt

I. Grundlagen

Holger Arndt

Systemisches Denken im Fachunterricht 9

Holger Arndt

Einsatz von Wirkungsdiagrammen zur Förderung
des systemischen Denkens 25

Holger Arndt

Lernen mit System Dynamics 35

Holger Arndt

System Dynamics mit Insight Maker 55

Holger Arndt

Generische Strukturen und Systemarchetypen 87

II. Förderung des systemischen Denkens in den Fächern

Magdalena Michalak, Beatrice Müller

Durch Sprache zum systemischen Denken 111

<i>Katja Feigenspan, Sarah Rayder</i> Systeme und systemisches Denken in der Biologie und im Biologieunterricht	139
<i>Horst Schecker</i> Systemisches Denken im Physikunterricht.....	177
<i>Rainer Mehren, Armin Rempfler, Eva Marie Ulrich-Riedhammer</i> Die Anbahnung von Systemkompetenz im Geographieunterricht	223
<i>Holger Arndt</i> Systemisches Denken in der historischen Bildung	253
<i>Holger Arndt</i> Systemisches Denken in der politischen Bildung	269
<i>Holger Arndt</i> Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung	301

Vorwort

Die Fähigkeit, vernetzt, in Zeitabläufen und in Modellen zu denken – kurz: systemisch zu denken – wird in den meisten natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Fächern als wichtiges Lernziel erachtet. Zwar variieren die Unterrichts- und Erkenntnismethoden zur Förderung des systemischen Denkens und beim Umgang mit Komplexität von Fach zu Fach, allerdings eignen sich Wirkungsdiagramme und System Dynamics für die meisten Fächer.

Während Wirkungsdiagramme ohne technische Hürden leicht in den Unterricht integrierbar sind, galt dies für System Dynamics als computerbasierte Modelliermethode in der Vergangenheit nur bedingt. So musste bisher nicht nur eine Software erworben und installiert, sondern auch geeignete Modelle und Lernmaterialien gesucht oder selbst erstellt werden. Mit der kostenlosen Modelliersoftware Insight Maker, die vollständig in einem Internetbrowser läuft und somit nicht installiert werden muss, sind diese Hürden weitgehend reduziert. Das vorliegende Buch möchte darüber hinaus einen Beitrag zum verbreiteten Einsatz der Methoden im Unterricht leisten, weswegen es auch kostenlos online verfügbar ist.

Eine andere Einsatzbarriere von System Dynamics ist der zum Erlernen der Methode benötigte Zeitbedarf, der für den gelegentlichen Einsatz in nur einem Fach nicht immer gerechtfertigt ist. Insofern bietet sich der Einsatz der Methode in mehreren Fächern einer Klasse an. So lassen sich Synergieeffekte realisieren, da der Umgang mit System Dynamics nur einmal gelernt werden muss und der Unterricht mehrerer Fächer davon profitiert. Grundsätzlich gilt, dass die Modellierkompetenz mit zunehmender Modelliererfahrung steigt, weswegen die häufige Arbeit mit Wirkungsdiagrammen und mit System Dynamics zu zeiteffizienterem Lernen führt und anspruchsvollere Fragestellungen behandelt werden können. Weiterhin bietet sich für

viele Fragestellungen die gezielte Zusammenarbeit mehrerer Fächer an, um komplexe Sachverhalte ganzheitlich aus der Perspektive mehrerer Domänen zu verstehen.

Die ersten Beiträge dieses Buchs widmen sich den Grundlagen systemischen Denkens und zeigen auf, wie es sich im Unterricht fördern lässt. Der einführende Artikel erörtert sowohl zentrale Begriffe und Konzepte als auch Forschungsergebnisse und deren Konsequenzen für die Unterrichtsgestaltung. Darauf folgen Beiträge zur Gestaltung von Wirkungsdiagrammen, zum Lernen mit System Dynamics, zum Modelliertool Insight Maker und zu generischen Strukturen beziehungsweise Systemarchetypen, die sich in vielen unterschiedlichen Situationen finden und somit ein hohes Transferpotenzial aufweisen.

Der Artikel ‚Durch Sprache zum systemischen Denken‘ sensibilisiert für die Bedeutung der Sprache im Zusammenhang mit nichtlinearen Darstellungswerkzeugen und systemischem Denken, was nicht nur für den Deutschunterricht von Bedeutung ist. Die weiteren Artikel zeigen die Bedeutung systemischen Denkens für die Fächer Biologie, Physik, Geographie, Geschichte, Politik und Wirtschaft auf. Dabei wird die Unterrichtsgestaltung im jeweiligen Fach anhand exemplarischer Lernumgebungen veranschaulicht.

Die in den Artikeln enthaltenen Arbeitsblätter können von www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken heruntergeladen werden. Auf dieser Website sind auch Screencasts zum Insight-Maker-Tutorial und die Modelle zu finden.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau Domenica Popp, bei Frau Corinna Weiß und bei Frau Emel Löffelholz für die aufwändige Nachbearbeitung dieses Buchs.

Nürnberg, im April 2017

Holger Arndt

Holger Arndt

Systemisches Denken im Fachunterricht¹

1. Überblick

Dieser Beitrag führt in den Band ‚Systemisches Denken in den Fachdidaktiken‘ ein. Dazu werden zunächst der Systembegriff und das damit eng zusammenhängende Konzept der dynamischen Komplexität erläutert. Darauf aufbauend wird im dritten Artikel dargestellt, was unter ‚systemischem Denken‘ verstanden wird. Anschließend werden Studien zur Förderung systemischen Denkens vorgestellt und Erfolgsfaktoren aufgezeigt. Der Artikel schließt mit Ausführungen zu der Frage, wie systemisches Denken fächerübergreifend gefördert werden kann.

2. Der Systembegriff

Für systemisches Denken ist der Begriff des Systems zentral. Das aus dem Griechischen stammende Wort bezeichnet zunächst ein aus mehreren Einzelteilen zusammengesetztes Ganzes. Mit Bossel (2004) soll im Folgenden ein materielles oder immaterielles Objekt als System bezeichnet werden, wenn es folgende Eigenschaften aufweist:

1. Das Objekt erfüllt eine bestimmte Funktion, d. h. es lässt sich durch einen **Systemzweck** definieren, den wir als Beobachter in ihm erkennen.
2. Das Objekt besteht aus einer bestimmten Konstellation von **Systemelementen** und **Wirkungsverknüpfungen** (Relation, Struktur), die seine Funktionen bestimmen.

¹ Die Ausführungen dieses Artikels sind weitgehend aus Arndt (2016) entnommen.

3. Das Objekt verliert seine **Systemidentität**, wenn seine Systemintegrität zerstört wird. Ein System ist daher **nicht teilbar**, d. h. es existieren Elemente und Relationen in diesem Objekt, nach deren Herauslösung oder Zerstörung der ursprüngliche Systemzweck nicht mehr erfüllt werden kann: Die Systemidentität hätte sich verändert oder wäre gänzlich zerstört (Bossel 2004, 35).

Ergänzend zu dieser Definition sei noch angemerkt, dass Systeme aus Elementen bestehen können, die wiederum ein System bilden (sogenannte Subsysteme) und dass Systeme eine bestimmte Grenze nach außen aufweisen.

Im Sinne dieser Definition wären Beispiele von Systemen...

- eine Uhr (sie hat den Zweck der Zeitmessung; besteht aus zusammenwirkenden Elementen wie Zahnrädern und Zeigern; würde durch Entnahme wesentlicher Elemente ihre Funktion nicht mehr erfüllen können),
- der Aktienmarkt (der Zweck besteht unter anderem im Handeln von Unternehmensanteilen; Anbieter, Nachfrager, Preisfeststellungsmechanismen sind zusammenwirkende Elemente; bedarf seiner Elemente zur Erfüllung des Zwecks),
- ein Unternehmen (der Zweck könnte darin bestehen, Gewinn zu erwirtschaften oder Güter herzustellen; Elemente des Systems sind unter anderem Mitarbeiter, Gebäude, Kapital, Informationstechnologie, Prozessbeschreibungen, Abteilungen; auch hier werden die Systemelemente zur Erfüllung des Systemzwecks benötigt).

Kein System wäre hingegen ein Haufen Steine, der zwar ebenfalls einen Zweck haben mag (Vorrat für den Bau eines Hauses) und aus Elementen besteht (einzelnen Steinen), die jedoch nicht

durch Wirkungsverknüpfungen miteinander in Beziehung stehen. Außerdem wäre das Objekt ohne Funktionsverlust teilbar (durch Entnahme von Steinen würde es sich immer noch um einen Haufen Steine handeln, der lediglich weniger Elemente enthält).

Systeme finden sich in vielfältigen Bereichen, etwa der Technik (Maschinen, Fabrikanlagen), der Biosphäre (einzelne Lebewesen, bestimmte Biotope) oder der sozialen Umwelt (Familie, Regierung). Weiterhin können Systeme auch rein formal sein und lediglich aus mathematischen Gleichungen bestehen.

Abbildung 1 veranschaulicht die wesentlichen Bestandteile und Zusammenhänge von Systemen. Sie enthalten Elemente, die miteinander in Verbindung stehen, wobei auch Rückkopplungen auftreten können. Darüber hinaus interagiert das System über seine Grenzen hinaus, indem systemexogene Elemente an einer oder mehreren Stellen über Systemeingänge auf das System einwirken und umgekehrt systemendogene Elemente Auswirkungen auf Elemente außerhalb des betrachteten Systems haben.

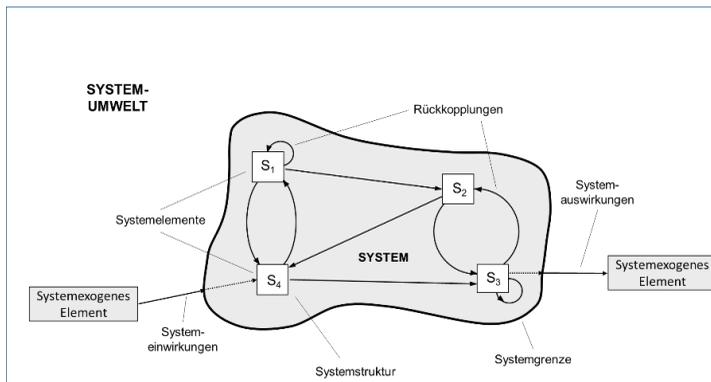


Abbildung 1: Bestandteile von Systemen. (Quelle orientiert an: Bossel, Hartmut (2004): Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Books on Demand, Norderstedt, S. 36.)

Im Hinblick auf die Verständlichkeit eines Systems ist nicht nur die Anzahl seiner Elemente bedeutsam, sondern vor allem auch der Aspekt seiner Veränderlichkeit im Zeitverlauf beziehungsweise seiner Dynamik, was in Abbildung 2 zum Ausdruck kommt.

Veränderlichkeit/Dynamik

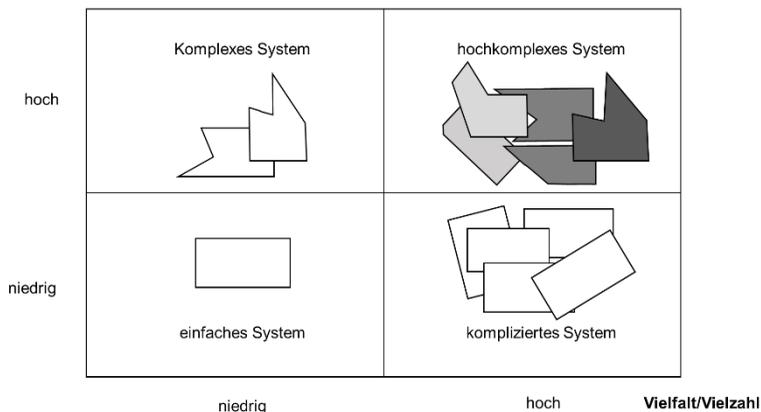


Abbildung 2: Klassifikation von Systemen. (Quelle orientiert an: Ulrich, Hans/ Probst, Gilbert (1995): Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Ein Brevier für Führungskräfte. Paul Haupt, Bern, S. 61.)

Die sich aus der Dynamik des Systems ergebende Komplexität wird häufig als dynamische Komplexität bezeichnet. Ihre spezifische Qualität entsteht aus den vernetzten Systemelementen, die häufig Rückkopplungsschleifen und zeitlich verzögerte Effekte aufweisen. Solche Systeme zeigen im Zeitverlauf manchmal Nebenwirkungen und gegenläufige Wirkungen (das heißt kurzfristig mag sich ein System ganz anders verhalten als nach

längerer Zeit), zeichnen sich durch Oszillationen oder Nichtlinearitäten aus und verhalten sich häufig anders, als intuitiv zu erwarten wäre.²

3. Systemisches Denken

Menschen sind gemeinhin gewohnt, in linearen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zu denken und treffen in Situationen, die sich durch dynamische Komplexität auszeichnen, häufig ungünstige Entscheidungen beziehungsweise verstehen sie nicht (vgl. weiter unten in diesem Abschnitt und Artikel ‚Lernen mit System Dynamics‘). Da viele Fragestellungen des persönlichen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens in komplexe Systeme eingebettet sind, wären bessere Entscheidungen der Akteure in solchen Bereichen wünschenswert. Angesichts der Bedeutung dieser Herausforderung überrascht nicht, dass hierzu mehrere Ansätze entwickelt wurden, was aus Abbildung 3 hervorgeht. Gemeinsam ist ihnen, dass sie nicht die stark verbreitete Problemlösungsvariante des analytischen Vorgehens verfolgen, bei der eine komplexe Fragestellung in seine Einzelteile zerlegt wird, die dann besser untersucht werden können. Bei systemischen Sachverhalten greift dieser Ansatz zu kurz, da ein System definitionsgemäß erst durch das Zusammenwirken seiner Einzelteile besondere Phänomene erzeugt beziehungsweise ein System mehr ist als die Summe seiner Einzelteile. Stattdessen sind die Elemente eines Systems beziehungsweise einer Problemstellung in ihrem Zusammenwirken zu betrachten.

² Hierauf wird vertieft in den Artikeln ‚Lernen mit System Dynamics‘ und ‚Generische Strukturen und Systemarchetypen‘ eingegangen. Weiterhin liegt fast allen Beispielen dieses Buchs eine dynamische Betrachtungsweise von Systemen zugrunde.

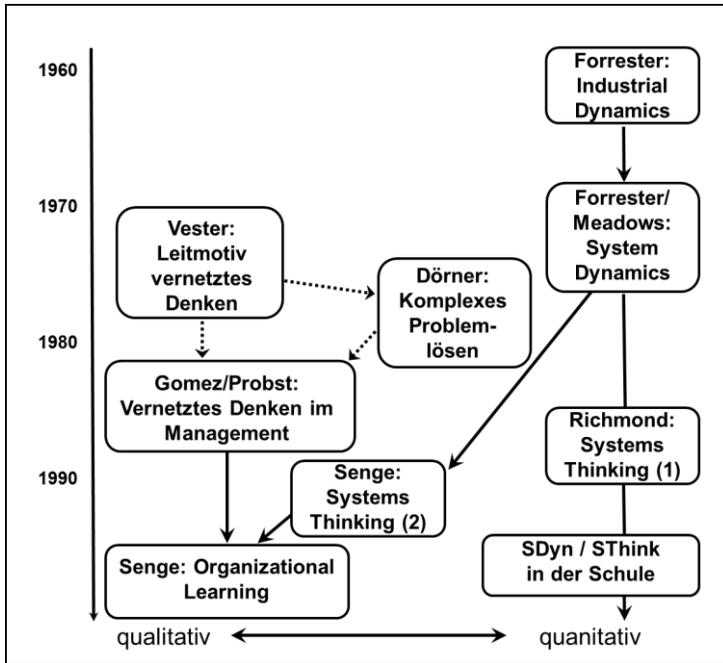


Abbildung 3: Ansätze zur Förderung systemischen Denkens. (Quelle orientiert an: Ossimitz, Günther (2000): Entwicklung systemischen Denkens. München, S. 36.)

Die links in der Abbildung aufgeführten Ansätze fokussieren sich insbesondere auf den Aspekt der Vernetzung von Systemelementen. Frederic Vester hat durch seine Publikationen viele Menschen im deutschsprachigen Raum für vernetzte Sachverhalte inklusive seiner Strukturen wie Rückkopplungsschleifen und der sich daraus ergebenden Effekte sensibilisiert (vgl. zum Beispiel Vester 1984; 1988; 1999).

Peter Gomez und Gilbert Probst (2007) verdeutlichen in ihrem Managementansatz, dass Lösungen komplexer Probleme der Berücksichtigung von Zusammenhängen und Spannungsfeldern bedürfen. Dabei zeigen sie konkret auf, wie bestimmte Aspekte des vernetzten Denkens zu konkreten Problemlösungen beitragen.

Peter Senge (1990) entwickelte einen Ansatz zu lernenden Organisationen, bei dem systemischem Denken eine zentrale Rolle zukommt, wobei er insbesondere auf systemische Prinzipien und Archetypen eingeht. Die insgesamt zehn Systemarchetypen zeigen typische Verhaltensweisen vernetzter Systeme auf. Die Kenntnis dieser Archetypen, die Senge mit Wirkungsdiagrammen (vgl. Artikel ‚Einsatz von Wirkungsdiagrammen zur Förderung des systemischen Denkens‘) veranschaulicht, ermöglicht deren Identifikation in vielfältigen unterschiedlichen Systemen und erleichtert das Verständnis ihres Verhaltens. Angesichts ihres heuristischen Werts sind sie im Artikel ‚Generische Strukturen und Systemarchetypen‘ des vorliegenden Buchs erläutert.

Der Kognitionspsychologe Dietrich Dörner (1989) hat mehrere Experimente durchgeführt, bei denen Probanden komplexe Systeme steuern mussten, beispielsweise als Bürgermeister einer Stadt im Rahmen einer Computersimulation. Als typische Probleme im Entscheidungsverhalten konnte er unter anderem identifizieren, dass ohne vorherige Situationsanalyse gehandelt und Fern- beziehungsweise Nebenwirkungen nicht berücksichtigt wurden.

Neben den bisher skizzierten Ansätzen, die überwiegend qualitative Aspekte und Werkzeuge des systemischen Denkens betonen, hat sich mit der von Jay Forrester entwickelten Methode *System Dynamics* ein quantitativer Ansatz etabliert, der auf computergestützten Simulationsmodellen basiert. Inwiefern er sich zur Förderung systemischen Denkens eignet, wird ausführlich im dritten Beitrag des vorliegenden Bands erörtert.

Auf Basis der oben skizzierten und weiterer Arbeiten, die sich mit Problemlösen in komplexen Situationen und mit systemischem Denken auseinandersetzen, hat Günther Ossimitz eine umfassende, vierdimensionale Definition des Konstrukts ‚Systemisches Denken‘ vorgenommen:

Systemisches Denken umfasst vier zentrale Dimensionen:

1. Vernetztes Denken: Denken in Rückkopplungskreisen
2. Dynamisches Denken: Denken in Zeitabläufen
3. Denken in Modellen
4. Systemgerechtes Handeln (Ossimitz 2000, 52)

Zu **vernetztem Denken** gehört für Ossimitz die Fähigkeit, neben direkten Wirkungen auch indirekte erkennen und vor allem Rückkopplungsschleifen identifizieren zu können. Weiterhin umfasst vernetztes Denken, Netze von Wirkungsbeziehungen aufbauen und verstehen zu können, wozu es einer geeigneten Darstellungsform bedarf. Hierfür empfiehlt Ossimitz das Wirkungsdiagramm.

Dynamisches Denken beinhaltet für Ossimitz ein ganzes Bündel von Fähigkeiten, die sich auf das Verhalten der Zustände eines Systems im Zeitverlauf beziehen. Als Unterdimensionen führt er an:

- a) Erkennen und Berücksichtigen der Eigendynamik von Systemen.
- b) Die Fähigkeit, zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten zu identifizieren.
- c) Erkennen der Bedeutung langfristiger Wirkungen.
- d) Erkennen und Beurteilen von charakteristischen systemischen Zeitgestalten (Verzögerungen, periodische Schwingungen, verschiedene Arten von Wachstumstypen – linear, exponentiell, logistisch usw.).³
- e) Ein Verständnis für das gleichzeitige Ablaufen mehrerer Vorgänge in einem komplexen System.

³ Dieser Punkt bezieht sich insbesondere auf generische Strukturen, die im Artikel ‚Generische Strukturen und Systemarchetypen‘ erläutert werden.

- f) Die Fähigkeit, Zeitgestalten adäquat darzustellen bzw. in Raumgestalten umzuwandeln. Solche Zeitgestalten sind etwas periodische Schwankungen oder zeitliche Verzögerungen (Ossimitz 2000, 55).

Unter **Denken in Modellen** versteht Ossimitz zunächst ein Bewusstsein des Charakters von Modellen: Sie bilden bestimmte Teilausschnitte der Wirklichkeit vereinfacht ab, wobei der gleiche Sachverhalt mit unterschiedlichen Modellen erfasst werden kann. Dabei sind unterschiedliche Modelle per se nicht ‚richtig‘ oder ‚falsch‘, sondern unterschiedliche Vereinfachungen, die mit verschiedenen Prämissen operieren. Aus diesem Wissen folgt auch die Erkenntnis, dass im Modell gewonnene Erkenntnisse nicht ohne Weiteres auf die Wirklichkeit übertragen werden können. Vielmehr müssen bei diesem Transfer die komplexitätsreduzierenden Prämissen berücksichtigt werden. Weiterhin umfasst das Denken in Modellen für Ossimitz auch die Fähigkeit, selbst Modelle erstellen zu können, etwa in Form von Wirkungsdiagrammen oder System-Dynamics-Modellen.

Systemgerechtes Handeln bringt die Fähigkeit zum Ausdruck, bewusst-reflektierte Entscheidungen zur Steuerung eines Systems beziehungsweise zur Lösung einer komplexen Herausforderung treffen zu können (vgl. Ossimitz 2000, 52 ff.).

4. Erfahrungen und Studien: Erkenntnisse zur Förderung systemischen Denkens

Die Waters Foundation hat sich zum Ziel gesetzt, systemisches Denken im Unterricht zu fördern. Dazu hat sie seit über 20 Jahren Lehrmaterialien entwickelt, Lehrkräfte ausgebildet und mit dem Ansatz der Aktionsforschung zahlreiche Erfahrungen gesammelt und ausgewertet. Demnach ist ein zentraler Hebel zur Verbesserung des systemischen Denkens die Visualisierung komplexer Systeme, wofür sich Darstellungswerkzeuge wie Zeitgraphen, Wirkungsdiagramme und Flussdiagramme besonders

eigenen. Ihre Analyse und Anfertigung unterstützt das Verstehen eines Systems. Darüber hinaus helfen von Schülern angefertigte Visualisierungen, mögliche Fehlkonzepte der Lernenden zu identifizieren. Die Kenntnis von Konzepten und Werkzeugen des systemischen Denkens (zum Beispiel Archetypen und Darstellungswerkzeuge) führen häufig zu Transferleistungen bei Schülern. Sie können die in der Schule erworbenen Konzepte auf alltägliche Situationen anwenden und erkennen systemische Strukturen in anderen Bereichen als den Erlernten. So sind sie etwa in der Lage, strukturelle Ähnlichkeiten zwischen der Verbreitung einer Krankheit und der Verbreitung eines Gerüchts zu sehen. Weiterhin kommt die Waters Foundation in ihrem zusammenfassenden Bericht zu dem Ergebnis, dass im systemischen Denken geschulte Kinder Probleme besser lösen können und scheinbar naheliegende Lösungsansätze kritischer hinterfragen. Auch wird von erhöhter Motivation, Engagement und Selbstwertgefühl beim und durch das Lernen mit systemischen Ansätzen berichtet (vgl. Waters Foundation 2015).

Andere Studien kommen bezüglich der Möglichkeiten zur Förderung systemischen Denkens im Unterricht jedoch teilweise zu zurückhaltenderen Einschätzungen. So konnten Schecker et al. (1999) keine Förderung systemischen Denkens durch systemdynamische Modellbildung im Vergleich zu Kontrollgruppen belegen. Auch waren die Lernwirkungen in einer Studie von Klieme und Maichle (1994) begrenzt, was jedoch in der umständlich zu bedienenden Modelliersoftware MODUS und den mit durchschnittlich 16 Stunden relativ kurzen Lernsequenzen begründet liegen könnte. Andererseits stellte Hillen (2004) in ihrer Dissertation fest, dass das Erstellen von Modellen (expressive Modellierung) zu qualitativ guten Ergebnissen führt und das Interesse, die Kooperation der Schüler untereinander und auch ihr Lenkungswissen erhöht. Die Auseinandersetzung mit vorgegebenen Modellen (explorative Modellierung) sei hingegen geeignet zur Vertiefung vorhandener Wissensstrukturen. Hlawatsch et al. (2005) zeigten, dass die Arbeit mit Wirkungsdiagrammen und

Simulationen die Systemkompetenz erhöhen und das fachliche Verständnis steigern kann. Ossimitz (1996; 2000) konnte ebenfalls feststellen, dass die Integration systemischer Darstellungswerkzeuge in den Unterricht das systemische Denken der Schüler verbessert. Auf Basis seiner Studien identifiziert Ossimitz folgende Faktoren, die kritisch für die Förderung systemischen Denkens sind:

- Die Lehrkraft sollte über ein gutes Verständnis systemischer Zusammenhänge verfügen und systemische Werkzeuge beherrschen. Alternativ beziehungsweise ergänzend wäre die Verfügbarkeit von geeigneten Unterrichtsmaterialien bedeutsam, da deren Erstellung sehr zeitintensiv ist und hoher Expertise bedarf.
- Systemische Darstellungsformen (Wirkungs- und Flussdiagramme) müssen geübt werden.
- Die Modelliersoftware sollte leicht zu bedienen sein, da sie sonst eher ablenkt als die Auseinandersetzung mit den Sachverhalten zu unterstützen.
- Eine messbare Verbesserung des systemischen Denkens ist erst nach längerer Auseinandersetzung mit systemischen Methoden zu erwarten. Insofern sollte sich ihre Verwendung nicht auf eine Lernsequenz beschränken.

5. Systemisches Denken im fach- und im fächerübergreifenden Unterricht

Der Umgang mit Komplexität und die Förderung systemischen Denkens ist ein wesentliches Element vieler Unterrichtsfächer beziehungsweise Domänen, beispielsweise in Biologie, Physik, Geographie, Geschichte, Politik und Wirtschaft.

Die Unterrichts- und Erkenntnismethoden beim Umgang mit Komplexität variieren von Fach zu Fach, allerdings sind Wirkungsdiagramme und System Dynamics für die meisten der angesprochenen Fächer geeignet, weswegen sie in den folgenden

Beiträgen ausführlich dargestellt sind. Da diese beiden Modellieransätze in vielen Fächern einsetzbar sind und die Förderung des systemischen Denkens wie bereits erwähnt die intensive Auseinandersetzung mit systemischen Methoden erfordert, bietet sich ihr Einsatz in mehreren Fächern einer Klasse an. Dadurch lassen sich auch Synergieeffekte realisieren, da die Methoden nur einmal erläutert werden müssen und der Unterricht mehrerer Fächer davon profitiert. Grundsätzlich gilt, dass die Modellierkompetenz mit zunehmender Modelliererfahrung steigt, weswegen die häufige Arbeit mit Wirkungsdiagrammen und mit System Dynamics zu zeiteffizienterem Unterricht führt und anspruchsvollere Fragestellungen behandelt werden können. Darüber kann sich für viele Fragestellungen auch die Zusammenarbeit mehrerer Fächer anbieten, statt lediglich nebeneinander die Methoden zu verwenden, da viele komplexe Sachverhalte ganzheitlicher aus der Perspektive verschiedener Fächer zu verstehen sind. Methodisch bietet sich für diese Art des fächerübergreifenden Unterrichts vor allem das Projekt an (vgl. Arndt 2013).

Literatur

Arndt, H. (2006): Der Blick über die Unternehmensgrenze hinaus: Förderung ganzheitlichen Denkens im Management der Wertschöpfungskette durch qualitative und quantitative Modellierung und Simulation. In: Berufs- und Wirtschaftspädagogik online (BWP@), 10/2006.

Verfügbar unter: http://bwpat.de/ausgabe10/arndt_bwpat10.pdf [21.07.2015]

Arndt, H. (2007): Langfristige Konsequenzen wirtschaftlicher Aktivität. Methoden zur Förderung systemischen Denkens im Unterricht. In: Seeber, G. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und ökonomische Bildung. Bergisch Gladbach, S. 141 - 161.

Arndt, H. (2013): Methodik des Wirtschaftsunterrichts. Opladen.

Arndt, H. (2016): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen.

Bossel, H. (2004): Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt.

Dauenhauer, E. (2001): Kategoriale Wirtschaftsdidaktik. Band 2, Münchweiler.

Deutsche Gesellschaft für Ökonomische Bildung (2004): Kompetenzen der ökonomischen Bildung für allgemein bildende Schulen und Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss.

Verfügbar unter: http://degoeb.de/uploads/degoeb/04_DEGOEB_Sekundarstufe-I.pdf [21.07.2015]

Dörner, D. (1989): Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbek.

Getsch, U./Preiß, P. (2003): Geschäftsprozessorientierter Einsatz integrierter Informationssysteme als Herausforderung für die didaktische Reduktion lernfeldstrukturierter Lehrpläne. In: Berufs- und Wirtschaftspädagogik online (BWP@), 04/2003. Verfügbar unter: http://www.bwpat.de/ausgabe4/getsch_preiss_bwpat4.shtml [20.07.2015]

Gomez, P./Probst, G. (2007): Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens: Vernetzt denken – Unternehmerisch handeln – Persönlich überzeugen. Bern.

Hedtke, R. (2011): Konzepte ökonomischer Bildung. Schwalbach/Ts.

Hillen, St. (2004): Systemdynamische Modellbildung und Simulation im kaufmännischen Unterricht. Frankfurt.

Hlawatsch, S./Lücken, M./Hansen, K.-H./Fischer, M./Bayrhuber, H. (2005): Forschungsdialog: System Erde. Schlussbericht. Kiel.

Karpe, J. (2008): Institutionenökonomische Bildung. In: Hedtke, R./Weber, B. (Hrsg.): Wörterbuch Ökonomische Bildung. Schwalbach/Ts., S. 174 - 176.

Klieme, E./Maichle, U. (1994): Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I. Bonn.

Kruber, K.-P. (2000): Kategoriale Wirtschaftsdidaktik – der Zugang zur ökonomischen Bildung. In: Gegenwartskunde, 03/2000, S. 285 - 295.

Mankiw, N. G. (2004): Grundzüge der Volkswirtschaftslehre. Stuttgart.

May, H. (2001): Didaktik der ökonomischen Bildung. München.

Ossimitz, G. (1996): Das Projekt „Entwicklung vernetzten Denkens“. Erweiterter Endbericht.

Verfügbar unter: www.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/ossimitz1996c.PDF [07.05.2005]

Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. München.

Retzmann, Th./Seeber, G./Remmele, B./Jongebloed, H.-C. (2010): Ökonomische Bildung an allgemeinbildenden Schulen. Bildungsstandards Standards für die Lehrerbildung. Essen.

Verfügbar unter: https://www.wida.wiwi.uni-due.de/fileadmin/fileupload/BWL-WIDA/Publikationen/Retzmann_ua2010_Gutachten.pdf [21.07.2015]

Schecker, H./Klieme, E./Niedderer, H./Gerdes, J./Ebach, J. (1999): Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme. Bremen.

Senge, P. (1990): The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. New York.

Steinmann, B. (1997): Das Konzept ‚Qualifizierung für Lebenssituationen‘ im Rahmen der ökonomischen Bildung heute. In: Kruber, K.-P. (Hrsg.): Konzeptionelle Ansätze ökonomischer Bildung. Bergisch Gladbach, S. 1 - 22.

Ulrich, H./Probst, G. (1995): Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Ein Brevier für Führungskräfte. Bern.

Vester, F. (1984): Neuland des Denkens. München.

Vester, F. (1988): Leitmotiv vernetztes Denken. München.

Vester, F. (1999): Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Stuttgart.

Waters Foundation (2015): The Impact of the Systems Thinking in Schools Project: 20 years of Research, Development and Dissemination.

Verfügbar unter: http://watersfoundation.org/wp-content/uploads/2012/09/STIS_Research.pdf#page=1&view=FitH

[01.05.2015]

Einsatz von Wirkungsdiagrammen zur Förderung des systemischen Denkens¹

1. Bildmedien zur Unterstützung des Verständnisses komplexer Sachverhalte

Kognitionspsychologische Studien legen den Schluss nahe, dass die multimodale Repräsentation von Sachverhalten zu einem vertieften Verständnis bei Lernenden führt. Dies gilt insbesondere, wenn Informationen verbal und bildhaft dargestellt werden. Sind verbalisierte Gegebenheiten um geeignete Abbildungen ergänzt, führt diese multiple Repräsentation zu einer besseren Verankerung in den kognitiven Strukturen des Lerners (vgl. Bruner 1971; Weidenmann 1994). Darüber hinaus können Bilder besser abgerufen werden als rein verbale Schilderungen, was als *picture superiority effect* bezeichnet wird (vgl. Nelson 1979; Nelson et al. 1976).

Im Hinblick auf die Fähigkeit zum systemischen Denken kommt hinzu, dass komplexe, vernetzte Systeme verbal kaum adäquat und verständlich darstellbar sind, da Sprache sequenziell und somit nur bedingt für die Abbildung von Ursache-Wirkungsnetzen und Rückkopplungsschleifen geeignet ist. Folgendes Beispiel verdeutlicht die Problematik:

¹ Die Ausführungen dieses Artikels sind weitgehend aus Arndt (2016) entnommen.

Probleme der sozialen Sicherungssysteme

Die sozialen Sicherungssysteme Renten-, Kranken- und Pflegeversicherung stehen unter anderem aufgrund der demographischen Entwicklung vor großen Herausforderungen. Ohne gravierende Systemveränderungen wird deren Finanzierungsbedarf in den nächsten Jahren und Jahrzehnten voraussichtlich deutlich ansteigen. Dies hat vielfältige Konsequenzen. Weil die sozialen Sicherungssysteme überwiegend beitragsfinanziert sind, muss von erhöhten Beiträgen ausgegangen werden. Da sie von Arbeitgebern und Arbeitnehmern gezahlt werden, steigen einerseits die Arbeitskosten für die Arbeitgeber und sinken andererseits die Nettolöhne der Arbeitnehmer.

Zunehmende Arbeitskosten führen aufgrund von Rationalisierungsmaßnahmen und Arbeitsplatzverlagerungen in Länder mit niedrigeren Lohnkosten tendenziell zu erhöhter Arbeitslosigkeit. Mit steigender Arbeitslosigkeit wächst nicht nur der Finanzbedarf der Arbeitslosenversicherung, wodurch wiederum die Beiträge steigen. Gleichzeitig sinkt die Zahl der Arbeitnehmer, die mit ihrer Arbeit die Sozialkassen finanzieren. Dies hat zur Folge, dass die verbleibenden Arbeitnehmer pro Kopf mehr bezahlen müssen, die Beiträge also ansteigen.

Ein anderes Problem der Arbeitslosigkeit besteht darin, dass Arbeitslose über weniger Kaufkraft verfügen. Mit sinkender Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen reduziert sich tendenziell jedoch das Wachstum. Niedrige Wachstumsraten haben allerdings steigende Arbeitslosigkeit zur Folge. Die Nachfrage kann auch wegen steigender Beiträge zur Sozialversicherung sinken, weil sich damit das verfügbare Nettoeinkommen der Arbeitnehmer reduziert.

(gekürzter Fall auf Basis von Arndt 2006 b)

Bildhafte Darstellungen können in solchen Situationen überlegen sein, da sie Informationen simultan vermitteln und somit weitgehend auf einen Blick erfassbar sind. Aufgrund dieser Eigenschaft ermöglichen Bilder ein besseres Erfassen von Strukturen und Zusammenhängen (vgl. Weidenmann 2002). Beispiele für in Lernprozessen häufig verwendete Bildtypen sind Fotografien, Filme, Landkarten, Karikaturen und logische Bilder (unter anderem Tafelbilder, Struktogramme, Wirkungsdiagramme, Organigramme). Im Hinblick auf das Verständnis komplexer Sachverhalte sind insbesondere logische Bilder bedeutsam. Sie stellen den Gegenstand abstrakter als andere Bildtypen dar, weswegen sie in der Regel jedoch nicht ‚selbstverständlich‘ sind. Für eine korrekte Interpretation des repräsentierten Sachverhalts muss zunächst die jeweils verwendete Symbolik erlernt werden (vgl. Arndt 2006 a).

2. Regeln zum Erstellen und Verständnis von Wirkungsdiagrammen

Vernetzte Sachverhalte lassen sich besonders anschaulich mit dem logischen Bildtypus des Wirkungsdiagramms darstellen. Es verdeutlicht die Systemzusammenhänge auf einen Blick; allerdings nur, wenn dem Betrachter die Notation vertraut ist. Wirkungsdiagramme zeigen kausale Zusammenhänge zwischen Systemelementen auf, wobei ein Pfeil von der abhängigen Größe auf die unabhängige Variable zeigt. Gleichgerichtete Korrelationen (je mehr x , desto mehr y beziehungsweise je weniger x , desto weniger y) werden durch ein ‚+‘ am Verbindungspfeil symbolisiert, während gegenläufige Wirkungsrichtungen (je mehr x , desto weniger y beziehungsweise je weniger x , desto mehr y) mit einem ‚-‘ gekennzeichnet werden.

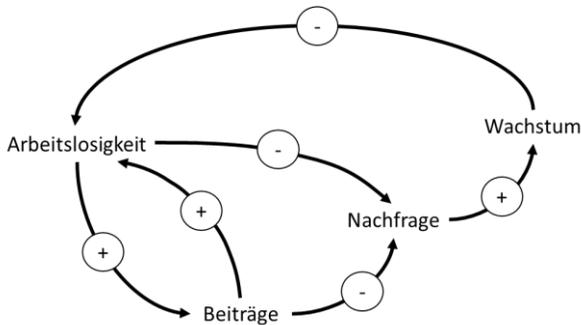


Abbildung 1: Wirkungsdiagramm zur vernetzten Darstellung von Kausalitäten am Beispiel der Finanzierungsprobleme sozialer Sicherungssysteme. (Quelle: Arndt 2006 b, S. 109)

Abbildung 1 zeigt ein Wirkungsdiagramm, das obenstehenden Sachverhalt veranschaulicht. Es enthält drei Rückkopplungsschleifen:

1. Arbeitslosigkeit – Beiträge
2. Nachfrage – Wachstum – Arbeitslosigkeit
3. Beiträge – Nachfrage – Wachstum – Arbeitslosigkeit

Exemplarisch sei die erste Schleife kurz erläutert: Mit zunehmender Arbeitslosigkeit steigen die Beitragssätze der Arbeitslosenversicherung, da sowohl der Finanzbedarf wächst (es müssen mehr Arbeitslose unterstützt werden) als auch die Zahl der Beitragszahler abnimmt und deswegen pro verbleibenden Arbeitnehmer mehr Mittel aufgebraucht werden müssen. Zunehmende Beiträge beziehungsweise Beitragssätze verteuern den Faktor Arbeit jedoch für Unternehmer, weswegen sie weniger davon nachfragen, was wieder eine erhöhte Arbeitslosigkeit zur Folge hat. Diese Schleife hat offensichtlich einen sich selbst verstärkenden beziehungsweise eskalierenden Charakter, was gelegentlich auch als Teufelskreis bezeichnet wird.

Neben sich verstärkenden Rückkopplungsschleifen haben komplexe Systeme häufig auch sich ausgleichende Tendenzen. Ob

eine Rückkopplungsschleife ausgleichend oder verstärkend ist, lässt sich leicht feststellen: Ist die Anzahl der negativen Wirkmechanismen einer Rückkopplungsschleife ungerade, handelt es sich um eine ausgleichende Schleife, bei gerader Anzahl ist die Wirkung eskalierend. So lässt sich auch schnell erkennen, dass sich obige Schleifen 2 und 3 ebenfalls verstärken. Um den Charakter einer Schleife schneller erfassen zu können, können sie mit einem \odot für verstärkende und einem \ominus für ausgleichende Rückkopplungen versehen werden.

Nach Kim (1992) empfiehlt sich, folgende Regeln beim Erstellen von Wirkungsdiagrammen zu berücksichtigen:

- Die Elemente des Wirkungsdiagramms sollten zu- oder abnehmen können. Beispielsweise ist eine Formulierung wie ‚Zustand der Wirtschaft‘ ungeschickt und sollte je nach Erkenntnisinteresse etwa durch ‚Wettbewerbsfähigkeit‘ ersetzt werden.
- Daraus folgt auch, Verben zu vermeiden und stattdessen Substantive zu verwenden. So ist eine Bezeichnung ‚Beiträge erhöhen‘ ungeschickter als nur ‚Beiträge‘, da die Beiträge auch sinken können.
- Häufig ist eine unabhängige Variable nicht nur mit einer abhängigen Variablen verbunden, sondern mit weiteren Systemelementen. Grundsätzlich sollte beim Erstellen von Wirkungsdiagrammen auch über weniger offensichtliche Vernetzungen und Nebenwirkungen nachgedacht werden.

Darüber hinaus empfiehlt sich bei der Arbeit mit schwierigeren Sachverhalten, die kausalen Zusammenhänge zwischen den Systemelementen zu erläutern. Bei umfangreicheren Darstellungen sollten hierfür einzelne Verbindungslinien im Diagramm mit Nummern versehen werden, sodass man sich im beschreibenden Text besser darauf beziehen kann.

Mittels gestrichelter oder ins Leere laufender Pfeile können Zusammenhänge angedeutet werden, die nicht weiter im Wirkungsdiagramm berücksichtigt werden. Derlei kann sich für umfassendere Sachverhalte anbieten, da die Darstellung so nicht überfrachtet und dennoch auf weitere Vernetzungen hingewiesen wird.

Zwar sind Wirkungsdiagramme weniger gut zur Darstellung von Wirkungsstärken und zeitlichen Verzögerungen geeignet als System-Dynamics-Modelle. Dennoch können unterschiedliche Effektstärken durch entsprechende Pfeilstärken zum Ausdruck gebracht werden. Zeitliche Verzögerungen lassen sich in Wirkungsdiagrammen mit zwei Querstrichen an der Verbindung symbolisieren.

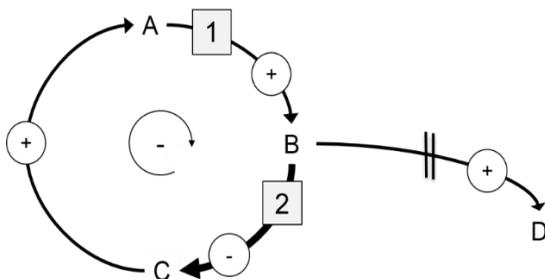


Abbildung 2: Wirkungsdiagramm mit Schleifencharakterisierungssymbol, Verzögerung, Legendensymbolen und unterschiedlichen Wirkungsstärken.

3. Anwendung des Wirkungsdiagramms im Unterricht

Wirkungsdiagramme sind vergleichsweise einfach anzufertigen und sehr anschaulich. Deswegen eignen sie sich zur aktiven Auseinandersetzung mit komplexen Systemen im Unterricht, was auch empirisch belegt ist (vgl. Ossimitz 2000; Hlwatsch et al. 2005). Um mit Wirkungsdiagrammen im Unterricht arbeiten zu können, müssen die Lernenden zunächst die notwendige

piktorale Literalität erwerben, also die oben erläuterten Elemente von Wirkungsdiagrammen verinnerlichen. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem sie anhand eines einfachen Wirkungsdiagramms erklärt werden. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass ein ‚-‘ nicht (ab-)wertend gemeint ist, sondern lediglich eine Korrelationsrichtung zum Ausdruck bringt, beispielsweise ‚Je weniger a, desto mehr b und auch je mehr a, desto weniger b‘. Wird dies explizit angesprochen, ist auch bei jüngeren Schülern mit keinen nennenswerten Verständnisproblemen zu rechnen. So konnte in einer vom Autor betreuten Zulassungsarbeit gezeigt werden, dass bereits Grundschüler mit Wirkungsdiagrammen arbeiten können.

Wirkungsdiagramme können je nach Rahmenbedingungen und Zielsetzungen in vielfältiger Weise in den Unterricht integriert werden:

Zunächst ist denkbar, Schüler mit einem vorgefertigten Wirkungsdiagramm zu konfrontieren. Auf dieser Basis können sie aufgefordert werden, bestimmte Fragen zum abgebildeten Sachverhalt zu beantworten oder alternativ einen Text zu verfassen, der die Zusammenhänge wiedergibt. Eine solche Transformation von einer Repräsentationsform (logisches Bild) in eine andere (Text) ist recht anspruchsvoll, kognitiv aktivierend und führt zu einer intensiven Auseinandersetzung mit der Thematik (vgl. Maier et al. 2010).

Umgekehrt können die Schüler jedoch auch selbst Wirkungsdiagramme erstellen. Der zugehörige Konstruktionsprozess fördert sowohl die Auseinandersetzung mit den Zusammenhängen als auch die Kreativität. Als Ausgangspunkt mag entweder ein vorgegebener Text dienen oder etwas offener, einfach ein Problem beziehungsweise eine Fragestellung, wozu die Schüler ihr Vorwissen oder noch zu recherchierende Informationen einbringen können.

Methodisch können Wirkungsdiagramme sehr flexibel eingesetzt werden, etwa in den Sozialformen der Einzel-, Partner- und

Kleingruppenarbeit, aber auch im Rahmen von Frontalunterricht (Vortrag oder fragend-entwickelnd).

Bezüglich der Integration in den Lernprozess bestehen ebenfalls vielfältige Möglichkeiten. So können sie – ähnlich wie Mindmaps – als grobes Orientierungsinstrument zu Beginn einer Unterrichtsreihe genauso eingesetzt werden wie in der Erarbeitungsphase oder als Zusammenfassung zum Abschluss eines Themengebiets.

Indem Schüler wiederholt mit Wirkungsdiagrammen arbeiten, werden sie mit dieser Methode immer vertrauter und können zunehmend eigenständig vernetzte Sachverhalte abbilden und kognitiv durchdringen. Gleichzeitig werden sie dafür sensibilisiert, dass zahlreiche Sachverhalte Vernetzungen, Nebenwirkungen und Rückkopplungsschleifen aufweisen, wodurch sich ihre Fähigkeit zum Verständnis komplexer Systeme und ihr systemisches Denken insgesamt verbessern. Darüber hinaus ist die qualitative Modellierung von Fragestellungen mit Wirkungsdiagrammen eine gute Grundlage zu deren quantitativer Abbildung in System-Dynamics-Modellen.

Literatur

Arndt, H. (2006 a): Strukturbilder im politischen Unterricht. In: Gesellschaft. Wirtschaft. Politik, 04/2006, S. 553 – 566.

Arndt, H. (2006 b): Qualitative und quantitative Modellbildung zur Entwicklung von Urteils- und Handlungskompetenz in komplexen Systemen am Beispiel der sozialen Sicherungssysteme im politisch-ökonomischen Unterricht. In: Seebler, G. (Hrsg.): Die Zukunft der sozialen Sicherung als Herausforderung für die ökonomische Bildung. Bergisch Gladbach, S. 105 - 121.

Arndt, H. (2016): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen.

Bruner, J. S. (1971): Studien zur kognitiven Entwicklung. Stuttgart.

Hlawatsch, S./Lücken, M./Hansen, K.-H./ Fischer, M./ Bayrhuber, H. (2005): Forschungsdialog: System Erde. Schlussbericht. Kiel.

Kim, D. H. (1992): Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams. In: The Systems Thinker, 3(1)/1992, S. 5 - 6.

Maier, U./Kleinknecht, M./Metz, K./Bohl, Th. (2010): Ein allgemeindidaktisches Kategoriensystem zur Analyse des kognitiven Potenzials von Aufgaben. In: Beiträge zur Lehrerbildung, 28(1)/2010, S. 84 - 96.

Nelson, D. L. (1979): Remembering pictures and words: Appearance, significance and name. In: Cermak, Laird/Craik, Fergus/Muirden, Ian (Hrsg.): Level of processing in human memory. Hillsdale, S. 45 - 76.

Nelson, D. L./Reed, V. S./Walling, J. R. (1976): Pictorial superiority effect. In: Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 02/1976, S. 523 - 528.

Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. München.

Weidenmann, B. (1994): Lernen mit Bildmedien: psychologische und didaktische Grundlagen. Weinheim.

Weidenmann, B. (2002): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Issing, L./Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Weinheim, S. 45 - 64.

Holger Arndt

Lernen mit System Dynamics¹

1. Einführung

Im vorliegenden Artikel wird zunächst ein systemisches Verständnis des Lernens dargestellt. Auf dieser Basis werden Lernbarrieren in komplexen Systemen beschrieben und dann wird aufgezeigt, wie sie mittels System Dynamics bewältigt werden können. Im fünften Abschnitt ist erörtert, welche Kompetenzen es zur Arbeit mit System Dynamics bedarf. Es folgen Ausführungen zum Einsatz der Methode im Unterricht. Der Artikel schließt mit Empfehlungen zum Beginn der Arbeit mit System Dynamics.

2. Lernen in komplexen Systemen: Double-loop-learning: Lernen als Feedback-Prozess

In komplexen Situationen werden oft falsche Entscheidungen getroffen und aus den Konsequenzen wird nur wenig gelernt. Zum Verständnis dieses überraschenden Phänomens hilft ein Lernbegriff, der Lernen als Feedback-Prozess versteht. Die Abbildung veranschaulicht das sogenannte Double-loop-learning:

¹ Die Ausführungen dieses Artikels entstammen in wesentlichen Teilen aus: Arndt (2013): Methodik des Wirtschaftsunterrichts. Opladen, S. 203 - 214.

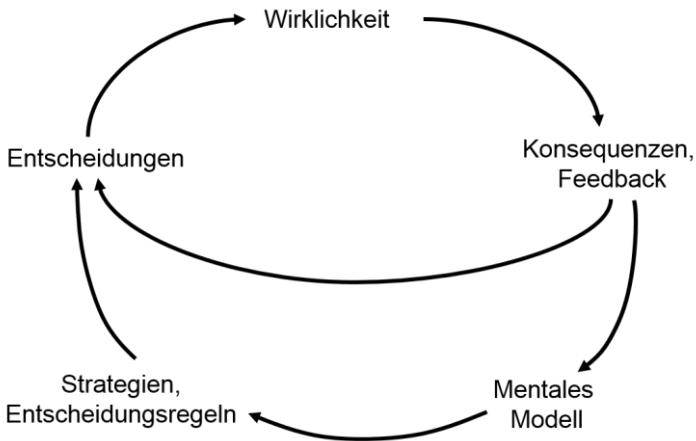


Abbildung 1: Double-loop-learning. (Quelle: Modifizierte Abbildung nach Sterman, John (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Publ.Comp., Boston, S. 19.)

Die obere Schleife beschreibt, dass getroffene Entscheidungen zu Konsequenzen in der Welt führen. Diese werden (möglicherweise verzerrt) als Informationsfeedback wieder beim Entscheider wahrgenommen. Abhängig von diesem Feedback werden gegebenenfalls neue oder andere Entscheidungen getroffen, um bestimmte Ziele zu erreichen.

Entscheidungen sind jedoch nicht nur abhängig von den wahrgenommenen Konsequenzen vorangegangener Entscheidungen und den angestrebten Zielen, sondern auch von Strategien und Entscheidungsregeln (untere Schleife). Diese wiederum werden auf Basis des jeweiligen mentalen Modells² entwickelt. Double-loop-learning findet statt, wenn auf Basis des Feedbacks der Konsequenzen früherer Entscheidungen die mentalen Modelle und damit die Entscheidungsregeln angepasst werden.

² Unter einem mentalen Modell wird das domänenspezifische Wissen eines Individuums inklusive Strukturzusammenhängen und dynamischen Verhaltensweisen eines Gegenstandsbereichs verstanden.

3. Lernbarrieren in komplexen Systemen

Interessant ist die Frage, warum in komplexen Systemen häufig keine entsprechenden Lernprozesse zu beobachten sind und stattdessen die gleichen Fehler immer wieder gemacht werden. Die Ursachen hierfür sind einerseits in den Spezifika der mentalen Modelle zu sehen: Sie sind im Allgemeinen stabil, unvollständig und unwissenschaftlich (vgl. Norman 1983). Andererseits liegen die Ursachen in den Eigenschaften der realen Welt:

- Die Struktur des Systems ist den Akteuren unbekannt.
- Die Komplexität des Systems ist hoch, beispielsweise aufgrund von nichtlinearem Verhalten, Irreversibilität, Vernetzungen, Konstraintuitivität und Rückkopplungsschleifen.
- Zeitverzögerungen zwischen der Aktion und den Konsequenzen behindern das Lernen, da...
 - nur relativ wenige Durchläufe erlebt werden und somit typische Muster schwer erkennbar sind;
 - nach längerer Zeit ein Phänomen oft nicht mehr auf eigene, frühere Handlungen zurückgeführt, sondern als gegeben angesehen wird;
 - die Rahmenbedingungen, die zu einer Entscheidung führten, nicht mehr klar erinnert werden (vgl. Sterman 2000).
- Experimente sind nicht durchführbar, beispielsweise aufgrund hoher Kosten, möglicher negativer Konsequenzen für die Betroffenen oder der Nichtwiederholbarkeit eines Experiments wegen einmaliger Rahmenbedingungen.

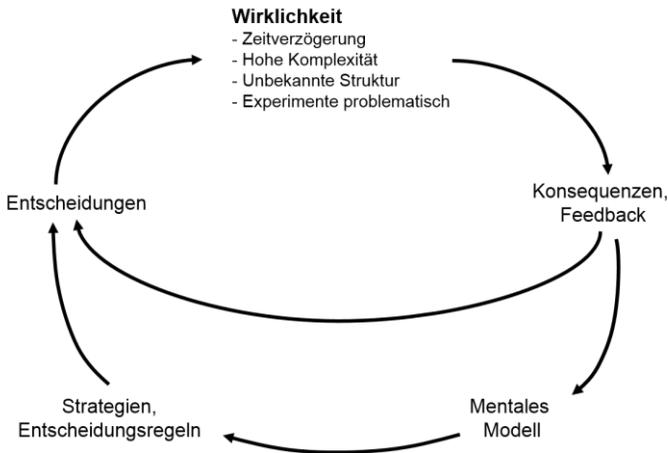


Abbildung 2: Lernbarrieren in komplexen Systemen. (Quelle: Modifizierte Abbildung nach Sterman, John (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Publ.Comp., Boston, S. 20.)

4. Verbessertes Lernen mit System-Dynamics-Modellen als Lernhilfe bei komplexen Problemen

Mithilfe im Computer abgebildeter quantitativer Modelle lassen sich komplexe Systeme nicht nur anschaulich darstellen, sondern auch Simulationen durchführen, sodass diesen Lernbarrieren erfolgreich begegnet werden kann. Vorteile sind:

- Die Struktur kann anschaulich dargestellt werden: Das Erfassen der relevanten Größen und Zusammenhänge wird verbessert.
- Die Komplexität wird auf die für den Sachverhalt wesentlichen Aspekte reduziert: Dies erlaubt eine stärkere Fokussierung. Ferner lässt sich die Komplexität in Computermodellen an die Bedürfnisse beziehungsweise den Kenntnisstand der Lernenden adaptieren.

- Computersimulationen können beliebig schnell – ohne Zeitverzögerungen – durchgeführt werden.
- Experimente sind möglich: Es kann beobachtet werden, wie ein System auf unterschiedliche Parameter reagiert. ‚Negative‘ Simulationsergebnisse haben keine problematischen Auswirkungen in der Wirklichkeit.

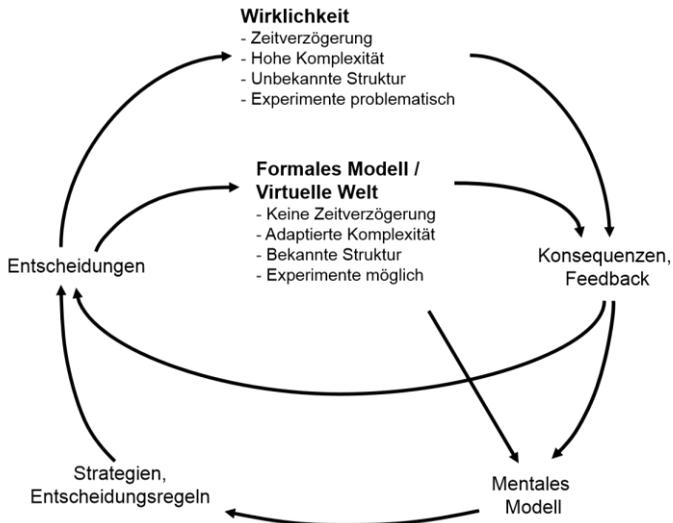


Abbildung 3: Überwindung von Lernbarrieren durch Modellierung und Simulation. (Quelle: Modifizierte Abbildung nach Sterman, John (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Publ.Comp., Boston, S. 34.)

Eine dafür besonders geeignete Methode ist System Dynamics. Mithilfe von Modellbildungs- und Simulationssoftware lassen sich quantitative Modelle mathematisch und grafisch erstellen, was intuitiv und anschaulich ist.

5. Voraussetzungen zur Arbeit mit System Dynamics

Die erfolgreiche Arbeit mit System Dynamics setzt voraus,

- Bestands- und Flussgrößen unterscheiden zu können,
- die Notation zu kennen und
- ein geeignetes Softwaretool zu beherrschen.

5.1 System-Dynamics-Kompetenz I: Fluss- und Bestandsgrößen unterscheiden

Die untenstehende Aufgabe sensibilisiert für zwei elementare Kategorien der System-Dynamics-Methode:

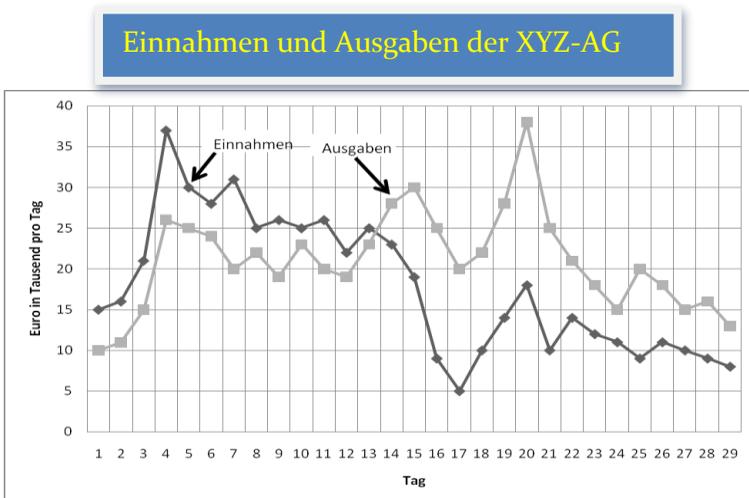


Abbildung 4: Unterscheidung von Fluss- und Bestandsgrößen. (Quelle: Modifizierte Variante auf Basis von Sweeney, Linda/Serman, John (2000): Bathtub Dynamics: Initial Results of a Systems Thinking Inventory. In: System Dynamics Review, 16(4)/2000, S. 249 - 286.)

Beantworten Sie anhand des Diagramms bitte folgende Fragen:

1) An welchem Tag nahm das Unternehmen am meisten ein?

Tag: _____

2) An welchem Tag waren die Ausgaben am größten?

Tag: _____

3) An welchem Tag war der Geldbestand am größten?

Tag: _____

4) An welchem Tag war der Geldbestand am geringsten?

Tag: _____

Der Test wurde vom Autor modifiziert und geht auf Sweeney und Sterman (2000) zurück, die ihn mit Studierenden des MIT durchführten. Bemerkenswert sind die relativ schlechten Ergebnisse, selbst bei diesen vermutlich überdurchschnittlich leistungsstarken Probanden:

Die beiden ersten Aufgaben testeten die Fähigkeit, ein Diagramm zu interpretieren. Sie wurden zu 94 % richtig beantwortet (Tag 4 und Tag 20).

Zur korrekten Lösung der dritten Aufgabe bedarf es eines (intuitiven) Verständnisses von Fluss- und Bestandsgrößen. Der Geldbestand (eine Bestandsgröße) wächst, solange die Einnahmen (Flussgröße) größer sind als die Ausgaben (Flussgröße). Dies ist bis zum dreizehnten Tag der Fall. Danach sinkt der Geldbestand, da jeden Tag mehr ausgegeben als eingenommen wird. Diese Aufgabe wurde von 42 % der Probanden richtig beantwortet.

Analog ist die vierte Aufgabe zu lösen, wenngleich sie ein wenig anspruchsvoller ist. Prinzipiell kommen zwei Zeitpunkte in Frage: So könnte der Geldbestand am niedrigsten sein, bevor die Einnahmen die Ausgaben übersteigen, also ganz zu Beginn an Tag 1. Die zweite Möglichkeit besteht zum letzten Zeitpunkt, an

dem die Ausgaben die Einnahmen übersteigen, also an Tag 29. Der Ausgabenüberschuss von Tag 14 bis Tag 29 ist größer als der Einnahmenüberschuss von Tag 1 bis Tag 13. Dies lässt sich durch Schraffieren des Raums zwischen beiden Linien erkennen, kann aber auch ausgerechnet werden. Da nun die Ausgaben im betrachteten Zeitraum die Einnahmen übersteigen, kommt als richtige Antwort nur Tag 29 in Frage, was von lediglich 30 % der Probanden erkannt wurde.

5.2 System-Dynamics-Kompetenz II: Die Elemente der Notation kennen

Die vorigen Testaufgaben zeigen, inwiefern zwischen Fluss- und Bestandsgrößen differenziert wird, was eine wichtige Grundlage zur Entwicklung von System-Dynamics-Modellen und zum Verständnis komplexer Systeme ist. Neben Fluss- und Bestandsgrößen sind Variablen und Informationsverbindungen bedeutsam.

- *Bestandsgrößen (engl. Stock)* haben einen Anfangswert, der sich im Zeitverlauf durch Zu- und Abflüsse ändern kann. Beispiele: Kontostand, Lagerbestand, Menschen im Rentenalter.
- *Flussgrößen (engl. Flow)* verändern die Bestandsgrößen durch Zu- und Abflüsse, zum Beispiel Einzahlungen, Auszahlungen, Lagerzugänge, Lagerabgänge.
- *Variablen (engl. Variable)* können Rechenformeln enthalten und werden dann in jeder Periode neu berechnet. Solche Variablen sind Teil des Systems und werden auch als systemendogene Variablen bezeichnet. Typische Beispiele hierfür wären Zinserträge oder Kapitalkosten. Üblicherweise werden Variablen als Kreis oder Ellipse dargestellt.
- *Konstante (engl. Constant)* werden nicht berechnet, sondern festgelegt. Sie können sich zwar theoretisch auch ändern, aber wie diese Änderung zustande kommt, liegt

außerhalb der Betrachtungsweise des Modells. Insofern handelt es sich bei Konstanten in gewisser Hinsicht um systemexogene Variablen. Beispiele hierfür wären Zinssatz, Geburtenrate oder Berufsaustrittsalter. Je nach Softwaretool können diese Größen vor oder während einer Simulation von den Nutzern durch Schieberegler verändert werden. Bei manchen Softwaretools werden sie als Raute dargestellt, bei anderen wie eine normale Variable als Kreis beziehungsweise Ellipse.

- *Informationsverbindungen (engl. Link)* werden durch Pfeile dargestellt. Sie sind nötig, um Informationen an die Variablen und Flussgrößen weiterzugeben.

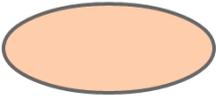
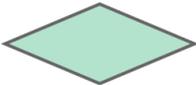
Symbol	Bezeichnung
	Bestand(-sgröße)
	Flussgröße
	Informationsverbindung/ Link
	Variable mit Formel
	Systemexogene Variable/ Konstante

Tabelle 1: Elemente der System Dynamics Notation.

5.3 System-Dynamics-Kompetenz III: Ein Softwaretool beherrschen

Wer den Unterschied zwischen Fluss- und Bestandsgrößen versteht und die grundlegende Notation beherrscht, könnte grafische Modelle komplexer Systeme in Form sogenannter Flussdiagramme auf Papier erstellen. Sowohl die aktive Auseinandersetzung mit den Sachverhalten während des Erstellens als auch deren visuelle Veranschaulichung mit der System-Dynamics-Notation fördern das Verständnis der zu untersuchenden Thematik.

Ein wesentlicher Nutzen der Methode besteht jedoch darin, relativ leicht analysieren zu können, wie sich das System im Zeitverlauf (dynamische statt statische Betrachtungsweise) verändert. Dies ist bedeutsam, da komplexe Systeme sich (oft erst nach einer gewissen Zeit) häufig anders verhalten, als es der intuitiven Erwartungshaltung entspräche. Ist der Sachverhalt mit einer geeigneten Software im Computer modelliert, lässt sich das Verständnis durch Simulationsläufe vertiefen.

Die Auswahl an System Dynamics Software ist vergleichsweise groß. Programme, die häufig für Bildungszwecke eingesetzt wurden, waren insbesondere Consideo, Stella, Vensim und Powersim, zu denen es sehr günstige oder kostenlose Versionen gab. Gerade für den Einsatz an Schulen und Universitäten, aber auch im privaten Bereich, ist die Kostenfrage durchaus relevant. Im Laufe der Zeit wuchsen Funktionsumfang (womit teilweise auch eine deutlich höhere Einarbeitungszeit einherging) und Kosten der genannten Programme.

Die Modelle des vorliegenden Buchs sind mit der Software *Insight Maker* erstellt, mit der zahlreiche Vorteile einhergehen. Zunächst ist die Software komplett kostenlos und hat ein liberales Open-Source-Modell, sodass sie auch langfristig kostenlos verfügbar sein wird. Ein weiteres Herausstellungsmerkmal von *Insight Maker* besteht darin, dass diese Modelliersoftware komplett online zur Verfügung steht. Zwar muss deswegen eine

Onlineverbindung verfügbar sein, aber dafür besteht kein Implementationsaufwand für eine Software oder Simulationsumgebung. Die Modellierungsumgebung ist von Internetbrowsern aufrufbar und somit plattformunabhängig. Folglich läuft sie nicht nur auf Windows-, Linux-, und OS X-Betriebssystemen, sondern auch auf Tablets und Smartphones. Der Einsatz von Tablets (und gegebenenfalls Smartphones mit hinreichend großem Display) erleichtert den Einsatz in Schulen, da kein Computerraum gebucht werden muss. Da sämtliche Modelle online gespeichert und bearbeitet werden, können die Modelle auch von mehreren Nutzern kollaborativ gestaltet werden. So können beispielsweise Gruppen von Schülern im Rahmen eines Projekts gemeinsam an einem Modell arbeiten, selbst wenn sie sich nicht alle am gleichen Endgerät befinden, sondern zum Beispiel von zuhause aus arbeiten. Interessant ist auch, dass viele Nutzer von *Insight Maker* ihre Modelle frei verfügbar machen und deswegen ein recht großer Pool von Modellen verfügbar ist. Ferner ist zu erwähnen, dass die Software nach kurzer Eingewöhnungszeit (vgl. Artikel ‚System Dynamics mit Insight Maker‘) leicht zu bedienen ist, zahlreiche Hilfsmaterialien zur Verfügung stehen und eine aktive Nutzergemeinschaft besteht, die bei Fragen und Problemen schnell hilft. Für fortgeschrittenere Anwender dürfte noch interessant sein, dass *Insight Maker* auch agentenbasierte Modelle unterstützt und über eine JavaScript-Schnittstelle verfügt, mit der sich die Modelle sehr flexibel programmieren lassen.

6. Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht

6.1 Expressive Modellierung

Beim expressiven Arbeiten erstellen Schüler selbst Modelle zu komplexen Sachverhalten. Die Lernenden erhalten normalerweise zu Beginn eine verbale Fallschilderung, die im Hinblick auf die relevanten Größen analysiert wird. Dabei sind insbesondere Fluss- und Bestandsgrößen des Systems zu identifizieren.

Anschließend wird das System mit einer Software modelliert. Nachdem alle Elemente (Fluss- und Bestandsgrößen, Variablen und Konstanten) definiert und miteinander verbunden sind, lässt sich das Modell simulieren. Um die Schüler nicht zu überfordern, sollte der zugrunde liegende wirtschaftliche Sachverhalt anfangs recht einfach sein und sukzessive komplexer werden.

Für das expressive Modellieren spricht die intensive Auseinandersetzung der Lernenden mit den Prämissen, den Elementen und der Struktur des Modells. Darüber hinaus beschäftigen sich Schüler nachhaltig mit der dem Modell zugrunde liegenden Thematik. Da mit den Inhalten aktiv und in einem bedeutungsvollen Zusammenhang gearbeitet wird, lassen sie sich besser und nachhaltiger in deren kognitive Struktur integrieren. Darüber hinaus erhöht laut Hillen (2004) dieser Ansatz das Interesse der Schüler an der Thematik und fördert ihre Kooperation. Die Auseinandersetzung mit vorgegebenen Modellen (explorative Modellierung) sei hingegen geeignet zur Vertiefung vorhandener Wissensstrukturen. Schließlich sei noch auf einen weiteren Vorteil des expressiven Modellierens hingewiesen: Beim eigenständigen Modellieren eines Sachverhalts werden den Schülern Informationsdefizite unmittelbar bewusst. Gleichzeitig ist die Motivation groß, diese zu beheben, da dies die Voraussetzung zur Weiterentwicklung des Modells ist. Entsprechend ergeben sich quasi organisch (und damit weniger künstlich und konstruiert als im herkömmlichen Unterricht) Anlässe zur Informationsrecherche und -verarbeitung. Auch werden passende Instruktionsphasen des Lehrers eher begrüßt, da sie als willkommene Hilfe und Unterstützung des Modellierprozesses wahrgenommen werden.

	Expressives Modellieren
Problem- darstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Fallschilderung
Problem- strukturierung	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation relevanter Größen und Zusammenhänge • Modellierung
Problemlösung	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation • Vergleich mit erwarteten Ergebnissen
Anwendung der Problemlösung	<ul style="list-style-type: none"> • Transfer auf reales Problem



iterativer
Prozess

Tabelle 2: Verlaufsform expressiver Modellierung im problemorientierten Unterricht.

6.2 Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht: Explorative Modellierung

Bei der explorativen Arbeit wird den Lernenden ein bereits (in Teilen oder komplett) konstruiertes Modell zur Verfügung gestellt. Mithilfe erkenntnisleitender Fragestellungen und Aufgaben sollen sie dieses Modell untersuchen und analysieren, wie es auf Parametervariationen reagiert. Dieser Ansatz empfiehlt sich insbesondere bei gering ausgeprägten Modellierkompetenzen der Lerner und wenig verfügbarer Zeit. Hillen (2004) stellte in einer Studie fest, dass exploratives Modellieren auch gut zur Vertiefung vorhandener Wissensstrukturen geeignet sei.

Expressives und exploratives Modellieren sind kombinierbar. So lassen sich Lernumgebungen entwickeln, die den Fähigkeiten der Lerngruppe, dem Komplexitätsgrad des Sachverhalts und der verfügbaren Zeit optimal angepasst sind. Beispielsweise kann Schülern ein verbesserungsbedürftiges Grundmodell zur Verfügung gestellt werden. Nachdem sie dieses untersucht und

dessen Defizite erkannt haben, wäre es eigenständig weiterzuentwickeln.

	Expressiv	Explorativ
Problem-darstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Fallschilderung 	<ul style="list-style-type: none"> • Modell-analyse • Simulation
Problem-strukturierung	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation relevanter Größen und Zusammenhänge • Modellierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Modell-analyse • Modell-modifikation
Problemlösung	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation • Vergleich mit erwarteten Ergebnissen 	
Anwendung der Problemlösung	<ul style="list-style-type: none"> • Transfer auf reales Problem 	



Tabelle 3: Verlaufsformen expressiver und explorativer Modellierung im Vergleich.

6.3 Umsetzungsmöglichkeiten im Unterricht: Simulationen

Unabhängig von der gewählten Modellierungsmethode ist der Umgang mit Simulationsläufen bedeutsam. Idealerweise sind vor der Durchführung einer Simulation deren Ergebnisse zu antizipieren. Die tatsächlichen Simulationsergebnisse können dann mit den erwarteten Resultaten verglichen werden. Im Falle größerer Abweichungen sind deren Ursachen zu untersuchen. Diese können im Computermodell begründet liegen, das dann zu verbessern ist. Andererseits könnte die Diskrepanz auch aus falschen inhaltlichen Vorstellungen beziehungsweise defizitären mentalen Modellen der Schüler resultieren. Simulationen helfen somit dabei, Verständnisdefizite aufzudecken und zu

deren Beseitigung beizutragen beziehungsweise richtige Vorstellungen zu entwickeln. Dieses Potenzial lässt sich jedoch nur nutzen, wenn die Ergebnisse der Simulationen bewusst hinterfragt werden. Ein gedankenloses Simulieren führt zu einem wenig lernförderlichen Video-Spiel-Syndrom (vgl. Lewalter 1997; Schnotz 1997; Sterman 2000).

6.4 Empfehlungen zur Einarbeitung, zur Unterrichtsgestaltung und zum Einsatz der Lernumgebungen

Der erfolgreiche Einsatz von System Dynamics setzt hinreichende Vertrautheit der Lehrkraft mit der relativ anspruchsvollen Methode voraus (vgl. Ossimitz 2000). Vor dem erstmaligen Einsatz im Unterricht sollte man sich mit der Software vertraut machen (vgl. Artikel ‚System Dynamics mit Insight Maker‘ Abschnitt 4) und einige System-Dynamics-basierte Lernumgebungen selbst bearbeiten. Ferner liegt nahe, für die ersten Unterrichtsstunden mit bereits erstellten Lehr-/Lernumgebungen – etwa mit denen dieses Buchs – zu arbeiten, was auch die Vorbereitungszeit erheblich verkürzt. Mit zunehmender Modellierkompetenz der Lehrkraft können natürlich eigene System-Dynamics-Lernumgebungen erstellt werden. *Bevor* mit System Dynamics im Unterricht gearbeitet wird, empfiehlt sich der Einsatz von Wirkungsdiagrammen. Dieser qualitative Modellierungsansatz bereitet die Lernenden auf systemische Denksätze vor und ist leicht zu erlernen. Hierauf kann später zurückgegriffen werden, da das Lernen mit System Dynamics mit anderen Darstellungsformen wie eben Wirkungsdiagrammen unterstützt werden sollte. Dies erhöht die Anschaulichkeit der bearbeiteten Sachverhalte und fördert eine intensivere kognitive Auseinandersetzung (vgl. Weidenmann 2002; Schnotz 2002).

Denkbar ist, die Schüler einen Sachverhalt zunächst als Wirkungsdiagramm darstellen zu lassen, bevor sie ihn als System-Dynamics-Modell abbilden. Alternativ könnten die Lernenden nach der Analyse eines Modells das zugehörige Wirkungsdiagramm erstellen.

In der Regel sollten die Schüler eine systematische Einführung in die Modelliermethode beziehungsweise eine entsprechende Software erhalten. Zur Sensibilisierung für den Unterschied zwischen Fluss- und Bestandsgrößen könnte der Test aus Abschnitt 5.1 verwendet werden. Anschließend bietet sich an, die Lernenden das Tutorial aus dem Artikel ‚System Dynamics mit Insight Maker‘ bearbeiten zu lassen. Darauf aufbauend sollte zunächst mit Lernumgebungen gearbeitet werden, die einem explorativen Ansatz folgen, da hierfür weniger Modellierkenntnisse notwendig sind.

Für Lernumgebungen, deren Fokus auf der explorativen Modellierung liegt, bietet sich als Sozialform während der Bearbeitung der Aufgabenblätter beziehungsweise der Modellanalyse die Partnerarbeit oder Arbeit in Dreiergruppen an. So können die Lernenden sich gegenseitig helfen, was sich beim Umgang mit noch nicht sehr vertrauten Softwaretools grundsätzlich empfiehlt. Gleichzeitig sollten die Gruppen recht klein sein, sodass jeder Schüler unmittelbaren Zugang zur Software hat und sich intensiv einbringen kann. Wenn keine Computer oder Tablets mit Internetzugang in größerer Zahl zur Verfügung stehen, wäre die Lernumgebung gegebenenfalls auch in der Form des Frontalunterrichts bearbeitbar. Dann kann die Auseinandersetzung mit den Modellen an nur einem Gerät erfolgen, dessen Bildschirm per Beamer projiziert wird. Nach der Bearbeitung eines Aufgabenblatts sollten die Ergebnisse in der Regel gemeinsam ausgetauscht und besprochen werden, sodass Verständnisprobleme ausgeräumt werden können und alle Lernenden die fachlichen Grundlagen für den weiteren Lernprozess erworben haben. Hierfür bietet sich die Sozialform des Frontalunterrichts an.

Sollen die Schüler hingegen einen Sachverhalt bearbeiten, indem sie ihn weitgehend selbstständig modellieren (expressive Modellierung), bietet sich als Makromethode das Projekt an. Hierfür kann sich auch fächerübergreifender Unterricht anbieten, da die Fragestellung dann aus mehreren Perspektiven beleuchtet werden kann und mehr Zeit zur Verfügung steht.

Bei der Reflexion zum Ende einer Unterrichtsreihe können die Lernenden auch für generische Strukturen und Archetypen (vgl. Artikel ‚Generische Strukturen und Systemarchetypen‘) sensibilisiert werden, die in den Modellen enthalten sind. In diesem Zusammenhang bietet sich als Transferaufgabe die Frage an, welche anderen Systeme sich durch ähnliche Strukturen auszeichnen.

Folgende Hinweise zur Softwarebedienung sind ausführlicher in dem Artikel ‚System Dynamics mit Insight Maker‘ dargestellt und hier nur kurz zur Sensibilisierung angeführt:

- Um die Modelle öffnen und simulieren zu können, bedarf es lediglich eines Browsers und Internetzugangs. Insofern können sie auch mit Tablets bearbeitet werden.
- Im rechten Fensterbereich stehen entweder die Modellbeschreibung und Schieberegler oder Details zum markierten Objekt. Dieser Bereich kann sowohl vergrößert und verkleinert als auch mit dem pfeilähnlichen Symbol ein- und ausgeblendet werden. Die Modellbeschreibung beziehungsweise Schieberegler lassen sich durch einen Klick in den leeren Modellbereich einblenden.
- Ein Modell kann verändert beziehungsweise sehr detailliert untersucht werden, indem es mit ‚Clone Insight‘ kopiert wird.
- Im Simulationsfenster stehen meist mehrere Auswertungen zur Verfügung, die durch einen Klick im oberen Bereich des Fensters ausgewählt werden können. Weiterhin lassen sich in den Diagrammen einzelne Datenreihen beziehungsweise Linien durch Anklicken der Legende ein- und ausblenden.

- Berechnete beziehungsweise systemendogene Variablen sind in den Modellen grün eingefärbt, während systemexogene Größen beziehungsweise Konstanten orange dargestellt werden. Letztere lassen sich häufig mit Schiebereglern verändern.

Die Lernumgebungen ab Artikel ‚Systemisches Denken in der politischen Bildung‘ setzen unterschiedliche Modellierkompetenzniveaus voraus. So können manche der Lernumgebungen ohne (nennenswerte) Vorkenntnisse bearbeitet werden (vgl. zum Beispiel ‚Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung‘ Abschnitt 4), während die Schüler für andere Unterrichtssequenzen durchaus Erfahrungen gesammelt haben sollten (vgl. zum Beispiel ‚Systemisches Denken in der politischen Bildung‘ Abschnitt 3). Mit den Lernsequenzen lassen sich die dort aufgeführten fachlichen Lernziele erreichen. Um jedoch auch nachhaltige Verbesserungen im systemischen Denken zu erzielen, bedarf es der längerfristigen Auseinandersetzung mit System Dynamics und Wirkungsdiagrammen (vgl. Ossimitz 2000). Entsprechend empfiehlt sich, mehrere der angeführten Lernumgebungen in den Unterricht zu integrieren. Noch größere (Synergie-)Effekte würden sich ergeben, wenn die Schüler auch in anderen Fächern mit System Dynamics arbeiten würden, was bei vielen Fächern sinnvoll und möglich ist (vgl. Arndt 2016).

Alle in den Lernumgebungen verwendeten Arbeitsblätter stehen unter http://www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken im Word-Format zum Download bereit, sodass sie verändert und ergänzt werden können. Dies eröffnet die Möglichkeit, bestimmte fachliche Themen zielgruppenspezifisch zu vertiefen.

Literatur

Arndt, H. (2016): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen.

Hillen, St. (2004): Systemdynamische Modellbildung und Simulation im kaufmännischen Unterricht. Elizitation und Elaboration von Mentalen Modellen in komplexen betriebswirtschaftlichen Gegenstandsbereichen. Konzepte des Lehrens und Lernens. Frankfurt.

Lewalter, D. (1997): Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen. In: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung, 25(3)/1997, S. 207 - 222.

Norman, D. A. (1983): Some Observations on Mental Models. In: Gentner, D./Draper, St. W. (Hrsg.): Mental Models. Hillsdale, S. 7 - 14.

Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. München.

Schnotz, W. (1997): Zeichensysteme und Wissenserwerb mit neuen Informationstechnologien. In: Gruber, H./Renkel, A. (Hrsg.): Wege zum Können. Determinanten des Kompetenzerwerbs. Bern, S. 218 - 235.

Schnotz, W. (2002): Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In: Issing, L./Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Weinheim, S. 64 - 81.

Sterman, J. (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston.

Sweeney, L./Sterman, J. (2000): Bathtub Dynamics: Initial Results of a Systems Thinking Inventory. In: System Dynamics Review, 16(4)/2000, S. 249 - 268.

Weidenmann, B. (2002): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Issing, L./Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Weinheim, S. 45 - 64.

System Dynamics mit Insight Maker¹

1. Einführung

Mittlerweile findet sich ein umfassendes Angebot an Programmen, mit denen System-Dynamics-Modelle erstellt werden können.² Da sie sich in vielerlei Hinsicht voneinander unterscheiden, gibt es nicht das objektiv ‚beste‘ Softwaretool. Vielmehr ist die Wahl abhängig von den Bedürfnissen der Zielgruppe. Da sich der vorliegende Band in erster Linie an Lehrkräfte und Dozenten richtet, welche die Modelle wiederum mit Schülern, Auszubildenden und Studierenden einsetzen möchten, wurde bei der Wahl der Software vor allem darauf geachtet, dass sie kostengünstig, leistungsstark und leicht zu bedienen ist.

Angesichts dieser Kriterien erscheint *Insight Maker* als besonders geeignet. Zunächst ist anzumerken, dass die Verwendung der Software komplett kostenlos ist. Ein weiteres Herausstellungsmerkmal von *Insight Maker* besteht darin, dass das Programm komplett online zur Verfügung steht. Dies hat zwar den Nachteil, dass eine Internetverbindung während des Erstellens und der Simulation von Modellen notwendig ist. Allerdings müssen so weder die Software noch die einzelnen Modelle auf den Computern der Anwender installiert werden, was bei anderen Softwaretools mit teilweise erheblichem Aufwand einhergeht. Zur Ausführung von *Insight Maker* wird lediglich ein Internetbrowser benötigt, sodass die Anwendung plattformunabhängig ist.

¹ Die Ausführungen dieses Artikels sind weitgehend aus Arndt (2016) entnommen.

² Eine Übersicht findet sich unter Wikipedia, Stichwort „Comparison of system dynamics software“, Version vom 24. Oktober 2016, 17:49 Uhr. Verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Comparison_of_system_dynamics_software&oldid=74599998 [07.05.2015]

Folglich läuft sie nicht nur auf Windows-, Linux-, und OS X-Betriebssystemen, sondern auch auf Tablets und Smartphones. Der Einsatz von Tablets (und gegebenenfalls Smartphones mit hinreichend großem Display) erleichtert den Einsatz in Schulen, da kein Computerraum belegt werden muss. Da sämtliche Modelle online gespeichert und bearbeitet werden, lassen sich die Modelle auch von mehreren Nutzern gemeinsam gestalten. So können beispielsweise Gruppen von Schülern im Rahmen eines Projekts gemeinsam an einem Modell arbeiten, selbst wenn sie sich nicht alle am gleichen Endgerät befinden, sondern zum Beispiel von zu Hause aus arbeiten. Interessant ist auch, dass viele Nutzer von *Insight Maker* ihre Modelle frei verfügbar machen und deswegen ein recht großer Pool von Modellen verfügbar ist.

Bezüglich des Spannungsfelds zwischen Leistungsumfang und leichter Bedienbarkeit ist *Insight Maker* recht ausgewogen. So stellt es vielfältige Funktionen zur Verfügung; neben der Möglichkeit, das Aussehen der Modelle durch Formatierungseinstellungen und die Integration von Bildern zu gestalten ist vor allem für fortgeschrittene Anwender interessant, dass mit *Insight Maker* auch agentenbasierte Modelliermöglichkeiten und eine JavaScript-Schnittstelle zur flexiblen Programmierung enthalten sind. Trotz dieses Funktionsumfangs ist die Oberfläche übersichtlich gestaltet und somit für Einsteiger leicht zu verstehen. Aus deutscher Perspektive ist kritisch anzumerken, dass die Software und Bedienungsanleitungen beziehungsweise Hilfsmaterialien nur in englischer Sprache vorliegen. Allerdings werden bei der Software nur wenige Begriffe verwendet, da die Modellerstellung überwiegend über Icons erfolgt. Im Hinblick auf das Verständnis der Hilfsmaterialien könnte sich hingegen eine fächerübergreifende Zusammenarbeit mit der Englischlehrkraft anbieten, wobei die Hilfe eigentlich nur für fortgeschrittene Anwender notwendig ist, die anspruchsvollere Modelle entwickeln wollen.

Sehr positiv ist ferner die Hilfsbereitschaft der Entwickler und der aktiven Nutzergemeinschaft, die in kurzer Zeit auf Fragen antworten.

Die Zielsetzung dieses Artikels besteht darin, die grundlegenden Funktionen und Bedienungsmöglichkeiten von *Insight Maker* vorzustellen. Dazu wird im Folgeabschnitt gezeigt, wie ein Account in der Onlineumgebung anzulegen und wie die Startoberfläche zu interpretieren ist. Ferner wird die von *Insight Maker* verwendete Notation erörtert und auf spezifische Abweichungen der Notation bei den Modellen des vorliegenden Buchs eingegangen. Der dritte Abschnitt des Artikels enthält ein Tutorial, dessen Bearbeitung durch Lehrkräfte und Lernende für den Einstieg in die Software empfohlen wird. Darauf folgen Hinweise zu typischen Problemen von Erstanwendern. Gerade Lehrkräfte sollten sich hiermit vertraut machen, sodass sie ihre Schüler in Unterrichtssituationen schnell und souverän bei Problemen unterstützen können. Im fünften Abschnitt werden vertiefende Hinweise zur Arbeit mit *Insight Maker* gegeben, etwa zu Formatierungsmöglichkeiten, zur Arbeit mit fremden Modellen und zum Hilfesystem.

2. Erste Orientierung: Registrierung, Oberfläche und Notation

Mit *Insight Maker* erstellte Modelle können in eigene Websites integriert oder per Link aufgerufen werden, wo sie sich von jedem ohne weitere Barrieren betrachten und simulieren lassen. Wenn Schüler lediglich mit vorgefertigten Modellen arbeiten sollen, ist keine Registrierung notwendig. Ansonsten empfiehlt sich eine Registrierung, da nur dann eigene Modelle erstellt (etwa im Rahmen des unten stehenden Tutorials) oder vorhandene Modelle modifiziert werden können. Bei der Registrierung werden jedoch keine sensiblen Daten erfragt. Sie erfolgt auf

www.insightmaker.com über den Link ‚create free account‘. Anschließend erfolgt eine Weiterleitung in die persönliche Umgebung beziehungsweise den Heimbildschirm.



Abbildung 1: Der Heimbildschirm.

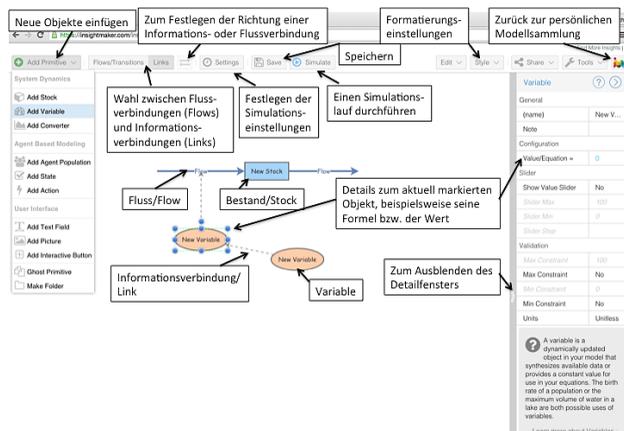


Abbildung 2: Die Modelleroberfläche.

Im Heimbildschirm sehen die Anwender sämtliche Modelle, die sie sich selbst erstellt oder von anderen Nutzern kopiert haben, und können sie durch Anklicken öffnen. Im unteren Bereich des

Bildschirms findet sich ein Screencast zur Einführung. Weitere Hilfen sind im rechten Bildschirmbereich verlinkt. Mit ‚Create New Insight‘ kann ein neues Modell erstellt werden. Um unerfahrene Nutzer nicht mit einem leeren Bildschirm zu konfrontieren, erscheint danach ein kleines Beispielmodell, das durch einen Klick auf den Button ‚Click me to Clear this Demo Model‘ gelöscht werden kann.

Tabelle 1 zeigt wie wichtige Elemente der System-Dynamics-Notation in *Insight Maker* dargestellt werden.

Symbol	Bezeichnung Deutsch/ Englisch	Kommentar
	Bestand (-sgröße)/ Stock	Bestandsgrößen haben einen Anfangswert, der sich im Zeitverlauf durch Zu- und Abflüsse ändern kann. Wird erstellt über ‚Add Primitive/Add Stock‘
	Flussgröße/ Flow	Flussgrößen verändern die Bestandsgrößen durch Zu- und Abflüsse. Um eine Flussgröße zu erstellen, muss zunächst im oberen Bereich des Fensters ‚Flows/Transitions‘ aktiviert sein. Anschließend zeigt man auf die Bestandsgröße, die durch den Fluss geändert werden soll und zieht den dort erscheinenden Pfeil an den gewünschten Ort beziehungsweise an eine andere Bestandsgröße. Durch Klicken auf das Symbol mit den beiden Pfeilen im oberen Bereich des Fensters kann definiert werden, ob es sich um einen Zu- oder Abfluss handeln soll.

	<p>Informations- verbindung/ Link</p>	<p>Informationsverbindungen sind nötig, um Informationen an die Variablen und Flussgrößen weiterzugeben.</p> <p>Um eine Informationsverbindung herzustellen, muss zunächst im oberen Bereich des Fensters ‚Links‘ aktiviert sein. Anschließend zeigt man auf die Bestandsgröße oder die Variable, von der die Informationen ausgehen und zieht den dort erscheinenden Pfeil auf das Zielobjekt (hierfür kommen in Frage: Stocks, Flows und Variablen).</p>
	<p>Variable/ Variable</p>	<p>Variablen können Formeln oder Werte enthalten. Um diese einzugeben, ist die Variable zunächst zu markieren. Dann können sie im rechten Fensterbereich in das Feld ‚Value/Equation‘ eingetragen werden.</p> <p>Entgegen der üblichen System-Dynamics Notation unterscheidet <i>Insight Maker</i> nicht zwischen Variablen und Konstanten. Bei den Modellen des vorliegenden Buchs wird dies jedoch anders gehandhabt (vgl. Tabelle 2)</p>
	<p>Konverter/ Converter</p>	<p>Ein Converter ist eigentlich eine normale Variable mit einer speziellen Umwandlungsfunktion.</p> <p>Da <i>Insight Maker</i> die Formatierung von Objekten erlaubt, werden Converter in Modellen dieses Buchs wie normale Variablen dargestellt (vgl. Tabelle 2).</p>

Tabelle 1: System-Dynamics-Notation in *Insight Maker* beim Erstellen von Objekten.

Da *Insight Maker* die Veränderung des Aussehens ermöglicht (vgl. Abschnitt 5), werden bei den Modellen dieses Buchs Objekte teilweise anders dargestellt, als dies zunächst mit der Software erfolgt. Damit geht der Vorteil einher, dass in den Modellen die übliche System-Dynamics-Notation verwendet werden kann und der Transfer zu anderen Softwaretools leichter möglich ist. Sowohl für Bestands- und Flussgrößen als auch für Informationsverbindungen ergeben sich keine Änderungen. Converter werden hingegen wie normale Variablen als Ellipse dargestellt. ‚Variable‘, die keine Formeln, sondern feste Werte enthalten, also systemexogene Variablen oder Konstanten sind, sind als Raute formatiert. Somit sind systemexogene Größen beziehungsweise ‚Konstante‘ leichter zu identifizieren. Dies ist hilfreich, wenn Simulationsläufe mit unterschiedlichen Werten beziehungsweise Parametern durchgeführt werden sollen. Häufig werden für diese Größen auch Schieberegler definiert, mit denen die Werte leichter veränderbar sind. Die Elemente der Modelle des vorliegenden Buchs sind also wie in Tabelle 2 dargestellt zu interpretieren.

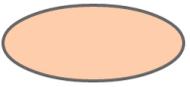
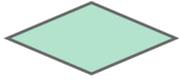
Symbol	Bezeichnung
	Bestand(-sgröße)
	Flussgröße
	Informationsverbindung/Link
	Variable mit Formel und Converter
	Systemexogene Variable/Konstante

Tabelle 2: System-Dynamics-Notation bei den Modellen des Buchs aufgrund von nachträglichen Änderungen der Form.

3. Tutorial³

3.1 Ausgangsfall

Max bekommt von seinen Eltern zum 16. Geburtstag ein Girokonto mit einem Startguthaben von 150 € geschenkt. Spätere monatliche Einzahlungen bestehen aus 40 € Taschengeld und 30 €, die Max durch Nachhilfeunterricht verdient. Weiterhin werden die Kontoeinlagen mit 2,5 % jährlich verzinst, wobei die Zinsen monatlich auf das Konto fließen. Als Auszahlungen fließen jeden Monat 40 € vom Konto ab, die sich aus 10 € für seine Smartphoneflatrate und aus 30 € für andere Ausgaben zusammensetzen.

Aufgabe 1: Welche Informationen beziehungsweise Größen sind für die Modellierung des Sachverhalts bedeutsam? Ordnen Sie sie den nachstehenden Typen zu.

Bestandsgröße(n) 	
Flussgröße(n) 	
Variable mit Formel 	
Konstante 	

³ Grundsätzlich empfiehlt sich, das Tutorial von den Lernenden durchführen zu lassen. Um es besser kopieren und gegebenenfalls an die Bedürfnisse der Lerngruppe anpassen zu können, findet es sich als bearbeitbare Word-Datei auf der Website http://www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken. Weiterhin ist dort ein Screencast, in dem das Erstellen des Modells gezeigt wird.

Aufgabe 2: Überlegen Sie, in welcher Beziehung die Elemente stehen könnten und halten Sie dies grafisch auf Papier fest. Gegebenenfalls sind einige Elemente mit Informationspfeilen miteinander zu verbinden.



3.2 Umsetzung des Sachverhalts in Insight Maker

Sollte dies Ihr erster Kontakt mit *Insight Maker* sein, müssen Sie sich zunächst registrieren (vgl. Abschnitt 2) und dann auf ‚Create New Insight‘ klicken. Daraufhin erscheint kein leerer Arbeitsbereich, sondern ein kleines Modell, das der Orientierung dienen soll. Löschen Sie es, indem Sie den Button ‚Click me to Clear this Demo Model‘ anklicken.

Beim Erstellen eines Modells bietet es sich an, mit einer Bestandsgröße zu beginnen und dann die zugehörigen Flussgrößen zu erstellen. Erstellen Sie also die Bestandsgröße ‚Kontostand‘, indem Sie entweder ‚Add Primitive/Add Stock‘ wählen oder mit einem Rechtsklick in den freien Arbeitsbereich das Kontextmenü öffnen und ‚Create Stock‘ auswählen. Unmittelbar

nach dem Erstellen eines Objekts lässt sich sein Name festlegen. Im Nachhinein kann dies durch einen Doppelklick erfolgen. Als Name der Bestandsgröße dieses Modells bietet sich ‚Kontostand‘ an. Den Anfangsbestand des Kontos in Höhe von 150 € legen Sie fest, indem Sie das Objekt markieren und dann im rechten Fensterbereich bei ‚Initial Value‘ die Zahl ‚150‘ eintragen. An dieser Stelle können auch andere Eigenschaften des jeweiligen Objekts betrachtet und verändert werden, beispielsweise sein Name, eine erläuternde Beschreibung, ob die Bestandsgröße auch negative Werte aufweisen kann, Höchst- und Mindestwerte, Einheiten und ob zu der Größe ein Schieberegler angezeigt werden soll.

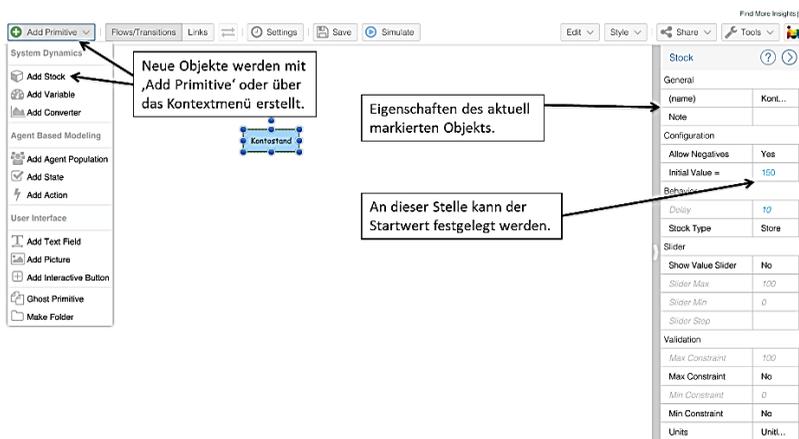


Abbildung 3: Erstellen neuer Objekte.

Objekte wie Bestandsgrößen können übrigens wie in anderen Programmen auch verschoben, gelöscht, kopiert und formatiert werden. Hierfür bietet sich das Kontextmenü an, wobei alternativ mit den üblichen Tastenkombinationen (zum Beispiel Strg + C für eine Kopie) oder den Schaltflächen ‚Edit‘ und ‚Style‘ im oberen Bereich gearbeitet werden kann.

Der Kontostand verändert sich durch Zu- und Abflüsse, nämlich durch die Ein- und Auszahlungen. Um diese zu erstellen, muss zunächst gewährleistet sein, dass die Wahlmöglichkeit zwischen ‚Flows/Transitions‘ und ‚Links‘ im oberen Fensterbereich auf ‚Flows/Transitions‘ gestellt ist. Dann brauchen Sie lediglich auf die Bestandsgröße ‚Kontostand‘ zu zeigen und den daraufhin erscheinenden Pfeil nach rechts zu ziehen. Benennen Sie das Element als ‚Auszahlungen‘, indem Sie entweder einen Doppelklick darauf tätigen oder den Namen in den Objekteigenschaften eintragen. Die mathematische Definition der Auszahlungen wird zu einem späteren Zeitpunkt bei der Eigenschaft ‚Flow Rate =‘ eingetragen.

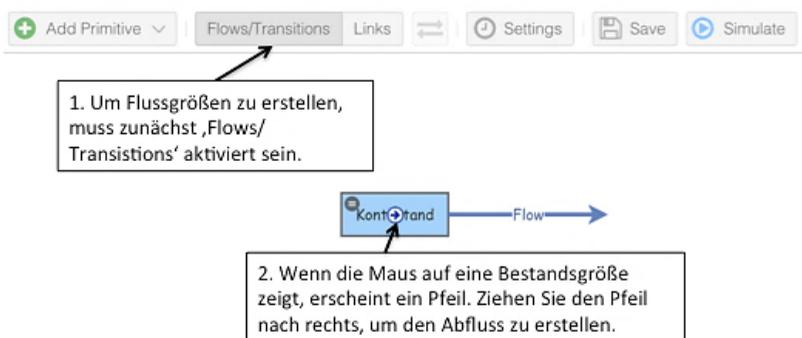


Abbildung 4: Erstellen von Flußgrößen.

Als Nächstes wäre die Einzahlung festzulegen. Hierzu wird wieder der Pfeil in der Mitte der Bestandsgröße ‚Kontostand‘ verwendet, allerdings ist er dieses Mal nach links zu ziehen. Zunächst deutet die Pfeilrichtung jedoch an, dass es sich ebenfalls um einen Abfluss handelt. Dies wird durch einen Klick auf das Pfeilsymbol im oberen Arbeitsbereich geändert. Anschließend ist der Fluss noch als ‚Einzahlungen‘ zu benennen.



Abbildung 5: Ändern der Richtung eines Flusses.

Da die Auszahlungen leichter als die Einzahlungen zu modellieren sind, wird hiermit fortgefahren. Eine einfache Möglichkeit zur Festlegung der Auszahlungen bestünde darin, den Wert ,40‘ (Summe aus 10 € für die Smartphoneflatrate und aus 30 € für die anderen Ausgaben) in die Eigenschaft ,Flow Rate =‘ einzutragen. Dies mag in manchen Situationen durchaus zweckmäßig sein, hat aber die Nachteile, dass so die Struktur der Ausgaben nicht ersichtlich wird und die Werte für die Flatrate und die anderen Ausgaben später nicht per Schieberegler einzeln geändert werden können. Die Alternative besteht darin, zunächst zwei Variablen für die Ausgabenpositionen zu definieren und dann in der Flussgröße ,Auszahlungen‘ ihre Werte zu addieren. Erstellen Sie hierfür zunächst eine Variable mit ,Add Primitive/Add Variable‘ oder dem Kontextmenü. Benennen Sie sie dann als ,Flatrate‘ und tragen bei ihrer Eigenschaft ,Value/Equation =‘ die Zahl 10 ein. Gehen Sie analog für die anderen Ausgaben vor.



Abbildung 6: Hinzufügen von Variablen beziehungsweise Konstanten.

Im nächsten Schritt sollen die Werte der beiden erstellten Variablen an die Flussgröße ‚Auszahlungen‘ übergeben werden, wo sie dann mit einer Formel zu addieren sind. Hierzu muss zunächst die Wahlmöglichkeit zwischen ‚Flows/Transitions‘ und ‚Links‘ im oberen Fensterbereich auf ‚Links‘ gestellt werden. Zeigen Sie anschließend auf die Variable ‚Flatrate‘. Daraufhin erscheint ein Pfeil, den Sie auf die Flussgröße ‚Auszahlungen‘ ziehen. Sollte kein Pfeil erscheinen, haben Sie vermutlich vergessen, ‚Links‘ auszuwählen. Erstellen Sie eine weitere Informationsverbindung von ‚Andere Ausgaben‘ zu ‚Auszahlungen‘.

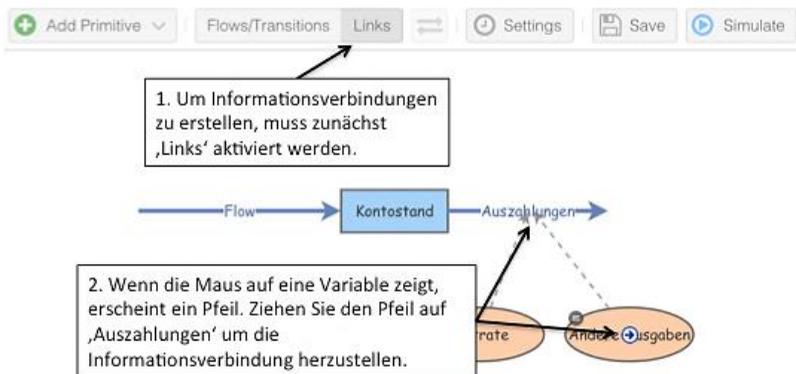


Abbildung 7: Erstellen von Informationsverbindungen.

Markieren Sie jetzt ‚Auszahlungen‘ und klicken Sie im rechten Fensterbereich bei der Eigenschaft ‚Flow Rate =‘ auf den Pfeil, woraufhin sich das Programmierfenster öffnet. Da Sie die Variablen ‚Kontostand‘, ‚Flatrate‘ und ‚Andere Ausgaben‘ mit dem aktuell markierten Objekt ‚Auszahlungen‘ verbunden haben, werden sie im rechten Fensterbereich unter ‚References‘ angezeigt. Durch Anklicken einer Variable erscheint sie im Formeleditor. Klicken Sie also auf ‚Andere Ausgaben‘, geben dann ein ‚+‘ zur Addition ein und klicken dann noch auf ‚Flatrate‘. Sie können die Variablennamen auch direkt eingeben, müssen dann den Namen aber in eckigen Klammern schreiben.

Weiterhin sind nur die Variablen verwendbar, die mit einer Informationsverbindung mit dem aktuellen Objekt verbunden sind. Weiterhin steht im Programmierfenster eine Vielzahl von Funktionen zur Verfügung, die für das vorliegende einfache Modell jedoch nicht benötigt wird. Sie speichern Ihre Änderungen mit ‚Apply‘.

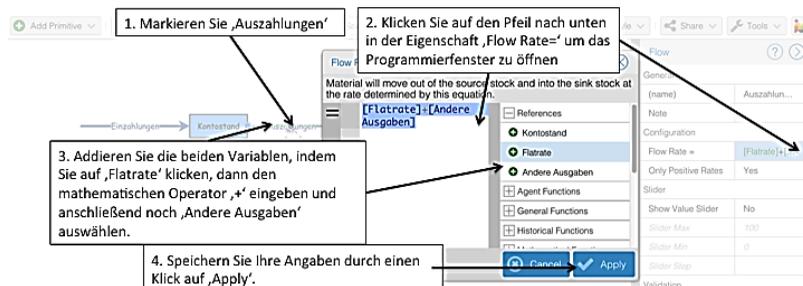


Abbildung 8: Eingabe von Formeln I.

Die Ergänzung des Modells um die Einzahlungen gestaltet sich zunächst analog. Erstellen Sie die Variablen ‚Taschengeld‘ mit einem Wert von 40 und ‚Verdienst‘ mit 30. Verbinden Sie diese Variablen mittels einer Informationsverbindung dann mit der Flussgröße ‚Einzahlungen‘. Bevor die ‚Einzahlungen‘ berechnet werden können, sind noch die Zinsen zu berücksichtigen. Erstellen Sie dazu die Variable ‚Zinssatz‘ und tragen als Wert ‚2.5‘ ein. Achten Sie darauf, dass - wie in amerikanischen Programmen üblich - das Dezimaltrennzeichen kein Komma, sondern ein Punkt ist. Erstellen Sie nun noch die Variable ‚Zinsen‘. Die Zinsen sind abhängig von dem Kontostand und dem Zinssatz. Ziehen Sie deswegen Informationspfeile von ‚Zinssatz‘ und ‚Kontostand‘ auf ‚Zinsen‘. Nun können Sie das Formelfenster von ‚Zinsen‘ öffnen und die Formel eingeben: ‚([Kontostand]*[Zinssatz]/12)/100‘. Die Division durch 12 ist nötig, da sich der Zinssatz auf die Zeiteinheit eines Jahres

bezieht, während die restlichen Größen monatlich berechnet werden.⁴

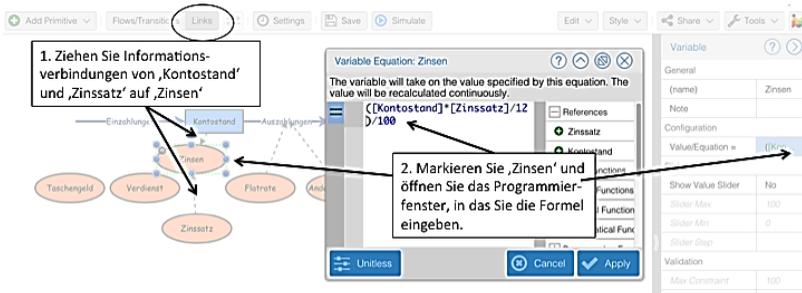


Abbildung 9: Eingabe von Formeln II.

Abschließend muss noch eine Informationsverbindung von ‚Zinsen‘ auf ‚Einzahlungen‘ gezogen und dort die Formel ‚[Taschengeld]+[Verdienst]+[Zinsen]‘ eingegeben werden.

Damit ist das Modell in seinen Grundzügen erstellt. Um bei den darauf basierenden Simulationsläufen die Auswirkungen von unterschiedlichen Modellparametern (insbesondere bezüglich des Zinssatzes und der Ausgaben) untersuchen zu können, sollten noch Schieberegler (engl. Slider) hinzugefügt werden. Markieren Sie dazu die Variable ‚Zinssatz‘, deren Zahlenwert mit einem Regler verändert werden soll. Stellen Sie dann im rechten Fensterbereich die Eigenschaft ‚Show Value Slider‘ auf ‚Yes‘ und definieren Sie sinnvolle Werte für den Höchstwert, Mindestwert und den Intervallschritt, etwa 10, 0 und 0.1. Berücksichtigen Sie dabei wieder, dass *Insight Maker* den Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet. Wenn Sie möchten, können Sie auch für weitere systemexogene Variablen (‚Taschengeld‘; ‚Verdienst‘; ‚Flatrate‘; ‚Andere Ausgaben‘) Schieberegler hinzufügen.

⁴ Zwar ist die Umrechnung von einem jährlichen Zinssatz auf einen monatlichen Zinssatz mit einer Division durch 12 mathematisch nicht ganz exakt, aber für den Zweck einer ersten Einführung ausreichend.

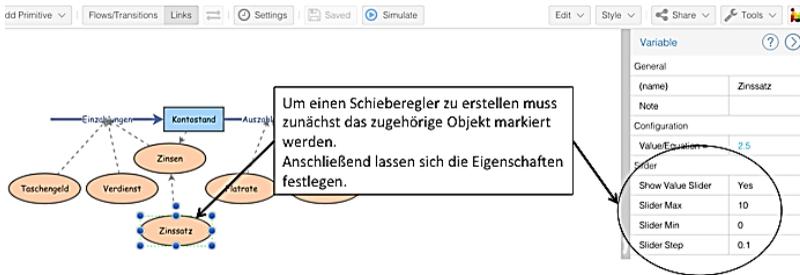


Abbildung 10: Definition von Schiebereglern.

Sollten Sie das Modell noch nicht gespeichert haben, klicken Sie nun auf die Schaltfläche ‚Save‘. Sie können in das sich öffnende Fenster neben einem Modelltitel auch eine ausführlichere Beschreibung und Stichworte eingeben, die anderen Anwendern das Finden Ihres Modells erleichtert. Dabei besteht die Möglichkeit, das Modell zu veröffentlichen oder es niemandem zugänglich zu machen.

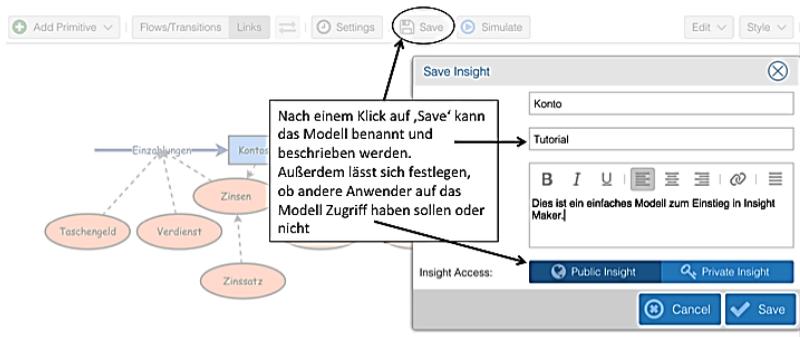


Abbildung 11: Speichern und Beschreiben eines Modells.

3.3 Simulation des Modells

Nachdem das Modell in seiner Grundstruktur erstellt ist, kann es simuliert werden. Klicken Sie dazu auf die Schaltfläche ‚Simulate‘. Daraufhin erscheint ein Fenster, in dem die Simulationsergebnisse als Diagramm dargestellt werden. Durch einen Klick auf den Button ‚Configure‘ können Sie das Diagramm verändern. Hier ist durch eine entsprechende Auswahl auf ‚Legend Position‘ eine Legende integrierbar. Weiterhin lassen sich in diesem Fenster unter anderem der Diagrammtyp definieren, im Diagramm anzuzeigende Größen auswählen und eine Sekundärachse festlegen. Lassen Sie sich eine Legende und die Elemente ‚Kontostand‘, ‚Taschengeld‘, ‚Verdienst‘, ‚Zinsen‘, ‚Einzahlungen‘ und ‚Auszahlungen‘ im Diagramm anzeigen.

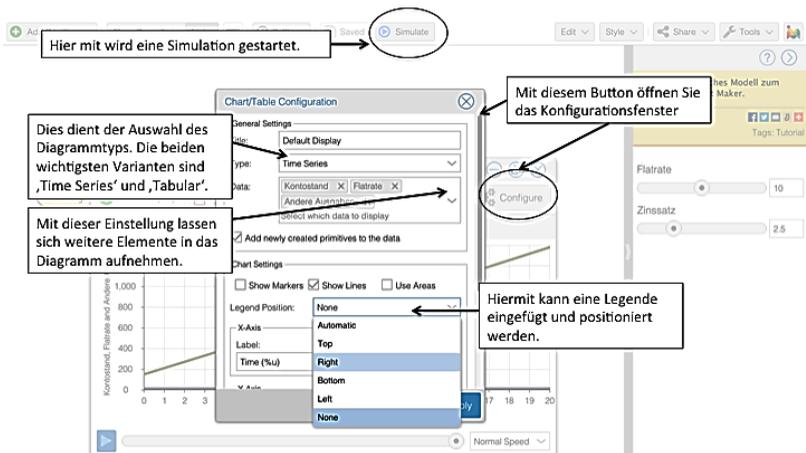


Abbildung 12: Definition des Simulationsfensters

Die Anzeige der Legende ist nicht nur wichtig, um das Diagramm besser interpretieren zu können, sondern erlaubt auch ein einfaches Ein- und Ausblenden von Variablen im Diagramm. So brauchen Sie nur auf das entsprechende Legendenelement zu klicken und das zugehörige Diagrammobjekt wird ein- oder ausgeblendet, was zu aussagekräftigen Diagrammen führt.

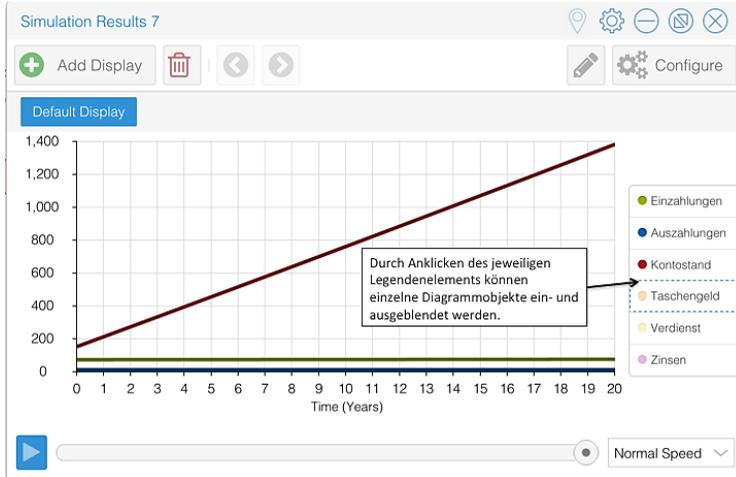


Abbildung 13: Ein- und Ausblenden von Informationen im Simulationsfenster.

Je nach Erkenntnisinteresse sind unterschiedliche Diagramme bedeutsam. Vor diesem Hintergrund ist die Möglichkeit attraktiv, mehrere Diagramme mit ‚Add Display‘ im Simulationsfenster zu definieren.

Abbildung 14: Erstellen mehrerer Simulationsdiagramme.

Bemerkenswert ist, dass mit jedem Simulationslauf die zugehörigen Parameter gespeichert werden und dass mehrere Simulationsfenster gleichzeitig geöffnet sein können. Dies ermöglicht einen unmittelbaren Vergleich unterschiedlicher Szenarien. Wenn Sie beispielsweise den Einfluss des Ausgabeverhaltens auf den Kontostand eruieren möchten, können Sie zunächst die ‚Anderen Ausgaben‘ mit dem Schieberegler auf einen niedrigen Wert setzen und eine Simulation laufen lassen. Anschließend erhöhen Sie die ‚Anderen Ausgaben‘ und führen eine erneute Simulation durch. Die beiden Fenster zeigen nun die entsprechenden Verläufe an. Selbstverständlich können auch mehrere Parameter gleichzeitig verändert werden.

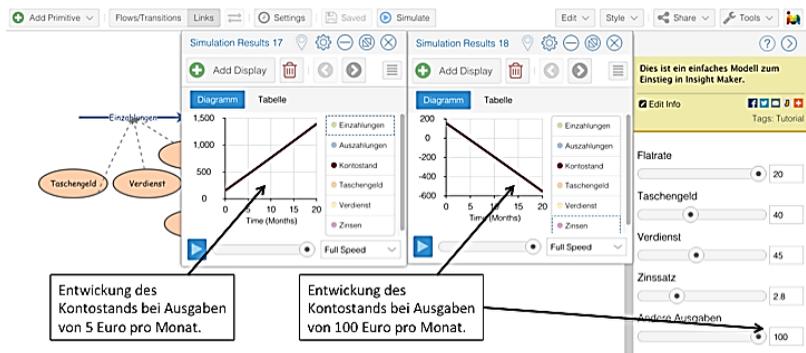


Abbildung 15: Analyse von Szenarien mittels mehrerer Simulationsfenster.

Eine weitere interessante Möglichkeit der Darstellung von Simulationsergebnissen besteht darin, eine bestimmte Simulation durch Anklicken des Symbols  mit dem Modell zu verknüpfen. Wenn Sie dann mit der Maus auf ein Objekt des Modells zeigen, wird darüber seine Entwicklung im Zeitverlauf angezeigt.

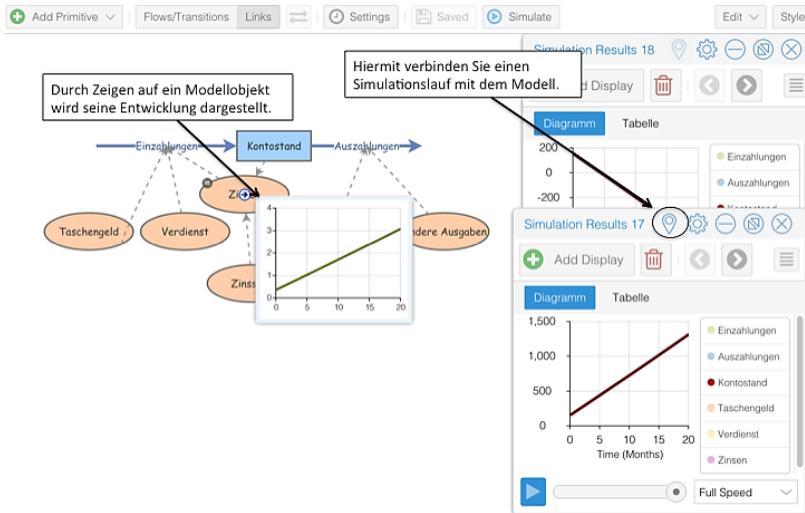


Abbildung 16: Verbindung eines Simulationslaufs mit dem Modell.

Wenn Sie eine Verknüpfung zwischen Modell und einem Simulationslauf hergestellt haben, können Sie übrigens die Schieberegler verändern und die veränderten Ergebnisse werden sofort im Simulationsfenster angezeigt. So lassen sich sehr schnell und intuitiv unterschiedliche Szenarien untersuchen.

Schließlich sind noch die Simulationseinstellungen bedeutsam, die über den Button ‚Settings‘ aufgerufen werden. So lässt sich die Anzahl der Simulationsperioden verändern. Dies bietet sich insbesondere bei Modellen mit exponentiellem Wachstum an. Wenn Sie die Simulationszeit auf 1000 erhöhen und eine Simulation laufen lassen, wird das exponentielle Wachstum des Kontostands aufgrund der Zinseszinsseffekte deutlich.

Standardmäßig ist die Simulationsdauer auf die Einheit eines Jahres gesetzt. Da eine Simulationsperiode im vorliegenden Modell jedoch einem Monat entspricht, sollten Sie hier ‚Months‘ auswählen. Erwähnenswert ist noch die Möglichkeit, die Simulation immer wieder zu pausieren. Wenn Sie bei der Option ‚Pause Interval‘ einen Wert eingetragen haben, können Sie im

Simulationslauf zu den Pausen jeweils die Modellparameter verändern. Hierfür werden dann im Simulationsfenster Schieberegler angezeigt.



Abbildung 17: Festlegen der Simulationseinstellungen.

4. Typische Probleme von Neuanwendern

Wenn Anwender mit einer für sie neuen Software arbeiten, ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sie gelegentlich auf Hürden stoßen. Nachstehend sind typische Probleme angeführt, die eine Lehrkraft kennen sollte, um gedanklich vorbereitet zu sein und bei Bedarf schnell helfen zu können:

Problem	Lösung
Man möchte eine Informationsverbindung erstellen, aber in der Variable erscheint kein Pfeil.	Hierfür muss im oberen Fensterbereich der Schalter ‚Flows/Transitions‘ und ‚Links‘ auf ‚Links‘ gestellt sein.
Eine Flussverbindung kann nicht erstellt werden.	Zunächst ist zu berücksichtigen, dass Flussverbindungen in Bestandsgrößen fließen beziehungsweise aus ihnen herausfließen können. Mit Variablen ist das nicht möglich. Weiterhin kann die Ursache darin begründet liegen, dass der Schalter im oberen Fensterbereich ‚Flows/Transitions‘ und ‚Links‘ nicht auf ‚Flows/Transitions‘ gestellt ist.
Es lassen sich zwar Abflüsse aber keine Zuflüsse definieren.	Mit dem Symbol  im oberen Bearbeitungsbereich kann die Richtung eines markierten Flusses oder Informationspfeils geändert werden.
Eine Zahl mit Nachkommastelle wird falsch interpretiert beziehungsweise liefert eine Fehlermeldung.	Das Dezimaltrennzeichen ist der Punkt, nicht das Komma.
Der rechte Fensterbereich mit den Objekteigenschaften oder Schiebereglern wird nicht angezeigt.	Der Bereich wurde vermutlich ausgeblendet und kann mit dem Pfeil  wieder eingeblendet werden.
Bei einem fremden Modell (zum Beispiel aus diesem Buch) kann die Programmierung von Objekten nicht betrachtet oder geändert werden.	Fremde Modelle lassen sich nur betrachten und simulieren. Um das Programmierfenster zu öffnen, muss mit der Maus zunächst auf das entsprechende Objekt gezeigt und dann auf das dort erscheinende Gleichheitszeichen geklickt werden. Bei Tablets ist stattdessen

	<p>etwas länger auf das Objekt zu drücken.</p> <p>Um die Programmierung verändern zu können, muss das Modell mit ‚Clone Insight‘ kopiert werden (vgl. Abschnitt 5.3).</p>
<p>‚Konstante‘ werden wie ‚Variable‘ als Ellipse dargestellt und nicht als Raute.</p>	<p>Dies ist die in <i>Insight Maker</i> übliche Darstellungsform. Sie kann jedoch geändert werden, indem zunächst das Objekt markiert und seine Form dann über ‚Style/Fill/Shape/Diamond‘ geändert wird.</p>
<p>Die Programmierung einer Variablen kann nicht betrachtet werden.</p>	<p>Um die Programmierung angezeigt zu bekommen, muss mit der Maus auf die Variable gezeigt werden. Daraufhin erscheint oben links an der Variablen ein Gleichheitszeichen (=), auf das zu klicken ist.</p> <p>Bei Tablets ist stattdessen länger auf die Variable zu klicken.</p>
<p>Im Programmierfenster steht eine andere Modellgröße (zum Beispiel: Variable, Bestandsgröße) nicht zur Verfügung.</p>	<p>Damit eine Modellgröße in der Programmierung verwendet werden kann, muss eine Informationsverbindung von dieser Größe auf die aktuelle Größe erstellt sein. Wenn dies scheinbar der Falls sein sollte, könnte es daran liegen, dass die Verbindung nicht richtig hergestellt wurde. Dann sollte eine neue Informationsverbindung erstellt und dabei darauf geachtet werden, dass das Zielobjekt auch ‚getroffen‘ wird (erkennbar durch einen erscheinenden grünen Rahmen).</p>

Tabelle 3: Häufige Probleme.

5. Fortgeschrittene Optionen

5.1 Weitere Objekttypen

Neben Objekten, die für die Funktionalität von Modellen von Bedeutung sind (Bestandsgrößen, Flussgrößen, Variablen, Verbindungspfeile der System-Dynamics-Notation und ‚Agent Population‘, ‚State‘ und ‚Action‘ im Rahmen des agentenbasierten Modellierparadigmas, das hier nicht weiter erläutert wird), kann das Erscheinungsbild von Modellen mit weiteren Objekttypen angereichert werden, die sich wie andere Objekte auch über den Button ‚Add Primitives‘ oder das Kontextmenü hinzufügen lassen:

- Text: Hiermit wird ein Textplatzhalter kreiert, der mit beliebigem Text gefüllt und frei im Modell positioniert werden kann.
- Bilder: Durch Auswahl von ‚Create Picture‘ wird ein Standardbild eingefügt. Dieses kann über den Button ‚Style/Primitive Picture‘ durch eine Auswahl vorhandener Bilder oder durch einen Link auf ein im Internet gespeichertes Bild ersetzt werden. Nicht möglich ist hingegen, ein Bild über die Zwischenablage in das Modell einzufügen.
- Schaltflächen: Mit Schaltflächen lässt sich das Modell interaktiver gestalten, indem bei der Eigenschaft ‚Action‘ eines Buttons Programmiercode in JavaScript eingegeben wird.
- Ghost Primitive: Wenn eine Variable oder eine Bestandsgröße ihre Information an ein räumlich weiter entfernt liegendes Objekt weitergeben soll, kann dies bei umfangreichen Modellen schnell unübersichtlich werden. In solchen Situationen bietet sich an, eine Art Kopie des Quellobjekts zu erstellen und nah an das Zielobjekt zu setzen. Eine solche Kopie, die immer den gleichen

Wert des Ursprungsobjekts hat, wird erstellt, indem zunächst das Ursprungsobjekt markiert und anschließend auf ‚Add Primitive‘/‚Add Ghost‘ geklickt wird.

- Ordner: In Ordnern können sowohl Elemente eines Modells beziehungsweise Teilmodelle als auch andere Objekte wie etwa Texte zusammengefasst und mit einem Mausklick ein- und ausgeblendet werden. Dadurch lassen sich Modelle kompakter und übersichtlicher darstellen.

5.2 Bearbeitungs- und Formatierungsmöglichkeiten

Markierte Objekte können wie in vielen anderen Programmen auch mit den Tastenkombinationen STRG⁵+C in die Zwischenablage kopiert und mit STRG+V wieder eingefügt werden. Alternativ zu der Tastenkombination kann dies über die Schaltfläche ‚Edit‘ erfolgen. Dort bestehen unter anderem die Möglichkeiten, die letzten Aktionen über ‚Undo‘ rückgängig zu machen, die Darstellungsgröße des Modells über ‚Zoom‘ zu ändern oder das Modell auszudrucken.

Um die Formatierung beziehungsweise das Aussehen von Objekten zu ändern, müssen sie zunächst markiert werden. Ein einzelnes Objekt wird durch einen Mausklick markiert. Mehrere zusammenliegende Objekte können am schnellsten markiert werden, indem mit der Maus ein Rechteck darum gezogen wird. Sollen mehrere Objekte hingegen sehr gezielt ausgewählt werden, können sie mit gedrückter STRG-Taste (beziehungsweise CMD-Taste bei Mac-Systemen) angeklickt und somit markiert werden.

Die Formatierungseinstellungen sind über den Button ‚Style‘ oder das Kontextmenü erreichbar. Dort lassen sich die üblichen Einstellungen vornehmen, etwa bezüglich der Schrift, der Linien und der Füllfarben. Weiterhin finden sich dort unter ‚Align‘

⁵ Bei Apple-Systemen wird in der Regel statt der STRG-Taste die CMD-Taste verwendet.

Möglichkeiten, die Beschriftung der Objekte festzulegen, sodass der Name einer Variable beispielsweise unterhalb der Ellipse angezeigt wird.

Wichtig ist insbesondere die Möglichkeit, die Form von Objekten zu verändern, sodass sie gemäß der üblichen System-Dynamics-Notation dargestellt werden können. Dort wird eine Variable mit festem Wert (also in gewisser Hinsicht eine Konstante) mit einer Raute dargestellt. Die entsprechende Option findet sich unter ‚Style/Fill/Shape/Diamond‘.

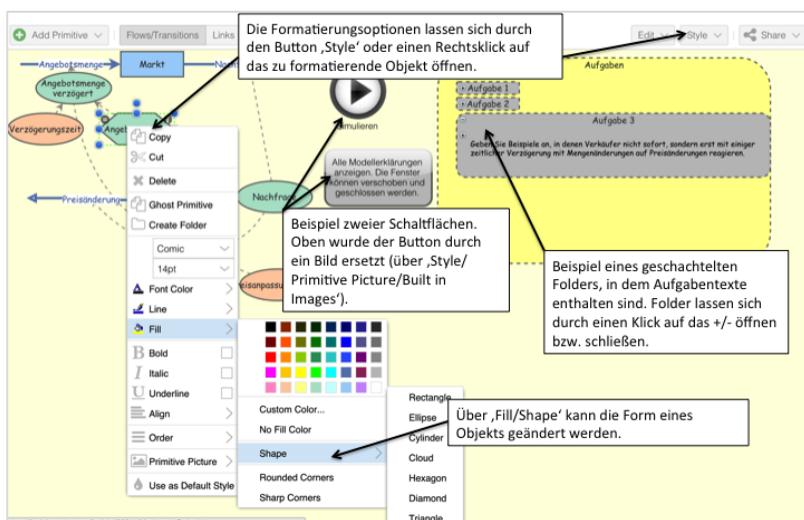


Abbildung 18: Folder, Buttons und Formatierungsmöglichkeiten.

Ein Modell kann durch Integration von Bildern optisch ansprechender gestaltet werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Übersichtlichkeit nicht leidet. Hierfür ist ein beliebiges Objekt zu markieren und dann über ‚Style/Primitive Picture‘ auszuwählen. Hierbei gibt es zwei Optionen: Über ‚Built-In Images‘ kann ein Bild aus der Standardgalerie eingefügt werden, während über ‚Custom Image‘ der Bezug zu einem beliebigen Bild aus

dem Internet gesetzt wird. Letzteres geht mit einer großen Vielfalt einher, wobei zu berücksichtigen ist, dass das Bild an der Quelle verändert oder gelöscht werden kann und dann in *Insight Maker* nicht mehr in der ursprünglichen Form zur Verfügung steht. Wenn also die dauerhafte Verfügbarkeit eines Bilds nicht gewährleistet ist, sollte diese Option zurückhaltend eingesetzt werden.

An einem ausgewählten Objekt werden Markierungspunkte angezeigt. Indem diese verschoben werden, lässt sich seine Größe verändern. Mithilfe des zusätzlichen Markierungspunkts, leicht außerhalb des Objekts, kann es auch gedreht werden.

Verbindungslinien sehen in der Regel ansprechender aus, wenn sie nicht gerade, sondern gebogen sind. Wenn eine Verbindungslinie bei gedrückter Shift-Taste angeklickt wird, erhält sie einen Bewegungspunkt. Dieser kann verschoben werden, sodass die Linie eine Krümmung erhält.

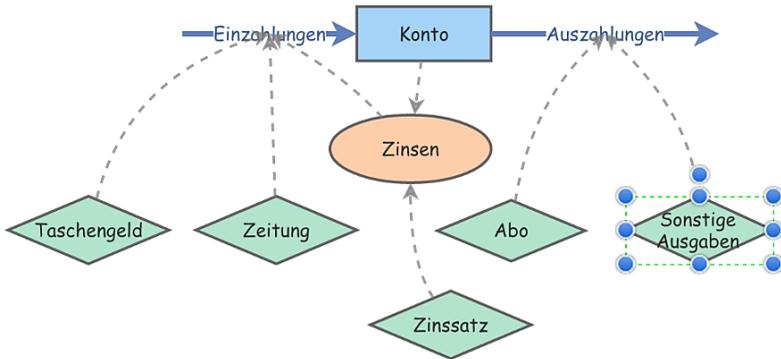


Abbildung 19: Das Beispielsmodell mit gebogenen Verbindungslinien und geänderter Form und Farbe der Konstanten.

5.3 Arbeit mit eigenen und fremden Modellen

Mit *Insight Maker* erstellte Modelle können gesucht, gelöscht, kopiert, exportiert, veröffentlicht und von mehreren Anwendern gemeinsam bearbeitet werden:

- Um Modelle von anderen Entwicklern zu betrachten beziehungsweise sie nach einem Kopiervorgang auch zu bearbeiten, können sie nach ihrem Titel oder nach Stichwörtern gesucht werden. Dazu ist im Startfenster auf ‚Explore Insights‘ zu klicken und dann entweder der Suchbegriff einzugeben oder ein Begriff in der Schlagwortliste anzuklicken.

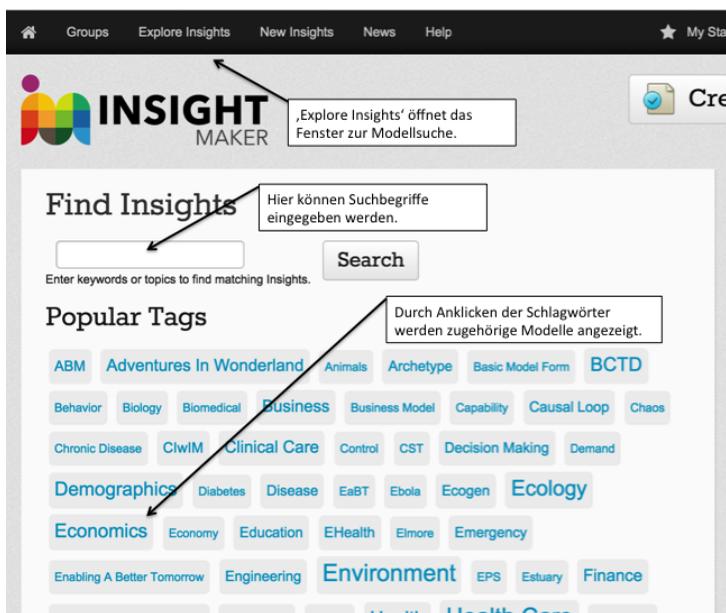


Abbildung 20: Suchen fremder Modelle.

- Um ein Modell zu löschen, ist es zunächst zu öffnen. Anschließend muss auf den Link ‚Delete Insight‘ oben links im Fenster geklickt werden.
- Analog lässt sich ein Modell kopieren. Nachdem es geöffnet wurde, ist der Link ‚Clone Insight‘ oben rechts zu wählen und ein neuer Name zu vergeben. Wichtig ist, dass sich nicht nur eigene, sondern auch fremde Modelle kopieren lassen. Fremde Modelle lassen sich zunächst nur simulieren. Um sie genauer analysieren und auch verändern zu können, müssen sie zunächst kopiert werden und lassen sich dann wie ein eigenes Modell bearbeiten.

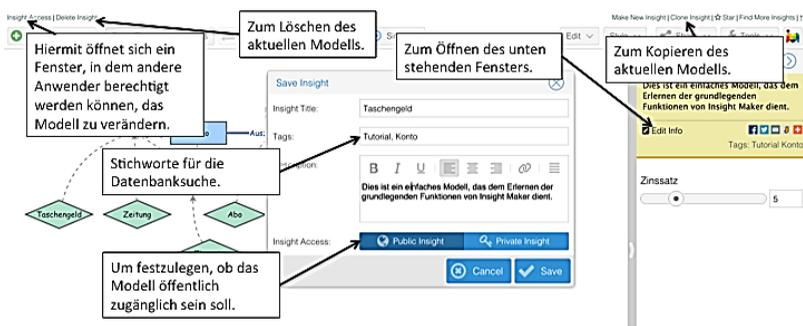


Abbildung 21: Veröffentlichen eines Modells.

- Ob ein Modell für die Öffentlichkeit zugänglich sein soll, kann über den Link ‚Edit Info‘ im rechten Fensterbereich festgelegt werden. Wird in dem erscheinenden Fenster ‚Private Insight‘ aktiviert, ist es nicht zugänglich, während mit ‚Public Insight‘ das Modell für andere Anwender von *Insight Maker* verfügbar wird. Damit es im Rahmen einer Datenbanksuche besser gefunden werden kann, bietet sich neben einer kurzen Erläuterung des Modells an, Stichworte unter ‚Tags‘ einzugeben.

- Private Modelle können bestimmten Nutzern gezielt zugänglich gemacht werden, indem oben links auf ‚Insight Access‘ geklickt und dann der jeweilige Nutzernamen unter ‚Allow view Access‘ eingetragen wird. Soll das Modell auch verändert werden können, ist der Name zusätzlich noch unter ‚Allow Update Access‘ anzuführen.
- Modelle lassen sich in beliebige Websites integrieren, sodass sie nicht über www.insightmaker.com aufgerufen werden müssen. Mit ‚Share/Embed in Webpage‘ wird ein HTML-Code generiert, der kopiert und in die Website eingefügt werden kann. Weiterhin kann die HTML-Adresse im Adressfeld des Browsers kopiert und in Websites integriert oder anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Allerdings lässt sich das Modell nur betrachten, wenn es öffentlich ist (über ‚Edit Info‘ zu ändern) oder der Betrachter die Zugriffsrechte bekam (über ‚Insight Access‘ zu vergeben).
- Die Exportfunktion über ‚Share/Export/Complete Equation List‘ ist hilfreich zur Dokumentation eines Modells. Damit werden alle Variablen, Fluss- und Bestandsgrößen inklusive ihrer Werte angezeigt, die sich über die Zwischenablage in andere Anwendungen kopieren und weiterbearbeiten lassen.

5.4 Hinweise zur weiteren Vertiefung

Die bisherigen Ausführungen sollten genügen, um viele Sachverhalte mit *Insight Maker* modellieren zu können. Darüber hinaus stellt *Insight Maker* eine Reihe weiterer Funktionalitäten zur Verfügung, von denen einige in diesem Abschnitt zumindest kurz erwähnt werden sollen. Bei Interesse lässt sich dies mittels des Hilfesystems (vgl. Abschnitt 5.5) und ein wenig Experimentierfreude eigenständig erschließen.

- Gruppen: Die Mitglieder einer Gruppe können nicht nur gemeinsam an Modellen arbeiten,⁶ sondern mittels eines Forums sich auch gezielt dazu austauschen. Da diese Funktionalität die Zusammenarbeit unterstützt, ist sie für das gemeinsame Lernen in Schulklassen durchaus hilfreich. Allerdings ist für das Erstellen einer Gruppe eine kostenpflichtige Mitgliedschaft notwendig.
- Storytelling: Modelle können verwendet werden, um im Rahmen einer ‚Story‘ schrittweise einen Sachverhalt zu erläutern. Dabei können zunächst nur Teile des Modells gezeigt und erklärt werden, das dann zunehmend komplexer wird. Diese Darstellung lässt sich dann als statische Website online stellen.
- Agent-Based-Modeling (ABM): Mit *Insight Maker* können Sachverhalte nicht nur mit der System-Dynamics-Methode modelliert werden, sondern auch mit ABM, wobei sich beide Ansätze innerhalb desselben Modells kombinieren lassen. Der Grundgedanke des ABM besteht darin, dass keine festen Systemstrukturen wie etwa in System Dynamics vorgegeben werden, sondern viele einzelne Akteure mittels Regeln und Wahrscheinlichkeiten so programmiert werden, dass sie individuelles Entscheidungsverhalten aufweisen. Hieraus können auf Systemebene überraschende Effekte emergieren beziehungsweise hervorgehen.
- Programmiermöglichkeiten: Neben zahlreichen eingebauten Funktionen können auch eigene Funktionen programmiert werden. Darüber hinaus versteht *Insight Maker* auch JavaScript-Code, der sich in Variablen und Buttons integrieren lässt.
- Sensitivitätsanalysen: Vielfach sind bestimmte Modellparameter nicht genau bekannt oder schwanken zufällig um einen Wert, beispielsweise die Nachfrage der

⁶ Dies geht alternativ durch die Vergabe von Veränderungsrechten.

Kunden nach einem Produkt. Mittels Sensitivitätsanalysen können zahlreiche Simulationsläufe automatisiert durchgeführt und ausgewertet werden, sodass der Grad der Robustheit des Modellverhaltens in Abhängigkeit von Parameterveränderungen deutlich wird.

- Optimierungen: Mittels der Optimierungsfunktionalität von *Insight Maker* können ein Zielwert und Parameter festgelegt werden, die den Zielwert beeinflussen. Dann wird automatisch analysiert, wie die Parameter sein sollten, um das Ziel zu erreichen. Soll beispielsweise in einem Marketingmodell die Zielgröße ‚Gewinn‘ maximiert werden, könnte untersucht werden, wie die Parameter ‚Produktpreis‘ und ‚Werbung‘ hierfür eingestellt werden sollten.

5.5 Hilfesystem

Unter <https://insightmaker.com/help> steht ein hypertextbasiertes Handbuch zur Verfügung, in dem die Funktionalitäten von *Insight Maker* detailliert erläutert werden.

Ergänzend hierzu ist die Seite <https://kumu.io/stw/insight-maker> erwähnenswert. In einer Art Mindmap werden dort die wichtigsten Aspekte der Software dargestellt. Durch Anklicken der Knotenpunkte werden Screencasts geöffnet, in denen das jeweilige Thema anschaulich erläutert wird.

Besonders hervorzuheben ist das Forum (<https://getsatisfaction.com/insightmaker/>), in dem die Entwickler und Nutzer von *Insight Maker* zeitnah auf Fragen, Wünsche und Probleme antworten.

Mittels der bisherigen Erläuterungen, des Hilfesystems und ein wenig Experimentierfreude sollte es nicht schwer fallen, sowohl mit den Lernumgebungen des Buchs und den öffentlich verfügbaren Modellen von *Insight Maker* zu arbeiten als auch eigene Fragestellungen mit der Software zu modellieren und dadurch besser zu verstehen.

Holger Arndt

Generische Strukturen und Systemarchetypen¹

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit systemischem Denken lassen sich generische Strukturen als dynamische Feedbacksysteme verstehen, die sich in vielen unterschiedlichen Situationen finden (vgl. Paich 1985, 127). Entsprechend weist die Auseinandersetzung mit generischen Strukturen ein hohes Transferpotenzial auf, da sowohl ihre Verhaltensweisen und Systemlogik als auch zugehörige Handlungsempfehlungen trotz unterschiedlicher Rahmenbedingungen ähnlich sind.

In diesem Artikel werden wichtige generische Strukturen sowohl verbal als auch mit Wirkungsdiagrammen und System-Dynamics-Modellen, die auf der Website des Buchs verlinkt sind, beschrieben. Sie helfen nicht nur dabei, typische Strukturen in verschiedenen Systemen zu identifizieren, sondern können auch als Orientierung bei der Entwicklung eigener Modelle dienen. Dabei lassen sich die zur Verfügung gestellten System-Dynamics-Modelle auch als Ausgangsbasis für eigene Modelle verwenden, was den Modellierungsprozess für weniger erfahrene Anwender abzukürzen vermag.

Zunächst werden zwei Strukturen vorgestellt, die sich einem bestimmten Zielwert annähern. Der zweite Modelltyp unterscheidet sich durch eine Verzögerung, woraus sich ein oszillierendes Verhalten des Systems ergibt. Anschließend sind systemische Strukturen erörtert, die unterschiedliche Varianten des Wachstums aufweisen. Auf die Darstellung von Systemen

¹ Die Ausführungen dieses Artikels sind weitgehend aus Arndt (2016) entnommen.

ohne Wachstumsgrenze (lineares und exponentielles Wachstum) folgen die in der Realität deutlich häufiger anzutreffenden Varianten von Systemen, deren Wachstum limitiert ist. Das Wachstum realer Gegenstände ist in einer Welt endlicher Ressourcen selbstverständlich nicht unbegrenzt möglich. Insofern stoßen Wachstumsprozesse in der Regel nach einer gewissen Zeit an Grenzen, was insbesondere für exponentielles Wachstum gilt. Die Systemelemente, die das Wachstum einschränken, können konstant sein, aber auch zu- oder abnehmen. Weiterhin ist möglich, dass die Wachstumsgrenze erst mit einer Zeitverzögerung wirkt. Abhängig von diesen Eigenschaften der Wachstumsgrenzen ergeben sich unterschiedliche Konsequenzen für die Entwicklung des Wachstums. Entsprechend werden sowohl das logistische beziehungsweise S-förmige Wachstum mit und ohne Zeitverzögerung als auch das Wachstum mit Überschuss und Zusammenbruch, das die Struktur eines Räuber-Beute-Systems aufweist, vorgestellt. Neben diesen generischen Strukturen sind auch sogenannte Archetypen von Bedeutung, die vor allem durch Peter Senge bekannt gemacht wurden. Hierbei handelt es sich überwiegend um Systeme, die einige der erläuterten generischen Strukturen enthalten und typische Verhaltensweisen von Individuen und Organisationen beschreiben. Als wesentliche Archetypen hat Senge identifiziert:

- Gleichgewichtsprozess mit Verzögerung
- Grenzen des Wachstums
- Problemverschiebung
- Verschiebung des Problems auf den Intervenierenden
- Erodierende Ziele
- Eskalation
- Erfolg den Erfolgreichen
- Tragödie der Gemeingüter

- Fehlkorrekturen
- Wachstum und Unterinvestition (vgl. Senge 2011)²

Exemplarisch werden in den beiden letzten Abschnitten dieses Artikels die Archetypen ‚Eskalation‘ und ‚Erfolg den Erfolgreichen‘ vorgestellt.

2. Zielwertannäherung

Eine der grundlegendsten Systemstrukturen sucht ein bestimmtes Ziel zu erreichen beziehungsweise eine Soll-Ist-Diskrepanz zu überwinden. Hierfür werden bestimmte Maßnahmen zur Veränderung des Ist-Zustands eingeleitet. Häufig wird das Ziel nicht sofort erreicht, sondern erst nach mehreren Zeiteinheiten und Korrekturmaßnahmen. Abbildung 1 zeigt das zugehörige Wirkungsdiagramm, aus dem hervorgeht, dass diese Struktur eine ausgleichende Schleife bildet:

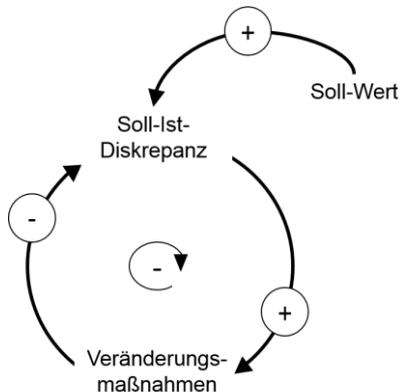


Abbildung 1: Soll-Ist-Diskrepanz/Veränderungsmaßnahme.

² Vertiefende Informationen zu Archetypen finden sich in Wolstenholme, Eric F. (2003): Towards the definition and use of a core set of archetypal structures. In: System Dynamics Review, 19(1)/2003, S. 7–26, der bekannte Archetypen systematisiert und auf wenige Grundstrukturen reduziert.

Die Reduzierung der Soll-Ist-Diskrepanz kann in gleich großen Schritten erfolgen. Beispiele hierfür wären:

- Ein bestimmter Geldbetrag wird benötigt, ist jedoch noch nicht vollständig verfügbar. Die Differenz wäre die Soll-Ist-Diskrepanz, die durch eine gleichmäßige monatliche Ersparnis überwunden werden soll, bis der Betrag verfügbar ist.
- Um ein 100 Meter entferntes Ziel zu erreichen, geht man in konstanter Geschwindigkeit in die entsprechende Richtung.

Häufig reduziert sich die Soll-Ist-Diskrepanz jedoch nicht in gleich großen Schritten, sondern hängt von der verbleibenden Größe dieser Diskrepanz ab. Entsprechend sind die Anpassungen zu Beginn größer und werden mit zunehmender Zielerreichung kleiner. Derlei ergibt sich unter anderem aufgrund des Pareto-Prinzips und des abnehmenden Grenznutzens vieler Phänomene. Beispiele für diese Art sind:

- Das Lernen von Vokabeln mag zunächst recht schnell gehen und verlangsamt sich dann, weil die vorher gelernten Vokabeln wiederholt werden müssen.
- Den Marktanteil zu erhöhen beziehungsweise einen bestimmten Marktanteil zu erreichen, dürfte am Anfang noch recht gut gehen. Manche Kundengruppen können vermutlich recht schnell vom Produkt überzeugt werden, während skeptischere Kunden schwieriger zu gewinnen sein dürften und eventuell mehrere Ansprachen oder attraktivere Angebote benötigen.
- Prozesse radioaktiven Verfalls zeichnen sich durch eine spezifische Halbwertszeit aus. Dabei zerfällt immer die Hälfte des Materials in einem bestimmten Zeitraum. Der ‚Zielzustand‘ ist in dieser Situation 0, da (fast) das ganze Material zerfällt.

- Das Abkühlen einer Kaffeetasse entspricht der Annäherung an die Umgebungstemperatur. Zu Beginn kühlt sich der Kaffee recht schnell ab, bei geringerer Temperaturdifferenz verlangsamt sich dies jedoch.
- Abbildung 2 zeigt das zugehörige System-Dynamics-Modell inklusive der Ergebnisse eines Simulationslaufs. Ausgehend von einem Ist-Wert und einem zu erreichendem Soll-Wert wird in jeder Periode die Soll-Ist-Diskrepanz errechnet. Dieser Wert wird zur Ermittlung der Veränderung des Ist-Werts mit einem Anpassungsfaktor multipliziert, der die Stärke der Anpassung zum Ausdruck bringt.

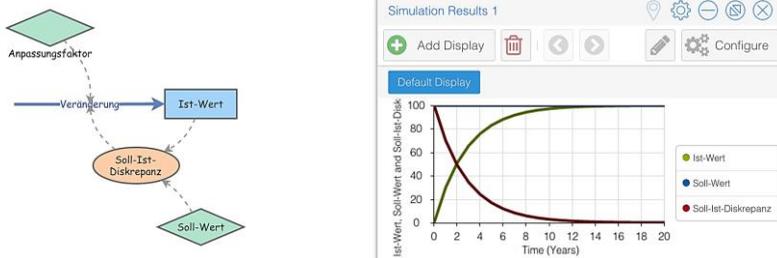


Abbildung 2: System-Dynamics-Modell zur Zielwertannäherung.

Auf der Website des Buchs ist auch das hier nicht dargestellte Modell verfügbar, in dem der Ist-Wert mit gleich großen Schritten erreicht wird.

3. Zielwertannäherung mit Verzögerung

Hierbei handelt es sich um eine Variante der oben dargestellten Struktur ‚Zielwertannäherung‘. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Maßnahme auf die aktuelle Soll-Ist-Diskrepanz nicht sofort, sondern erst mit einer gewissen Zeitverzögerung erfolgt. Dies kann darin begründet liegen, dass die jeweils aktuelle Soll-Ist-Diskrepanz erst verzögert wahrgenommen wird oder dass es eine gewisse Zeitspanne in Anspruch nimmt, bis sich die Maßnahme auswirkt.

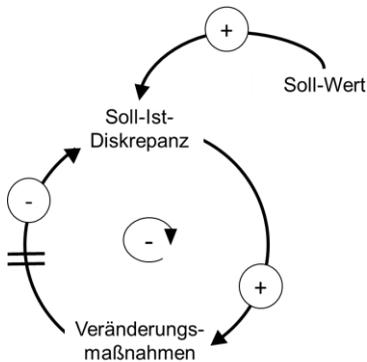


Abbildung 3 a: Verzögerte Wirkung einer Maßnahme.

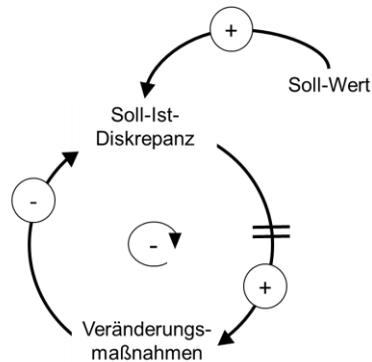


Abbildung 3 b: Verzögerte Reaktion auf eine Soll-Ist-Diskrepanz.

Nachstehend sind einige Beispiele von Systemen mit Verzögerungseffekten beziehungsweise von inadäquaten Verhaltensweisen aufgeführt, die aus der mangelnden Berücksichtigung dieser Verzögerungen resultieren:

- Der Konsum hochprozentiger alkoholhaltiger Getränke führt zunächst noch nicht zu dem Gefühl des Betrunkenseins, da es eine Weile dauert, bis der Alkohol resorbiert ist und seine Wirkungen wahrgenommen werden. Wenn sich die ersten Symptome des Trinkens dann bemerkbar machen, könnte in der Zwischenzeit bereits viel Alkohol im Körper sein, mit entsprechend schädlichen und unerwünschten Folgen (vgl. Sterman 2000, 695).
- Aufgrund hoher Preise für ein Produkt wird in den Ausbau von Produktionskapazitäten investiert. Bis sie zur Verfügung stehen, könnten die Preise bereits wieder gefallen sein. Dies ist insbesondere dann wahrscheinlich, wenn andere Unternehmer ebenfalls ihre Kapazitäten erhöht hatten und deswegen ein Überangebot auf dem Markt entsteht.

- Viele Duschen benötigen etwas Zeit, bis das Wasser die gewünschte Temperatur aufweist, da das warme Wasser zunächst innerhalb des Hauses transportiert werden muss und es gegebenenfalls durch die zunächst noch kalten Rohre abgekühlt wird. Die naheliegende Reaktion auf das kaum wärmer werdende Wasser liegt darin, den Heißwasserhahn weiter aufzudrehen. In der Konsequenz kann recht plötzlich sehr heißes Wasser aus der Dusche kommen (vgl. Senge 2011).
- Die Struktur eines solchen Systems führt in der Regel zu Oszillationen um den Zielwert herum. Ob dieser erreicht wird, hängt primär von der Verzögerungszeit und der Stärke der Maßnahme auf eine Diskrepanz ab. Deswegen empfiehlt Senge (2011) in solchen Systemen vorsichtig beziehungsweise zurückhaltend zu agieren, um die Gefahr einer Überreaktion zu reduzieren. Alternativ könnte versucht werden, das System so umzugestalten, dass sich die Verzögerungszeiten reduzieren.
- Das zugehörige System-Dynamics-Modell entspricht weitgehend dem des Archetyps ‚Zielwertannäherung‘. Es ist lediglich um die Variable ‚Soll-Ist-Diskrepanz verzögert‘ und die ‚Verzögerungszeit‘ ergänzt. Dies bewirkt, dass die aktuelle Soll-Ist-Diskrepanz erst nach mehreren Perioden (die Anzahl entspricht der eingestellten Verzögerungszeit) bei der Flussgröße ‚Veränderung‘ berücksichtigt wird. Je größer der Anpassungsfaktor oder die Verzögerungszeit, desto später wird das System ein Gleichgewicht finden beziehungsweise desto stärker wird es oszillieren. Wird eine Verzögerungszeit von 0 eingegeben, ist das Verhalten identisch mit dem des Systems ‚Zeitverzögerung‘.

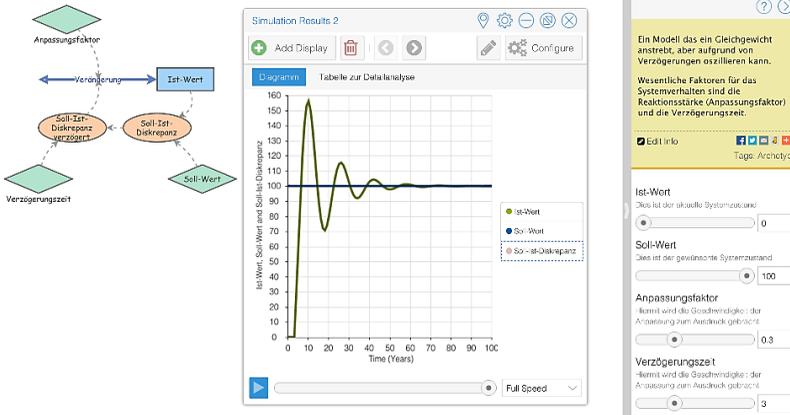


Abbildung 4: System-Dynamics-Modell zur Zielwertannäherung mit Verzögerung.

4. Lineares Wachstum

Lineares Wachstum zeichnet sich dadurch aus, dass eine Größe pro Zeiteinheit um einen konstanten Wert zunimmt. Diese einfache Form des Wachstums ohne Rückkopplungseffekte lässt sich gut antizipieren und bereitet in der Regel keine größeren Verständnisschwierigkeiten.

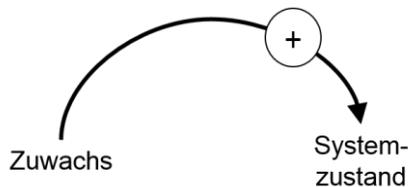


Abbildung 5: Lineares Wachstum.

Beispiele für lineares Wachstum:

- Man spart einen bestimmten Betrag pro Monat, ohne dass Zinsen erwirtschaftet werden, etwa weil das Geld nicht angelegt wird.
- Eine Person kauft sich jede Woche ein Buch.
- Die kumulierten beziehungsweise zusammengerechneten Kosten für die Miete einer Wohnung.

Auch das System-Dynamics-Modell des linearen Wachstums ist denkbar einfach. Während jeder Zeiteinheit fließt ein konstanter Betrag in die Bestandsgröße und erhöht sie entsprechend. Das zugehörige Diagramm ist eine Gerade mit positiver Steigung.

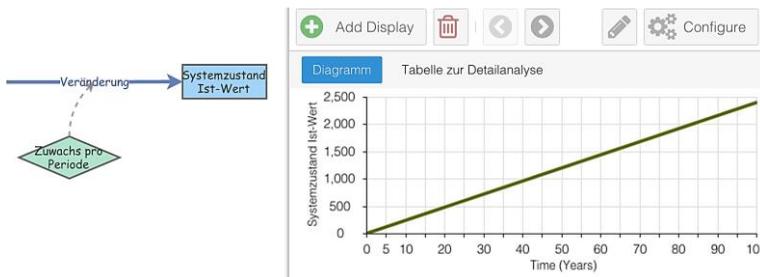


Abbildung 6: System-Dynamics-Modell zum linearen Wachstum.

5. Exponentielles Wachstum

Exponentielles Wachstum entsteht aus sich selbst verstärkenden Rückkopplungseffekten. Seine Einschätzung fällt im Allgemeinen sehr viel schwerer als bei linearem Wachstum.

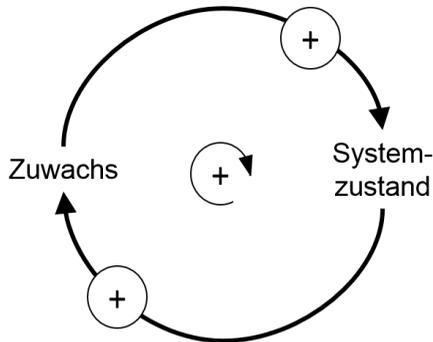


Abbildung 7: Exponentielles Wachstum.

Exponentielles Wachstum findet sich in vielen dynamischen Systemen, wenngleich es sich in der Regel nach einiger Zeit durch begrenzende Faktoren abschwächt (vgl. die Folgeabschnitte):

- Die Entwicklung eines Kapitalstocks oder von Schuldenbeständen wächst normalerweise aufgrund von Zinseszinswirkungen exponentiell.
- Das Wirtschaftswachstum eines Landes hat in der Regel exponentiellen Charakter.
- Bakterienkulturen und andere Populationen wachsen ebenfalls exponentiell.

Der wesentliche Unterschied des System-Dynamics-Modells zum linearen Wachstum besteht in der Informationsverbindung von der Bestandsgröße ‚Systemzustand Ist-Wert‘ zur Flussgröße ‚Veränderung‘. Hierdurch kann der Zufluss abhängig von dem jeweiligen Wert der Bestandsgröße berechnet werden.

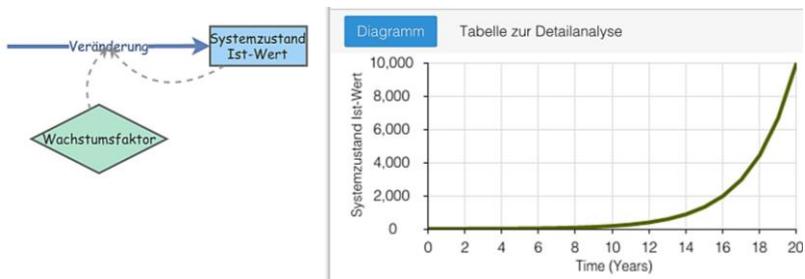


Abbildung 8: System-Dynamics-Modell zum Archetyp ‚exponentielles Wachstum‘.

6. Logistisches Wachstum

Diese Wachstumsvariante entsteht bei exponentiellem Wachstum, das durch eine konstante Wachstumsgrenze ohne Verzögerungen eingeschränkt wird. Hierbei ergibt sich der Zuwachs in einer Zeiteinheit nicht nur aufgrund des bisherigen Systemzustands (dies ist der sich selbst verstärkende exponentielle Teil des Systems), sondern auch in Abhängigkeit von dem aktuellen Anteil verfügbarer Ressourcen. Je geringer der Anteil der verbleibenden verfügbaren Ressourcen ist, desto niedriger fällt der Zuwachs aus.

Diese Wachstumsbeschränkung wirkt sich zu Beginn kaum aus, da noch sehr viele Ressourcen verfügbar sind. Mit einer Beschleunigung des Wachstums sinkt jedoch der Anteil der verfügbaren Ressourcen, woraufhin sich das Wachstum verlangsamt und sich in immer kleineren Schritten der Wachstumsgrenze annähert. Das zugehörige Diagramm ähnelt ein wenig dem Buchstaben ‚S‘, weswegen logistisches Wachstum auch als S-förmiges Wachstum bezeichnet wird.

Das System stellt in gewisser Hinsicht eine Kombination aus den generischen Strukturen ‚exponentielles Wachstum‘ und ‚Zielwertannäherung‘ dar, was auch aus dem Wirkungsdiagramm ersichtlich ist.

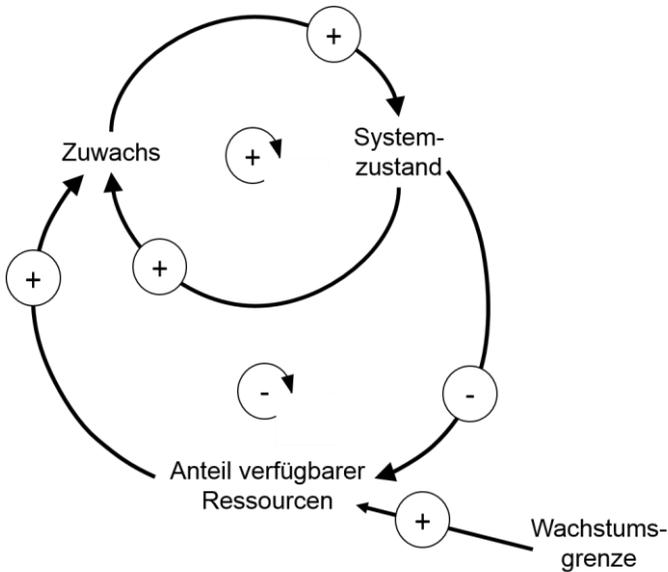


Abbildung 9: S-förmiges Wachstum. (Quelle orientiert an: Sterman, John (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Publ.Comp., Boston, S. 118.)

Einige Beispiele dieses Wachstumstyps:

- Die Verbreitung von Epidemien ist durch die Zahl der Bevölkerung limitiert. Zu Beginn sind nur wenige Menschen mit einer Krankheit infiziert, weswegen sie sich zunächst auch nur langsam ausbreitet. Je mehr Menschen infiziert sind, desto mehr gesunde Menschen werden angesteckt. Sind hingegen schon große Bevölkerungsteile infiziert, werden weniger neue Menschen angesteckt, da infizierte Menschen nun überwiegend auf andere infizierte und kaum noch auf gesunde Menschen treffen.

- Analog lässt sich die Verbreitung eines Produkts interpretieren. Ausgehend davon, dass ein Mensch das Produkt lediglich einmal erwirbt, besteht die Wachstumsgrenze in der Anzahl der Zielgruppe. Zunächst ist das Produkt noch recht unbekannt und wird relativ selten verkauft. Nach einiger Zeit erhöhen sich unter anderem aufgrund des höheren Bekanntheitsgrads die Verkaufszahlen. Mit zunehmender Marktdurchdringung wird es hingegen immer schwerer, neue Kunden zu gewinnen.
- Die Fähigkeit von Gewichthebern, Gewichte zu stemmen, weist ebenfalls eine S-Form auf. Zu Beginn des Trainings werden recht große Fortschritte erzielt. Spätere Zuwächse fallen aufgrund von individuellen physischen Beschränkungen jedoch geringer aus.

Das System-Dynamics-Modell basiert auf dem des exponentiellen Wachstums, ist aber um die Konstante ‚Wachstumsgrenze‘ und den ‚Anteil verfügbarer Ressourcen‘ ergänzt, der sich aus dem Verhältnis von ‚Systemzustand Ist-Wert‘ und der ‚Wachstumsgrenze‘ ergibt.

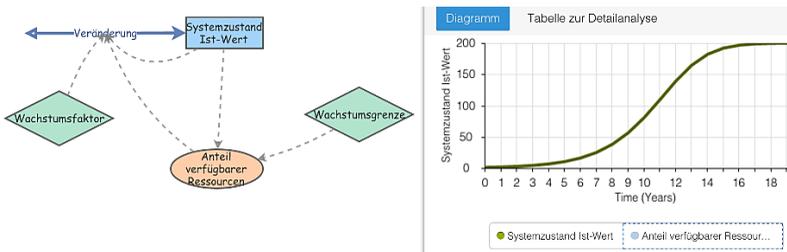


Abbildung 10: System-Dynamics-Modell zum logistischen Wachstum.

7. Logistisches Wachstum mit Überschuss

Diese Wachstumsform unterscheidet sich von der des logistischen Wachstums lediglich durch eine Verzögerung, sodass der Zuwachs des Systemzustands nicht umgehend durch den aktuellen Anteil der verfügbaren Ressourcen beschränkt ist.

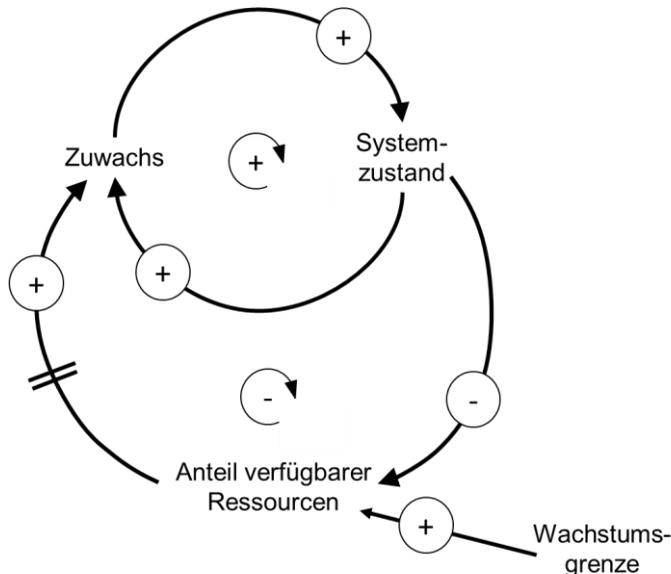


Abbildung 11: S-förmiges Wachstum. (Quelle orientiert an: Sterman, John (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Publ.Comp., Boston, S. 121.)

Strukturell ähnelt dies dem Archetypen ‚Zielwertannäherung mit Verzögerung‘, weswegen es zu Oszillationen um die Wachstumsgrenze kommt (vgl. Abschnitt 3). Dabei oszilliert das System umso stärker, je höher die Verzögerungsdauer oder der Wachstumsfaktor gewählt ist.

Ein Beispiel für diese Struktur wären die Kapazitätsressourcen einer neuen Produktkategorie. Innovative Unternehmen bauen erste Fabriken, andere Unternehmer folgen. Zunächst wächst

die Produktionskapazität exponentiell. Irgendwann sind die Kapazitäten höher als Produkte von den Kunden nachgefragt werden. So entstehen Überkapazitäten am Markt, was normalerweise mit sinkenden Gewinnen einhergeht. Dies dürfte einige Hersteller dazu veranlassen, ihre Kapazitäten zu reduzieren oder den Markt komplett zu verlassen. In der Folge könnte die Nachfrage eventuell mit den gesunkenen Kapazitäten nicht mehr befriedigt werden, was zu höheren Preisen beziehungsweise einem attraktiveren Marktumfeld und in der Folge zu erneutem Kapazitätsaufbau führt.

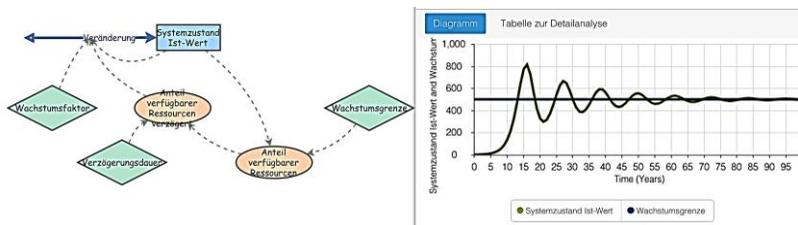


Abbildung 12: System-Dynamics-Modell zu logistischem ‚Wachstum mit Überschuss‘.

8. Räuber-Beute-Systeme: Überschuss und Zusammenbruch

Räuber-Beute-Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass eine Population (Räuber) eine Ressource (Beute) nutzt. Im Gegensatz zum logistischen Wachstum sind die verfügbaren Ressourcen jedoch vom Bestand der nutzenden Population abhängig. Dies ist insbesondere bei nachwachsenden Ressourcen der Fall, da der Nachwuchs von der Menge der verfügbaren Ressourcen abhängt und diese wiederum von der Anzahl der Ressourcennutzer beeinflusst wird. Räuber-Beute-Systeme haben also zwei Bestände, die voneinander abhängig sind.

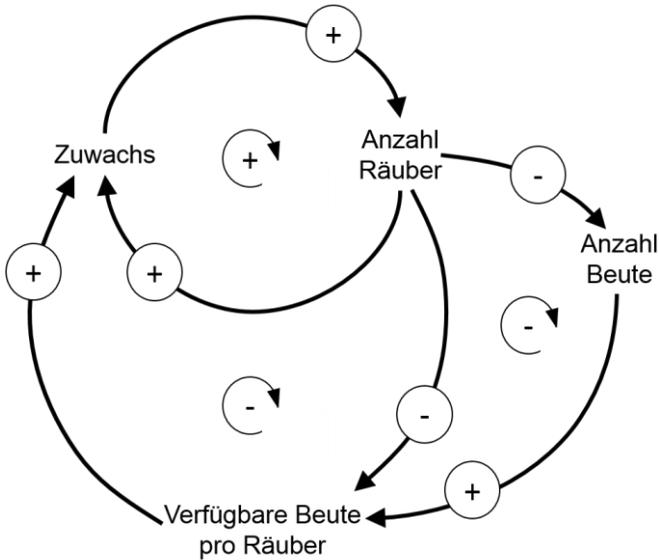


Abbildung 13: Räuber-Beute-System.

Die naheliegendsten Beispiele finden sich in der Biologie: Wenn viele Beutetiere (zum Beispiel Hasen) vorhanden sind, finden die Räuber (zum Beispiel Luchse) leicht Nahrung und können sich stärker vermehren. Mit zunehmender Anzahl der Räuber werden mehr Beutetiere gejagt und deren Bestand sinkt. Mit der abnehmenden Dichte der Beutepopulation wird es für die Räuber schwieriger, Nahrung zu finden, weswegen ihr Bestand aufgrund einer reduzierten Geburtenrate beziehungsweise einer erhöhten Sterberate sinkt. Daraufhin kann sich die Beutepopulation wieder erholen, was steigende Räuberzahlen nach sich führt.

Eine ähnliche Struktur findet sich beim Problem der Überfischung: Solange die Fischbestände hoch sind, sind die Fänge von Fischern hoch und deren Anzahl wächst. Mit zunehmender Anzahl von Fischern reduzieren sich die Fischbestände, was zu abnehmenden Fischerzahlen führt und den Fischbeständen

ermöglicht, sich zu regenerieren. Wurden die Fischbestände jedoch sehr stark reduziert, besteht auch die Möglichkeit, dass sich die Zahl der Fische nur sehr langsam oder gar nicht erholt, etwa weil sie aufgrund der geringen Dichte kaum noch Reproduktionspartner finden.

Die Gefahr, dass sich die Beutepopulation nicht mehr erholt besteht auch bei der Nutzung von Wäldern durch Holzfäller, die strukturell der Nutzung von Fischen ähnelt. Werden zu viele Bäume gefällt, kann es zur Bodenerosion kommen, woraufhin an diesen Orten keine Bäume mehr nachwachsen.

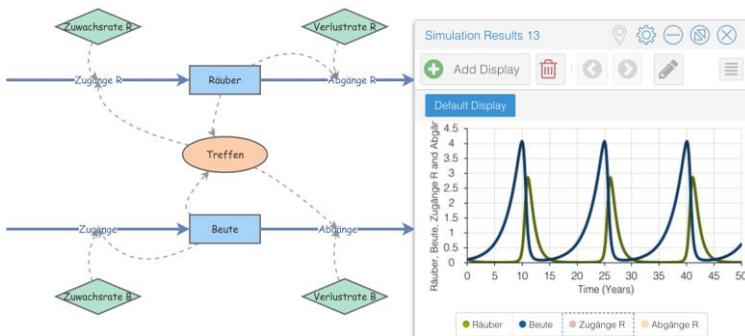


Abbildung 14: System-Dynamics-Modell zu Räuber-Beute-Systemen.

9. Archetyp Erfolg den Erfolgreichen

Bei diesem Archetyp konkurrieren zwei (oder mehr) Akteure um die gleichen Ressourcen, wobei bisheriger Erfolg künftigen Erfolg begünstigt beziehungsweise relative Wettbewerbsvorteile sich tendenziell verstärken. Dieser Archetypus ist auch als Matthäus-Effekt bekannt.

Das Wirkungsdiagramm eines solchen Systems zeichnet sich durch zwei sich verstärkende Rückkopplungsschleifen aus:

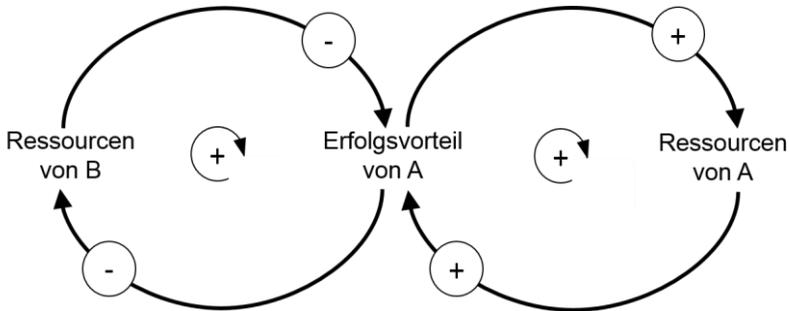


Abbildung 15: Erfolg den Erfolgreichen.

Ein Beispiel für diesen Archetypus stellt der Markt für Videospielkonsolen (zum Beispiel Xbox und Playstation) dar. Je mehr Konsolen eines bestimmten Typs verkauft wurden, desto attraktiver ist diese Plattform für Spieleentwickler. Folglich werden für häufig verkaufte Konsolentypen mehr Spiele entwickelt, was ihre Attraktivität für potenzielle Kunden erhöht und die Verkäufe weiter ansteigen lässt. Parallel dazu sinkt der Absatz der weniger erfolgreichen Spielekonsole. Da die Weichen für den späteren Erfolg in einer solchen Systemkonstellation bereits zu Beginn gelegt werden, ist es wichtig, frühzeitig Erfolg am Markt zu haben. Dies kann beispielsweise über eine frühere Produkteinführung, günstige Verkaufspreise oder intensive Werbemaßnahmen angestrebt werden.

Ein ähnliches Beispiel sind Onlineangebote, deren Attraktivität von der Anzahl ihrer Nutzer abhängt, etwa bei sozialen Netzwerken oder Versteigerungsseiten.

Ein Beispiel aus dem biologischen Bereich wären Küken im Vogelnest. Sie konkurrieren um das Futter der Eltern, wobei stärkere Küken sich besser mit Nahrung versorgen können. Dadurch werden sie noch stärker und können sich noch besser gegen die anderen Küken durchsetzen.

Das Phänomen ist ebenfalls in der Pädagogik bekannt: Schüler mit hohem Vorwissen weisen in der Regel einen höheren Lernerfolg auf, weil sie Lernangebote besser zu nutzen vermögen (vgl. Schwippert et al. 2003). Im Gegensatz zu den obigen Beispielen geht der Erfolg einzelner Schüler jedoch nicht zwingend mit schlechteren Lernergebnissen der anderen Schüler einher. In den Systemen des Typus ‚Erfolg den Erfolgreichen‘ besteht zunächst die Möglichkeit, als Betroffener die Herausforderung anzunehmen und sich sehr stark auf einen erfolgreichen Start zu fokussieren. Alternativ könnte eine Änderung der Systemstruktur angestrebt werden, die auf eine Reduzierung der Unterschiede ausgerichtet ist. Im Hinblick auf obenstehende Beispiele könnte das bedeuten, dass Eltern ihrem Nachwuchs gleichviel zu essen geben³ oder leistungsschwächere Schüler intensiver gefördert werden.

Abbildung 16 zeigt das System-Dynamics-Modell mit mehreren Simulationsläufen. Ob eine Ressource an A oder B geht, hängt in diesem Fall von einem Zufallswert und dem relativen Vorteil beziehungsweise Nachteil der beiden Akteure ab. Dabei ist die Variable ‚Erfolgsvorteil von A‘ so programmiert, dass er sich bei einem nur kleinen Anteil bisher verbrauchter Ressourcen schwächer auswirkt als zu einem späteren Zeitpunkt, zu dem schon mehr Ressourcen verbraucht sind. Entsprechend sind in der Frühphase der Entwicklung auch noch Änderungen zugunsten des bisher unterlegenen Akteurs möglich, was im Zeitverlauf mit wachsenden Unterschieden immer unwahrscheinlicher wird.

³ Was bei Tieren jedoch dem Prinzip der natürlichen Selektion widerspricht.

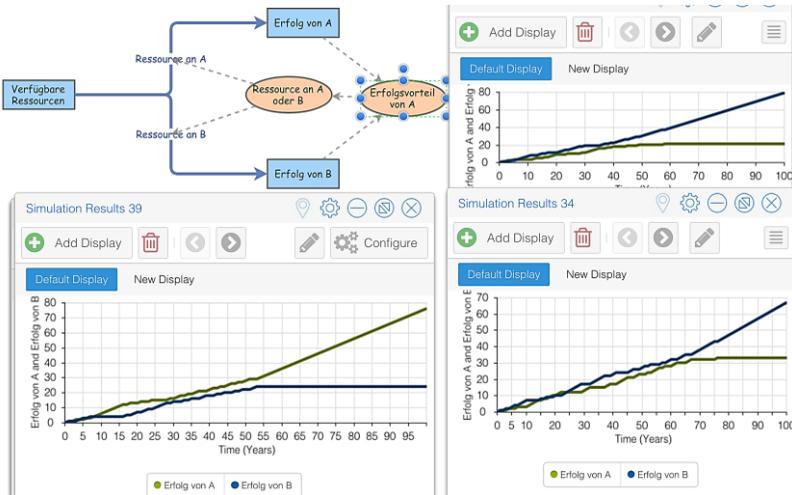


Abbildung 16: System-Dynamics-Modell zum Archetyp ‚Erfolg den Erfolgreichen‘ mit mehreren Simulationsläufen.

10. Archetyp Eskalation

Bei dieser Systemstruktur, die eine sich selbst verstärkende Rückkopplungsschleife darstellt, versuchen sich zwei oder mehrere Akteure gegenseitig zu übertreffen.

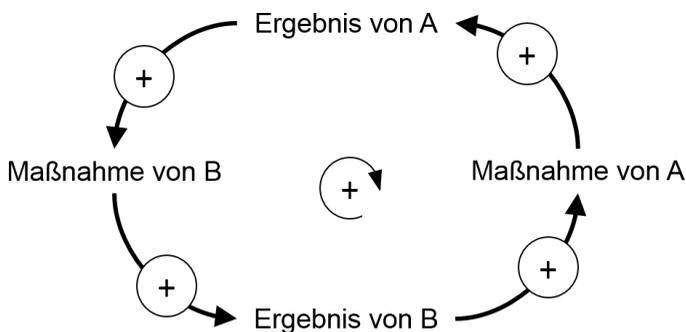


Abbildung 17: Eskalation.

In der Regel führen solche Systeme zu unerwünschten Ergebnissen für alle Beteiligten, da sie einen immer größeren Aufwand betreiben müssen und der Nutzen dem häufig nicht entspricht. Die Eskalation endet, wenn ein Handelnder aus der Eskalationsspirale aussteigt, entweder weil er nicht mehr möchte oder ihm die Ressourcen ausgegangen sind.

Ein bekanntes Beispiel dieses Archetypus' stellt das Wettrüsten zwischen den USA und der Sowjetunion dar. Wenn eines dieser Länder seine Rüstungsausgaben erhöhte, fühlte sich das andere Land dadurch bedroht und erhöhte seine Ausgaben ebenfalls.

Der Wettbewerb in Oligopol- oder Duopolmärkten kann sich ähnlich gestalten. Ein Unternehmen mag versuchen, seine Marktanteile durch Rabatte (analog: Werbung) zu erhöhen. Dies führt dazu, dass der oder die Wettbewerber ebenfalls ihre Rabatte erhöhen, was weitere Rabattrunden zur Folge haben kann.

Versteigerungen sind ein weiteres Beispiel der Eskalationsstruktur. Ein Interessent gibt ein Gebot ab, was zu höheren Geboten von anderen Interessenten führt. Besonders ausgeprägt ist das Eskalationsverhalten bei Versteigerungsvarianten, in denen bei jedem Gebot auch Kosten für die späteren Verlierer entstehen, etwa weil sie ihren Einsatz nicht zurückerhalten oder in jeder Runde eine Gebühr gezahlt werden muss.

Andere Beispiele finden sich auch im Bereich der Statussymbole: Wer hat das teuerste Auto, die längste Yacht, das höchste Hochhaus etc.

Als sinnvolle Strategie in solchen Systemen kommt zunächst in Frage, frühzeitig aus der Eskalationsspirale auszusteigen. Alternativ besteht die Option, die Kosten bewusst nach oben zu treiben, entweder weil man den anderen schädigen möchte oder weil man es sich leisten kann und weiß, dass man gewinnt. So könnte ein finanzstarkes Unternehmen bewusst Verluste aufgrund hoher Rabatte in Kauf nehmen, um Konkurrenten aus dem Markt zu drängen. Auf diese Strategie bezieht sich das Bonmot ‚Bevor der Dicke mager wird, ist der Magere verhungert‘.

Das System-Dynamics-Modell besteht aus zwei Bestandsgrößen, welche die Ergebnisse der beiden Antagonisten abbilden. Sie erhöhen abhängig von der Höhe der jeweiligen Unterlegenheit und der (individuell unterschiedlich einstellbaren) Stärke der Reaktion auf eine Unterlegenheit.

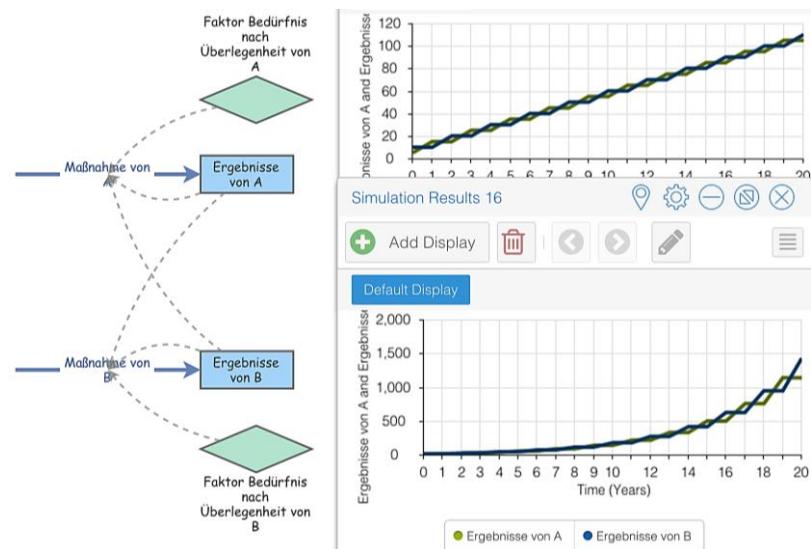


Abbildung 18: System-Dynamics-Modell zum Archetyp ‚Eskalation‘ mit unterschiedlichen Simulationsparametern.

Literatur

Arndt, H. (2016): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen.

Paich, M. (1985): Generic structures. In: System Dynamics Review, 1(1)/1985, S. 126 – 132.

Senge, P. (2011): Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation. 11. Auflage. Stuttgart.

Sterman, J. (2000): Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston.

Schwippert, K./Bos, W./Lankes, E.-M. (2003): Heterogenität und Chancengleichheit am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. In: Bos, W. (Hrsg.): Erste Ergebnisse aus IGLU: Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. Münster, S. 295.

Durch Sprache zum systemischen Denken

Systemisches Denken gilt als eine fächerübergreifende Denkweise in größeren Zusammenhängen. Sie soll helfen, das Wesentliche eines Systems zu erkennen. Dies setzt logischerweise voraus, dass – ausgehend von fachlichen Inhalten – die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Details sowie die Gesamtzusammenhänge in den Mittelpunkt der Betrachtung rücken. Diese Art des Denkens ist nicht unbedingt für die Deutschdidaktik beziehungsweise Sprachdidaktik typisch. Das Fach Deutsch (als Mutter- und/oder Zweitsprache), in dem die fächerübergreifenden Kommunikationskompetenzen der Lernenden auf den verschiedenen Ebenen des sprachlichen Handelns erweitert werden sollen (vgl. Budde/Michalak 2015, 20), legt jedoch den Grundstein für die semantische Verarbeitung und die sprachliche Ausformulierung der auszuarbeitenden Zusammenhänge beziehungsweise Wechselwirkungen.

Im Sprachunterricht werden unter anderem verschiedene Textsorten explizit thematisiert, Texterschließungs- oder Kommunikationsstrategien vermittelt oder der Gebrauch von sprachlichen Mitteln in verschiedenen Funktions- und Wirkungszusammenhängen wird untersucht. Aus der sprachdidaktischen Perspektive interessiert somit die Frage, wie die Lernenden an komplexe Strukturen beziehungsweise Systeme nicht nur inhaltlich, sondern auch sprachlich herangeführt werden können. Dementsprechend steht die Förderung von systemischem Denken unter Berücksichtigung von sprachlichen Aspekten im Fokus dieses Beitrages.

Für die Darstellung von komplexen Systemen sind nichtlineare Darstellungsformen wie Diagramme¹ besonders gut geeignet (vgl. Artikel ‚Einsatz von Wirkungsdiagrammen zur Förderung des systemischen Denkens‘). Die Kompetenz, mit derartigen diskontinuierlichen Texten angemessen umzugehen, darf jedoch nicht vorausgesetzt, sondern muss systematisch aufgebaut werden. Im Unterricht geraten Herausforderungen, die Diagramme an die Rezipienten/Rezipientinnen stellen, allzu oft aus dem Blick. In dem Beitrag werden zunächst Diagramme als Darstellungsformen von komplexen Sachverhalten beleuchtet. Darauf aufbauend werden Anforderungen beim Umgang mit Diagrammen an der inhaltlich-methodischen und sprachlichen Ebene erläutert. In einem nächsten Schritt wird das Konzept der Sprach-Fach-Netze vorgestellt, mit dessen Hilfe insbesondere sprachlich weniger versierte Lernende mit/ohne Deutsch als Zweitsprache an komplexe fachspezifische Systeme herangeführt werden können. Anschließend werden die bisherigen Evaluationsergebnisse des Ansatzes diskutiert.

1. Diagramme als Darstellungsformen von komplexen Sachverhalten

Für die Betrachtung und Behandlung von komplexen Sachverhalten, wie es das systemische Denken impliziert, werden bildhafte Darstellungen wie Diagramme bevorzugt. Durch die Visualisierung werden eine erleichterte Rezeption und ein vertieftes Verständnis des Sachverhalts, eine höhere Vergleichbarkeit der Informationen sowie deren verbessertes Behalten vermutet (vgl. Baumann 1998, 411; Lachmayer 2008, 6; MSW 2011).

¹ In dem Beitrag werden die Begriffe Diagramm und Grafik synonym gebraucht und unter dem Oberbegriff nichtlineare Darstellungsform(en) zusammengefasst. Zur Diskussion der Begriffe: Darstellungsformen, nichtlineare/diskontinuierliche Texte beziehungsweise logische Bilder (vgl. Michalak/Müller 2016).

In einem linearen Text sind die wesentlichen Inhalte sprachlich ausformuliert, das heißt explizit genannt. In Diagrammen hingegen müssen die Kernaussagen aus der Darstellungsform abgeleitet werden (vgl. Weidenmann 1994).

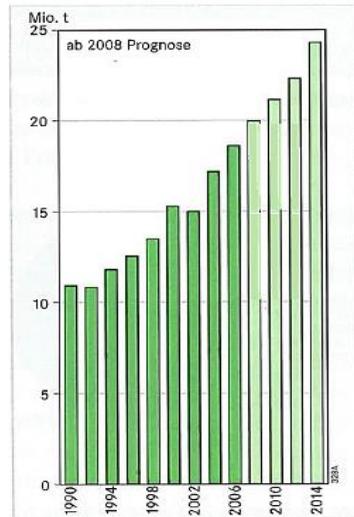
So konzentrieren Grafiken viele Informationen auf einem relativ geringen Raum beziehungsweise stellen diese mit relativ wenig Zeichen dar.

Dadurch präsentieren sie Informationen stark verdichtet. Ein System kann hierbei ganzheitlich betrachtet und somit tiefer durchleuchtet werden als in einem linearen Text.

Auf diese Weise ermöglichen Diagramme die Veranschaulichung beziehungsweise die Herausarbeitung von abstrakten, komplexen Zusammenhängen durch fächerübergreifendes Denken. Zudem können die Entwicklungsmöglichkeiten mehrdimensional aufgedeckt werden:

Ein Säulendiagramm zum Thema des weltweiten Kupferbedarfs in den letzten zwei Jahrzehnten (vgl. Abbildung 1) stellt beispielsweise dessen kontinuierliche Steigerung prägnant dar.

Die Jahreszahlen von 1990 bis 2014 sind der Abszisse zu entnehmen. Dabei ist zu beachten, dass es sich ab 2008 um Prognosen handelt. Dies muss wiederum einen Einfluss auf die Auswertung der Grafik haben.



M3 Entwicklung des weltweiten Kupferbedarfs

Abbildung 1: Beispieldiagramm aus einem Geographielehrbuch. (Quelle: Behtke et al. 2010, S. 106.)

Systembegriff anhand des Diagramms zur Entwicklung der Kupferpreise	
Definition: System (vgl. Artikel ‚Systemisches Denken im Fachunterricht‘)	Beispiel: Diagramm (s. Abbildung 1)
Funktion	Kupfer als Indikator für die potenzielle Rolle verschiedener Länder in der globalen Verflechtung von Handel und Wirtschaft
Systemelement und Systembeziehungen	Kupfer als entscheidender Rohstoff in der Entwicklung von IT sowie als immer wichtiger werdender Rohstoff in der Informationsgesellschaft, die aus dem Rohstoff entscheidende Medien wie zum Beispiel Computer oder Telefone herstellt
Systemidentität (was sind wesentliche Elemente, ohne die das System nicht existiert)	<ul style="list-style-type: none"> • Rohstoffe, die wesentlich zur Produktion von IT sind • verschiedene Akteure der Produktion von IT • IT als wichtiger Faktor in der Informationsgesellschaft • Einfluss der Informationsgesellschaft auf Entwicklung und Wohlstand • Abhängigkeit von Rohstoffen auf Ursprungsländer • Relationen und Hierarchisierung von Entwicklungs-, Schwellen-, Industrie- und Dienstleistungsländern
Systemgrenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Endlichkeit der Ressource lokal und global • Endlichkeit des Wachstums

Tabelle 1: Systembegriff nach Bossel (2004) am Beispiel eines Säulendiagramms.

Sodann müssen die weiteren Einheiten erschlossen werden: Die Ordinate zeigt den Kupferbedarf in Millionen Tonnen. Damit seien die in dem Diagramm enthaltenden beziehungsweise explizit genannten Informationen erfasst; diese reichen jedoch für die Interpretation der Entwicklung des weltweiten Kupferbedarfs nicht aus – zumal wenn man bedenkt, dass die Grafik in einem Geographielehrwerk im Kapitel „Entwicklungsländer – auf dem Weg wohin?“ (Behtke et al. 2010, 98 - 127) abgebildet ist (vgl. Tabelle 1).

Durch Verknüpfung mit externen, im Diagramm nicht explizit genannten Informationen können zum Beispiel Hinweise auf die raumzeitliche Entwicklung des dargestellten Sachverhalts (die Bedeutung von Kupfer als Rohstoff in verschiedenen Ländern und als Indikator für die Entwicklung von Dienstleistung usw., vgl. Tabelle 1) erschlossen werden. Die Herausarbeitung von Relationen zwischen den einzelnen Elementen fordert somit eine ganzheitliche Betrachtung eines Diagramms als komplexes System. Diagramme können demzufolge nicht nur komplexe Sachverhalte darstellen, sondern müssen selbst im Sinne des systemischen Denkens erfasst werden. So ergibt sich grundsätzlich die Herausforderung für die Rezipienten/Rezipientinnen, die Elemente im Diagramm zu erkennen, die Verbindungen zwischen ihnen zu entschlüsseln und mögliche Entwicklungsprozesse beziehungsweise deren Ursachen in fachlichen Kontexten zu identifizieren. Erst dann können die erfassten Inhalte versprachlicht werden.

Der sprachliche, fächerübergreifende Umgang mit Diagrammen wird im Deutschunterricht im Rahmen der rezeptiven und produktiven Auseinandersetzung mit verschiedenen Textformen angebahnt (vgl. zum Beispiel Bildungsstandards im Fach Deutsch für den Primarbereich 2004, 15 - 17; Bildungsstandards im Fach Deutsch für den Mittleren Schulabschluss 2003, 21 - 23). Hierbei stehen die Informationsentnahme und die weitere Nutzung der Aussagen zum Beispiel in einem informierenden

Artikel oder in einem argumentativen Text im Mittelpunkt. Zugleich werden die Lernenden dazu angehalten, die gewonnenen Informationen beispielsweise durch eine *Mindmap* oder ein Flussdiagramm im Sinne des systemischen Denkens zu strukturieren (ebd., 25). So wird die Grafik in das Gesamtmaterial eingeordnet, aber wenig konkret beziehungsweise kaum fachspezifisch untersucht.

Eine Auswertung, die vernetztes Denken voraussetzt, ist jedoch an Fachinhalte gebunden und sollte aus diesem Grund neben den im Deutschunterricht vermittelten basalen Sprachkompetenzen Thema im sprachlich orientierten Fachunterricht sein.

2. Herausforderungen beim Umgang mit Diagrammen

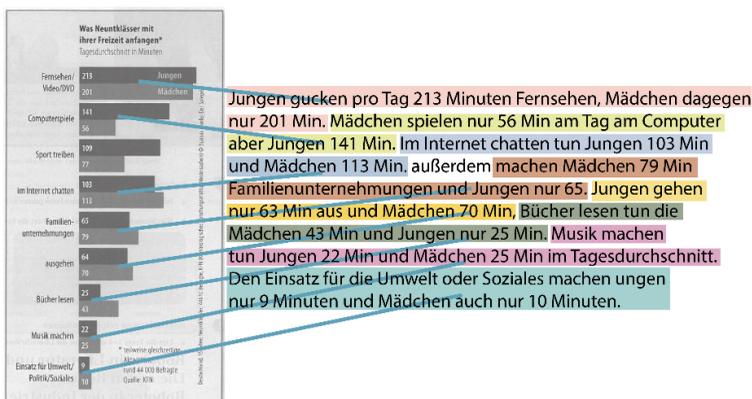
Der Umgang mit Diagrammen setzt fachlich-methodische sowie sprachliche Kompetenzen voraus, die sich gegenseitig bedingen. Räumliche Relationen zwischen den grafischen Elementen werden auf ein System von semantischen Relationen übertragen (vgl. Ullrich et al. 2012, 13), um das Diagramm inhaltlich erklären zu können. So wird etwa die Länge einer Säule als der höchste Wert einer bestimmten Merkmalsausprägung des dargestellten Sachverhalts zum angegebenen Zeitpunkt erkannt (vgl. Keimes 2014, 29). Nach der Identifikation der dargestellten Relationen werden die Variablen der jeweiligen Achse und bei mehreren abhängigen Datenreihen den Symbolen zugeordnet sowie die Skalenreichweiten beachtet (vgl. Lachmayer et al. 2007, 155). Es wird nicht nur ein Funktionswert abgelesen, sondern mehrere Werte werden miteinander verglichen oder ein qualitativer beziehungsweise quantitativer Trend muss erkannt werden (ebd., 156). Hierfür ist das Wissen über die Konventionen zum Aufbau einer Grafik sowie zu Darstellungsdetails wie Minima und Maxima im Kurvenverlauf notwendig (vgl. Lachmayer 2008, 31).

Diese sogenannten Diagrammschemata umfassen das diagramm-spezifische Wissen darüber, wie Informationen in Grafiken gespeichert sind und wie sie erfasst werden können (vgl. Schnotz 2001). Untersuchungen zeigen hierbei, dass Vorerfahrungen mit verschiedenen Diagrammart für das Diagrammverstehen entscheidend sind (vgl. Schnotz/Dutke 2004; Kölzer et al. 2015).

Das fachliche Wissen bildet die Basis für die Identifikation der inhaltlichen Wenn-Dann-Beziehungen, die in einer Grafik nicht explizit dargestellt, sondern durch die Rezipienten/Rezipientinnen herzuleiten sind (zum Beispiel die Wechselwirkung von Geburtenrate und Verteilung der Bevölkerung in einem Bevölkerungsdiagramm). Die neuen Informationen werden in bestehende mentale Modelle eingeordnet und mit Erfahrungen, Vorwissen und dem fachlichen Kontext verknüpft (vgl. Schnotz/Dutke 2004). Bleibt ein Element in der inhaltlichen Kette unbekannt, können die bestehenden Relationen nicht erläutert werden, da sie nicht entdeckt werden können. Folglich kann der Sachverhalt des Diagramms nicht erschlossen werden. Lernende mit geringen fachlichen Vorkenntnissen entnehmen überwiegend Einzelinformationen aus einem Diagramm und benennen weniger übergreifende Aspekte (vgl. Guthrie/Weber 1991; Kerslake 1977; Kirsch/Jungeblut, 1986 nach Keimes 2014). Rezipienten/Rezipientinnen mit „höherem inhaltsspezifischem Vorwissen“ (Keimes 2014, 79) gelingt es besser, übergeordnete Muster wie beispielsweise Entwicklungen zu erkennen. Das fachliche Vorwissen bezieht nicht nur das mathematische Wissen sowie das Fachwissen des jeweiligen Unterrichtsfaches ein. Im Sinne des systemischen Denkens erfordert die Auswertung eines Diagramms Wissen aus anderen fachlichen Domänen: Zum Auswerten eines Klimadiagramms im Fach Geographie ist beispielsweise biologisches Wissen über Wachstumsbedingungen von Pflanzen unerlässlich (zum Beispiel humide oder aride

Gebiete); zum Auswerten eines Bevölkerungsdiagramms können dagegen politische (zum Beispiel Arbeitsmigration) oder sozialwissenschaftliche (zum Beispiel demographischer Wandel) Informationen notwendig sein.

Die der Grafik entnommenen Informationen können in einem linearen Text oder in einer mündlichen Äußerung ausformuliert werden (vgl. Schnotz 2001). Die Versprachlichung beziehungsweise der Transfer der gewonnenen Informationen in einen linearen Text ist in der Unterrichtsrealität von großer Bedeutung (vgl. Bildungsstandards im Fach Deutsch für den Mittleren Schulabschluss 2003), da die Leistungsüberprüfung über mündliche oder schriftliche Äußerungen erfolgt. Die Anwendung des für das jeweilige Fach angemessenen Sprachregisters ist dabei ausschlaggebend.



Jungen gucken pro Tag 213 Minuten Fernsehen, Mädchen dagegen nur 201 Min. Mädchen spielen nur 56 Min am Tag am Computer aber Jungen 141 Min. Im Internet chatten tun Jungen 103 Min und Mädchen 113 Min, außerdem machen Mädchen 79 Min Familienunternehmungen und Jungen nur 65, Jungen gehen nur 63 Min aus und Mädchen 70 Min, Bücher lesen tun die Mädchen 43 Min und Jungen nur 25 Min. Musik machen tun Jungen 22 Min und Mädchen 25 Min im Tagesdurchschnitt. Den Einsatz für die Umwelt oder Soziales machen ungen nur 9 Minuten und Mädchen auch nur 10 Minuten.

Abbildung 2: Ein exemplarischer Schülertext zu dem Diagramm ‚Was Neuntklässler mit ihrer Freizeit anfangen‘. (Quelle orientiert an: Michalak/Müller 2016, S. 35 f.).

Fokussiert man den sprachlichen Umgang mit Grafiken, zeigen die bisherigen Studien, dass die sprachlichen Kompetenzen der Lernenden ihre Rezeption von Diagrammen kaum beeinflussen (vgl. Kölzer et al. 2015). Sie haben jedoch einen Einfluss auf die Ausformulierung der generierten Propositionen.

Insbesondere für sprachlich weniger Versierte beziehungsweise Lernende mit Deutsch als Zweitsprache kann die Verbalisierung eigener Wahrnehmung zu einer Hürde werden. Die Besprechung oder schriftliche Auswertung der Grafik, während dessen die erschlossenen Informationen beschrieben und zu einer Interpretation in kohärenten Sätzen miteinander verknüpft werden müssen, um Zusammenhänge und potenzielle Folgen zu formulieren, können wegen nicht ausreichender Sprachkompetenzen für diese Rezipienten-/Rezipientinnengruppe eine Herausforderung darstellen. Vereinzelt Studien belegen, dass die meisten Lernenden bei der Auswertung einer Grafik sich stark an dem Diagramm orientieren und in ihren Texten überwiegend Begriffe verwenden, die in der Darstellung zu finden sind. Diese Bezeichnungen, (meist) der Balken, werden in nominalisierter Form angewendet und mit sogenannten Passepartout-Verben wie *machen* oder *tun* angereichert (vgl. Abbildung 2; vgl. auch Michalak et al. 2017). Zudem greifen die Schüler/Schülerinnen auf konzeptionell mündlich geprägte Formulierungen zurück (zum Beispiel *gucken*, *Jungs*, *mal* oder Besetzung des Nachfeldes im Satz: *Facebook wird sehr oft genutzt bei Mädchen*; vgl. Michalak et al. 2017). Sie verwenden kurze, einfache Sätze, die wie Aufzählungen wirken. Die Variablen beziehungsweise Daten in den Balken werden in einem Balken- oder Säulendiagramm entsprechend ihres Auftretens benannt (vgl. Abbildung 2; vgl. Michalak/Müller 2016, 36).

Schüler/Schülerinnen, die laut eigener Aussagen im Unterricht an Diagramme systematischer herangeführt wurden, verfügen über diagrammspezifische sprachliche Routinen (zum Beispiel Passivformen, Bezeichnungen wie *die meisten der Befragten*, vgl. Michalak et al. 2017). Den meisten Lernenden fehlen jedoch die diagrammspezifischen Begriffe (zum Beispiel das Wort *Balken*), was zu unpräziser Beschreibung einer Grafik führen kann. So werden die Formulierungen im Mündlichen wie im Schriftlichen mit vertrauten sprachlichen Mitteln umschrieben (zum Beispiel *Balken = ,Wenn es sehr lang ist‘*, vgl. ebd.). Ähnlich

wie im Mündlichen verweisen die Lernenden auf gemeinte Elemente auch im Schriftlichen mit Hilfe von Deiktika² (zum Beispiel *das da*; *Viele Leute mögen das hier*; vgl. Kölzer et al. 2015). Die Informationen werden wenig abstrahiert, zum Beispiel bei der Nennung von Maxima oder Minima sowie bei dem Aufzeigen von übergeordneten Strukturen (vgl. Michalak/Müller 2016, 36). Vielmehr neigen die Schüler/Schülerinnen dazu, das zu beschreiben, was sie auf der Grafik sehen, ohne die Angaben in Beziehung zu setzen (vgl. Abbildung 2). Auffälligkeiten werden kaum aufgedeckt. Falls die Lernenden bei der Diagrammauswertung über die Ebene der Beschreibung hinausgehen, erfolgt die Erklärung des Diagramms unsystematisch (vgl. Michalak/Müller 2016), wobei die Interpretation der Daten auf eigenen, subjektiven (Alltags-)Erfahrungen basiert beziehungsweise Beobachtungen aus eigenem Freundeskreis einbezieht. Hierbei werden oft subjektive Formulierungen (zum Beispiel *ich glaube, ich finde, wie ich es sehe*) angewendet (vgl. Michalak et al. 2017). Es zeigt sich, dass insbesondere sprachlich weniger erfahrenen Lernenden (fach-) sprachliche Muster fehlen, an denen sie sich bei der Auseinandersetzung mit einer Grafik richten können. Diese sollte der jeweilige Fachunterricht als Orientierung anbieten.

3. Das Konzept der Sprach-Fach-Netze

Die Informationsdichte visueller Darstellungsformen darf nicht unterschätzt werden: Diagramme beinhalten zwar weniger sprachliche Mittel als Texte, sind aber dadurch nicht unbedingt leichter zu verstehen. Aufgrund ihrer besonderen Struktur, Funktion, der fachlichen Anbindung und der fachspezifischen

² Sprachliche Mittel mit hinweisender Funktion (zum Beispiel *da, der da, dieser, hier, das Bunte da*), die sich kontextabhängig auf außersprachliche Objekte beziehen und typisch für die mündliche Kommunikation sind.

Herangehensweise erfordern Grafiken – im Vergleich zu linearen Texten – andere beziehungsweise zusätzliche Rezeptionsstrategien.

Bisherige Ergebnisse zeigen jedoch, dass der Umgang mit Diagrammen im Unterricht unsystematisch und unzureichend erfolgt (vgl. Kölzer et al 2015, 134). Aus diesem Grund wird im Folgenden ein Konzept vorgestellt, das versucht, die fachlich-methodischen und sprachlichen Aspekte beim Umgang mit Diagrammen unter Berücksichtigung des systemischen Denkens zu vereinen.

3.1 Theoretische Grundlagen

Aus vorwiegend naturwissenschaftlichem Unterricht deuten empirische Ergebnisse an, dass *Concept Maps* eine effektive und erfolgsversprechende Vorgehensweise beim Umgang mit komplexen Sachverhalten sind³ (vgl. Cañas et al. 2005; Novak/Cañas 2006; Haugwitz/Sandmann 2009; Freimann/Schlieker 2009; Mehren et al. in diesem Band). Durch die Organisation der Elemente und Relationen sowie ihrer Hierarchien bieten sie eine Veranschaulichung der Zusammenhänge zwischen den Begriffen und Konzepten sowie die Möglichkeit des kontinuierlichen Bearbeitens. Gerade die Netzstruktur erweist sich als sehr hilfreich, um die erschlossenen Informationen mit eigenem Wissen zu verknüpfen, dieses zu strukturieren und zu organisieren.

Die Verbindung zu bereits bestehenden mentalen Modellen (vgl. Schnotz/Dutke 2004) wird bewusst aufgenommen und gefördert. Dadurch werden kognitive Vernetzungen explizit aufgebaut. So wurde belegt, dass *Concept Maps* als Methode sich zum „Verlagern von komplexen Inhalten ins Langzeitgedächtnis“ (Novak/Cañas 2006, 2) eignen. Dies legt nahe, diese Erkenntnisse auch beim Umgang mit Diagrammen zu nutzen.

³ Die bisherigen Untersuchungen beziehen sich hierbei auf das fachliche Wissen. Die Nutzung der sprachlichen Kompetenzen bei *Concept Maps* wurde bisher kaum untersucht.

Auf dieser Grundlage und unter Berücksichtigung von Ergebnissen zur Verarbeitung von Diagrammen sowie zur Visualisierung von Inhalten aus der Sprachdidaktik (vgl. Rico 1984; Berkemeier 2009) wurde das Konzept der Sprach-Fach-Netze entwickelt, das fortlaufend evaluiert wird. Der Ansatz bietet zum einen eine strukturierte, gesteuerte Betrachtungsweise von nichtlinearen Darstellungsformen an, die es den Lernenden ermöglicht, die Inhalte eines Diagramms fachlich-methodisch und zugleich sprachlich schrittweise zu erarbeiten und damit das dargestellte Phänomen besser zu durchdringen. Zum anderen können Sprach-Fach-Netze eine anschließende Produktion zum Beispiel in Form einer Diagramminterpretation vorbereiten und erleichtern.

3.2 Beschreibung der Sprach-Fach-Netze

Den Ausgangspunkt bildet die Annahme, dass die von den Rezipienten/Rezipientinnen vorgenommene, eigene Visualisierung der Inhalte das Verstehen der Grafik erleichtert. In einem Sprach-Fach-Netz werden nämlich die Inhalte, die bestehenden Relationen und Hierarchien des Diagramms mit Hilfe von Begriffen, Pfeilen oder Linien von den Rezipienten/Rezipientinnen grafisch dargestellt. Dies wird jedoch durch leitende Fragen gesteuert. So kann die Komplexität des Diagramms aufgeschlüsselt und sprachlich erfasst werden. Der Fokus, die intensivere Auseinandersetzung sowie das Verständnis für die Struktur und den Aufbau der grafischen Darstellung begünstigen es, relevante Informationen – trotz der Fülle und der Komprimiertheit – herauszufiltern und die Zusammenhänge im Sinne von systemischem Denken zu erarbeiten. Aus diesem Grund wird zunächst den Lernenden die Vorgehensweise sowie die Symbolik der Sprach-Fach-Netze, das heißt zentrale Symbole, Möglichkeiten, Verbindungen und Hervorhebungen darzustellen (vgl. Abbildungen 4 - 6), näher gebracht, sodass sie wesentliche Informationen selektieren können (vgl. Berkemeier 2009, 159).

Zusätzlich wird das Sprach-Fach-Netz mit „instruktiven Lesehilfen“ (vgl. Abbildung 3) nach dem Vorschlag Weidemanns (2004, 249) unterstützt, da Diagramme selbst selten derartige Lesehilfen anbieten. Die Auseinandersetzung mit einem Diagramm beginnt in diesem Modell mit der Aktivierung des fachlichen und sprachlichen Vorwissens der Lernenden mündlich, um an ihre Vorerfahrungen anzuknüpfen und möglicherweise eine Vorentlastung anzubieten. Hierbei werden Fragen zum Thema des Diagramms zusammengestellt sowie notwendige Fachbegriffe und Formulierungen notiert. Anschließend erfolgt die Arbeit an einem Diagramm in drei Hauptschritten (vgl. Michalak/Müller 2015):

- **Schritt 1:** Analyse mithilfe von Leitfragen und sprachlichen Hilfen (vgl. Abbildung 3),
- **Schritt 2:** Erstellung eines Sprach-Fach-Netzes (eventuell unter Anleitung mit Handreichung von der Lehrkraft, vgl. Abbildungen 4 - 6),
- **Schritt 3:** Mündliche oder schriftliche Zusammenstellung der Ergebnisse.

Im ersten Schritt wird den Rezipienten/Rezipientinnen eine Diagrammanalysehilfe mit vier Betrachtungsebenen (*Orientierung, Beschreiben, Erklären/Interpretieren, Beurteilen*) und konkreten Formulierungshilfen zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3: Diagrammanalysehilfe zu dem Säulendiagramm ‚Entwicklung des weltweiten Kupferbedarfs‘ (vgl. Abbildung 1).

Die Analyse auf den vier Ebenen wird durch Leitfragen angebahnt, die eine systematische Struktur der Betrachtung vorgeben. Sie berücksichtigen sowohl die Struktur und den Aufbau der grafischen Darstellung als auch fachliche Zusammenhänge. Das Modell umfasst standardisierte und nicht-standardisierte Fragen, die anhand der in den fachlichen Bildungsstandards formulierten Kompetenzerwartungen entwickelt wurden. Als Pendant zu den Fragen werden Satzanfänge angeboten (vgl. Abbildung 3), die von den Rezipienten/Rezipientinnen als Hilfestellungen bei der Formulierung eigener Äußerungen genutzt werden können.

Diese Unterstützungshilfen dienen der Musterorientierung, von der vornehmlich sprachlich Schwächere profitieren (vgl. Michalak 2013). Für die Lehrkraft besteht die Herausforderung darin, die Leitfragen sowie die sprachlichen Hilfen an die jeweilige Darstellungsform (das heißt die Diagrammart und ihre thematische Ausrichtung), an das fachliche und sprachliche Wissen der Lernenden kontextspezifisch sowie an die in der Aufgabenstellung verlangte sprachliche Handlung (Erklären, Interpretieren, Auswerten usw.) anzupassen. Als Grundlage hierfür kann ein zuvor von der Lehrkraft ausformulierter Erwartungshorizont dienen, der die Ausarbeitung von den für die Analyse notwendigen fachlichen und sprachlichen Elementen ermöglicht.

Die Ergebnisse der Diagrammbetrachtung mithilfe der Analysehilfe werden in einem Sprach-Fach-Netz festgehalten beziehungsweise veranschaulicht (vgl. Abbildung 7), wobei die Ebenen der Analysehilfe selbst die Hauptzweige des Sprach-Fach-Netzes bilden. Auf der Ebene der Orientierung (vgl. Abbildung 4) werden die Rahmendaten wie Titel, Thematik, Zeit und Zahlenmaterial beziehungsweise Einheiten extrahiert.

Welche Informationen aus dem Diagramm sind wichtig für die **Orientierung**?

→ Notiere diese Aspekte als Kernfelder im Sprach-Fach-Netz!

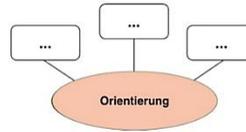


Abbildung 4: Ausschnitt aus der Handreichung zum Erstellen eines Sprach-Fach-Netzes.

Hierbei werden zunächst die Strukturen eingeordnet und deren Zusammenhang wahrgenommen. Die Ebene des Beschreibens gilt der genaueren Betrachtung der in der Grafik enthaltenen Informationen. Über die Beschreibung der einzelnen Daten werden übergeordnete Strukturen und Entwicklungen thematisiert, trotzdem werden die Inhalte bis dahin ausschließlich wiedergegeben und noch nicht interpretiert. Der Versuch, Erklärungen und mögliche Gründe für die Daten und Strukturen zu geben, erfolgt in der Ebene des Erklärens/Interpretierens. Auf der Ebene des Beurteilens werden Ursachen und Folgen der dargestellten Sachverhalte erläutert. Hierbei müssen Informationen herangezogen werden, die über die im Diagramm abgebildeten Informationen hinausgehen. Die Einbettung in fachliches und fachfremdes Vorwissen kann dafür erforderlich sein. Der Schwierigkeitsgrad der einzelnen Ebenen ist unterschiedlich: Die Ebenen des Beschreibens und des Erklärens sind miteinander verwoben und enthalten mehr fachlich-methodische und sprachliche Herausforderungen als die Ebene der Orientierung (vgl. Abbildung 5).

Welche Zusammenhänge gibt es bei den Kernbegriffen zwischen **Orientierung** und **Beschreiben**?

- Illustriere die Begründungen in Form von beschrifteten Pfeilen im Sprach-Fach-Netz. Die Pfeile sollen so beschriftet werden, dass sich mit Hilfe der Kernbegriffe daraus Sätze ergeben. Der Pfeil zeigt die Richtung der Relation.

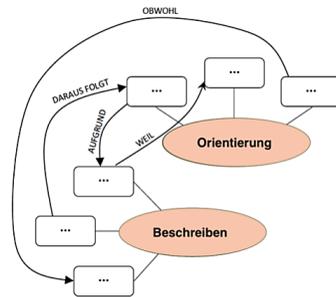


Abbildung 5: Ausschnitt aus der Handreichung zum Erstellen eines Sprach-Fach-Netzes.

Die Ebene des Beurteilens ist sehr abstrakt und damit am anspruchsvollsten. Die Rezipienten/Rezipientinnen müssen an der Stelle allgemeingültige Aussagen des Diagramms ableiten können, als auch potenzielle Entwicklungen am Diagramm ablesen und diese in den Kontext der aktuellen Situation oder der übergeordneten Fragen setzen. Die Lernenden müssen erkennen, welche Informationen und Verbindungen des Diagramms eine Aussage, Interpretation und Kontextualisierung verlangen. Diese Ebene kann nur mithilfe der vorangegangenen Ebenen bewältigt werden: Die Beurteilung des Sachverhaltes „fußt besonders auf den in der Ebene der Orientierung gewonnenen Angaben sowie auf fachlichem Wissen der RezipientInnen“ (Michalak/Müller 2016, 41).

Diese Schritte müssen nun für alle vier Kategorien ausgeführt werden.

- Welche Zusammenhänge/Relationen der **Orientierung** sind wichtig für das **Erklären/ Interpretieren**?
- Welche Zusammenhänge/Relationen der **Orientierung** sind wichtig für das **Beurteilen**?
- Welche Zusammenhänge/Relationen des **Beschreibens** sind wichtig für das **Beurteilen**?
- ...

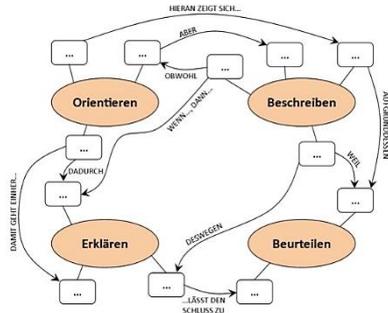


Abbildung 6: Ausschnitt aus der Handreichung zum Erstellen eines Sprach-Fach-Netz.

Eine erfolgreiche und detaillierte Diagrammanalyse fordert – neben der Bearbeitung der einzelnen Ebenen – im Sinne des systemischen Denkens eine starke Verknüpfung derselben untereinander, was sich auf allen Ebenen zeigt. Die Dokumentation der Erkenntnisse aus der Analyse kann in einem Sprach-Fach-Netz erfolgen, das an *Concept Maps* erinnert. Die ausgeprägten strukturellen sowie sprachlichen Vorgaben unterscheiden jedoch ein Sprach-Fach-Netz von einer klassischen *Concept Map* und dienen zum einen zur Schaffung von kognitiven Modellen und zur Einbettung in bereits bestehende Konzepte (vgl. Abbildung 6). Anhand der Leitfragen wird eine Visualisierung aller Diagramminhalte in ihrer Komplexität auf einen Blick von den Lernenden selbst dargestellt. Zum anderen unterstützen Sprach-Fach-Netze sprachlich Schwache, dadurch dass durch die kleinschrittige Vorgehensweise methodische und sprachliche Routinen für das Lesen von Diagrammen und das Verschriftlichen im schulischen Kontext geschaffen werden. Ein Sprach-Fach-Netz gilt demzufolge als ein stark strukturierter Zwischenschritt beziehungsweise als eine individuell erarbeitete Netzstruktur, die insbesondere die Hierarchien und Verknüpfungen zwischen den

Elementen abbildet, sprachlich vorformuliert und damit die anschließende Textproduktion erleichtert.

Die Arbeit mit Sprach-Fach-Netzen soll in einem aktiven Austausch mit anderen Rezipienten/Rezipientinnen erfolgen, weshalb sich kooperative Lernformen in Partner- oder Gruppenarbeit anbieten. Die Verständigung mit anderen Rezipienten/Rezipientinnen ermöglicht zum einen eine Diskussion über die Inhalte und damit ein tieferes Durchdringen des Diagrammthemas. Zum anderen erfolgt durch die Interaktion ein intensiver Austausch, in dem auch fachsprachliche Formulierungen – gemäß der Prinzipien sprachbewussten Fachunterrichts (vgl. Michalak et al. 2015) – ausgehandelt werden. Das Erstellen eines Sprach-Fach-Netztes sollte vor allem mit denjenigen Schülern/Schülerinnen geübt werden, die noch keine Erfahrungen mit *Concept Maps* haben.

Dafür wurde eine Handreichung zusammengestellt, die ein Beispiel eines Sprach-Fach-Netztes sowie die Vorgehensweise von der Aktivierung des Vorwissens, über die fachliche Hinführung zum Diagramm bis zur Vermittlung der methodischen Grundlagen für die Erstellung des Sprach-Fach-Netztes enthält (vgl. Abbildungen 4 - 6). Dabei werden die Lernenden dazu aufgefordert, über die Spezifik der Diagramme der jeweiligen Art sowie über die Spezifik der zu analysierenden Grafik nachzudenken. Mit den Fragen ‚Was ist das Thema, was sind die wichtigsten Informationen?/Für welchen Raum gilt das Diagramm?‘ wird versucht, die ersten fachlichen Verknüpfungen herzustellen. Ferner wird in der Handreichung gezeigt, wie ein Sprach-Fach-Netz zu erstellen ist. Gestützt durch den Verweis auf die Diagrammanalysehilfen sowie durch Bilder (vgl. Abbildungen 4 - 6) wird gezeigt, wie das Sprach-Fach-Netz aufzubauen ist.

Zunächst wird die enge Verzahnung und Nicht-Linearisierung der verschiedenen Ebenen aus der Diagrammanalysehilfe angedeutet, woraufhin anhand der Phase Orientierung Informationen aus dem Diagramm notiert werden sollen (vgl. Abbildung 6). Anschließend werden die verschiedenen Ebenen miteinander verbunden, was ebenfalls durch Grafiken illustriert wird (vgl. Abbildungen 5 und 6). In dem dritten Schritt werden die Ergebnisse der Analyse in einem kohärenten Text mündlich oder schriftlich zusammengestellt. Die Grundlage dafür bildet das vorher erarbeitete Sprach-Fach-Netz (vgl. Abbildung 7).

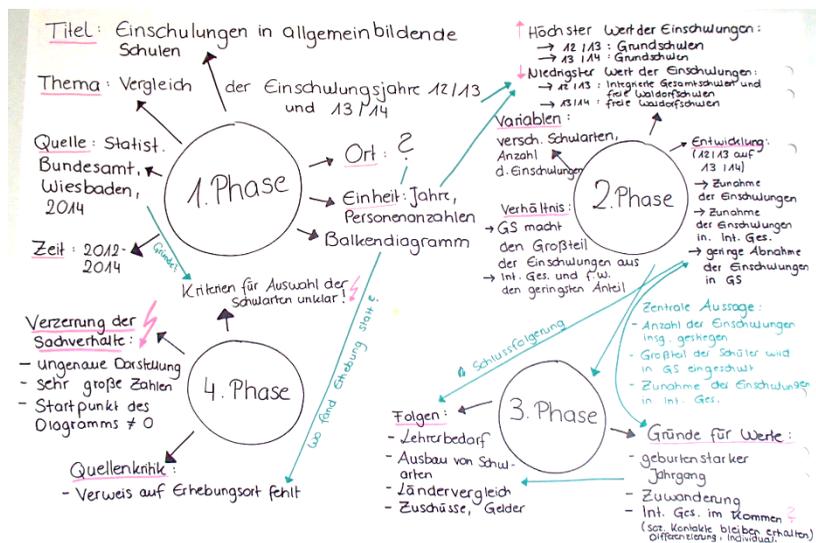


Abbildung 7: Beispiel Sprach-Fach-Netz aus der Erhebung mit Lehramtsstudierenden des Faches Didaktik des Deutsch als Zweitsprache zu einem Balkendiagramm mit dem Thema „Einschulung in allgemeinbildende Schulen“.

4. Evaluationsergebnisse und ihre Diskussion

Das Konzept der Sprach-Fach-Netze wird in verschiedenen schulischen Gruppen (alle Schulformen der Sekundarstufe I), unter Probanden mit verschiedenen sprachlichen und fachlichen Voraussetzungen sowie in verschiedenen fachlichen Kontexten (junge Erwachsene mit Deutsch als Zweitsprache und Fremdsprache, Lehramtsstudierende verschiedener Fächer mit/ohne DaZ-Ausbildung, mit/ohne geografisches Wissen, Lehrkräfte in Lehrerfortbildungen) fortlaufend evaluiert⁴.

Bisher lag der thematische Schwerpunkt bei der Erprobung im Bereich Geographie beziehungsweise Landeskunde (im Fach Deutsch als Fremd-/Zweitsprache). Eingesetzt wurden unterschiedliche Diagramme, für die jeweils angepasste Diagrammanalysehilfen entwickelt wurden, um insbesondere die sich ergebenden fachlichen Relationen kontextspezifisch auszuarbeiten und zugleich die fachlichen und sprachlichen Hilfen an die Voraussetzungen der Erprobungsgruppe anzugleichen. Damit wird das Konzept umfangreich getestet. In den Sprachkursen DaZ/DaF wurden aufgrund der geringen Bedeutung des fachlichen Kontextes sowie der Vorbereitung der Probandengruppe auf den Deutsch-Test für Zuwanderer (DTZ) die zu erreichenden Kompetenzerwartungen an diese Prüfung angepasst.

In der Lehramtsausbildung sowie in der Weiterbildung der Lehrkräfte wurden die Erwartungen und Beurteilung der Lehrkräfte mithilfe von Fragebögen einbezogen. In der Regelklasse der Hauptschule wurde der geographische Kontext nach den Bildungsstandards (vgl. Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss 2014) sowie des schulinternen Lehrplans berücksichtigt. Die Auswertung der bisherigen Erprobung des Konzeptes zeigt insgesamt positive Ergebnisse.

⁴ Die Erprobung erfolgte bisher an der Universität zu Köln sowie an der Universität Erlangen-Nürnberg.

Fachlich zeigt sich, dass Sprach-Fach-Netze (vgl. Abbildung 7) besonders zur Analyse von komplexen Diagrammen große Potenziale entfalten. Die Visualisierung der Relationen sowie Hierarchien werden in einem Sprach-Fach-Netz laut Aussagen der Probanden deutlich. Die Analyse der anschließend mithilfe von Sprach-Fach-Netzen verfassten Texte belegt, dass die Arbeit mit den Diagrammanalysehilfen sowie die Sprach-Fach-Netze zur Verbesserung der Darstellungstiefe komplexer Sachverhalte in den Texten beitragen. Als sehr hilfreich wird die verstärkte, konzentrierte und systematische Auseinandersetzung mit dem Diagramm bewertet:

Für die Lösung der Aufgabe war sowohl das Analysenaster [...] als auch das Sprach-Fach-Netz hilfreich. Das Analyseraster hilft, die Vorgehensweise des Sprach-Fach-Netzes zu verstehen und die eigene Darstellung zwingt zur genauen Analyse und Vollständigkeit der Auswertung.⁵

So geben die Leitfragen eine Orientierung beziehungsweise eine Strukturierung vor und präsentieren Hinweise auf mögliche fachliche Zusammenhänge. Es zeigt sich, dass auf fachlicher Ebene ausschließlich kontextspezifische Hilfen zur Interpretation und zum tiefgründigen Beschreiben des Sachverhaltes führen. Aus diesem Grund muss für jedes Diagramm die Analysehilfe angepasst werden. Speziell im Umgang mit komplexen Grafiken muss berücksichtigt werden, dass im Umgang mit Komplexität eine Tendenz zur Vereinfachung existiert (vgl. Mitchell 2009).

Eine Herausforderung bildet für die Probanden die Trennung der vier Ebenen der Analysehilfe, die sich voneinander nicht eindeutig abgrenzen lassen. Dies liegt darin begründet, dass die einzelnen Ebenen inhaltlich stark miteinander verwoben und

⁵ Auszug aus einem Fragebogen eines Studierenden zur Arbeit mit Sprach-Fach-Netzen

damit voneinander abhängig sind. Dies erschwert die Entwicklung einer Analysehilfe. Zudem wurde deutlich, dass Personen, die bisher keine Erfahrungen mit *Concept Maps* hatten⁶, eine lineare Auseinandersetzung mit einem Diagramm bevorzugen und sich überwiegend an den Leitfragen und sprachlichen Hilfen orientieren. Dabei betonen sie selbst, dass sie an die ganzheitliche Betrachtung einer Grafik nicht gewöhnt sind. Daraus folgt, dass für den Einsatz der Sprach-Fach-Netze eine methodische Hinführung erforderlich ist.

Sprachlich bewährt sich die Analysehilfe zur Ausbildung von Sprachmustern in der Diagrammanalyse: Besonders sprachlich Schwache nutzen die sprachlichen Hilfen für die Auswertung der Grafik. Sprachlich versierte Lernende empfinden die Hilfen dagegen als zu stark lenkend und verzichten bei der Textproduktion darauf. Infolgedessen arbeiten sprachlich Erfahrene fast ausschließlich mit den Leitfragen. Mit entsprechender Adaption an die jeweilige Lerngruppe bieten daher Sprach-Fach-Netze eine ausgeprägte Möglichkeit der Binnendifferenzierung. Die Analysehilfe kann entsprechend stark oder weniger stark lenkend vorbereitet werden. Ferner wird von allen Probanden der Erhebung der Austausch in der Gruppenarbeit als besonders effektiv und motivierend bewertet. Es wird betont, dass durch die gemeinsame Erschließung der Grafik und durch Verständnisfragen der anderen Teilnehmenden eigene fachlich-methodische sowie sprachliche Unsicherheiten geklärt werden können. Dies führt auch zur Präzision der formulierten Aussagen. Das deutet darauf hin, dass in der kommunikativen Auseinandersetzung mit Diagrammen durch das Erstellen der Sprach-Fach-Netze ein großes Potenzial liegt.

Im weiteren Verlauf soll das Konzept der Sprach-Fach-Netze in unterschiedlichen Fächern und in unterschiedlichen Alters- sowie Niveaustufen getestet werden. Das Konzept wird auch in einer Interventionsstudie erprobt, um die Möglichkeit der

⁶ Dies betrifft hauptsächlich ältere Probanden.

Binnendifferenzierung der Sprach-Fach-Netze (unter anderem Analysehilfe mit und ohne sprachliche Muster) weiter auszubauen. Überdies kann durch variierende Diagramme oder Diagramminhalte in Zukunft das Potenzial der Sprach-Fach-Netze als systemische Erschließungshilfe in Bezug auf vernetzte Wirkungs- sowie Organisationsprozesse und raumzeitliche Entwicklung genauer untersucht werden.

5. Schlussbetrachtung

Fast alle Schulfächer in allen Schulstufen bedienen sich Diagrammen oder Grafiken. Ein erfolgreicher Umgang mit derartigen nichtlinearen Darstellungsformen darf aufgrund ihrer Komplexität und Domänenspezifität nicht vorausgesetzt werden, sondern bedarf der systematischen Heranführung, um hierfür die fachlich-methodischen und sprachlichen Kompetenzen der Lernenden auf- beziehungsweise auszubauen. Zur Entschlüsselung von Grafiken sind stark vernetzende Kompetenzen notwendig. In dem Beitrag wurde die Möglichkeit vorgestellt, Diagramme mit Hilfe einer systemischen Herangehensweise zu erschließen. Inwieweit systemisches Denken sprachliches Wissen voraussetzt und wie die Verknüpfung von Fachwissen und fachsprachlichem Wissen aussehen kann, zeigt sich in der Erhebung zur Diagrammauswertung mit Hilfe von Sprach-Fach-Netzen.

Ausgehend vom fachlichen Inhalt werden durch sprachliche Realisierungen Elemente verbunden, strukturiert und hierarchisiert sowie in potenziell zeitlicher sowie räumlicher Entwicklung durch die bildhafte Unterstützung von Sprach-Fach-Netzen dargestellt. Dies erweist sich bisher insbesondere für sprachlich weniger versierte Lernende mit/ohne Deutsch als Zweitsprache besonders hilfreich. Offen bleibt jedoch, inwiefern die Visualisierung, die Strukturierung durch Leitfragen, die sprachlichen Hilfen oder das kooperative Lernen im Einzelnen oder als Gesamtkonzept zum angemessenen Umgang mit Diagrammen beitragen.

Literatur

Baumann, K.-D. (1998): Textuelle Eigenschaften von Fachsprachen. In: Hoffmann, L./Kalverkämper, H./Wiegand, H. E. (Hrsg.): Fachsprachen. Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft. Berlin, S. 408 - 416.

Berkemeier, A. (2009): Präsentieren lehren. Vorschläge und Materialien für den Deutschunterricht. Baltmannsweiler.

Budde, M./Michalak, M. (2014): Sprachenfächer und ihr Beitrag zur fachsprachlichen Förderung. In: Michalak, M. (Hrsg.): Sprache als Lernmedium im Fachunterricht. Baltmannsweiler, S. 9 - 33.

Behrke, J., Frambach, T. et al. (2010): Praxis Geographie NRW 2., Braunschweig.

Cañas, A. J./Carff, R./Hill, G./Carvalho, M./Arguedas, M./Eskridge, Th./Lott, J./Carvaja, R. (2005): Concept maps: Integrating knowledge and information visualization. In Tergan, S.-O./Keller, T. (Hrsg.): Knowledge and information. Heidelberg/New York, S. 205 - 219.

Haugwitz, M./Sandmann; A. (2009): Kooperatives Concept Mapping in Biologie: Effekte auf den Wissenserwerb und die Behaltensleistung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15/2009, S. 89 - 107.

Freimann, T. V./Schlieker, V. (2009): Concept Map/Begriffsnetz. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie 64/65. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15/2009, S. 58 - 59.

Keimes, Ch. (2014): Lesen. Lesekompetenz in gewerblich-technischen Ausbildungsberufen. Dissertation. Tectum. Marburg.

Kölzer, C/Lemke, V/Michalak, M. (2015): Diagramme im gesellschaftswissenschaftlichen Unterricht - eine Herausforderung für Lernende mit Deutsch als Zweitsprache. In: Zeitschrift für Didaktik der Gesellschaftswissenschaften, 6(2)/2015, S. 121 - 135.

Lachmayer, S. (2008): Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht. Kiel.

Lachmayer, S./Nerdel, C./Prechtel, H. (2007): Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Modelling of cognitive abilities regarding the handling of graphs in science education. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 13/2007, S. 145 - 156.

MSW – Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2011): Kernlehrplan für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen. Gesellschaftslehre – Erdkunde, Geschichte/Politik.

Verfügbar unter: http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_downloadhauptschule/GL_HS_KLP_Endfassung.pdf [28.09.16]

Michalak, M. (2013): Erklären im Lernbereich Gesellschaftslehre. Ein didaktisches Modell zur sprach- und fachbezogenen Förderung. In: Oomen-Welke, I./Decker, Y. (Hrsg.): Deutsch als Zweitsprache. Beiträge zur durchgängigen Sprachbildung. Freiburg i.Br., S. 231 - 248.

Michalak, M./Lemke, V./Kölzer, C. (2017, i.D.): „Wenn ich hingucke, seh ich immer erst das Obere.“ Kompetenzen von Lernenden mit Deutsch als Zweitsprache beim Umgang mit diskontinuierlichen Darstellungsformen. In: Fuchs, I./Jeuk, S./Knapp, W. (2017): Mehrsprachigkeit: Spracherwerb, Unterrichtsprozesse, Schulentwicklung. Beiträge zum 11. Workshop Kinder und Jugendliche mit Migrationshintergrund. Stuttgart.

Michalak, M./Müller, B. (2016): Sprach- und Kulturlernen mit Sprach-Fach-Netzen: Arbeit an diskontinuierlichen Darstellungsformen. In: Feldmaier, A./Eichstaedt, A. (Hrsg.): Lernkulturen Schriftsprache in DaZ - Grammatik - Sprachliche Anforderungen in den Fächern. 41. Jahrestagung des Fachverbandes Deutsch als Fremd- und Zweitsprache an der Universität Münster 2014. (MatDaF-Band 94). Göttingen.

Mitchell, M. (2009): Complexity: A Guided Tour. Oxford.

Novak, J. D./Cañas, Alberto J. (2006): The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performer Support. Pensacola.

Rico, G. (1984): Garantiert schreiben lernen. Sprachliche Kreativität methodisch entwickeln. Hamburg.

Schnotz, W. (2001): Wissenserwerb mit Multimedia. In: Unterrichtswissenschaft, 29/4/2001, S. 292 - 318.

Schnotz, W. (1994): Wissenserwerb mit logischen Bildern. In: Weidenmann, B. (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film, Video und Computerprogrammen. Bern, S. 95 - 147.

Schnotz, W./Dutke, S. (2004): Kognitionspsychologische Grundlagen der Lesekompetenz: Mehrebenenverarbeitung anhand multipler Informationsquellen. In: Schiefele, U./Artelt, C./Schneider, W./Stanat, P. (Hrsg.): Struktur, Entwicklung und Förderung von Lesekompetenz. Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000. Wiesbaden, S. 61 - 99.

Schnotz, W./Bannert, M. (2003): Construction and interference in learning from multiple representation. In: Learning and Instruction, 13/2003, S. 141 - 156.

Schnotz, W. (2005): An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In: The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge, S. 49 - 69.

Schnotz, W. (2006): Visuelles Lernen. In: Rost, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim.

Ullrich, M./Schnotz, W./Horz, H./McElevany, N./Schroeder, S./Baumert, J. (2012): Kognitionspsychologische Aspekte eines Kompetenz-modells zur Bild-Text-Integration. In: Psychologische Rundschau, 63(1)/2012, S. 11 - 17.

Weidenmann, B. (1994): Informierende Bilder. In: Weidenmann, Bernd (Hrsg.): Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Bern, S. 9 - 58.

Weidenmann, B. (2004): Psychologische Ansätze zur Optimierung des Wissenserwerbs mit Bildern. In: Sachs-Hombach, K./Rehkämper, K. (Hrsg.): Bild - Bildwahrnehmung - Bildverarbeitung. Interdisziplinäre Beiträge zur Bildwissenschaft. Wiesbaden, S. 243 - 25.

Systeme und systemisches Denken in der Biologie und im Biologieunterricht

1. Organisationsebenen und Kennzeichen biologischer Systeme

Die Biologie ist eine Systemwissenschaft und die ‚Lehre vom Lebendigen‘ beschäftigt sich mit verschiedenen lebendigen Systemen auf unterschiedlich komplexen Ebenen. Bereits bei der spontanen Assoziation zu biologischen Systemen fallen auch einem Laien zahlreiche Begriffe ein: Nervensystem, Kreislaufsystem, Ökosystem, System Mensch, Immunsystem u.v.m. Wie lassen sich biologische Systeme nun systematisieren und charakterisieren?

Das umfassendste System stellt der Planet Erde dar. Dieser ist in zahlreiche Teilsysteme untergliederbar, die sich wiederum auf verschiedenen Organisationsstufen des Lebendigen befinden. Als kleinstes funktionierendes System beziehungsweise als kleinste Lebensinheit gilt in der Biologie die **Zelle**, die den Grundbaustein jeglichen Lebens darstellt. Ein Verband aus Zellen wiederum bildet ein **Gewebe**, viele Gewebe bilden die Funktionseinheit **Organ**. Organe wiederum können zu **Organismen** zusammengefasst werden, mehrere hierarchisch organisierte Organe und Organsysteme sind die konstituierenden Elemente eines **Organismus**. Die Gesamtheit von Organismen einer Art in einem bestimmten Lebensraum stellt eine **Population** dar, das Zusammenleben von Populationen mehrerer Arten wird als **Biozönose** bezeichnet. Die Einheit einer Lebensgemeinschaft und ihres Lebensraums stellt ein **Ökosystem** dar und die globale Ebene schließlich, die **Biosphäre**, umfasst alle durch Stoffkreisläufe und Energieflüsse miteinander verbundenen Lebensgemeinschaften der Erde.

Alle biologischen Systeme sind **offene Systeme**, das heißt sie stehen in steter Wechselwirkung mit ihrer Umwelt, tauschen mit ihr sowohl Energie als auch Materie aus und erhalten so ihre innere Ordnung aufrecht. Bisweilen wird das Gesamtsystem Erde als geschlossenes System bezeichnet, welches mit der Umgebung nur Energie, jedoch keinen Stoffaustausch betreibt. Unter Berücksichtigung von zum Beispiel Meteoriteneinschlägen (= Materialaustausch) wird jedoch deutlich, dass auch bei der Erde nicht wirklich von einem geschlossenen System gesprochen werden kann. Biologische Systeme besitzen zudem die Fähigkeit zur **Autopoiesis**, das heißt zur Selbsterschaffung, was sich zum Beispiel bei einer Zelle in der Fähigkeit zur Zellteilung und damit zur Reproduktion zeigt. Weitere Merkmale von biologischen Systemen sind Identität und Organisation, Integrität, Dynamik und Emergenz (vgl. Sommer/Harms 2010). Die **Identität** eines Systems, das heißt die Grenzziehung zwischen System und Umwelt ist nicht immer eindeutig festlegbar und bis zu einem bestimmten Maß variabel. Zwar sind die Elemente eines Systems dadurch gekennzeichnet, dass sie in stärkerer Wechselwirkung und **Organisation** miteinander stehen, als es das System mit seiner Umgebung tut, jedoch unterliegt die Grenzsetzung bei einem offenen System einer gewissen Willkür und hängt essenziell auch vom Betrachter und vom Erkenntnisinteresse des Betrachters ab.

Letztlich handelt es sich bei biologischen Systemen um Konstruktionen, mit deren Hilfe Phänomene des Lebendigen in einer gewählten Komplexität auf unterschiedlichen Organisationsebenen beobachtbar werden (Sommer/Harms 2010, 3).

Biologische Systeme bestehen aus einer bestimmten Anzahl von Elementen, die wiederum eine spezifische Organisation aufweisen und miteinander in Wechselwirkung stehen, wodurch sich Struktur und Funktion eines Systems ergeben. So findet sich zum Beispiel in biologischen Systemen immer dann eine

vergrößerte Oberfläche (= Struktur), wenn an dieser Oberfläche verstärkt Stoffaustauschprozesse (= Funktion) ablaufen. Ob man die alveoläre Struktur am Ende der Bronchiolen oder die starke Verästelung unzähliger dünnwandiger Kapillaren betrachtet – beide Strukturen vergrößern die Oberfläche und ermöglichen besonders effizient die Aufnahme und den Transport von Sauerstoff im Atmungssystem.

Die Funktionstüchtigkeit eines biologischen Systems ist wiederum nur durch seine **Integrität**, also durch das intakte Zusammenspiel der einzelnen Elemente gewährleistet. Dabei ist ein System mehr als die Summe seiner Einzelteile. Die **Emergenz** – also das Auftreten von neuen Eigenschaften im Zusammenspiel der einzelnen Systemelemente – ist ein Kennzeichen komplexer belebter Systeme (wenngleich sie auch bei unbelebten Systemen zu finden ist). Emergente Eigenschaften lassen sich nicht auf die Eigenschaften der am System beteiligten Bestandteile zurückführen, sondern stellen darüber hinausgehende ‚auftauchende‘ Eigenschaften dar. So könnte man alle für die Fotosynthese notwendigen Strukturen eines Chloroplasten in ein Reagenzglas geben – man würde keinen Fotosyntheseprozess beobachten können. Dafür ist eine spezifische (An-)Ordnung und Organisation innerhalb des Chloroplasten notwendig (vgl. Campbell/Reece 2009, 5).

Ein essenzielles Charakteristikum der besonderen Integrationsleistungen eines Systems ist dessen Fähigkeit zu Steuerung und Regelung. Systeme unterliegen ständig Schwankungen, sie sind **dynamisch**, reagieren auf Veränderungen – und zwar innerwie außerhalb des Systems – und können durch Regulation bestimmte Zustände aufrechterhalten beziehungsweise wiederherstellen. Die häufigste Regulationsform ist hierbei die **negative Rückkopplung** in einem **Regelkreis**, wobei Störgrößen ausgeglichen werden, das Endprodukt eines Prozesses regulierend auf das System zurückwirkt und die Sollgröße wieder eingestellt beziehungsweise erhalten wird. Anders formuliert:

Hier wirkt ein ‚Zuviel‘ eines bestimmten produzierten Stoffes verlangsamend oder hemmend auf die Produktion eben dieses Stoffes (vgl. Campbell/Reece 2009, 15) oder auf dafür notwendige Prozesse. Nur so können Lebewesen zum Beispiel bestimmte physiologische Zustandsgrößen wie Körpertemperatur, Blutzuckerspiegel, Atemrhythmus oder Lichteinfall auf der Netzhaut konstant beziehungsweise in für den Organismus unschädlichen engen Grenzen halten. So gibt zum Beispiel der Hypothalamus als Regelzentrum im Gehirn eine bestimmte Körpertemperatur (ca. 37°C) bei Säugetieren als Sollwert vor. Weicht der Ist-Wert, der von Temperatursensoren (= Messgliedern) in der Haut registriert wird, nun durch die Einwirkung einer Störgröße (zum Beispiel starke Sonneneinstrahlung oder andere Wärmeeinwirkung) vom Sollwert ab, führt das zu spezifischen Rückkopplungsprozessen, wie zum Beispiel der Erweiterung peripherer Blutgefäße, sodass durch die starke Durchblutung der Haut vermehrt Wärme abgegeben wird und der Sollwert von 37°C aufrechterhalten beziehungsweise wiederhergestellt werden kann. So wird der Einfluss von Störgrößen kompensiert und Stabilität in einem physiologischen Funktionsrahmen erreicht.

Regulierungsprozesse finden sich auf allen verschiedenen Systemebenen. Auch auf Ebene des Ökosystems lassen sich Schwankungen um einen Mittelwert sowie Rückkopplungsprozesse konstatieren, zum Beispiel im Verhältnis Räuber-Beute-Tiere (wie bei Stadtkatzen und Mäusen). So bringt eine Erhöhung der Anzahl von Mäusen mit zeitlicher Verzögerung eine erhöhte Anzahl von Stadtkatzen mit sich, da sich die Katzen aufgrund des verbesserten Nahrungsangebotes besser vermehren können. Die erhöhte Anzahl der Räuber (Katzen) wiederum dezimiert jedoch die Zahl der Beutetiere (Mäuse), sodass sich nach einer bestimmten Zeitspanne aufgrund des nun verschlechterten Nahrungsangebots auch die Zahl der Katzen wieder verringert. Das wiederum schafft bessere Vermehrungsmöglichkeiten für die Mäuse usw. Ein wesentlicher Unterschied bei

diesen Regulierungs- beziehungsweise Rückkopplungsprozessen in Ökosystemen besteht jedoch darin, dass es sich hierbei nicht um einen klassischen Regelkreis handelt, denn es gibt keinen Sollwert im Ökosystem oder in der Biosphäre. Gleichwohl finden bestimmte Schwankungen um einen Mittelwert statt und es herrscht eine gewisse Stabilität, sodass auch hier von Rückkopplungsvorgängen gesprochen werden kann (vgl. Töpperwien/Köttker 2008).

Offene Systeme zeigen also ein **dynamisches Gleichgewicht** (Fließgleichgewicht), in dem trotz augenscheinlicher Stabilität permanent energetische und stoffliche Austauschprozesse ablaufen und in dem das System stets verschiedenen Regulationsmechanismen unterliegt.

Wenngleich seltener, so findet sich in biologischen Systemen noch eine andere Form der Rückkopplung, die sogenannte **positive Rückkopplung**. Hierbei „kommt es zu einer Akkumulation des Endproduktes bis zu einem spezifischen Grenzwert, der zu einer bestimmten Reaktion führt“ (Campbell/Reece 2009, 15). So führt das Anheften von Blutplättchen (Thrombozyten) an einem verletzten Gefäß zu einer verstärkten Anlagerung weiterer Thrombozyten und eine kritische Menge an Thrombozyten setzt schließlich den Gerinnungsprozess in Gang. Ein anderes Beispiel wäre das Überführen des inaktiven Enzyms Pepsinogen im Magen in seine aktive Form (= Pepsin) durch die Ausschüttung von Magensäure. Pepsin wiederum aktiviert umgehend weiteres Pepsinogen, sodass die Menge des aktiven Enzyms immer größer wird – ein klassisches Beispiel für positive Rückkopplung.

Lebendige Systeme sind zudem gekennzeichnet durch **genetische Variabilität und umweltbedingte Modifikationen** und weisen das Potenzial auf, **Entwicklungen** – in individueller sowie evolutiver Hinsicht – zu vollziehen sowie genetische Informationen weiterzugeben.

2. Das Basiskonzept ‚System‘ im Biologieunterricht

Im Zuge der Einführung von Bildungsstandards wurden auch für die Biologie zentrale Kompetenzbereiche formuliert (vgl. KMK 2005). Hier lassen sich drei prozessbezogene Kompetenzen (Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung) und ein inhaltsbezogener Kompetenzbereich (Fachwissen) unterscheiden. Während die ersten drei Kompetenzbereiche in der Handlungsdimension liegen und zentrale naturwissenschaftliche Fähigkeiten und Fertigkeiten postulieren, werden im Bereich ‚Fachwissen‘ sogenannte Basiskonzepte formuliert:

Hierbei handelt es sich um grundlegende biologische Prinzipien, die dazu beitragen sollen, ein vernetztes biologisches Grundlagenwissen aufzubauen und Gemeinsamkeiten, Prinzipien, Regeln, Charakteristika in verschiedenen, scheinbar völlig unterschiedlichen biologischen Phänomenen zu erkennen (vgl. Schmiemann et al. 2012).

Mittels dieser Basiskonzepte beschreiben und strukturieren die Schülerinnen und Schüler in der Biologie fachwissenschaftliche Inhalte. Mit ihnen bewältigen die Lernenden einerseits die Komplexität biologischer Sachverhalte, die von der Biologie dynamisch weiterentwickelt werden, vernetzen andererseits das exemplarisch und kumulativ erworbene Wissen (KMK 2005, 9).

Die Inhalte des Unterrichtsfaches Biologie werden dazu in drei zentrale biologische Basiskonzepte strukturiert: System, Struktur und Funktion, Entwicklung. Das tiefgehende Verständnis dieser drei miteinander in enger Beziehung stehenden Basiskonzepte trägt essenziell zu einem biologischen Grundverständnis bei, denn Leben ist in Systemen und auf verschiedenen Komplexitätsebenen organisiert, alle lebendigen Systeme sind durch Offenheit, ein dynamisches Gleichgewicht, genetische Variabilität, Reproduktion, Informationsaustausch, zeitliche

Veränderungen, Wachstums-, Regenerations- und Alterungsprozesse gekennzeichnet. Alles Leben auf der Erde durchläuft individuelle und evolutionäre Entwicklungsprozesse und auf allen Organisationsebenen sind Strukturen und Funktionen untrennbar miteinander gekoppelt und bedingen sich gegenseitig. Der zielgerichtete kompetenzorientierte und kumulative Aufbau von Fachwissen im Biologieunterricht muss demnach Verständnis für die essenziellen Merkmale und Aspekte dieser Basiskonzepte vermitteln sowie für die Gemeinsamkeiten scheinbar unverknüpfter biologischer Einzelphänomene sensibilisieren (zum Beispiel: Was haben Zelle, Herz und Wald gemeinsam?) und nicht nur additives Einzelwissen vermitteln. Die Standards im Kompetenzbereich Fachwissen zum Basiskonzept System lauten wie folgt:

Die Schülerinnen und Schüler ...

F 1.1 verstehen die Zelle als System,

F 1.2 erklären den Organismus und Organismengruppen als System,

F 1.3 erklären Ökosystem und Biosphäre als System,

F 1.4 beschreiben und erklären Wechselwirkungen im Organismus, zwischen Organismen sowie zwischen Organismen und unbelebter Materie,

F 1.5 wechseln zwischen den Systemebenen,

F 1.6 stellen einen Stoffkreislauf sowie den Energiefluss in einem Ökosystem dar,

F 1.7 beschreiben Wechselwirkungen zwischen Biosphäre und den anderen Sphären der Erde,

F 1.8 kennen und verstehen die grundlegenden Kriterien von nachhaltiger Entwicklung (KMK 2005, 13).

Es erscheint wenig verwunderlich, dass gerade dem Konzept ‚System‘ im Biologieunterricht und damit auch in den Bildungsstandards solch eine bedeutende Position als eines von drei zentralen Basiskonzepten zukommt. Zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung gehört unabdingbar die Fähigkeit,

multiperspektivisch zu denken und zwischen verschiedenen Systemebenen flexibel gedanklich wechseln zu können. Vergleiche

Ein zusammenhängendes und ganzheitliches Verständnis für biologische Fragen und Sachverhalte zeigen Lernende, wenn sie in der Lage sind, bei der Bearbeitung biologischer Fragestellungen flexibel die Systemebenen zu wechseln (vertikaler Perspektivwechsel) und unterschiedliche naturwissenschaftliche Perspektiven innerhalb der Biologie und zwischen den Naturwissenschaften einzunehmen (horizontaler Perspektivwechsel) (KMK 2005, 9).

Denkt man biologisch, so denkt man in Systemen; hat man die Charakteristika und Funktionsweise von biologischen Systemen verstanden, so ist man auf dem besten Weg, Biologie wirklich zu verstehen.

3. Systemisches Denken und Systemkompetenz von Schülern im biologischen Kontext

Systemisches Denken ist anspruchsvoll, erfordert kognitive Flexibilität und die Fähigkeiten, vernetzt sowie in logischen Zusammenhängen und um Ecken denken zu können. Für ein umfassendes systemisches Verständnis sind zudem oftmals Kenntnisse aus der Chemie, der (Molekular- und Populations-) Genetik, der Physiologie und der Ökologie notwendig, die erst sukzessiv im Laufe der biologischen Schulbildung erworben werden. So findet die Behandlung von biologischen Inhalten in der Grundschule zum Beispiel noch überwiegend auf der Systemebene des Organismus und in Teilen auf Ökosystemebene statt.

Insbesondere bei Systemen mit äußerst komplexen Gefügen und Wechselwirkungen (Ökosysteme und Biosphäre) ist es eine große Herausforderung, Ursachen für Veränderungen/Entwicklungen im System zu benennen, wenn die beobachtbaren Folgen

nicht-linear verlaufen und multikausal bedingt sind. Ein Beispiel hierfür wäre die Erklärung des vielschichtigen Phänomens des zunehmenden Bienensterbens (vgl. Rayder/Feigenspan 2016). So gibt es hier zwar unmittelbare Ursachen (zum Beispiel schwächt ein verstärkter Pestizideinsatz das Immunsystem der Bienen, die somit anfälliger für Krankheiten werden und eher sterben), aber auch ein Neophyt – das aus Asien eingeschleppte sogenannte Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*) – steht in einem nicht unmittelbar erkennbaren Zusammenhang mit dem Bienensterben. Diese Pflanze vermehrt sich explosionsartig, blüht bis in den späten Herbst hinein und ist für Bienen äußerst ‚attraktiv‘, was sie dazu verleitet, zu spät in die notwendige Winterruhe zu gehen, was wiederum zu Stress, einem geschwächten Immunsystem, einer erhöhten Anfälligkeit für Krankheitserreger und somit auch zu einer erhöhten Sterberate bei den Bienen führt.

Je komplexer die Systeme sind, umso schwieriger ist es auch, begründete Hypothesen über die (vor allem Langzeit- und Fern-)Wirkungen von Eingriffen ins System aufzustellen und zu überprüfen; hier sind auch amtierende Wissenschaftler mithilfe aufwändiger Computersimulationen immer noch im Prozess des Verstehens (zum Beispiel mittels Klimamodellierungen).

Die Fähigkeit, Systeme zu erfassen und zu modellieren sowie – auch komplexe – Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu erkennen und zu überprüfen, geht eng einher mit experimentellem Verständnis und Modellkompetenz. In jedem Fall müssen ausgehend von noch nicht ergründeten Phänomenen begründbare Hypothesen aufgestellt, Prognosen abgeleitet, Variablen identifiziert, Vorgehensweisen (zum Beispiel (Modell-)Experiment, Simulation) geplant und von Beobachtungen Rückschlüsse auf die Haltbarkeit der Hypothesen gezogen werden. Hier gehen also die prozessbezogene Kompetenz der Erkenntnisgewinnung und die inhaltsbezogene Kompetenz Fachwissen mit dem Schwerpunkt System ineinander über.

Nach Sommer/Harms (2010) setzt sich (biologische) Systemkompetenz aus verschiedenen Facetten zusammen.
Gemäß den Autoren sollten Schülerinnen und Schüler...

- ... Systemelemente identifizieren und miteinander in Beziehung setzen,
- ... Systemgrenzen sowohl erkennen als auch selber ziehen,
- ... biologische Systeme als offene Systeme beschreiben,
- ... zwischen Eigenschaften des Systems und Eigenschaften der Systemelemente unterscheiden,
- ... dynamische Beziehungen erkennen und beschreiben,
- ... Folgen von Veränderungen vorhersagen und die Entwicklung von Systemen prognostizieren,
- ... unterschiedlich komplexe Zusammenhänge in einem System beurteilen,
- ... eigene Vorschläge für die Steuerung eines Systems entwickeln,
- ... zum Beispiel durch den Menschen vorgenommene Eingriffe in ein (Öko-)System beurteilen können.

Die Freiburger Arbeitsgruppe um Prof. Werner Rieß und Prof. Christoph Mischo definiert systemisches Denken als „die Fähigkeit, Wirklichkeitsbereiche als Systeme erkennen, beschreiben und möglichst auch modellieren zu können“ (Rieß 2013, 61) und hebt die Bedeutung systemischen Denkens insbesondere im Zusammenhang mit der Fähigkeit, im Sinne nachhaltiger Entwicklung denken und handeln zu können, hervor (vgl. dazu den folgenden Abschnitt). Unter ihrer Definition von systemischem Denken subsummiert diese Arbeitsgruppe ebenfalls vor allem die Fähigkeit zur Bestimmung von Systemelementen sowie zum Erkennen von Wechselwirkungen, die Fähigkeit, Dynamiken zu erfassen, Hypothesen und Prognosen aufzustellen und mittels Modellierungen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu erklären (vgl. Mischo/Rieß 2008, 349).

4. Systemisches Denken im Kontext von Nachhaltigkeit und Bildung für nachhaltige Entwicklung

Eine besondere Bedeutung kommt der Fähigkeit, systemisch denken zu können, im Kontext von Nachhaltigkeit zu. Die Auswirkungen durch Eingriffe von Menschen in zum Beispiel Ökosysteme oder Stoffkreisläufe können nur umfassend und angemessen beurteilt werden, wenn sowohl Nah- als auch Fernwirkungen, mittelbare sowie unmittelbare und vor allem nicht-lineare Folgen prognostiziert, abgeschätzt und erklärt werden können. Hinzu kommt der bedeutende Umstand, dass spätestens seit dem Abschlussbericht 1998 der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages ‚Schutz des Menschen und der Umwelt‘ für eine nachhaltige zukunftsverträgliche Entwicklung die Bewusstmachung der untrennbaren Verflechtung sowie eine Gleichgewichtung und gegenseitige Integration der drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales als unerlässlich betrachtet wird. Ökologische Probleme wie übermäßiger Rohstoffverbrauch, die Entwicklung des Weltklimas oder der Verlust von Biodiversität sind an verschiedenen Stellen mit ökonomischen und/oder soziokulturellen Aspekten verzahnt und können und dürfen nicht ohne Berücksichtigung von Fragen der globalen Gerechtigkeit und einer zukunftsfähigen wirtschaftlichen Entwicklung diskutiert werden.

Durch Etablierung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) sollen alle Gesellschaftsmitglieder dazu befähigt werden, die Welt zukunftsfähig und lebenswert für jetzige und zukünftige Generationen zu gestalten und zu erhalten. Dabei bezeichnet BNE

ein ganzheitliches Konzept, das den globalen – ökologischen, ökonomischen und sozialen – Herausforderungen unserer vernetzten Welt begegnet. Als Bildungsoffensive zielt BNE darauf ab, das Denken und Handeln jedes Einzelnen zu verändern und

damit die gesamte Gesellschaft zu transformieren. BNE befähigt zu informierten und verantwortungsvollen Entscheidungen im Sinne ökologischer Integrität, ökonomischer Lebensfähigkeit und einer chancengerechten Gesellschaft. Bildung stellt den Schlüsselfaktor für nachhaltige Entwicklung dar (Deutsche UNESCO-Kommission e.V. o.J.).

Anknüpfend an die UN-Dekade Bildung für Nachhaltige Entwicklung von 2005 - 2014 hat die UNESCO für den Zeitraum 2015 bis 2019 das Weltaktionsprogramm Bildung für nachhaltige Entwicklung ausgerufen.

Auch für die schulische Bildung finden sich in Deutschland auf verschiedenen Ebenen normative Vorgaben zur Vermittlung von BNE, zum Beispiel in Lehrplänen, in den Bildungsstandards verschiedener Fächer, zum Beispiel Biologie (vgl. KMK 2005) oder in Empfehlungen der Kultusministerkonferenz und der Deutschen UNESCO-Kommission (vgl. KMK/DUK 2007). Um die komplexen und vielschichtigen Zusammenhänge, Abhängigkeiten und Wechselwirkungen globaler Herausforderungen in ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Hinsicht erfassen und reflektieren und um eine zukunftsfähige Gesellschaft mitgestalten zu können, ist die Fähigkeit zum vernetzten, systemorientierten Denken eine notwendige Voraussetzung. Oder anders gesagt: Es ist davon auszugehen, dass

Schülerinnen und Schüler sich nur dann an einer umweltgerechten bzw. nachhaltigen Entwicklung beteiligen können, wenn sie komplexe und globale Zusammenhänge erkennen und verstehen können. So erst werden sie in die Lage versetzt, in die Entwicklung komplexer Systeme einzugreifen, um sie im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung beeinflussen zu können (Rieß/Mischo 2007, 216; unter Bezugnahme auf Hlawatsch et al. 2005).

Somit kann Systemkompetenz als ein wesentliches Element von BNE betrachtet werden.

5. Empirische Befunde zur Systemkompetenz von Schülern im biologischen Kontext

Systemisches Denken von Schülern im ökologischen Kontext wird häufig unter Einsatz von Aufgabenmaterial zu Nahrungsketten und Nahrungsnetzen erhoben. Die Schüler werden dazu aufgefordert, Nahrungsketten/Nahrungsnetze zu analysieren, zu vervollständigen (zum Beispiel über die Herstellung von (trophischen) Beziehungen zwischen verschiedenen symbolisch abgebildeten Organismen) oder selber zu konstruieren sowie Prognosen darüber zu treffen, welche Auswirkungen die Zu- oder Abnahme der Anzahl einiger der beteiligten Organismengruppen hat und dies alles jeweils zu begründen. Ein Meta-Überblick über Untersuchungen dieser Art wird übersichtlich in Hammann/Asshoff (2014) dargelegt. Es lässt sich zusammenfassend sagen, dass jüngere Schüler bis ca. 11 Jahre sowohl indirekte als auch zweiseitig gerichtete Wirkungen beziehungsweise Rückkopplungseffekte noch sehr vernachlässigen. Sie beschreiben überwiegend einseitig gerichtete und oft auch nur kurze Wirkketten, simplifizieren dabei vorhandene komplexe Zusammenhänge in einem Ökosystem und vernachlässigen vielschichtig vernetzte Beziehungen.

Sommer (2006) untersuchte die Förderbarkeit von Systemkompetenz bei Schülern der Primarstufe anhand eines eigens hierfür konzipierten Unterrichts- und Diagnoseinstruments. Mit einer Interventionsstudie an 363 Grundschulern der 3. und 4. Jahrgangsstufe ließ sich konstatieren, dass eine Förderung im Bereich Systemorganisation (Systemelemente identifizieren, in Beziehung setzen und Systemgrenzen erkennen und ziehen) schon in der Grundschule gelingen kann. Eine Förderung hingegen im Bereich Systemeigenschaften (Eigenschaften der Systemelemente und emergente Eigenschaften des Systems unterscheiden, Dynamiken erkennen, Vorhersagen treffen) konnte mit der durchgeführten Intervention zum Thema Weißstorch nicht erzielt werden. Auch zeigte sich eine große Schwierigkeit

bei den Grundschulern, systemische Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu verstehen, wenn zwischen Ursachen und Folgen sehr große zeitliche oder geographische Abstände liegen (vgl. ebd.). Für die Grundschule sollten daher zunächst System-Beispiele gewählt werden, die überschaubar bleiben und keine zu große Komplexität aufweisen.

Rieß und Mischo (2007) entwickelten ein valides Diagnoseinstrument zur Erhebung von systemischem Denken als Teilkompetenz von BNE für Schüler der 5. - 7. Jahrgangsstufe. In einer Interventionsstudie mit 424 Schülern der 6. Jahrgangsstufe konnten sie zeigen, dass eine Förderung systemischen Denkens nur dann gelingt, „wenn eine realitätsnahe Computersimulation in einen auf systemisches Denken ausgerichteten Unterricht eingebettet ist“ (Mischo/Rieß 2008, 360). Bearbeiten die Schüler ausschließlich eine Computersimulation, wächst zwar die Fähigkeit, mit dieser Computersimulation umzugehen, dies führt jedoch nicht zu einem verbesserten Verständnis von Systemen. Ebenso wenig reicht Unterricht aus, der systemtheoretisch ausgerichtet ist, jedoch auf Simulationen verzichtet. Weiterführende Studien der Autoren zeigten, dass bei der Auswahl der Computersimulationen darauf geachtet werden sollte, dass selbige Rückkopplungskreise enthalten (vgl. Rieß/Mischo 2008), was auch in Hinblick auf die skizzierten Schwierigkeiten jüngerer Schüler beim systemischen Denken sinnvoll erscheint. Insgesamt lässt sich festhalten, dass systemisches Denken durchaus lehr- und lernbar zu sein scheint (vgl. Bollmann- Zuberbühler/Kunz 2008), die Implementierung von systemischem Lernen in Schulen jedoch große Zeiträume und das strikte Einüben formaler Schritte sowie die Nutzung spezifischer Lernarrangements erfordert (vgl. ebd.). Unter welchen Bedingungen und in welchen Lerngruppen mit welchen Vorgehensweisen Systemkompetenz effektiv vermittelt und aufgebaut werden kann, ist Inhalt zahlreicher weiterer Studien (vgl. zum Beispiel Rieß/Mischo 2010; Frischknecht-Tobler et al. 2008).

Als unterrichtliche Elemente zur Förderung des vernetzten Denkens bietet sich – neben geeigneten Computersimulationen – der Einsatz von (zu vervollständigenden oder zu erstellenden) Concept Maps (vgl. Riemeier 2012) sowie die primär aus dem Geographieunterricht entlehnte und inzwischen auch für den Biologieunterricht verwendete innovative Methode der Mysterys (vgl. zum Beispiel Rayder/Feigenspan 2016; Pütz et al. 2015; Schuler 2005) an. Zudem sind vermehrt auch Unterrichtsmaterialien erhältlich, die explizit die Beschäftigung mit dynamischen Wechselwirkungen und Zusammenhängen in biologischen Systemen zum Inhalt haben sowie einen reflektierten Wechsel der Organisationsebenen auf Seiten der Schüler unterstützen (vgl. zum Beispiel Martinis/Truernit 2012; Sommer/Harms 2010; Töpferwien/Köttker 2008).

6. Förderung von Systemkompetenz durch Modellierung mit Insight Maker

Nach Sommer und Harms (2010) erfolgt der Aufbau der Systemkompetenz kumulativ über mehrere Schuljahre hinweg. Dabei werden im Unterrichtsalltag die verschiedenen Teilkompetenzen an konkreten Beispielen entwickelt, durch Wiederholung gesichert und die gelernten Prinzipien auf weitere Beispiele und Kontexte übertragen (vgl. ebd.). Die hier vorgestellte Unterrichtseinheit fokussiert daher auf der Förderung von Teilkompetenzen und leistet damit einen wichtigen Beitrag zum Aufbau von Systemkompetenz. Sie zeigt an einem ökologischen Beispiel, wie Insight Maker genutzt werden kann, um mit den Schülern Wechselwirkungen in einem Ökosystem und Fernwirkungen durch Eingriffe des Menschen zu simulieren.

6.1 Überblick über die Unterrichtseinheit

Diese Unterrichtseinheit für die Mittelstufe kann in zwei Abschnitte unterteilt werden. Im ersten Abschnitt werden mithilfe des Programms Insight Maker Räuber-Beute-Systeme erarbeitet, im zweiten Abschnitt wird der Einfluss des Menschen auf diese Systeme verdeutlicht. Als biologischer Inhalt für diese Unterrichtseinheit wird das Beispiel 'Warum das Verschwinden großer Haie das Überleben von Muscheln bedroht' (vgl. Sommer/Harms 2010) herangezogen und entsprechend unterrichtlich umgesetzt. In diesem Beispiel wird auf Basis von realen Daten beschrieben, wie das Jagen und Töten von Haien, die zu Haifischflossensuppe oder Potenzmitteln verarbeitet werden, die Haibestände drastisch schrumpfen ließ. In der Folge haben sich ihre Beutetiere, in diesem Beispiel (Kuhnasen-)Rochen, stark vermehrt. Da die höhere Zahl an Rochen nun mehr Kamm-muscheln frisst, wurden diese wiederum stark dezimiert – so stark, dass die Muschelfischerei zusammenbrach (vgl. ebd.). Die Überfischung der Haie hat also einen indirekten Einfluss auf das Gesamtsystem und kann durch die damit verbundenen Verluste für die Muschelfischerei wieder zum Menschen zurückgeführt werden. Dieses Beispiel erscheint besonders geeignet, da der Zusammenhang zwischen dem Verschwinden der Haie und dem Überleben der Muscheln nicht in einem direkten Kausalzusammenhang steht und damit schwer auf den ersten Blick zu erfassen ist. Darüber hinaus weist das Beispiel mehrere Vernetzungen auf, es gibt Rückkopplungsprozesse innerhalb der Räuber-Beute-Beziehung und Fernwirkungen für den Menschen, nämlich den Zusammenbruch der Muschelfischerei.

Die Beschäftigung mit einem solchen komplexen biologischen Phänomen unterstützt die Schüler im Erwerb eines biologischen Anwendungswissens und in ihrer Problemlösefähigkeit, denn „die Beschäftigung von Wechselwirkung in bzw. zwischen Biosystemen fördert das Denken in Systemen und wirkt rein linearem Denken entgegen“ (KMK 2005, 10).

Möglicherweise gehen die Schüler – auch aufgrund des häufig negativ besetzten Images des Hais – zudem zunächst fälschlicherweise davon aus, dass durch den Wegfall des Spitzenprädators die Tiere der weiteren Trophieebenen überleben und dies somit eine positive Auswirkung auf das Ökosystem Meer hat.

6.2 Förderung von Kompetenzen der Bildungsstandards Biologie (KMK 2005) mit der vorgestellten Unterrichtseinheit

Auch im Rahmen dieser Unterrichtseinheit geht die inhaltsbezogene Kompetenz des Fachwissens mit dem Schwerpunkt System in die prozessbezogene Kompetenz der Erkenntnisgewinnung über, da die Lernenden – ausgehend von dem biologischen Phänomen des mit der Haitötung einhergehenden rapiden Rückgangs der Muschelpopulationen – unter anderem begründbare Hypothesen aufstellen, Simulationen auswerten und Rückschlüsse auf die Haltbarkeit ihrer Hypothesen ziehen müssen. Im Rahmen des Basiskonzeptes System kommt hier vor allem eine Förderung des Standards *„F 1.4 Die Schülerinnen und Schüler beschreiben und erklären Wechselwirkungen [...] zwischen Organismen [...]“* (KMK 2005, 13) zum Tragen. Im ersten Unterrichtsabschnitt werden die Schüler dazu aufgefordert, die beiden Kurvenverläufe (Hai und Rochen) miteinander in Beziehung zu setzen und entsprechende Beziehungen zu formulieren. Dies wird auf ein weiteres Beispiel, die Räuber-Beute-Beziehung von Rochen und Muscheln übertragen. Im Anschluss daran werden dann die beiden Diagramme miteinander kombiniert und die Wechselwirkungen zwischen Hai, Rochen und Kammmuschel beschrieben. Im zweiten Unterrichtsabschnitt wird nun der Eingriff des Menschen in das System durch das Töten der Haie einbezogen. Dabei müssen die Schüler Inhalte aus dem ersten Unterrichtsabschnitt mit der neuen Information – dass die Haie vom Menschen in sehr hoher Anzahl getötet werden – kombinieren und zunächst eine Vermutung aufstellen, wie

dadurch die Räuber-Beute-Beziehung von Rochen und Muscheln beeinflusst wird. Mithilfe der Simulation wird diese Vermutung nun überprüft. Abschließend ziehen die Schüler den Rückschluss zur Auswirkung auf den Menschen im Rahmen der Muschelfischerei.

Durch den Einsatz des Insight Makers und der damit verbundenen Simulationsdiagramme wird neben der Erkenntnisgewinnung eine weitere prozessbezogene Kompetenz, die Kommunikationskompetenz, gefördert. Die Kommunikationskompetenz umfasst im Rahmen des Biologieunterrichts die Fähigkeit, „Informationen sach- und fachbezogen [zu] erschließen und [austauschen]“ (KMK 2005, 7). Dazu gehört neben der Verwendung von Fachsprache vor allem der Umgang mit verschiedenen Informationsträgern, wie Texten, Abbildungen, Graphiken und Diagrammen (vgl. KMK 2005). Die Diagrammkompetenz lässt sich nach Lachmayer et al. (2007) in drei Bereiche einteilen: (1) Informationsentnahme, zu der die Identifizierung und das Ablesen gehören, (2) Konstruktion von Diagrammen mit den Feldern ‚Aufbau des Rahmens‘ und ‚Eintragen der Daten‘ und (3) Integration. In dieser Unterrichtseinheit liegt der Schwerpunkt auf der Informationsentnahme aus den Diagrammen. Dazu werden die Identifizierung der Diagrammkomponenten und der Vergleich der beiden Kurvenverläufe gefordert. Im zweiten Unterrichtsabschnitt wird zunächst die Diagrammkompetenz gekoppelt an Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung gefördert, da die Schüler ihre Vermutung in Form eines veränderten Räuber-Beute-Schemas angeben müssen. Nach der Modellierung müssen sie erneut das Diagramm beschreiben, es diesmal aber mit dem Räuber-Beute-Schema aus dem ersten Teil, sowie ihrer eigenen Vermutung in Beziehung setzen. Sie nutzen nun also die zuvor erarbeiteten Informationen und kombinieren sie mit den Informationen aus dem Diagramm im zweiten Abschnitt. Hier wird vor allem der Bereich der Integration im Rahmen der Diagrammkompetenz gefördert.

6.3 Modellierung der Räuber-Beute-Beziehung in Insight Maker

Abbildung 1 zeigt eine mögliche Modellierung der Räuber-Beute-Beziehung von Hai und Rochen mit zugehörigem Simulationsdiagramm.

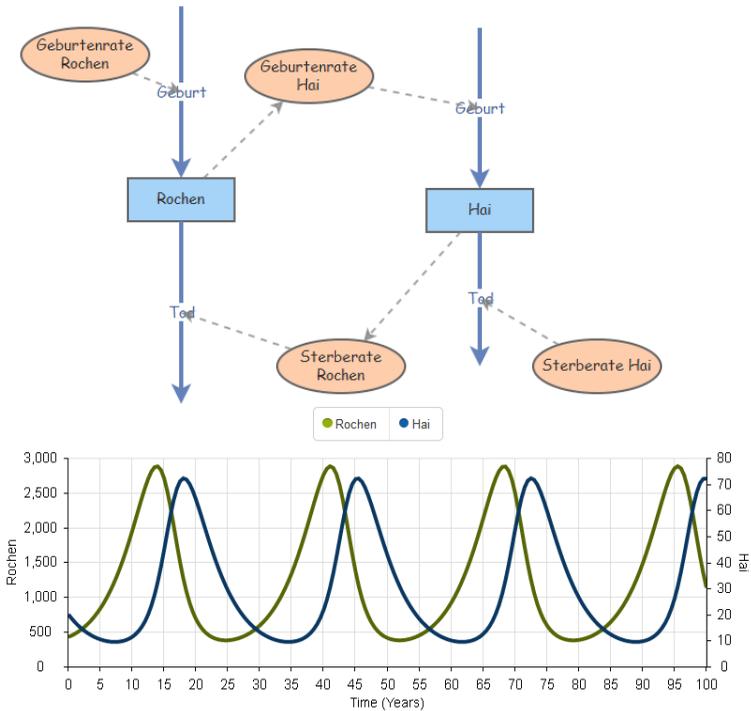


Abbildung 1: System-Dynamics-Modell zur Räuber-Beute-Beziehung von Rochen und Hai

Als Bestand werden Rochen und Haie festgelegt. Die Anzahl der beiden Individuen wird bei beiden Tierarten von Geburt und Tod beeinflusst. Daher werden diese als Fluss dargestellt. Wie viele Individuen geboren werden, hängt zum einen von der vorhandenen Individuenzahl ab, zum anderen von der Geburtenrate. Damit kann der Zufluss ‚Geburt‘ mathematisch für den Rochen als $[\text{Geburtenrate Rochen}] \cdot [\text{Rochen}]$ beschrieben werden; für den Hai dementsprechend als $[\text{Geburtenrate Hai}] \cdot [\text{Hai}]$. Dem Sterben von Individuen wird durch den Fluss ‚Tod‘ Rechnung getragen. Dabei hängt die Anzahl der toten Tiere von der Anzahl der Tiere allgemein und der Sterberate der Tiere ab. Dies bedeutet für den ‚Tod‘ der Rochen $[\text{Sterberate Rochen}] \cdot [\text{Rochen}]$ und für den Hai $[\text{Sterberate Hai}] \cdot [\text{Hai}]$. Um nun eine Interaktion zwischen den beiden Tierarten herzustellen, muss berücksichtigt werden, dass zum einen die Sterberate der Rochen von der Anzahl der Haie beeinflusst wird, da eine höhere Zahl an Haien mehr Rochen frisst. Zum anderen beeinflusst die Anzahl der Rochen die Geburtenrate der Haie, denn je mehr Rochen geboren werden, desto mehr Nahrung ist für die Haie vorhanden, die sich so stärker vermehren. Hier sind nun also auch die Dynamik und die Rückkopplung als Charakteristika des Systems zu erkennen. Eine höhere Anzahl an Rochen führt zur stärkeren Vermehrung der Haie. Je mehr Haie es aber gibt, desto mehr Rochen werden gefressen. Die Folge ist das Sinken der Individuenzahl der Rochen, was zu einer geringeren Geburtenrate der Haie führt. Diese Zusammenhänge können dann mithilfe einer Simulation graphisch dargestellt werden (vgl. Abbildung 1).

Die einzelnen Komponenten können im Rahmen des Programmes nun auch mit ‚Reglern‘ versehen werden, die es erlauben, die Ausgangszahl der Individuen bei Hai und Rochen, sowie die Geburtenrate der Rochen und die Sterberate der Haie zu verändern, um damit entsprechende Szenarien, wie das Töten der Haie durch den Menschen und die damit verbundene höhere Sterberate modellieren zu können.

Im Rahmen einer didaktischen Reduktion werden bei diesem Modell verschiedene weitere Faktoren, die die Individuenzahl beeinflussen, ausgeblendet. Dazu gehört eine mögliche Zu- und Abwanderung von Tieren aus anderen oder in andere Gebiete, innerartliche Konkurrenz, Klimaeinflüsse, Bodenverhältnisse und weitere Fressfeinde beziehungsweise weitere Beutetiere (vgl. Bayrhuber/Kull 2004). Dies sollte aber in einer weiterführenden Aufgabe thematisiert werden, um komplexes und nicht nur ‚schablonenhaftes‘ Systemdenken zu fördern.

6.4 Unterrichtliche Umsetzung

Für den Einstieg in die Unterrichtseinheit kann das biologische Phänomen, dass das Verschwinden großer Haie das Überleben von Muscheln bedroht, aufgezeigt werden und die entsprechende Frage in den Raum gestellt werden. Der für die Lernenden auf den ersten Blick nicht erkennbare Zusammenhang zwischen diesen beiden Komponenten führt zu einer Aktivierung momentaner Lernmotivation und damit zu einer erhöhten Neugier und Bereitschaft für den Wissens- und Kompetenzerwerb (vgl. Berck 1994).

Von dieser Fragestellung ausgehend werden nun Vermutungen von den Schülern zur Beantwortung der Frage aufgestellt und mit ihrem Vorwissen begründet. Dabei können je nach Vorwissen bereits erste biotische Systemkomponenten berücksichtigt werden, aber auch abiotische Faktoren, wie zum Beispiel, dass der Kot der Haie auf dem Meeresgrund die Vermehrung von Muscheln fördert, beschrieben werden. Im nächsten Schritt sollte eine Lösungsplanung zur Überprüfung der Vermutung(en) mit den Schülern erfolgen, bei der die Perspektive eines Forschers übernommen wird und beschrieben werden soll, wie ein Forscher vorgehen würde, um diese Frage zu klären. Hier kämen vor allem die Erkenntnismethoden der Biologie (im engeren Sinn Beobachten, Vergleichen und Experimentieren) in Betracht. So könnten die Schüler vorschlagen, in einem Experiment Kammuscheln mit unterschiedlicher Menge an

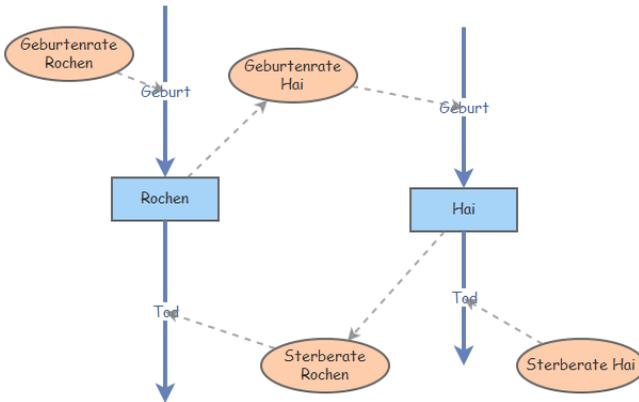
Haikot zu versetzen und die Vermehrungsrate zu messen oder auch, je nach Hypothese, den Hai und sein Fressverhalten im natürlichen Lebensraum über eine bestimmte Zeit hinweg zu beobachten. Da dies im Klassenzimmer nicht möglich ist, wird der Insight Maker als eine Möglichkeit der Erarbeitung aufgezeigt. Dabei müssen die beiden Teilaspekte, die die aufgeworfene Frage beinhaltet, verbalisiert werden: Im ersten Schritt müssen die Räuber-Beute-Beziehungen erarbeitet werden; im zweiten Schritt wird das Verschwinden der Haie durch die Jagd des Menschen und dessen Einfluss auf das Gesamtsystem thematisiert.

Der folgende Abschnitt zeigt in Form eines Arbeitsblattes ausgewählte Arbeitsaufträge, die für die Erarbeitung der Räuber-Beute-Beziehung mit dem Insight Maker herangezogen werden können.

Warum bedroht das Verschwinden großer Haie das Überleben der Muscheln?

1. Räuber-Beute-Beziehung

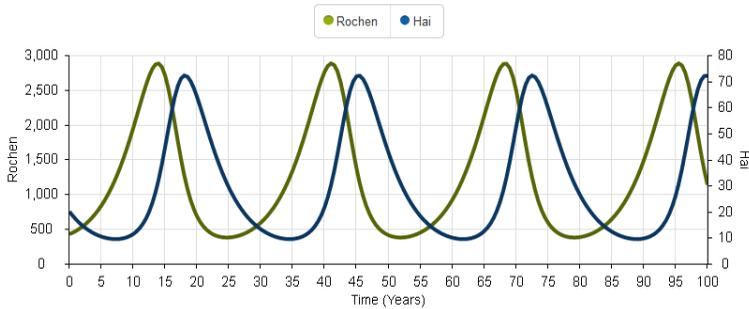
A. Eines der Beutetiere der Haie sind Rochen, zum Beispiel Kuhnasenrochen. Das Modell zeigt dir, wie sich die Anzahl der Haie und Rochen gegenseitig beeinflussen.



a) Beschreibe, welche Faktoren die Anzahl der Rochen und die Anzahl der Haie beeinflussen.

b) Stelle Vermutungen auf, inwiefern die Haie die Sterberate der Rochen und die Rochen die Geburtenrate der Haie beeinflussen. Begründe deine Vermutungen.

B. Lass nun die Simulation zum gezeigten Modell laufen.



a) Vervollständige zunächst die Tabelle.

	Im Diagramm	von... bis
x-Achse		
y-Achse 1		
y-Achse 2		
Linie grün		
Linie blau		

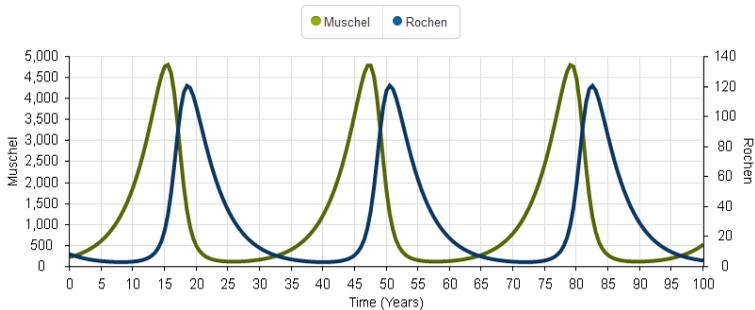
b) Beschreibe den Kurvenverlauf der Anzahl der Rochen.

c) Vergleiche den Kurvenverlauf der Anzahl der Rochen mit der Anzahl der Haie.

d) Formuliere für den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rochen und der Haie Sätze mit „je mehr/weniger...desto mehr/weniger...“.

C. Von Rochen und Kammuscheln

Diese Räuber-Beute-Beziehung gilt nicht nur für Haie und Rochen, sondern auch für Rochen und ihre „Lieblingsspeise“ Kammuscheln.



a) Formuliere für den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Muscheln und der Rochen Sätze mit „je mehr/weniger...desto mehr/weniger...“.

b) Gib eine Nahrungskette für die Tiere Rochen, Hai und Muschel an und formuliere zum vorgegebenen Satz drei weitere Sätze, sodass vier verschiedene Bedingungen entstehen.

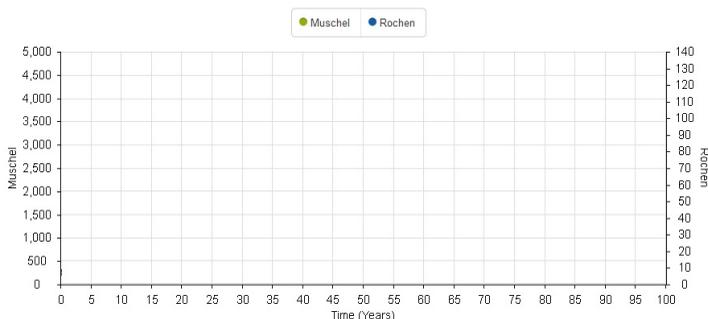
Je mehr Haie, desto weniger Rochen, desto mehr Muscheln.

2. Der Einfluss des Menschen

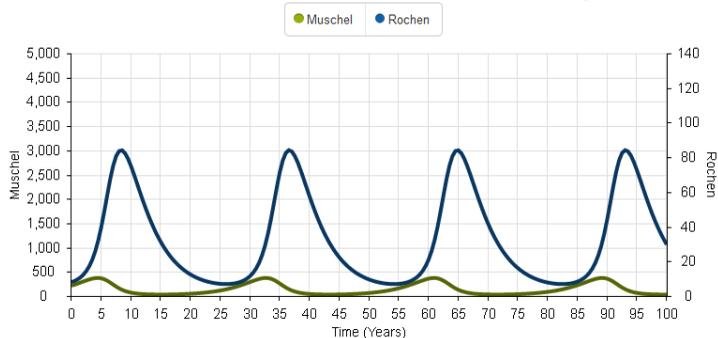
Wie kommt es nun eigentlich zum Verschwinden der Haie? Schuld ist der Mensch, der Haie jagt, um ihre Finne (die Rückenflosse der Haie) zu Suppe zu verarbeiten oder Potenzmittel daraus herzustellen. Aber was hat das mit den Muscheln zu tun?

a) Ergänze nun im System-Dynamics-Modell zur Räuber-Beute-Beziehung von Muschel und Rochen die Abnahme der Anzahl der Haie.

b) Skizziere deine Vermutung, wie eine Abnahme der Haie sich auf die Anzahl der Rochen und Muscheln auswirkt, in einem eigenen Diagramm.



c) Simuliere nun das Modell mit dem Insight Maker.

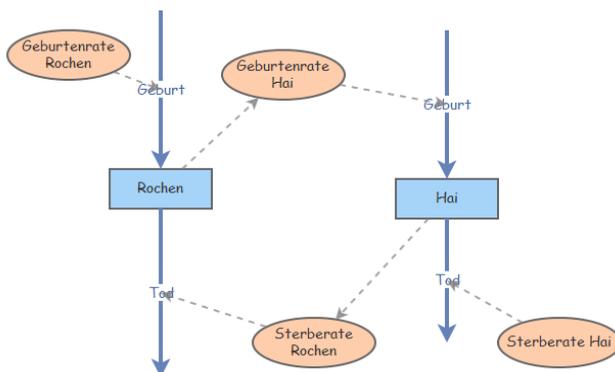


- d) Vergleiche die beiden Kurvenverläufe mit dem Räuber-Beute-Schema aus Aufgabe C und mit deiner Vermutung.**
- e) Erkläre, wie es dazu kommt, dass die Anzahl der Rochen nach einigen Jahren immer wieder sinkt.**
- f) Beschreibe, welchen Einfluss eine hohe Anzahl an Rochen auf die Erträge der Muschelfischer hat.**
- g) Fasse zusammen: Inwiefern leiden Muschelfischer unter dem Töten großer Haie?**

Lösung Warum bedroht das Verschwinden großer Haie das Überleben der Muscheln?

1. Räuber-Beute-Beziehung

A. Eines der Beutetiere der Haie sind Rochen, zum Beispiel Kuhnasenrochen. Das Modell zeigt dir, wie sich die Anzahl der Haie und Rochen gegenseitig beeinflussen.



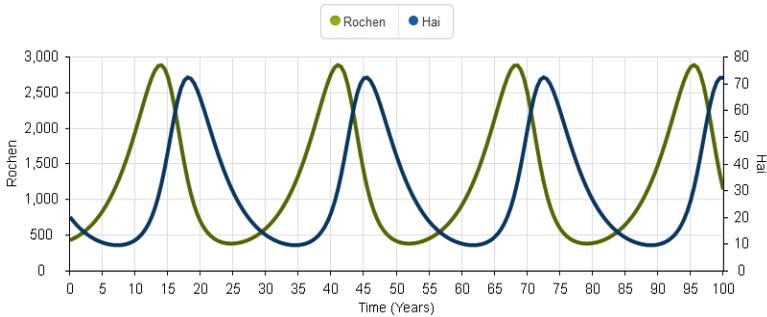
a) **Beschreibe, welche Faktoren die Anzahl der Rochen und die Anzahl der Haie beeinflussen.**

Die Anzahl der Rochen wird von der Geburtenrate der Rochen - also der Geburt neuer Rochen - sowie der Sterberate der Rochen - also dem Tod der Rochen - bestimmt. Die Anzahl der Haie wird ebenfalls von der Geburtenrate der Haie und der Sterberate der Haie bestimmt.

b) **Stelle Vermutungen auf, inwiefern die Haie die Sterberate der Rochen und die Rochen die Geburtenrate der Haie beeinflussen. Begründe deine Vermutungen.**

Die Sterberate der Rochen wird von der Anzahl der Haie beeinflusst, da mehr Rochen gefressen werden, wenn es mehr Haie gibt. Gleichzeitig beeinflusst die Anzahl der Rochen die Geburtenrate der Haie, denn wenn es mehr Rochen gibt, haben die Haie ein größeres Nahrungsangebot und vermehren sich schneller.

B. Lass nun die Simulation zum gezeigten Modell laufen.



a) Vervollständige zunächst die Tabelle.

	Im Diagramm	von... bis
x-Achse	<i>Zeit</i>	<i>0 bis 100 Jahre</i>
y-Achse 1	<i>Rochen</i>	<i>0 bis 3000 Stück</i>
y-Achse 2	<i>Haie</i>	<i>0 bis 80 Stück</i>
Linie grün	<i>Anzahl der Rochen</i>	
Linie blau	<i>Anzahl der Haie</i>	

b) Beschreibe den Kurvenverlauf der Anzahl der Rochen.

Der Kurvenverlauf beginnt im Jahr 0 bei knapp 500 Rochen. Bis zum Jahr 13 steigt er auf 2900 Rochen an. Danach fällt die Anzahl der Rochen bis zum Jahr 25 auf knapp unter 500 Rochen ab. Im Anschluss daran steigt die Anzahl der Rochen wieder für 16 Jahre an und erreicht erneut einen Wert von 2900. Wie zuvor sinkt die Anzahl der Rochen in den darauffolgenden elf Jahren auf unter 500 Tiere. Diese Schwankungen setzen sich gleichmäßig fort.

c) Vergleiche den Kurvenverlauf der Anzahl der Rochen mit der Anzahl der Haie.

Es gibt wesentlich weniger Haie als Rochen. Der Kurvenverlauf der Haie schwankt darüber hinaus weniger stark, als der der Rochen (Minimum 10, maximal 72 Tiere), die Amplitude ist also etwas kleiner. Die Länge einer Welle hingegen ist identisch. Die Kurvenverläufe sind um ca. 5 Jahre zeitversetzt.

d) Formuliere für den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Rochen und der Haie Sätze mit „je mehr/weniger...desto mehr/weniger...“.

Je mehr Haie, desto weniger Rochen.

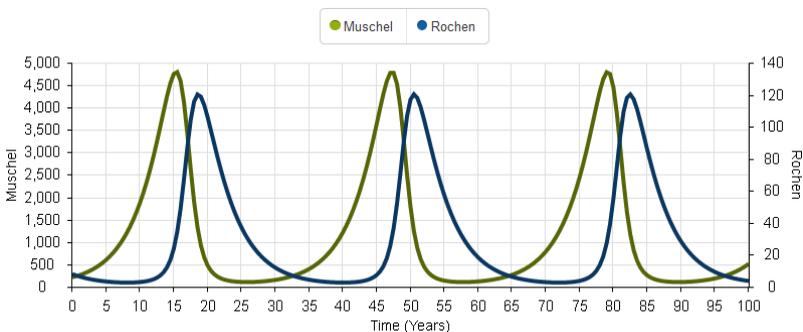
Je weniger Rochen, desto weniger Haie.

Je weniger Haie, desto mehr Rochen.

Je mehr Rochen, desto mehr Haie.

C. Von Rochen und Kammuscheln

Diese Räuber-Beute-Beziehung gilt nicht nur für Haie und Rochen, sondern auch für Rochen und ihre „Lieblingsspeise“ Kammuscheln.



a) Formuliere für den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Muscheln und der Rochen Sätze mit „je mehr/weniger...desto mehr/weniger...“.

Je mehr Rochen, desto weniger Muscheln.

Je weniger Muscheln, desto weniger Rochen.

Je weniger Rochen, desto mehr Muscheln.

Je mehr Muscheln, desto mehr Rochen.

b) Gib eine Nahrungskette für die Tiere Rochen, Hai und Muschel an und formuliere zum vorgegebenen Satz drei weitere Sätze, sodass vier verschiedene Bedingungen entstehen.

Muscheln → Rochen → Hai

Je mehr Haie, desto weniger Rochen, desto mehr Muscheln.

Je mehr Muscheln, desto mehr Rochen, desto mehr Haie.

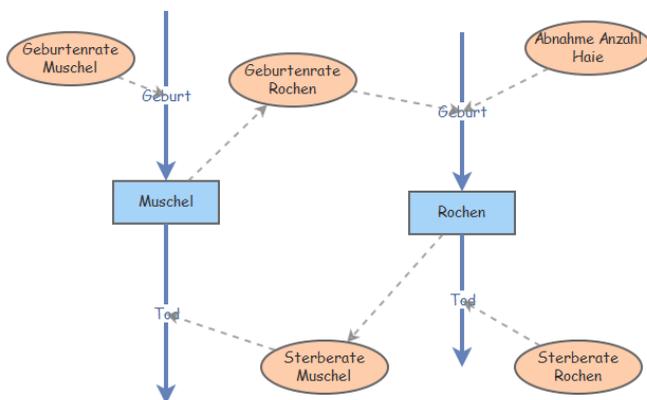
Je weniger Muscheln, desto weniger Rochen, desto weniger Haie.

Je weniger Haie, desto mehr Rochen, desto weniger Muscheln.

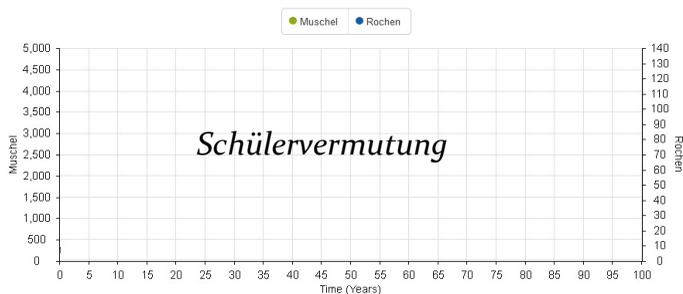
2. Der Einfluss des Menschen

Wie kommt es nun eigentlich zum Verschwinden der Haie? Schuld ist der Mensch, der Haie jagt, um ihre Finne (die Rückenflosse der Haie) zu Suppe zu verarbeiten oder Potenzmittel daraus herzustellen. Aber was hat das mit den Muscheln zu tun?

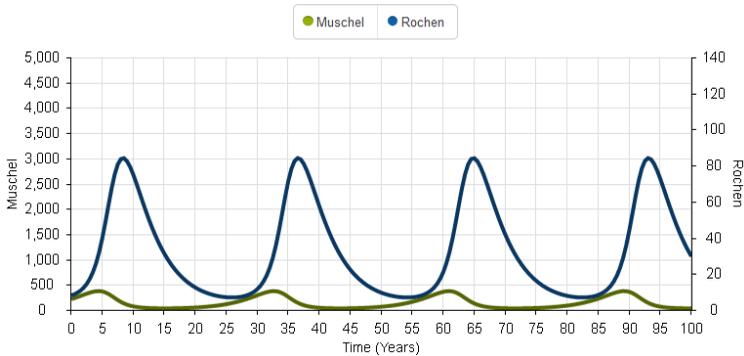
a) Ergänze nun im System-Dynamics-Modell zur Räuber-Beute-Beziehung von Muschel und Rochen die Abnahme der Anzahl der Haie.



b) Skizziere deine Vermutung, wie eine Abnahme der Haie sich auf die Anzahl der Rochen und Muscheln auswirkt, in einem eigenen Diagramm.



c) Simuliere nun das Modell mit dem Insight Maker.



d) Vergleiche die beiden Kurvenverläufe mit dem Räuber-Beute-Schema aus Aufgabe C und mit deiner Vermutung.

Im Diagramm zeigen sich immer noch periodische Schwankungen sowohl für die Anzahl der Rochen als auch für die Anzahl der Muscheln. Allerdings hat sich vor allem die Kurve zur Anzahl der Muscheln stark verändert. Die Amplitude ist nun um einiges kleiner, die Anzahl der Muscheln schwangt zwischen nahezu 0 und knapp 400.

Die Anzahl der Rochen steigt durch das Verschwinden der Haie zunächst an, sinkt dann aber nach einigen Jahren wieder ab. Vergleich mit Vermutung je nach aufgestellter Vermutung.

e) Erkläre, wie es dazu kommt, dass die Anzahl der Rochen nach einigen Jahren immer wieder sinkt.

Die Anzahl der Rochen sinkt nach einigen Jahren wieder, da es immer weniger Muscheln gibt, die sie fressen können. Damit fehlt ihnen ein Teil ihrer Nahrungsgrundlage und sie vermehren sich nicht mehr so stark. Erst wenn die Kammuscheln sich in ihrem Bestand wieder etwas erholt haben, nimmt auch die Anzahl der Rochen wieder zu.

f) Beschreibe, welchen Einfluss eine hohe Anzahl an Rochen auf die Erträge der Muschelfischer hat.

Wenn es eine hohe Anzahl an Rochen gibt, dann sinkt die Anzahl der Kammmuscheln, da diese von den Rochen gefressen werden. In der Folge brechen die Erträge der Muschelfischer ein. Die Muschelfischerei lohnt sich nicht mehr und Menschen, die damit ihr Geld verdienen, haben existenzielle finanzielle Probleme.

g) Fasse zusammen: Inwiefern leiden Muschelfischer unter dem Töten großer Haie?

Die Existenzgrundlage von Muschelfischern sind verschiedene Kammmuschelarten. Diese Muscheln werden auch von Rochen gefressen, die selber wiederum von großen Haien gefressen werden. Verschwinden die Haie durch die Jagd des Menschen, so haben Rochen weniger Fressfeinde und können sich vermehren. Wenn es mehr Rochen gibt, dann gibt es auch mehr Tiere, die Kammmuscheln fressen. Die Anzahl der Kammmuscheln nimmt also ab. Dies lässt die Erträge der Muschelfischer einbrechen, da sie keine Muscheln mehr fangen können.

6.5 Anregungen für den weiteren Unterrichtsverlauf

Im weiteren Unterrichtsverlauf könnten auf ökonomischer und soziokultureller Ebene die Folgen für die Muschelfischer diskutiert werden. In ökologischer Perspektive kann die Rolle der Muscheln als Filtrierer besprochen und daran gekoppelt erarbeitet werden, welche Folgen der Rückgang der Muscheln für das Ökosystem Meer hat. Darüber hinaus sollten mit den Schülern Lösungsansätze zur Regeneration des Muschelbestandes erwogen und reflektiert werden (wie zum Beispiel Zäune um die Muschelbänke zum Schutz vor Rochen). Hierbei kann das Verständnis für die Zusammenhänge im System erneut überprüft, aber auch gefestigt und erweitert werden.

Literatur

Bayrhuber, H./Kull, U. (2004): Linder Biologie. Hannover.

Berck, H. (1994): Der Einstieg in eine Biologiestunde. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 45/1/1994, S. 44 – 48.

Bollmann-Zuberbühler, B./Kunz, P. (2008): Ist systemisches Denken lehr- und lernbar? In: Frischknecht-Tobler, U./Nagel, U./Seybold, H. (Hrsg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 33 – 52.

Campbell, N. A./Reece, J. B. (2009): Biologie. München, aktualisierte Auflage, 5 und 15.

Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (o.J.): Das Weltaktionsprogramm in Deutschland. Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Verfügbar unter:

<http://www.bne-portal.de/de/bundesweit/das-weltaktionsprogramm-deutschland> [31.08.2016]

Frischknecht-Tobler, U./Nagel, U./Seybold, H. (2008): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich.

Hammann, M./Asshoff, R. (2014): Denken Lernende systemisch? In: Hammann, M./Asshoff, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Seelze, S. 194 – 198.

Hlawatsch, S./Lücken, M./Hansen, K./Fischer, M./Bayrhuber, H. (2005): Forschungsdialog: System Erde – Schlussbericht. Kiel. Verfügbar unter:

http://archiv.ipn.uni-kiel.de/System_Erde/Schlussbericht20_12_05-EF.pdf [31.08.2016]

Kultusministerkonferenz (KMK) (2005): Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004.

Verfügbar unter:

www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf [31.08.2016]

Kultusministerkonferenz KMK (2007): Empfehlung der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) und der Deutschen UNESCO-Kommission (DUK) vom 15.06.2007 zur „Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule.“

Verfügbar unter:

www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_06_15_Bildung_f_nachh_Entwicklung.pdf [31.08.2016]

Lachmayer, S./Nerdel, C./Prechtl, H. (2007): Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 13, Jg 13/2017, S. 145 – 160.

Martinis, D./Truernit, L. (2012): Basiskonzept Organisationsebenen: Kurs zum aufeinander aufbauenden Üben des Ebenenwechsels. In: Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (Hrsg.): Biologie auf allen Ebenen - Unterrichtsbausteine für die Jahrgangsstufen 9 und 10 am Gymnasium mit CD-ROM. Akademiebericht Nr. 478. Dillingen.

Mischo, C./Rieß, W. (2008): Förderung systemischen Denkens im Bereich von Ökologie und Nachhaltigkeit. In: Unterrichtswissenschaft, 36/2008, S. 346 – 364.

Pütz, N./Mülhausen, J./Behrens, P. (2015): Spannend, packend, mysteriös - das Mystery. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 68/2/2015, S. 114 – 117.

Rayder, S./Feigenspan, K. (2016): Wird das Summen verstummen? Ein Mystery zu den Ursachen des Bienensterbens. In: Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 8/65/2016, S. 44 – 49.

Riemeier, T. (2012): Erheben und Berücksichtigen von Schülervorstellungen. C: Concept Maps. In: Spörhase, U./Ruppert, W. (Hrsg.): Biologie-Methodik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. 2. Auflage. Berlin, S. 34 – 36.

Rieß, W./Mischo, C. (2007): Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Erfassung des systemischen Denkens in nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten. In: Bormann, I./de Haan, G. (Hrsg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. Wiesbaden, S. 215 – 232.

Rieß, W./Mischo, C. (2008): Wirkungen variierten Unterrichts auf systemisches Denken. In: Frischknecht-Tobler, U./Nagel, U./Seybold, H. (Hrsg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 135 – 147.

Rieß, W./Mischo, C. (2010): Promoting systems thinking through biology lessons. In: International Journal of Science Education, 32(6)/2010, S. 705 – 725.

Rieß, W. (2013): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung systemischen Denkens. In: ANLiegen Natur, 35/2013, S. 55 – 64.

Schmiemann, P./Linsner, M./Wenning, S./Sandmann, A. (2012): Lernen mit biologischen Basiskonzepten. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 65/2/2012, S. 105 – 109.

Schuler, S. (2005): Mysterys als Lernmethode für globales Denken. In: Praxis Geographie, 35/4/2005, S. 22 – 27.

Sommer, C. (2005): Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern im Bereich Biologie. Kiel.

Verfügbar unter:

www.macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00001652/d1652.pdf [31.08.2016]

Sommer, C./Harms, U. (2010): Biologische Systeme. In: Unterricht Biologie, 63/360/2010, S. 2 – 9.

Töpperwien, B./Köttker, N. (2008): Basiskonzept System. In: Töpperwien, B./Köttker, N. (Hrsg.): Kompetenzen vermitteln, Kompetenzen erwerben - Biologie: konkrete Anregungen mit Unterrichtsmaterialien unter besonderer Berücksichtigung der Basiskonzepte. Köln, S. 89 – 93.

Horst Schecker

Systemisches Denken im Physikunterricht¹

1. Systemdynamik im Physikunterricht

Bereits in den 1980er Jahren widmete sich der Begründer der Systemdynamik, Jay Forrester, dem Einsatz von Systemdynamik in der Schule. Seine Kritik des Bildungssystems zielte auf die Diskrepanz zwischen dem passiven Lernen einer großen Zahl einzelner Fakten und ihrer nur geringen aktiven Anwendung in konkreten Problemzusammenhängen (vgl. Forrester 1990, 1). Forrester verlangte eine stärkere Beachtung und Förderung der Schüleraktivität im Unterrichtsprozess, das heißt den aktiven, selbstbestimmten Lerner. Als wesentlichen Ansatzpunkt sah Forrester die Systemdynamik. Unter der Nutzung von Softwarewerkzeugen wie STELLA (isee systems inc., Lebanon, NH; ursprünglich zum Beispiel Richmond et al. 1987) werde der Lerner in die Lage versetzt, dynamische Prozesse seiner Umwelt – von physikalischen Pendelschwingungen bis hin zu sozialen Interaktionen – zu untersuchen und zu verstehen. Das gemeinsame begriffliche Netz werde von der Systemdynamik bereitgestellt:

The dynamic structure that causes a pendulum to swing is identically the same as the core structure that causes employment and inventories to fluctuate in a product-distribution system and in economic business cycles (Forrester 1990, 6).

In dieser Sichtweise Forresters erscheinen physikalische, biologische, ökonomische, soziale Prozesse – beziehungsweise das

¹ Dieser Artikel beruht auf überarbeiteten Auszügen aus: Schecker, H. (1998): Physik modellieren, Stuttgart. Alle Modelle wurden mit *Insight Maker* neu erstellt.

Wissen darüber – *wesensgleich*. Dies geht wesentlich über die These hinaus, man könne *strukturgleiche* → Beschreibungen bestimmter ökonomischer, physikalischer oder biologischer Prozesse mit Hilfe systemdynamischer Methoden anstellen. Bei der Einführung von Modellbildungswerkzeugen im Physikunterricht stellt sich die Frage, ob man eher auf themenübergreifende, im eigentlichen Sinne systemdynamische Aspekte abheben soll (zum Beispiel auf Typen von Wirkungsbeziehungen) oder von vornherein konkrete, fachspezifische Anwendungen in das Zentrum stellt. Man kann die Frage auch so formulieren: Haben die Fächer eine dienende Funktion bei der Vermittlung systemischen Denkens?

Oder werden systemdynamische Verfahren genutzt, um das Lernen fachlicher Strukturen zu unterstützen? Dieser Artikel folgt für den Physikunterricht dezidiert der zweiten Sichtweise:

- Ohne Anwendung auf Inhalte, die unterrichtlich mit weiteren Zugängen wie Experimenten oder anderen Medien verknüpft sind, erscheint Modellbildung thematisch beliebig.
- Modellbildungsumgebungen dienen als *Unterrichtswerkzeuge*. Ziel ihres Einsatzes ist die Lösung *physikalischer* Probleme, nicht die Vermittlung der Systemtheorie.
- Die zentralen Strukturelemente der Systembeschreibung *Zustandsgröße* und *Änderungsrate* haben originäre physikalische Bedeutung. Es bedarf keiner Hilfskonstruktionen aus anderen Inhaltsbereichen, um sie einzuführen und zu veranschaulichen.

Aus physikdidaktischer Sicht sind systemdynamische Betrachtungsweisen zur Unterstützung von Lehr- beziehungsweise Lernprozessen im Physikunterricht *angemessen*, wenn...

- ... der zu modellierende Sachverhalt üblicherweise mit Differentialgleichungen beschrieben wird und mit Hilfe der Systemdynamik die physikalischen Grundlagen dieser mathematischen Beschreibungen verdeutlicht werden können. Dies gilt für viele physikalische Grundphänomene (zum Beispiel Pendelschwingung, radioaktiver Zerfall, Kondensatorentladung).
- ... das System aufgrund seiner mathematischen Komplexität bisher in der Schule nicht behandelt wird, obwohl die grundlegenden Begrifflichkeiten eingeführt sind. Das gilt für viele Phänomene, die physikalisch interessant, aber mathematisch schwierig sind (zum Beispiel Pendelschwingungen mit großen Amplituden).
- ... die Schülerinnen und Schüler das Modell selbst entwickeln können und dabei qualitativ-begriffliche Überlegungen im Vordergrund stehen.
- ... Vergleichsdaten aus eigenen Recherchen (zum Beispiel Experimenten) oder aus der Literatur zur Verfügung stehen, um die Angemessenheit des Modells überprüfen zu können.

Gegen diese Sichtweise könnte der Einwand erhoben werden, man verschenke die Gelegenheit, im Physikunterricht ein generelles komplexes, vernetztes Denken zu fördern. Ohne Zweifel hat das systemische Denken in unserer Gesellschaft eine hohe Bedeutung, aber abgesehen von der Frage, ob der Physikunterricht mit dieser Forderung nicht noch weiter überfrachtet wird, ist es offen, ob komplexe Problemlösungsstrategien inhaltsübergreifend trainierbar sind und ob Modellbildungssysteme dazu beitragen können (vgl. Klieme/Maichle 1991, 8 - 14). Andererseits sind positive Wirkungen auf das fachinhaltliche Verständnis nachweisbar (vgl. Schecker et al. 1992).

1.1 Ziele

Die Nutzung von Modellbildungssystemen im Physikunterricht kann auf dreierlei Weise das physikalische Verständnis fördern:

- Visualisierung der grundlegenden begrifflichen Struktur der Physik (Förderung qualitativen Verständnisses),
- Einbeziehung komplexer Phänomene aus Natur und Technik, die die physikalische Kompetenz stärker herausfordern (Kontextbezug),
- mehr Möglichkeiten für Schüler zur Entfaltung ihrer eigenen Ideen (Schülerorientierung).

Diese drei Aspekte, die den didaktischen Begründungszusammenhang des Computereinsatzes herstellen, werden im Folgenden ausgeführt.

1.1.1 Betonung physikalischer Strukturen

Die Struktur einer physikalischen Theorie drückt sich in einer begrenzten Zahl von Grundbegriffen (zum Beispiel Kraft, Energie, Impuls), Relationen und Sätzen aus, die bei der Beschreibung eines Sachverhalts meist in ein System von Differentialgleichungen münden. Im Unterricht werden die Schüler mit einer großen Zahl von Formeln konfrontiert (wie $s = 1/2at^2$ für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung), die sich aus der Lösung des Differentialgleichungssystems unter speziellen Randbedingungen ergeben. Diese Formeln werden von vielen Schülern als die Quintessenz physikalischer Theoriebildung betrachtet. Sie konzentrieren ihre Aufmerksamkeit auf das (Auswendig-)Lernen und Anwenden solcher Gleichungen.

Die Vielfalt der im Unterricht auftretenden Gleichungen (in der Mechanik zum Beispiel $s = v \cdot t$; $s = 1/2at^2$; $s = s_0 \cdot \sin(\omega t)$; $v = a \cdot t + v_0$; usw.) macht es Schülern schwer, den dahinterliegenden theoretischen Kern im Blick zu behalten.

Bei Übungsaufgaben fragen sich die Schüler dann weniger, welche physikalische Struktur das Problem hat, als vielmehr welche Gleichung passen könnte. Nach der Behandlung des radioaktiven Zerfalls memorieren Schüler eher die Exponentialfunktion $N = N_0 e^{-\lambda t}$ – also ein mathematisches Objekt – als die physikalischen Annahmen, aus denen sie sich mathematisch ergibt, nämlich, dass von einer vorhandenen Anzahl von Kernen stets ein bestimmter Prozentsatz pro Zeiteinheit zerfällt.

Der Einsatz von grafikorientierten Modellbildungssystemen kann die Gewichtung des Unterrichts stärker zu den Grundstrukturen verlagern, sodass es für Schüler leichter wird, den *begrifflichen Kern* einer physikalischen Theorie zu erkennen und ihm die zentrale Bedeutung zuzumessen. Eine systemdynamische Modellierung beginnt mit *qualitativen* Überlegungen: Welche Größen sind wichtig? Welche Wirkungszusammenhänge bestehen? Dadurch wird die *physikalische* Reflexion angeregt. Schüler können sich nicht auf den Versuch zurückziehen, das Problem mit Gleichungen („Formeln“) *mathematisch* zu lösen. Damit soll der verbreiteten Formelorientierung der Schüler entgegengewirkt werden. Die Schüler sollen erkennen, dass die wenigen Grundbegriffe und Sätze der Physik geeignet sind, eine Vielzahl von Phänomenen einheitlich zu beschreiben, während die große Zahl spezieller Lösungen sich jeweils nur auf Spezialfälle beziehen.

Die physikalischen Grundbegriffe und Sätze sind auch dann noch anwendbar, wenn man mathematisch keine geschlossene Lösung für das Problem findet. Ein Beispiel dafür ist das Drei-Körper-Problem (entsprechende Modelle werden in Schecker, 1998 beschrieben). Aber auch bei einfacheren Problemen, für die man eine geschlossene Lösung finden kann, verdeutlicht die systemdynamische Beschreibung die physikalische Struktur. Einheitliche Grundmuster treten durch die objektorientierte, grafische Modellebene deutlicher vor Augen, als das bei alleiniger Betrachtung des Gleichungssystems der Fall ist. So tritt die

Beziehungskette Kraft \rightarrow Beschleunigung \rightarrow Geschwindigkeit \rightarrow Ort ($F \rightarrow a \rightarrow \Delta v \rightarrow v \rightarrow \Delta s \rightarrow s$) in praktisch allen Modellen über Bewegungsvorgänge hervor. Die physikalische Reflexion konzentriert sich auf die Frage, *welche Kräfte* im Spiel sind und wie die Kräfte von anderen Systemgrößen abhängen (zum Beispiel von der Geschwindigkeit, dem Ort, der Masse usw.). Das Grundmodell bleibt erhalten – unabhängig davon, ob mechanische, elektrische oder magnetische Kräfte vorliegen.

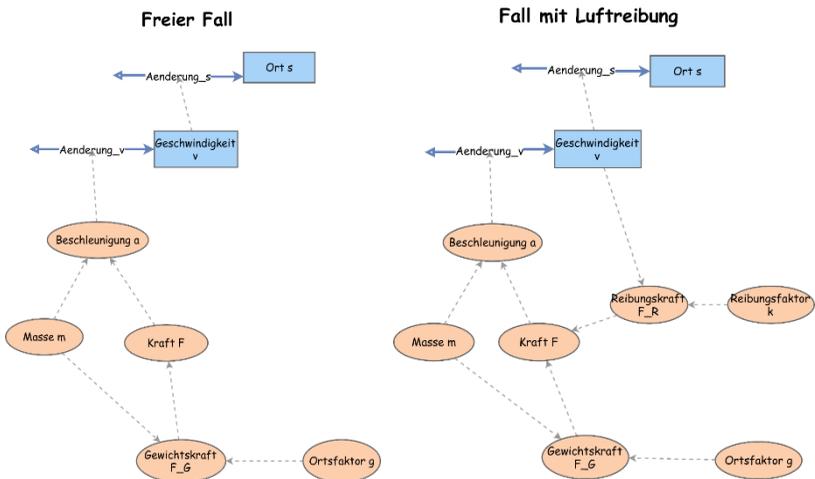
In Abbildung 1 wird das dynamische Grundmodell in zwei Anwendungen gezeigt: Freier Fall und Fall mit Luftreibung.² Die Grundstruktur tritt jeweils deutlich hervor:

- Die resultierende Kraft F bestimmt (zusammen mit der Masse m des zu beschleunigenden Körpers) die Beschleunigung a des Körpers, sie kann sich aus mehreren Einzelkräften ergeben.
- Die Beschleunigung a ändert die Geschwindigkeit v des Körpers (Beschleunigung als Änderungsrate der Geschwindigkeit; $a = \Delta v / \Delta t$).
- Die Geschwindigkeit v ändert den Ort s des Körpers (Geschwindigkeit als Änderungsrate der Ortskoordinate; $v = \Delta s / \Delta t$).

Im zweiten Beispiel ist der Fall eines Körpers unter Einfluss der Luftreibung modelliert (vgl. Abbildung 1 rechts). Die resultierende Kraft setzt sich aus zwei Einzelkräften (Gewichtskraft und Luftreibungskraft) zusammen.

² In den Modellen werden zur Verdeutlichung der Struktur Parameter, wie Luftdichte, cw-Wert usw., nicht alle einzeln als Variablen gezeigt.

Die Geschwindigkeit hat einen Einfluss auf die Luftreibungskraft. Somit ergibt sich eine Rückkopplungsschleife, die dafür sorgt, dass – im Unterschied zum freien Fall – die Fallgeschwindigkeit einem endlichen Grenzwert zustrebt. Die Modellparameter orientieren sich im gezeigten Beispiel an einem Fallschirmspringer, der aus einer Höhe von 600 Metern abspringt (der Fallschirm öffnet sich noch nicht).



$$v(t) = g \cdot t + v_0 \qquad v(t) = \sqrt{\frac{g}{k}} \cdot \frac{e^{2\sqrt{g \cdot k} \cdot t} + 1}{e^{2\sqrt{g \cdot k} \cdot t} - 1} + v_0 = \sqrt{\frac{g}{k}} \cdot \tanh(\sqrt{g \cdot k} \cdot t) + v_0$$

Abbildung 1: Dynamisches Grundmodell $F \rightarrow a \rightarrow v \rightarrow s$ angewandt auf den Fall mit und ohne Luftreibung (FALL_MIT_LUFTREIBUNG³; FREIER_FALL); zum Vergleich die beiden analytischen Lösungen der entsprechenden Differentialgleichungen.

³ Modelle, deren Namen im Text in KAPITÄLCHEN angegeben werden, sind auf der Website von *Insight Maker* veröffentlicht.

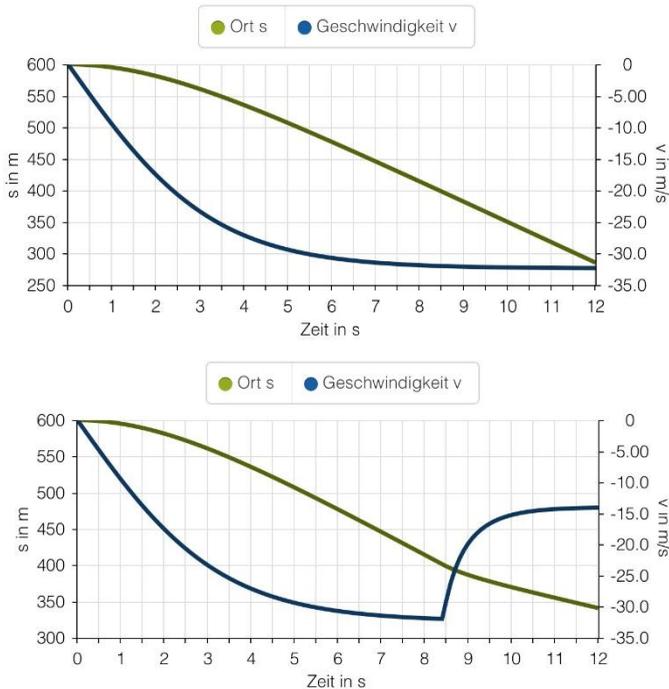


Abbildung 2: Zeit-Geschwindigkeit- und Zeit-Ort-Diagramm zum Fall mit Luftreibung: Der Springer erreicht nach ca. 10 Sekunden eine konstante Fallgeschwindigkeit. Das Modell lässt sich einfach erweitern, um eine Fallschirmöffnung in zum Beispiel 400m Höhe zu simulieren: Link von ‚Ort x' nach ‚Reibungsfaktor k' ; `IfThenElse([Ort s]<400, 4, 0.75)`; Ergebnis vgl. Diagramm unten rechts).

Während beim Übergang von einer Bewegung mit konstanter Kraft ($F = \text{const.}$) zur Bewegung bei Luftreibung ($F_{\text{Reib}} \sim v^2$) die mathematischen Lösungen der Gleichungssysteme kaum noch erkennen lassen, dass ihnen die gleiche physikalische Grundstruktur unterliegt, erkennt man im grafisch orientierten Modell sofort, dass physikalisch lediglich eine Rückkopplung zwischen F und v hinzukommt (vgl. Abbildung 1 rechts). Das kann prinzipiell auch den Differentialgleichungen entnommen werden, die Visualisierung des Gesamtzusammenhangs ist im grafischen Modell jedoch deutlicher.

Die grafische Kette $F \rightarrow a \rightarrow v \rightarrow s$ kann als *Gestalt* zusammenhängend wahrgenommen werden.

Die grafische Modellebene eröffnet *zusätzliche* Zugänge zur Beschreibung eines Phänomens, ohne dass die Gleichungsebene wegfiel. Natürlich sollen die Schüler auch Gleichungen wie $s = 1/2at^2$ handhaben können. Sie sind bei vielen Phänomenen zumindest als Faustformeln zur Abschätzung von Bewegungsverläufen wichtig. Der Vorteil analytischer Lösungsansätze liegt darin, dass anders als bei der systemdynamischen Herangehensweise Lösungsfunktionen gefunden werden können, die unter bestimmten Randbedingungen für *beliebige Parameterwerte* gelten, während man das systemdynamische Modell für jeden neuen Parametersatz neu durchrechnen muss. Man erhält jeweils Vorhersagen für den Einzelfall – allerdings auch für Fälle, bei denen der analytische Ansatz versagt. Es geht also nicht darum, analytische Vorgehensweisen aus dem Physikunterricht zu verdrängen, sondern das Übergewicht mathematischer Betrachtungen abzubauen. Systemdynamische Zugänge und analytische Lösungen *ergänzen* einander beim Verständnis physikalischer Sachverhalte.

1.1.2 Komplexe Phänomene

MacDonald et al. (1988) unterscheiden zwischen den *power tools of physics* (Grundbegriffen) und den *gimmicks* (Einzelösungen). Im herkömmlichen Unterricht dominieren die *gimmicks* und die zugeordneten Laborphänomene (wie lineare, reibungsfreie Bewegungen auf Luftkissenfahrbahnen). Den Schülern fällt es schwer, die Bedeutung der *power tools* zu erkennen, weil sie meist auf *gimmick*-Phänomene angewendet werden. Damit im Zusammenhang steht die oft beklagte Theorieelastigkeit des Physikunterrichts. Theorien werden scheinbar um ihrer selbst willen vermittelt.

Dieser Eindruck entsteht, wenn die Phänomene, an denen eine Theorie erarbeitet wurde, im Wesentlichen den Phänomenvorrat bilden, auf den sie Anwendung findet.

Das soll am Beispiel der Mechanik verdeutlicht werden. Das zweite Newtonsche Axiom wird üblicherweise anhand von Fahrbahnexperimenten eingeführt, bei denen Experimentierwagen unterschiedlicher Masse durch angehängte Gewichtsstücke beschleunigt werden. Anschließend werden Übungsaufgaben folgenden Typs gerechnet:

„In einem Bergwerksschacht wird der Förderkorb (Masse 3 Tonnen) in 3 Sekunden auf die Geschwindigkeit 0,75 m/s beschleunigt. Welche konstante Kraft üben die Halteseile auf den Förderkorb aus?“

Phänomene mit nicht konstanter Beschleunigung beziehungsweise Kraft, für die die Grundgleichung der Dynamik auch gilt und die viel zahlreicher sind als die Sonderfälle mit $F = \text{const.}$, treten im Unterricht selten auf. So verzichtet man auf viele physikalisch interessante und für die Schüler motivierende Betrachtungen, weil *mathematische* Schranken im Wege stehen. Der Geschwindigkeitsverlauf beim Fallschirmsprung bleibt ausgeklammert, weil sich auf Schulniveau keine einfache Gleichung dafür herleiten lässt. Bei den Schülern wird so die Vorstellung induziert, die Physik befasse sich mit idealen Labor- oder Gedankenexperimenten und leiste für das Verständnis alltäglicher Beobachtungen keine Beiträge.

Durch den Einsatz von Modellbildungssystemen wird es möglich, Phänomene in den Unterricht einzubeziehen, die einen stärkeren Bezug zu realen Vorgängen in Natur und Technik aufweisen – und das bei gleichzeitiger Entlastung des Unterrichts von mathematischen Anforderungen. Dadurch, dass der Computer numerische Lösungen des Differenzgleichungssystems erzeugt, können im Unterricht alltags- und technikhäufigere Phänomene physikalisch strukturiert und gleichzeitig anhand konkreter, quantitativer Vorhersagen untersucht werden. Die notwendige elementare Physik steht dafür in vielen Fällen

bereit. Beim genannten Fallschirmspringerbeispiel benötigt man formal nicht mehr als die Definitionen von Geschwindigkeit und Beschleunigung, das zweite Newtonsche Axiom und eine Quantifizierung der Luftreibungskraft ($F \sim v^2$). Um Planetenbahnen vorherzusagen, braucht man lediglich als spezielle Kraft die Gravitationskraft; mathematische Untersuchungen von Keplerellipsen werden entbehrlich. Einschwingvorgänge und Phasenverschiebungen bei erzwungenen elektrischen Schwingungen können mit den Grundkenntnissen über die Spannungsabfälle an den einzelnen Bauteilen (Spule, Kondensator, Widerstand) modelliert werden, ohne eine inhomogene Differentialgleichung lösen zu müssen. Ein Schüler äußerte sich nach einer Modellierung der elektrischen Schwingung erstaunt und erfreut darüber, dass man ‚das so einfach machen kann, ohne diesen ganzen Sinus-Kram‘. Gemeint war: ohne die Lösung einer Differentialgleichung mit Hilfe trigonometrischer Funktionen. Viele weitere Beispiele werden zugänglich, wenn man sich von mathematisch bedingten Restriktionen bei der Phänomenauswahl freimacht. Das Luftreibungsbeispiel wird im Abschnitt 1.1.1 gezeigt. Die anderen Beispiele werden in Schecker (1998) dargestellt.

1.1.3 Orientierung am Schülervorverständnis

Es wird für die Entwicklung physikalischen Verständnisses als wichtig angesehen, dass die Schüler auch eigene Fragestellungen entwickeln und eigene Erklärungsansätze verfolgen können (vgl. zum Beispiel Hertel et al. 2016). Der Einsatz von Modellbildungssystemen kann sowohl die Möglichkeiten der Schüler erweitern, eigene Fragestellungen zu bearbeiten und Erklärungsansätze zu erproben als auch die Möglichkeiten der Lehrkraft erweitern, im Unterricht auf die Vorschläge und Ideen von Schülern einzugehen. Setzt man ein strukturorientiertes, grafisches Modellbildungssystem ein, bleibt es nicht bei einem unverbindlichen verbalen Lösungsvorschlag. Die Schüler werden veranlasst, ihre Ideen in eine explizite, diskutierbare Form

zu bringen. Driver hat diesen Aspekt von Computer-Modellen folgendermaßen benannt:

- They require children to make their implicit reasoning explicit (through, for example, simulations of object motion or collisions),
- they enable children to visualize the consequences of their reasoning and provide an object for reflection and communication with others,
- they provide pictorial representations and dynamic displays of models of phenomena which could form useful bridging analogies (Driver/Scanlon 1988, 6).

Bildliche Repräsentationen von Modellstrukturen sind den *concept maps* vergleichbar, mit denen Novak et al. (1983) arbeiteten, um das Vorverständnis von Schülern zu aktivieren und Veränderungen anzuregen. Schüler und Lehrer können sich in der Erarbeitungsphase auf diese Repräsentationen beziehen.

Freiräume für eigene Fragestellungen sind für Schüler bisher im Wesentlichen auf Experimente begrenzt. Hier können sie Änderungen an bestehenden Experimentalanordnungen vornehmen oder ganz eigene Versuche aufbauen. Bei theoretischen Zugängen zu einer Fragestellung sind die Variationsmöglichkeiten durch begrenzte mathematische Fertigkeiten für das Austesten der Konsequenzen aus den gemachten physikalischen Annahmen eher gering und im Vergleich zu eigenen experimentellen Untersuchungen bei den Schülern eher unbeliebt. Der Umgang mit Modellbildungssystemen gibt Schülern die Möglichkeit zum Experimentieren mit eigenen theoretischen Ideen. Dadurch wird eine Verstärkung theorieorientierter Eigenaktivitäten der Schüler möglich, die sonst fast ausschließlich bei der Lehrkraft angesiedelt sind. Ob dieser Aspekt im Unterricht tatsächlich realisiert wird, hängt entscheidend von der methodischen Konzeption ab, die der Lehrer verfolgt. Hinweise dazu werden im nächsten Abschnitt gegeben.

2. Einsatz im Unterricht

2.1 Interaktive Modellentwicklung

Beim Einsatz von Modellbildungssystemen im Physikunterricht soll die *Erarbeitung* physikalischer Beschreibungsstrukturen im Vordergrund stehen. Modellbildungssysteme sind keine Hilfsmittel für die Lehrkraft, um zu Hause komplizierte, schöne Modelle zu konstruieren, die dann im Unterricht in Simulationen angewendet werden. Um die physikalischen Annahmen eines Modells transparent und für alle Schüler einsichtig zu machen, kommt es entscheidend darauf an, dass die Schüler an ihrer Erarbeitung aktiv beteiligt sind – entweder in Partnerarbeit interaktiv am Computer oder im Unterrichtsgespräch. Selbst für Modellbildungsexperten ist es manchmal schwierig, fertig vorgelegte Modelle zu entschlüsseln. Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn ein Modell schrittweise gemeinsam im Unterricht formuliert wird. Auch wenn nicht jeder Schüler dabei eigene Ideen einbringt, hat er doch die Möglichkeit, den Gang der Überlegungen mitzuvollziehen. Man muss dabei nicht immer bei null beginnen, sondern kann auf Teilstrukturen aus bereits vorher behandelten Modellen zurückgreifen, zum Beispiel auf die dynamische Grundstruktur bei Bewegungen unter dem Einfluss von Kräften (vgl. Abbildung 1). Das Einbringen vorbereiteter Modelle ist nur dann sinnvoll, wenn vorher bereits einfachere Fälle zum gleichen Themenbereich im Unterricht modelliert wurden. Ein Beispiel wäre das Modell zu einem Doppelsternsystem, das Grundstrukturen aufgreift, die mit den Schülern an einfachen Planetenbewegungen vorher erarbeitet wurden.

Ein Modellbildungssystem wird dann von den Schülern als Hilfsmittel für das Verständnis physikalischer Zusammenhänge akzeptiert, wenn sie sich in der Lage sehen, davon eigenständig Gebrauch zu machen. Sonst herrscht der Eindruck vor, man brauche ein Expertenwissen, über das nur die Lehrkraft verfüge.

Modellbildungssysteme sollten daher für Gruppenarbeit der Schüler zur Verfügung stehen. Die Aufgabenstellung sollte leistungsdifferenziert sein, das heißt neben einer Grundaufgabe verschiedene Vertiefungen enthalten, sodass schwächere Gruppen zu einem für sie befriedigenden Ergebnis gelangen und leistungsstarke Gruppen sich zusätzlich gefordert sehen. Diese Differenzierung wird dadurch unterstützt, dass ein Modell unter Beibehaltung seiner Kernstruktur sukzessive verfeinert werden kann, zum Beispiel indem man in erster Näherung konstante Modellgrößen funktional von anderen Parametern abhängig macht (zum Beispiel Luftdichte konstant oder höhenabhängig).

2.2 Die ersten Unterrichtsstunden

Eigene Erprobungen (vgl. zum Beispiel Bethge/Schecker 1990; Niederer et al. 1991) liegen im Wesentlichen aus der gymnasialen Oberstufe vor. Die folgenden Ausführungen gehen von 15 bis 16 Jahre alten Schülern aus. Es gibt auch Erprobungen grafikorientierter Modellbildung mit jüngeren Schülern (vgl. zum Beispiel Klieme/Maichle 1991). Die Anforderungen, die Modellbildungssysteme an die Abstraktionsfähigkeit der Schüler stellen, sollten jedoch nicht unterschätzt werden – besonders wenn es um den kreativen, eigenständigen Umgang der Schüler mit dem Werkzeug geht.

Für die Einführung in Modellbildungssysteme im Physikunterricht gibt es mindestens zwei Möglichkeiten:

- Veranschaulichung der Symbolik anhand materieller Flüsse,
- direkter Einstieg über das anstehende physikalische Unterrichtsthema.

Einstieg über materielle Flüsse

Eine anschauliche Einführung der Sprachelemente der Systemdynamik – Zustand, Rate, Einfluss – kann an *materiellen Flüssen* erfolgen. Man macht sich dabei die "Klempner-Metaphorik" zunutze (Riley 1990, 257). Änderungsraten sind in dieser anschaulichen Sichtweise ‚Ventile‘ an Rohrleitungen, in denen etwas Materielles, zum Beispiel Wasser, in ‚Zustandbehälter‘ fließt. Der Zustand entspricht dem Wasserstand im ‚Vorratskasten‘.

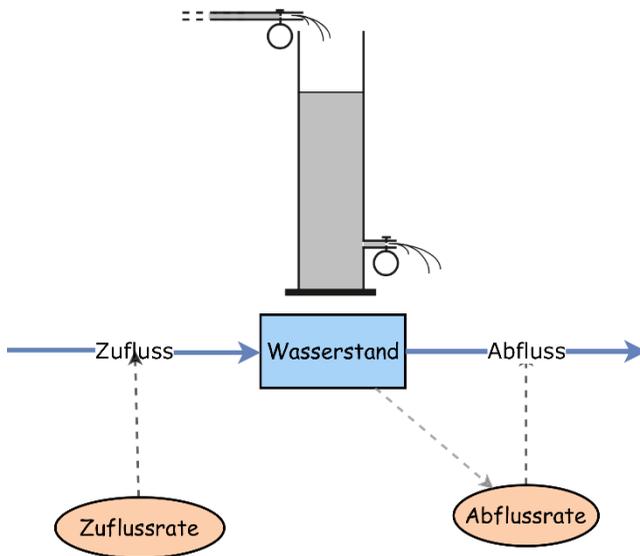


Abbildung 3: 'Klempner-Metaphorik'. Beim Standzylinder regulieren die beiden Ventile den Zufluss und den Abfluss des Wassers. Im Modell deutet der Pfeil von der Zustandsgröße Wasserstand zu Abflussrate an, dass die Abflussrate (im Unterschied zur Zuflussrate) nicht konstant ist, sondern vom Wasserstand abhängt.

Bei einer parallel laufenden Durchführung entsprechender Versuche kann der Zusammenhang zwischen Modellbildung und Experiment hergestellt werden.

Besonders interessant ist an diesem Beispiel die Untersuchung der Abhängigkeit der Abflussrate vom Wasserstand.

Die Wasser-Analogie verweist stark auf einen Materiefluss im System. Solche Flüsse sind in der Physik eher selten.

Beispiele sind Ladungsträger, die auf einen Kondensator fließen, oder der Abfluss von zerfallenen Kernen aus dem Vorrat des Mutter-Nuklids beim radioaktiven Zerfall. Überwiegend hat man es in der Physik mit nicht-materiellen Zustandsgrößen zu tun. Geschwindigkeit, Ort, Impuls oder Stromstärke sind keine Größen, die anschaulich gesehen durch Röhren fließen. Die Flüssigkeitsanalogie ist daher nur bedingt hilfreich. Eine Abstraktion vom Materiefluss wird schnell notwendig.

Es empfiehlt sich, die Klempner-Metaphern im Unterricht nicht zu betonen und bei der Erläuterung von Modellen Formulierungen zu vermeiden wie ‚die Kraft steuert, wie viel Impuls in den Körper hineinfließt‘ zugunsten abstrakterer Aussagen wie ‚die Kraft bestimmt, wie stark sich der Impuls des Körpers zeitlich ändert‘.

2.3 Ein Beispiel für den Einstieg im Bereich der Kinematik

Die Einführung in Modellbildungssysteme sollte unmittelbar anhand der im Unterricht anstehenden physikalischen Themen erfolgen. Ein Sonderthema, das nur zum Zwecke der Veranschaulichung systemdynamischer Modellierung gewählt wird, belegt unnötig Unterrichtszeit und kann den Eindruck erwecken, dass die Methode von außen an die Unterrichtsgegenstände herangetragen wird. Wenn man am Beginn der gymnasialen Oberstufe in die Arbeit mit einem Modellbildungssystem einführt, ist vom Lehrplan oftmals die Kinematik vorgesehen.

Als Einstiegsbeispiel hat sich hier die Untersuchung der Bewegung eines Radfahrers bewährt. Ausgangspunkt sind Messungen:

Ein Schüler erhält den Auftrag, auf dem Schulhof eine abgesteckte Messstrecke mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit zu durchfahren. Entlang der Strecke stehen in gleichen Abständen Schüler mit Stoppuhren, die den Zeitpunkt festhalten, an dem der Radfahrer an ihnen vorbeifährt. Dem Beginn der Messstrecke wird bewusst eine von Null verschiedene Ortskoordinate zugewiesen, zum Beispiel indem der erste Schüler auf dem Maßband an der Marke 3,5 m aufgestellt wird.

Die Daten werden in eine Tabelle eingetragen und in einem $s(t)$ -Diagramm grafisch dargestellt. Aus den Teilstrecken Δs und den Zeitintervallen Δt werden die Intervallgeschwindigkeiten $v = \Delta s / \Delta t$ berechnet. Trotz leichter Schwankungen kann man von einer näherungsweise konstanten Geschwindigkeit von gemittelt 4,1 m/s ausgehen (vgl. Ausgleichsgerade in Abbildung 4 rechts).

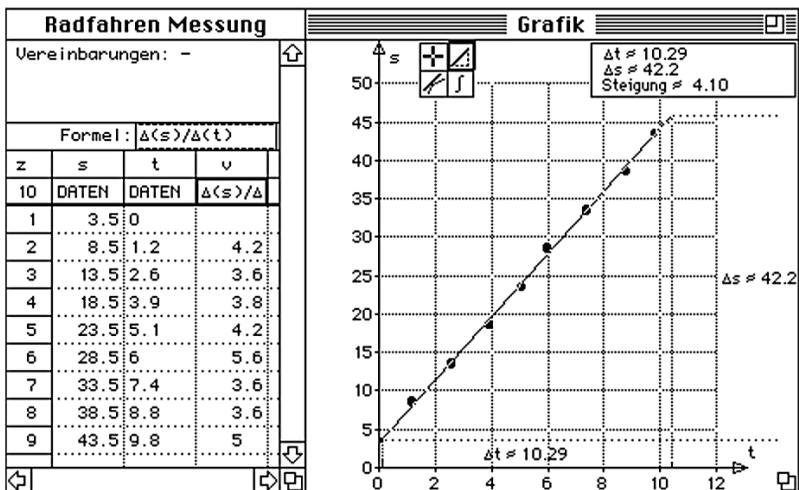


Abbildung 4: Tabelle mit Messdaten der Bewegung eines Radfahrers und grafische Darstellung.

Auf Grundlage der Messdaten und der Definition der Intervallgeschwindigkeit $v = \Delta s / \Delta t$ sind Vorhersagen über den weiteren Bewegungsverlauf möglich. Wenn der Radfahrer sich zum Zeitpunkt $t = 9,8 \text{ s}$ an der Wegmarke $s = 43,5 \text{ m}$ befindet und sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v = 4,1 \text{ m/s}$ bewegt:

Wo wird er dann zu den Zeitpunkten 10 s, 11 s, 13 s, 15 s, ... sein? Das sollen die Schüler ‚per Hand‘ schrittweise in Tabellenform berechnen. Als Iterationsformel wird ausgehend von $v = \Delta s / \Delta t$ erarbeitet:

$$\Rightarrow s_{\text{neu}} = s_{\text{alt}} + v \cdot \Delta t = s_{\text{alt}} + v \cdot (t_{\text{neu}} - t_{\text{alt}})$$

s_{alt}	T_{alt}	T_{neu}	Δt	$\Delta s = v \cdot \Delta t$	s_{neu}
43,5	9,8	10,0	0,2	$4,1 \cdot 0,2 = 2,05$	45,55
45,55	10	11	1	$4,1 \cdot 1 = 4,1$	49,65
49,65	11	13	2	$4,1 \cdot 2 = 8,2$	57,85
57,85	13	15	2	$4,1 \cdot 2 = 8,2$	66,05
...

Tabelle 1: Prognose des weiteren Bewegungsverlaufs.

Es kommt darauf an, dass die Schülerinnen und Schüler an dem Beispiel folgende Punkte erkennen:

- In jedem Zeitintervall kommt eine neue Teilstrecke Δs hinzu. Die Größe dieser Teilstrecke hängt von der Geschwindigkeit v ab und dem Zeitraum Δt , über den die Geschwindigkeit wirkt.
- Um die neue Gesamtstrecke s_{neu} vorherzusagen, muss man neben der zusätzlichen Teilstrecke Δs auch die bereits zurückgelegte Strecke s_{alt} kennen.
- Durch mehrmaliges Anwenden dieser Strategie kann man von Punkt zu Punkt fortschreiten.

Auch wenn Schüler die vollständige Bahngleichung für gleichförmige Bewegungen $s = v \cdot t + s_0$ kennen beziehungsweise herausfinden, erfüllt die schrittweise Berechnung der Bahn ihren Sinn als Veranschaulichung der prinzipiellen Vorgehensweise von Modellbildungssystemen bei der numerischen Berechnung von Systemverläufen. Implizit wurde das Eulersche Verfahren verwendet. Der Hinweis auf andere Verfahren ist bei dem gewählten Beispiel sachlich nicht notwendig. Ob später darauf eingegangen werden soll (zum Beispiel im Zusammenhang mit mechanischen Schwingungen), hängt von der Frage ab, wie viel Wert der Lehrer auf die mathematische Klärung der Numerik legt. Unter *physikalischen* Aspekten reicht die Kenntnis der Eulerschen Vorgehensweise für die Schüler aus.

Es folgt die Erläuterung eines ersten Modells durch die Lehrkraft. Ziel ist eine Vorhersage des Bewegungsverlaufs, die mit dem gemessenen übereinstimmt. Die Lehrkraft entwickelt das einfache Modell im Unterricht und erläutert jeden einzelnen Schritt seines Vorgehens, einschließlich der Bedienung des Programms (Starten des Programms, Mausoperationen zur Platzierung der Symbole auf dem Bildschirm usw.). Dabei entsteht Schritt für Schritt das Modell in Abbildung 5 (zunächst nur die linke Seite).

Die erläuternden Sätze können im Kern etwa lauten:

- Die zentrale Größe im Modell ist der Ort x , an dem sich der Radfahrer befindet. Seine zeitliche Entwicklung (anschaulich: die zurückgelegte Strecke) soll schrittweise vorhergesagt werden. Solche zentralen Größen, deren Wert sich zeitlich schrittweise ändert und die man nicht direkt mithilfe einer Funktion aus anderen Modellgrößen berechnen kann, heißen allgemein ‚Zustandsgrößen‘.

- Die Zustandsgröße Ort ist nicht konstant, sondern sie ändert sich in jedem Zeitschritt. Wie intensiv diese Änderung ist, wird durch die jeweils herrschende Geschwindigkeit bestimmt. Die Geschwindigkeit steuert, wie viel Ortsverschiebung beziehungsweise Strecke Δx pro Zeiteinheit hinzukommt. Größen, die die Änderung einer Zustandsgröße *pro Zeiteinheit* bestimmen, nennt man *Änderungsraten*. Die Geschwindigkeit ist physikalisch als eine *Rate* definiert: $v = \Delta x / \Delta t$. Daraus folgt für die Veränderung des Ortes: $\Delta x = v_x \cdot \Delta t$.
- Die Geschwindigkeit v kann konstant sein oder sich selbst auch in jedem Zeitschritt ändern. Wie intensiv die Geschwindigkeit sich ändert, wird durch die Beschleunigung a bestimmt. Die Beschleunigung steuert, wie viel Zusatzgeschwindigkeit Δv pro Zeiteinheit hinzukommt. Die Beschleunigung ist physikalisch als eine *Rate* definiert: $a = \Delta v / \Delta t$. Daraus folgt für die Veränderung der Geschwindigkeit: $\Delta v_x = a_x \cdot \Delta t$.

Radfahrerverfolgung

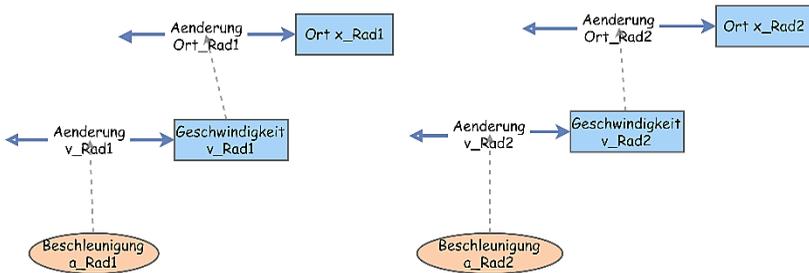


Abbildung 5: Modell zur gleichförmigen Bewegung (RADFAHRERVERFOLGUNG); Grundmodell links; rechts die Erweiterung auf einen zweiten Radfahrer (Radfahrerverfolgung). (Die Größenbezeichnungen ‚Ort x_Rad1‘ und ‚Ort x_Rad2‘ stehen als Kurzbezeichnungen für ‚Ortskoordinate‘. Die Ortskoordinate nimmt zu oder ab (‚Änderung Ort_Rad‘), wenn die zugeordnete Geschwindigkeit von Null verschieden ist.)

Wichtig ist, dass zur Quantifizierung der Geschwindigkeit und des Startwerts für den Ort die Werte aus dem Experiment herangezogen werden. Die Vorhersage des Modells kann in Tabellenform ausgegeben werden. Beim Vergleich mit den Messwerten (vgl. Abbildung 4) und der selbstberechneten Tabelle (vgl. Tabelle 1) zeigen sich leichte Unterschiede in den Werten für die zurückgelegte Strecke. Die Unterschiede beruhen auf dem gerundeten Wert von $v = 4,1$ m/s für die Geschwindigkeit. Außerdem beginnt der Orts-Zeit-Graph für die gemessenen Werte nicht bei $s = 0$, sondern bei $s \approx 4$ m. Es kann auf diesem Wege nachvollzogen werden, dass *Insight Maker* nach dem gleichen Schema wie bei der Berechnung per Hand vorgegangen ist.

Das Modell kann interessanter gestaltet werden, wenn man eine Variante mit einem zweiten Radfahrer einführt (vgl. Abbildung 5 rechts) und die Frage stellt ‚Wo (an welchem Ort) und wann holt ein schneller Radfahrer, der aus dem Stand heraus beschleunigt, einen langsamen Radfahrer ein, der zu Beginn einen gewissen Vorsprung hat und mit konstanter Geschwindigkeit fährt?‘. Dafür müssen die bereits vollzogenen Schritte bei der Modellkonstruktion ein zweites Mal durchlaufen werden. Bereits an dieser Stelle sollten die Schülerinnen und Schüler das Modellbildungssystem selbstständig handhaben, auch wenn es dabei der Hilfestellung durch die Lehrkraft und der Schüler untereinander bedarf. Um den Geschwindigkeitszuwachs des zweiten Radfahrers zu begrenzen, kann man im Modell eine Rückkopplungsschleife von der Geschwindigkeit auf die Beschleunigung einbauen und eine Bedingung für die Beschleunigung formulieren, zum Beispiel: IfThenElse ([Geschwindigkeit v_{Rad}] > 15, 0, 0.5). An diesem Beispiel lassen sich dann auch grundsätzliche Fragen anschließen, wie realistisch bestimmte Modellnahmen sind.

Ort x_Rad2	Initial Value: 0 Non-Negative: No Units: Unitless
Model Flows	
Aenderung Ort_Rad1	Rate: [Geschwindigkeit v_Rad1] Alpha: None Omega: Ort x_Rad1 Positive Only: No Units: Unitless
Aenderung Ort_Rad2	Rate: [Geschwindigkeit v_Rad2] Alpha: None Omega: Ort x_Rad2 Positive Only: No Units: Unitless
Aenderung v_Rad1	Rate: [Beschleunigung a_Rad1] Alpha: None Omega: Geschwindigkeit v_Rad1 Positive Only: No Units: Unitless
Aenderung v_Rad2	Rate: [Beschleunigung a_Rad2] Alpha: None Omega: Geschwindigkeit v_Rad2 Positive Only: No Units: Unitless
Simulation Settings	Time Start: 0 Time Length: 40 Time Step: 0.25 Time Units: Seconds Algorithm: RK1
Model Variables	
Beschleunigung a_Rad1	Value: 0 Units: Unitless
Beschleunigung a_Rad2	Value: 0.4 Units: Unitless
Model Stocks	
Geschwindigkeit v_Rad1	Initial Value: 5 Non-Negative: No Units: Unitless
Geschwindigkeit v_Rad2	Initial Value: 0 Non-Negative: No Units: Unitless
Ort x_Rad1	Initial Value: 30 Non-Negative: No Units: Unitless

Tabelle 2: Modellgleichungen RADFAHRERVERFOLGUNG; für die Einheiten aller Größen wird als Konvention SI-Einheiten gesetzt (m, kg, s). Damit kann in den Modellgleichungen auf die explizite Angabe von Einheiten verzichtet werden (,Unitless').

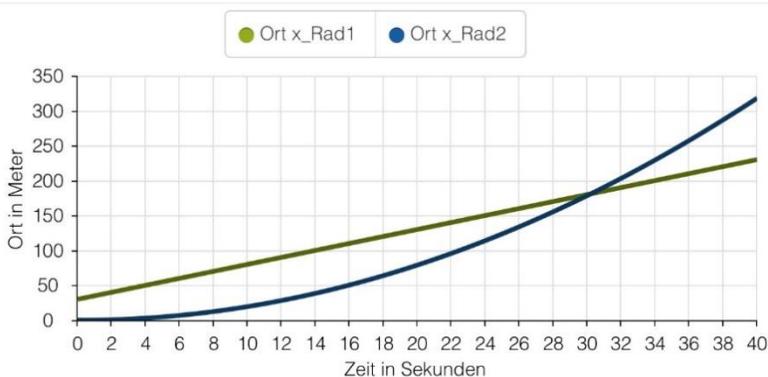


Abbildung 6: Modellvorhersage für die Radfahrerverfolgung.

Anhand der Modellentwicklung kann das physikalische Verständnis des Beschleunigungsbegriffes in Analogie zum Geschwindigkeitsbegriff vertieft werden. Die Gemeinsamkeiten liegen im *Ratencharakter* der beiden Größen:

- Die Geschwindigkeit beschreibt die *Intensität* der Ortsänderung (Ortsverschiebung). Sie ist auf ein Zeitintervall Δt bezogen, in dem sich die zurückgelegte Strecke ändert.
- Die Beschleunigung beschreibt die *Intensität* der Geschwindigkeitsänderung. Sie ist auf ein Zeitintervall Δt bezogen, in dem sich die Geschwindigkeit ändert.

Nach unseren Erfahrungen ist es für Schüler unproblematisch, die *Geschwindigkeit* als Rate zu verstehen. Die *Beschleunigung* ist für sie nicht in gleicher Weise intuitiv auf einen Zeitraum Δt bezogen. In der Wahrnehmung der Schüler dominiert der Betrag der *Geschwindigkeitsänderung* Δv . Beschleunigung ist für viele Schüler das *Ergebnis* eines Prozesses der Geschwindigkeitsänderung und nicht eine Größe für den *Verlauf* dieses Prozesses. Über die Frage ‚Ist es sinnvoll Beschleunigung als eine Rate zu modellieren?‘ kann man sehr interessante physikalische

Diskussionen in Gang setzen, in denen typische Verständnishürden zum Ausdruck kommen.

Allein aufgrund der in Analogie zur Geschwindigkeit begründeten Definition der Beschleunigung als $a = \Delta v / \Delta t$ können bereits Beispiele quantitativ behandelt werden, *ohne* dass spezielle Bewegungsgleichungen wie $v = a \cdot t$ oder $s = 1/2at^2$ hergeleitet werden müssen. Es bietet sich an, die Schüler in einer Hausaufgabe den Geschwindigkeitsverlauf des Radfahrers 1 in Tabellenform berechnen zu lassen, bevor das Modell in einem entsprechenden Simulationslauf zur Anwendung kommt. Die Kontrolle per Hand wird bei späteren, komplexeren Modellen wegen des erforderlichen Rechenaufwands seltener erfolgen. Umso wichtiger ist es, dass die Schüler am Beginn einfache Beispiele im Detail nachvollziehen und nachkonstruieren.

Wenn eine genügende Anzahl von Laptops oder Tablets zur Verfügung steht, sollte man an dieser Stelle zur Gruppenarbeit übergehen und alle Schüler das Verfolgungsmodell nachbauen lassen. Variationen sind den Schülern offengestellt, zum Beispiel auch dem ersten Radfahrer eine Beschleunigung zu verleihen. Die Schüler haben am Beginn praktische Probleme zu überwinden. Sie müssen den softwaretechnischen Umgang mit dem Modellbildungssystem lernen, zum Beispiel wie man eine Modellgröße aktiviert, um sie zu definieren, wie man eine Grafik erstellt usw. Die Gewöhnung daran dauert nach unseren Erfahrungen jedoch nur bei wenigen Schülern länger als eine Unterrichtsstunde. Danach überwiegt die Arbeit an den Modellstrukturen. Die Lehrkraft sollte die Gruppen immer wieder dazu anhalten, die Modellstrukturen in Worte zu fassen, zu erläutern und zu begründen. Schüler tendieren dazu, möglichst schnell Grafiken und Tabellen zu erzeugen und sich weniger über die Modellstrukturen zu unterhalten. Zu den Aufgabenstellungen muss daher gehören, das Modell schriftlich zu erläutern.

Im Anschluss an die Modellierungsphase können wieder Realexperimente durchgeführt werden. Man kann zum Beispiel eine $t(s)$ -Messreihe zur Anfahrbewegung eines Radfahrers erstellen, der ‚voll in die Pedale tritt‘, das heißt so stark wie möglich beschleunigt. In guter Näherung ermittelt man daraus eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung – die natürlich wieder modelliert werden kann.

Die Einführungsphase umfasst einen Zeitraum von fünf bis acht Unterrichtsstunden, einschließlich der Experimente, der Einführung der Begriffe (Intervall-)Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie der Tabellenberechnungen. Der Aufwand ist nicht zu hoch, insbesondere, wenn man bedenkt, dass dabei die Physik mindestens den gleichen Stellenwert hatte wie die Systemdynamik. Es kommt in der Folge darauf an, systemdynamische Modellbildung im weiteren Fortgang des Unterrichts *wiederkehrend* zu nutzen, um physikalische Sachverhalte zu klären.

3. Physikalische Inhaltsbereiche

Die wichtigsten Einsatzfelder systemdynamischer Modellbildung im Physikunterricht liegen in folgenden Themenbereichen und Themen:

- Mechanik: Kinematik, Dynamik, Reibungsphänomene, Planetenbewegungen
- Schwingungen: mechanische Pendel, elektrische Schwingkreise
- Elektrodynamik: Kondensator, Spule, Wechselstromkreis
- Kernphysik: Rutherford-Streuung, radioaktiver Zerfall

Systeme, deren Zustand sich zeitlich nicht verändert, oder Systeme, für die eine geschlossene Beschreibung vorliegt, aus der sich unter gesetzten Randbedingungen alle Systemgrößen

funktional herleiten lassen, sind für systemdynamische Betrachtungen nicht sinnvoll.

Ein Beispiel ist die Berechnung von Stromstärken und Spannungsabfällen bei einem Gleichstromkreis mit ohmschen Widerständen mit Hilfe der Kirchhoffschen Regeln. Baut man jedoch einen Kondensator in den Stromkreis ein und untersucht den Ladevorgang, dann ist eine systemdynamische Modellierung angebracht, um die zeitliche Entwicklung des Ladungszustands des Kondensators zu ermitteln. Schon der Einschaltvorgang bei einer Glühlampe ist systemdynamisch untersuchenswert, da der Widerstand des Glühfadens temperatur- und damit beim Einschaltvorgang zeitabhängig ist.

Aus den in Schecker (1998) umfassend dargestellten Modellen werden im Folgenden eine Auswahl zum radioaktiven Zerfall und aus der Elektrodynamik vorgestellt.

3.1 Radioaktiver Zerfall

3.1.1 Zerfall von Barium

In einem schulüblichen Experiment⁴ wird ein meta-stabiles Barium-Isotop ($^{137}\text{Ba}^m$) mit einigen Millilitern Eluationsflüssigkeit aus einem Isotopengenerator ausgewaschen und in einem Reagenzglas aufgefangen. Der Isotopengenerator enthält eine geringe Menge Cäsium 137. ^{137}Cs zerfällt unter β -Emission zu $^{137}\text{Ba}^m$, welches wiederum in stabiles ^{137}Ba übergeht. Während es sich bei ^{137}Cs um ein langlebiges Nuklid handelt (Halbwertszeit ca. 30 Jahre), ist $^{137}\text{Ba}^m$ kurzlebig. Seine Halbwertszeit liegt mit der Größenordnung ‚Minuten‘ besonders günstig für Zerfallsexperimente, die in einer Schulstunde ablaufen sollen.

⁴ Der Cäsium-Barium-Isotopengenerator wird von der Lehrmittelfirma Leybold noch im Katalog geführt (Stand 04.02.2016). Seine Beschaffung und der Einsatz im Unterricht sind jedoch wegen der Strahlenschutzbestimmungen sehr aufwändig, so dass inzwischen eher auf Simulationen zurückgegriffen werden sollte, vgl. zum Beispiel Lindlahr/Wendt 2016.

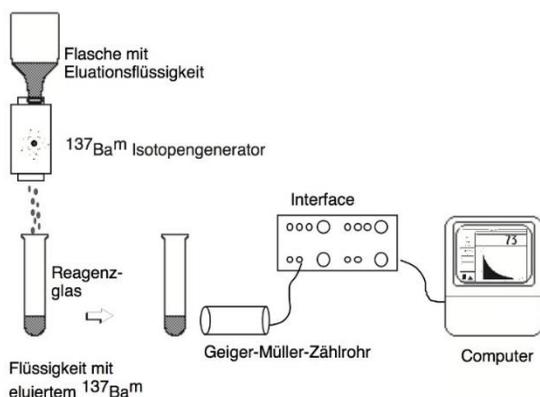


Abbildung 7: Eluation von $^{137}\text{Ba}^m$ aus einem Isotopengenerator und computergestützte Erfassung der Zählraten mit einem Geiger-Müller-Zählrohr.

Man kann die Zählraten als proportional zur Aktivität des $^{137}\text{Ba}^m$ -Präparats betrachten. Durch die computergestützte Aufzeichnung liegen die Zählraten in einer Form vor, die mit einem Tabellenkalkulationsprogramm ausgewertet werden kann. Nach Abzug der Nullrate werden die Daten in einem Diagramm über der Zeit ausgegeben. Auf diesem Wege wird eine Halbwertszeit $T_{1/2} \approx 160\text{s}$ abgeschätzt (vgl. Abbildung 8).

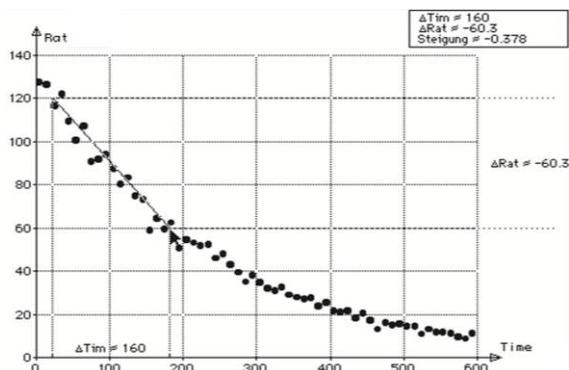


Abbildung 8: Grafische Auswertung der Messdaten, Abschätzung der Halbwertszeit.

Unter der Annahme, dass der Verlauf der Zählratenkurve einer Exponentialfunktion ähnelt, kann man zeigen, dass der mathematische Ansatz ...

$$Rate = Rate_{Start} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

... die Abnahme der Aktivität recht gut beschreibt.

Die Grundannahme der Modellierung besteht darin, dass die Aktivität der Probe von der Anzahl der noch vorhandenen Kerne abhängt. Mit anderen Worten: Die Änderungsrate ist proportional zum Ausgangswert der Zustandsgröße. Der Proportionalitätsfaktor ist die Zerfallskonstante λ .

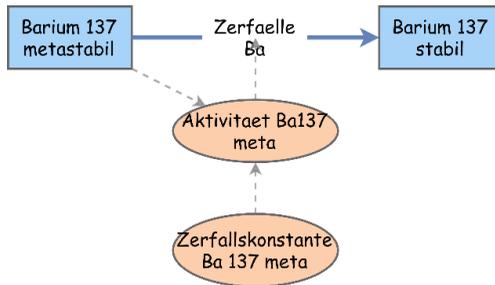


Abbildung 9: Modell zum Zerfall meta-stabilen Bariums $^{137}\text{Ba}^m$ zum stabilen Zustand ^{137}Ba (BARIUM_ZERFALL).



Abbildung 10: Modellvorhersage.

Die Aktivität $A = \Delta N / \Delta t$ ist proportional zur Anzahl N der jeweils vorhandenen Kerne. Daraus folgt $\lambda = [\Delta N / \Delta t] / N$. Der Quotient $\Delta N / \Delta t$ ergibt die Steigung der Aktivitätskurve, beziehungsweise die im Experiment gemessene Rate. Mit den in Abbildung 8 gezeigten Werten erhält man einen Wert von $-0,38$, der durch die mittlere Rate in diesem Intervall (ca. 90 s^{-1}) zu dividieren ist. Es ergibt sich $\lambda \approx 0,0042$, das heißt dass $0,42$ Prozent der Kerne pro Sekunde zerfallen.

$$\text{Zerfallskonstante } \lambda \approx \frac{\Delta \text{Rate} / \text{Rate}_{\text{Mittel}}}{\Delta t} \Rightarrow \lambda \approx \frac{60.3 / 90}{160 \text{ s}} \approx 0,0042 \text{ s}^{-1}$$

Dieser Wert wird zur Quantifizierung des Modells genutzt. Der Startwert für den Bestand an $^{137}\text{Ba}^m$ wird willkürlich auf 40.000 gesetzt (ohne Einheit). Übergibt man nach einem Simulationslauf die Daten an ein Tabellenkalkulationsprogramm, so kann man die vorhergesagte Kurve mit dem Messergebnis vergleichen. Abbildung 11 zeigt eine gute Übereinstimmung.

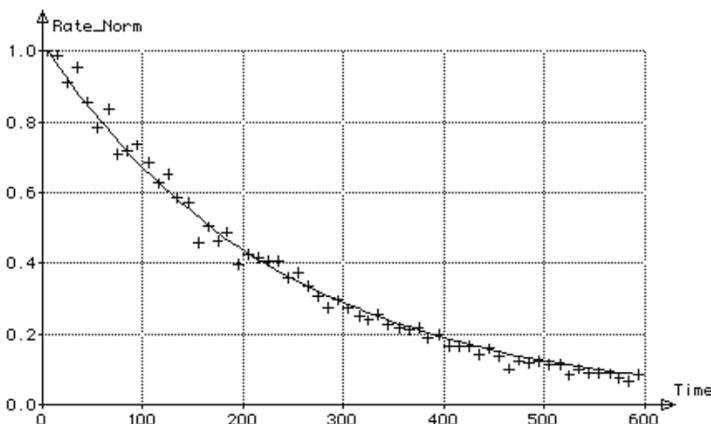


Abbildung 11: Vergleich von Messdaten (+) und Simulationsergebnis (Linie). Die Daten wurden auf einen Maximalwert von 1 normiert.

3.1.2 Produktion von Barium

Das Modell kann ausgebaut werden, um den Prozess der *Produktion* von $^{137}\text{Ba}^m$ einzubeziehen. Die bereits vorhandene Struktur wird einfach verdoppelt. Man erhält dadurch eine Zerfallskette (Mutter-Tochter-Nuklide). Wegen der langen Halbwertszeit ist die Zerfallskonstante von ^{137}Cs recht klein. Da nur wenige ^{137}Cs -Kerne im Untersuchungszeitraum zerfallen, bleibt die ^{137}Cs -Aktivität praktisch konstant.

Weil die entstehenden $^{137}\text{Ba}^m$ -Kerne mit vergleichsweise geringer Halbwertszeit zerfallen, nimmt ihr Bestand jedoch nicht kontinuierlich zu, sondern erreicht ein radioaktives Gleichgewicht, wenn Produktions- und Zerfallsrate gleich sind. Stört man dieses Gleichgewicht, so sagt das Modell einen Zeitraum von ca. 15 Minuten voraus, bis es sich wieder einstellt (vgl. Abbildung 14). Das Modell arbeitet mit willkürlichen Startwerten für die Zustandsgrößen, aber mit den realen Zerfallskonstanten.

Diese Modellvorhersage kann wiederum an einem Experiment überprüft werden. Nach dem Eluieren von $^{137}\text{Ba}^m$ aus dem Isotopengenerator ist in diesem das Gleichgewicht gestört. Es dauert eine gewisse Zeit bis genügend $^{137}\text{Ba}^m$ nachproduziert wurde und die Aktivität, die man an der Oberfläche des Generators misst, wieder einen konstanten Wert erreicht. Die Messdaten in Abbildung 14 stehen in guter Übereinstimmung mit dem Simulationsergebnis.

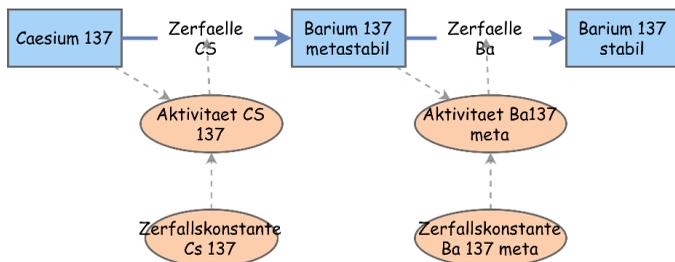


Abbildung 12: Erweiterung des Zerfalls-Modells zur Einbeziehung der Produktion von $^{137}\text{Ba}^m$ (BARIUM_PRODUKTION_ZERFALL).

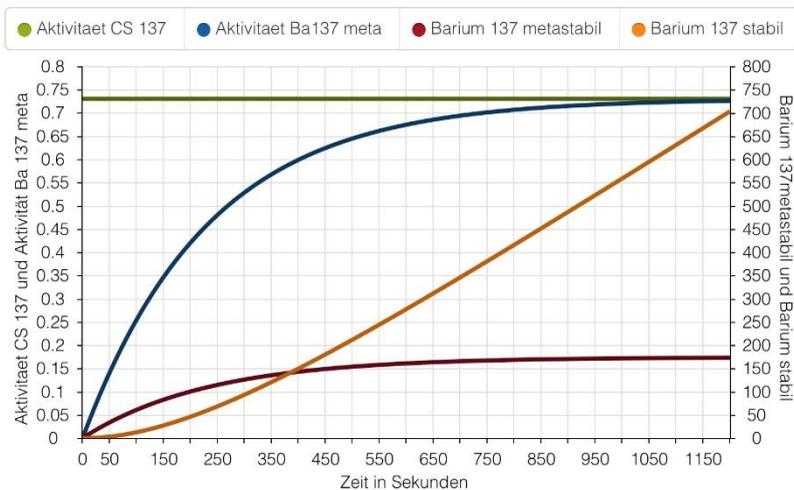


Abbildung 13: Radioaktives Gleichgewicht bei der Produktion und dem Zerfall von $^{137}\text{Ba}^m$.

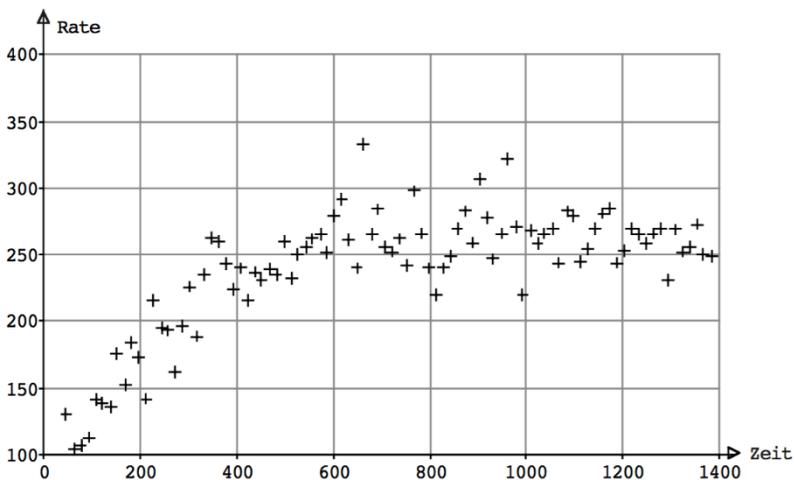


Abbildung 14: Messdaten (Zählraten) zur Einstellung des radioaktiven Gleichgewichts bei $^{137}\text{Ba}^m$.

3.1.3 Modellgleichungen

Simulation Settings	Time Start: 0 Time Length: 1200 Time Step: 10 Time Units: Seconds Algorithm: RK1
Model Variables	
Aktivitaet Ba137 meta	Value: [Barium 137 metastabil]* [Zerfallskonstante Ba 137 meta] Units: Unitless
Aktivitaet CS 137	Value: [Caesium 137]*[Zerfallskonstante Cs 137] Units: Unitless
Zerfallskonstante Ba 137 meta	Value: 0.0042 Units: Unitless
Zerfallskonstante Cs 137	Value: 7.3e-10 Units: Unitless
Model Stocks	
Barium 137 metastabil	Initial Value: 0 Non-Negative: No Units: Unitless
Barium 137 stabil	Initial Value: 0 Non-Negative: No Units: Unitless
Caesium 137	Initial Value: 1e9 Non-Negative: No Units: Unitless
Model Flows	
Zerfaelle Ba	Rate: [Aktivitaet Ba137 meta] Alpha: Barium 137 metastabil Omega: Barium 137 stabil Positive Only: Yes Units: Unitless

Tabelle 3: Modellgleichungen BARIUM_PRODUKTION_ZERFALL.

3.2 Spule und Kondensator im Stromkreis

3.2.1 Physikalische Grundstruktur

Die Beschreibung von Strom- und Spannungsverläufen in elektrischen Stromkreisen werden in Lehrplänen unter dem Thema ‚Felder‘ eingeordnet. Da mit Modellumgebungen sinnvollerweise *dynamische* Systeme beschrieben werden, geht es hier nicht um die Berechnung von stationären Zuständen in Parallel- oder Reihenschaltungen mit ohmschen Widerständen, sondern um instationäre Vorgänge, bei denen Strom und Spannung zeitlich variieren.

Das ist der Fall bei Auf- und Entladevorgängen von Kondensatoren, Ein- und Ausschaltvorgängen von Spulen oder elektrischen Schwingkreisen.

Man kann entsprechend der Newtonschen Grundstruktur $F_i \rightarrow F_{\text{res}} \rightarrow a \rightarrow v \rightarrow s$ (vgl. Abschnitt 1.1.1) eine elektrodynamische Grundstruktur der Modellierung formulieren. Die Rolle der Einzelkräfte F_i wird von den auftretenden Einzelspannungen U_i übernommen. An die Stelle der Summation der Kräfte tritt die Maschenregel: *Die Summe aller Spannungen eines Stromkreises ist Null*, beziehungsweise *Die Summe aller treibenden Spannungen ist gleich der Summe aller Spannungsabfälle*:

$$\sum F_i = F_{\text{result}}$$

$$\sum U_i = 0$$

Während das Suchprogramm bei Bewegungen lautete *Bestimme die auf einen Körper einwirkenden Kräfte...*, lautet die entsprechende Strategie beim Stromkreis im Kern *Bestimme die auftretenden Spannungen...* .

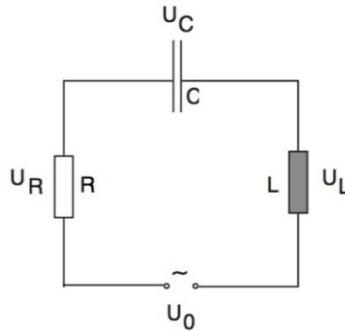


Abbildung 15: Serienschwingkreis mit Kondensator C, Spule L, ohmschem Widerstand R und Wechselspannungsgenerator.

Als Zustandsgrößen sind die Stromstärke I und die Ladungsmenge Q auf dem Kondensator von zentraler Bedeutung. Aus der Kenntnis von I und Q lassen sich die anderen Beschreibungsgrößen vorhersagen. Abbildung 16 zeigt ein Modell, das einen elektrischen Schwingkreis umfassend beschreibt.

Elektrischer Schwingkreis mit Generator (erzwungene Schwingung)

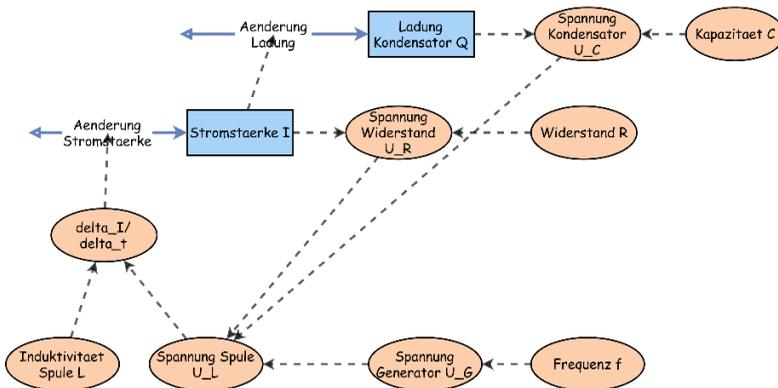


Abbildung 16: Modell des elektrischen Schwingkreises (ELEKTRISCHER_SCHWINGKREIS_MIT_GENERATOR).

Physikalisches Kernelement des Modells ist die Kette $\Delta I/\Delta t \rightarrow \Delta I \rightarrow I \rightarrow \Delta Q \rightarrow Q$ (vgl. Abbildung 16 $\Delta I/\Delta t \rightarrow$ Änderung Stromstärke \rightarrow Stromstärke $I \rightarrow$ Änderung Ladung \rightarrow Ladung Kondensator Q)

Die *Änderungsrate* der Stromstärke ($\Delta I/\Delta t$) ergibt sich funktional aus der Selbstinduktionsspannung an der Spule U_L und der Induktivität L :

$$U_L = -L \cdot \frac{dI}{dt} \Rightarrow \dot{I} = -\frac{U_L}{L}$$

Die Änderungsrate der Ladung Q ist die Stromstärke I :

$$\dot{Q} = I = \frac{U_R}{R}$$

Um in die Iterationskette $\Delta I/\Delta t \rightarrow \Delta I \rightarrow I \rightarrow \Delta Q \rightarrow Q$ eintreten zu können, muss demnach die Induktionsspannung U_L ermittelt werden. Aus den Zustandsgrößen Stromstärke und Ladung kann man die Spannung am ohmschen Widerstand U_R und die Spannung am Kondensator U_C ermitteln.

$$U_R = R \cdot I$$

$$U_C = \frac{1}{C} \cdot Q$$

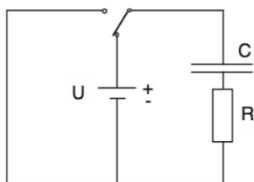
Als weitere Spannungen können eine konstante Batteriespannung U_B oder eine zeitlich variable Generatorspannung $U_G(t)$ auftreten. Mit Hilfe der Maschenregel kann man aus diesen Teilspannungen die Spannung an der Induktivität ermitteln, die man für die Berechnung von $\Delta I/\Delta t$ benötigt.

Das in Abbildung 16 vorgestellte Modell gilt für einen Stromkreis mit Spule, Kondensator, ohmschem Widerstand und Generator. Entfallen einzelne dieser Bauteile, so vereinfachen sich die Modelle stark.

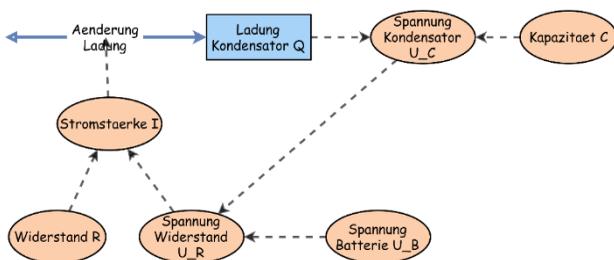
Im Unterricht sollte man mit einem einfachen Beispiel beginnen und die Modelle zum Auf- und Entladen eines Kondensators beziehungsweise zu Ein- und Ausschaltvorgängen bei einer Spule anschließend zu einem Gesamtmodell zusammenfügen. Dieser Weg wird im Folgenden besprochen.

3.2.2 Ladevorgänge bei Kondensatoren

Besteht der Stromkreis lediglich aus einem Kondensator, einem ohmschen Widerstand und einer Batterie, so vereinfacht sich die Struktur auf eine Zustandsgröße und eine Änderungsrate. Die Stromstärke ergibt sich funktional aus der Spannung am Widerstand und braucht nicht iterativ über eine Änderungsrate bestimmt zu werden. Die Maschenregel lautet in diesem Fall:



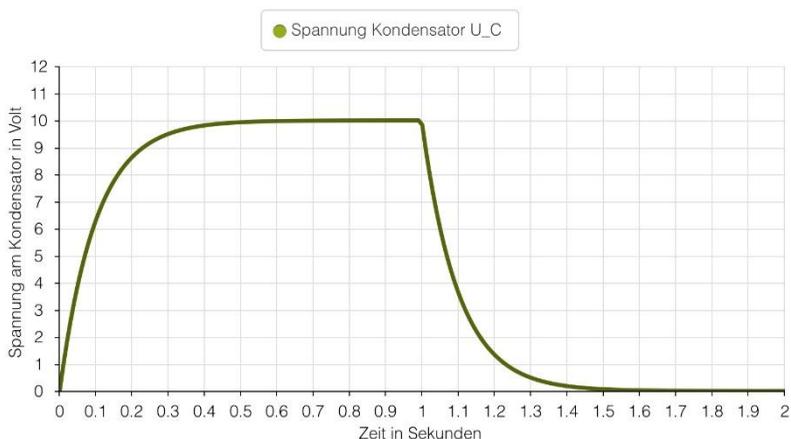
Kondensator Auf- und Entladung



$$U_B = U_C + U_R \Rightarrow U_R = U_B - U_C$$

Abbildung 17: Schaltung und Modell für das Auf- und Entladen eines Kondensators (KONDENSATOR_LADUNG).

Für die Aufladung des Kondensators (Schalterstellung wie in Abbildung 17 oben) geht das in Abbildung 18 gezeigte Simulationsergebnis von einer Batteriespannung von 10 Volt aus und einer Anfangsladung des Kondensators von 0 As. Für die Simulation der Kondensatorentladung (Umlegen des Schalters) setzt man die Spannung_Batterie auf 0 Volt. Bei *Insight Maker* kann das realisiert werden, wenn man die Batteriespannung folgendermaßen festlegt: `IfThenElse(Seconds(<1, 10, 0)`.



$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad U_C(t) = U_B \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right)$$

Abbildung 18: Kondensatoraufladung und -entladung. Das Diagramm aus der Simulation entspricht den Graphen der analytisch zu gewinnenden Lösungsfunktionen für die Auf- beziehungsweise Entladung.

3.2.3 Ein- und Ausschaltvorgänge bei Spulen

Das Modell wurde als Teilstruktur bereits im Abschnitt 3.2.1 vorgestellt. Es entfällt der Teil des Gesamtmodells, der den Kondensator betrifft. Als Zustandsgröße tritt nur die Stromstärke I auf. Die Berechnung der Änderungsrate $\Delta I/\Delta t$ erfolgt über die Selbstinduktionsspannung Spannung_Spule aus der Differenz von Batteriespannung und Spannung am ohmschen Widerstand.

Spule Ein- und Ausschaltvorgang

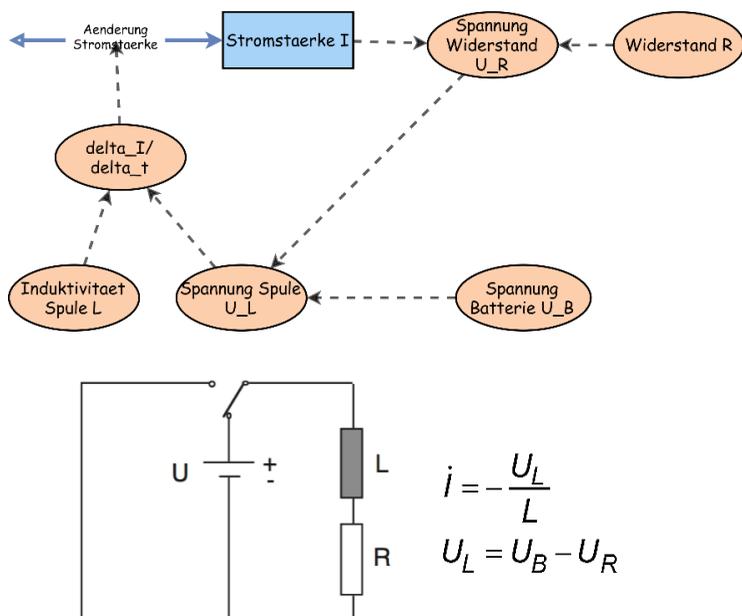
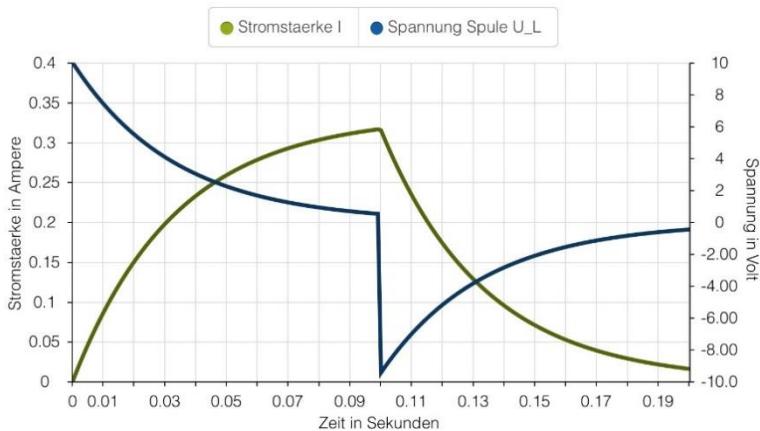


Abbildung 19: Schaltung und Modell zu einem Stromkreis mit einer Spule (SPULE_EIN_AUS).



$$I(t) = \frac{U_B}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

Abbildung 20: Ein- und Ausschaltvorgang bei einem Stromkreis mit Spule (unten die analytischen Lösungen).

In der Simulation (vgl. Abbildung 20) erkennt man die analytisch herleitbaren Funktionsverläufe wieder. Beim Anlegen einer Wechselspannung (vgl. Abbildung 21; Modellerweiterung gegenüber Abbildung 19) zeigt sich, dass die Spannung an der Spule der Stromstärke um eine Viertelperiode ($\pi/2$) voraussilt (vgl. Abbildung 22). Am Beginn ist die Wechselstromkurve durch einen Gleichstrom leicht nach oben verschoben. Dieser Gleichstromanteil, der beim Einschalten verursacht wird, klingt wegen des ohmschen Widerstands schnell ab.

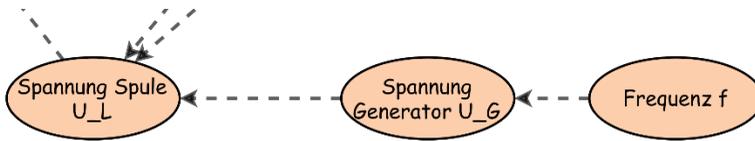


Abbildung 21: Anlegen einer Wechselspannung (Modellerweiterung im Modell SPULE_IM_WECHSELSTROMKREIS; vgl. Abbildung 19).

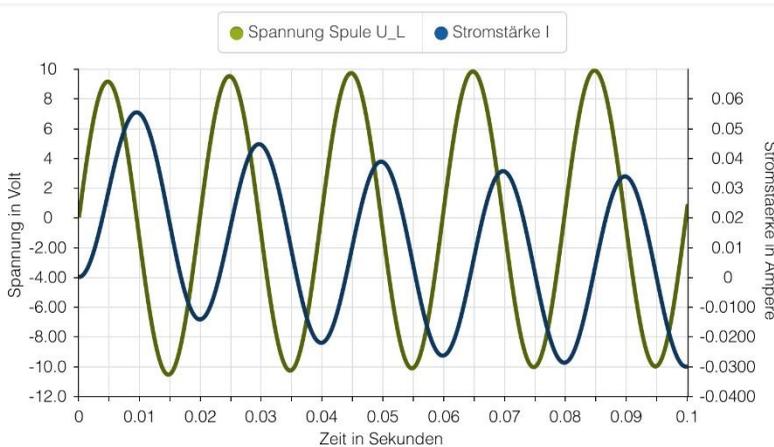


Abbildung 22: Verhalten einer Spule im Wechselstromkreis ($L = 1 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $R = 30 \text{ } \Omega$).

3.2.4 Elektromagnetischer Schwingkreis

Für die Behandlung elektromagnetischer Serienschwingkreise können die Modelle zur Spule und zum Kondensator zusammengesetzt werden. Die Verbindung erfolgt dadurch, dass die Stromstärke aus dem Spulenmodell als Änderungsrate der Kondensatorladung an das Kondensatormodell angekoppelt wird. Die Rückkopplung ist dadurch gegeben, dass die Kondensatorspannung in die Berechnung der Selbstinduktionsspannung der Spule eingeht. Das Modell entspricht dem eingangs vorgestellten Gesamtmodell (vgl. Abbildung 16). Die Spannung

an der Spule ergibt sich aus der Differenz zwischen der Generatorspannung und den Spannungen am Kondensator und am Widerstand.

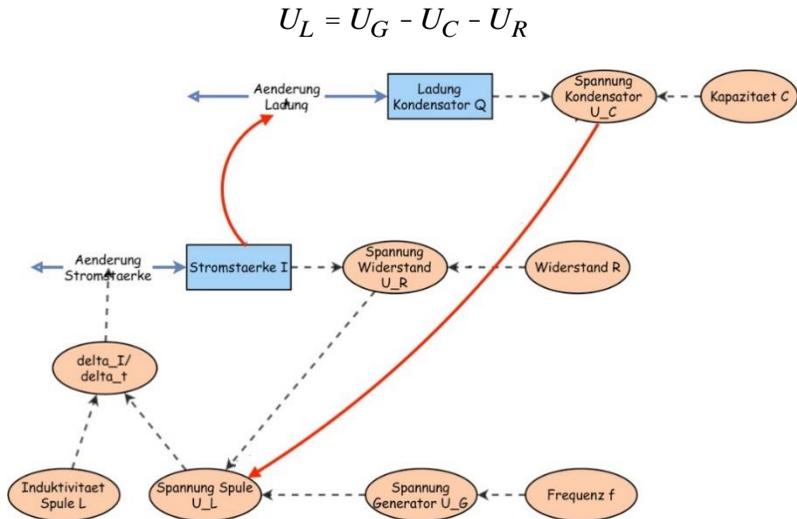


Abbildung 23: Kopplung der Modelle für Spule und Kondensator zum Serienschwingkreis (Modell ELEKTRISCHER_SCHWINGKREIS_MIT_GENERATOR; vgl. auch Abbildung 16).

Durch eine Variation der physikalischen Parameter Induktivität, Kapazität, Widerstand und Frequenz können unterschiedliche Phasenverschiebungen realisiert werden. Abbildung 24 zeigt einen Fall, bei dem der Einfluss der Kapazität auf die Phasenverschiebung gegenüber der Induktivität überwiegt. Die Stromstärke eilt der Generatorspannung voraus. Das Modell kann dazu dienen, die Zusammenhänge im Wechselstromkreis zu veranschaulichen. Die Auswirkungen von Frequenzänderungen und der Dimensionierungen von Spule und Kondensator sollten aber auch im Realexperiment gezeigt werden.

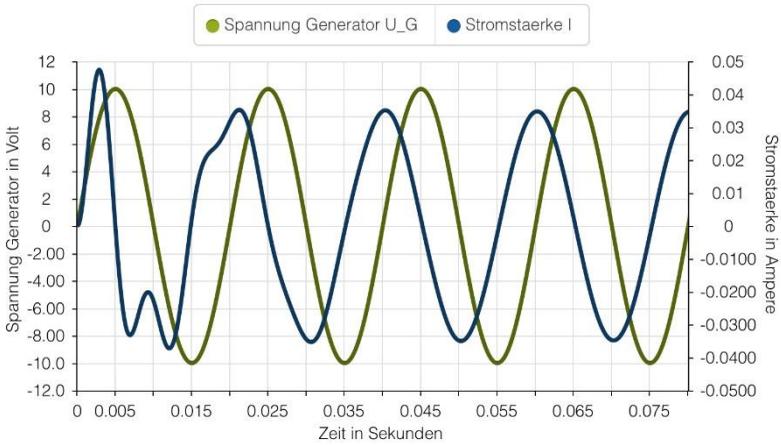


Abbildung 24: Einschwingvorgang bei einem Serienschwingkreis (Parameter: $L = 0,1 \text{ H}$; $C = 10 \mu\text{F}$; $R = 20 \Omega$; $f = 50 \text{ Hz}$); beim eingeschwingenen Zustand eilt die Stromstärke der Generatorspannung voraus.

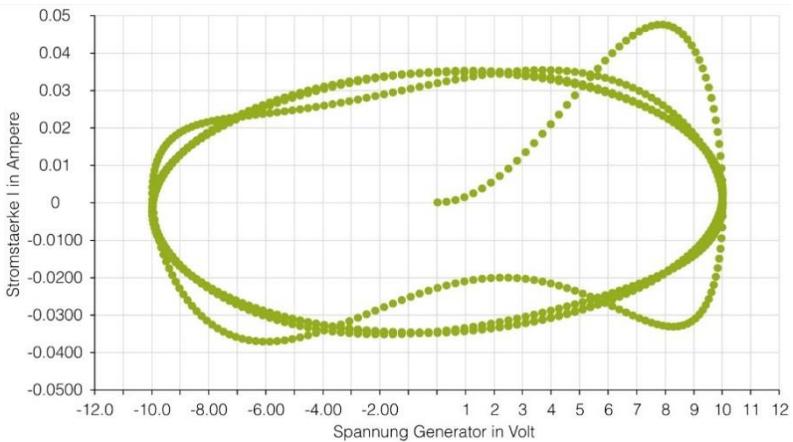


Abbildung 25: Phasendiagramm zum Einschwingvorgang.

Simulation Settings
Time Start: 0
Time Length: 0.12
Time Step: 0.0001
Time Units: Seconds
Algorithm: RK4

Model Variables

delta_l/ delta_t	Value: [Spannung Spule U_L]/[Induktivitaet Spule L] Units: Unitless
Frequenz f	Value: 50 Units: 1/seconds
Induktivitaet Spule L	Value: 0.1 Units: Unitless
Kapazitaet C	Value: 0.00001 Units: Unitless
Spannung Generator U_G	Value: 10*Sin((Frequenz f)*2*pi*Time()) Units: Unitless
Spannung Kondensator U_C	Value: [Ladung Kondensator Q]/[Kapazitaet C] Units: Unitless
Spannung Spule U_L	Value: -(Spannung Widerstand U_R)-[Spannung Kondensator U_C]+[Spannung Generator U_G] Units: Unitless
Spannung Widerstand U_R	Value: [Widerstand R]*[Stromstaerke I] Units: Unitless
Widerstand R	Value: 20 Units: Unitless

Model Stocks

Ladung Kondensator Q	Initial Value: Non-Negative: No Units: Unitless
Stromstaerke I	Initial Value: 0 Non-Negative: No Units: Unitless

Model Flows

Aenderung Ladung	Rate: [Stromstaerke I] Alpha: None Omega: Ladung Kondensator Q Positive Only: No Units: Unitless
Aenderung Stromstaerke	Rate: [delta_l/ delta_t] Alpha: None Omega: Stromstaerke I Positive Only: No Units: Unitless

Tabelle 4: Modellgleichungen ELEKTRISCHER_SCHWINGKREIS_MIT_GENERATOR (erzwungene Schwingung).

Literatur

Bethge, T./Schecker, H. (1990): Modellbildungswerkzeuge im Physikunterricht. In: LOG IN, 10(1)/1990, S. 51 - 54.

Driver, R./Scanlon, E. (1988): Conceptual change in science. In: University of Lancaster: Information Technology in Education Research Programme, occasional paper, 4/88/1988.

Forrester, J. W. (1990): System Dynamics as a Foundation for Pre-College Education. Cambridge.

Hertel, I./Großmann, S./Berg, G./Eisele, F./Erb, R./Fischler, H./Wodzinski, R. (2016): Physik in der Schule. Bad Honnef.

Klieme, E./Maichle, U. (1991): Erprobung eines Systems zur Modellbildung und Simulation im Unterricht. In: Gorny, P. (Hrsg.): Informatik und Schule. Berlin.

Lindlahr, W./Wendt, K. (2016): Virtual-Reality Experimente. In: Unterricht Physik, 27(151)/2016, S. 26 - 28.

MacDonald, W. M./Redish, E. F./Wilson, J. M. (1988): The M.U.P.P.E.T. Manifesto. In: Computers in Physics Education, 2(4)/1988, S. 23 - 30.

Niedderer, H./Schecker, H./Bethge, T. (1991): The role of computer aided modelling in learning physics. In: Journal of Computer Assisted Learning, 7(2)/1991, S. 84 - 95.

Novak, J. D./Gowin, B./Johansen, G. T. (1983): The use of concept mapping and knowledge Vee mapping with junior high school science students. Science Education 67, S. 625 - 645.

Richmond, B./Peterson, S./Vecuso, P. (1987): An Academic User's Guide to STELLA. Lyme.

Riley, D. (1990): Learning about systems by making models. Computers & Education 15, S. 255 - 263.

Schecker, H. (1998): Physik modellieren. Stuttgart.

Schecker, H./Bethge, T./Niedderer, H. (1992): Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs "Computereinsatz im Physikunterricht". Universität Bremen.

Die Anbahnung von Systemkompetenz im Geographieunterricht

1. Das systemische Verständnis der Geographie

Die Deutsche Gesellschaft für Geographie (2014) weist in den nationalen Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss System als das Hauptbasiskonzept aus. Die Berücksichtigung übergeordneter Prinzipien von Systemen bei der kognitiven Analyse und mentalen Repräsentation erdräumlicher Sachverhalte bildet die zentrale Strategie, um sich dem Kernziel geographischer Bildung, der Qualifikation zu einem kompetenten, das heißt systemisch adäquaten und zukunftsorientierten Raumverhalten, anzunähern (vgl. Köck/Rempfler 2004). Die Geographie geht dabei von einem umfassenderen Systemverständnis als etwa die anderen Naturwissenschaften aus. Sie beschränkt sich nicht auf Natursysteme, sondern unterscheidet in Anlehnung an das Drei-Säulen-Modell (vgl. Weichhart 2003; vgl. Abbildung 1) drei verschiedene Arten von Systemen: das humangeographische System (zum Beispiel beim Thema Migration), das naturgeographische System (zum Beispiel Klimawandel) sowie das Mensch-Umwelt-System (zum Beispiel Klimaflüchtlinge), bei dem die ersten beiden wiederum Subsysteme repräsentieren (vgl. Abbildung 2). Der systemische Zugang wird durch die Teilbasiskonzepte Maßstabsebenen (zum Beispiel Entwicklung von Lösungsansätzen auf lokaler und globaler Ebene gegen den anthropogenen Klimawandel) sowie Struktur (zum Beispiel räumliche Verteilung der Abwanderungs-/Zuwanderungsregionen), Funktion (zum Beispiel Pull-/Pushfaktoren der Migration) und Prozess (zum Beispiel weitere Entwicklung der Klimamigration) ergänzt. Diese weiteren Teilbasiskonzepte spezifizieren das Hauptbasiskonzept System unter anderem im Hinblick auf

die räumliche Ausprägung von Sachverhalten, deren starke Betonung ebenfalls charakteristisch für das Systemverständnis in der Geographie ist.



Abbildung 1: Das Drei-Säulen-Modell der Geographie. (Quelle: Weichhart 2003, 25)

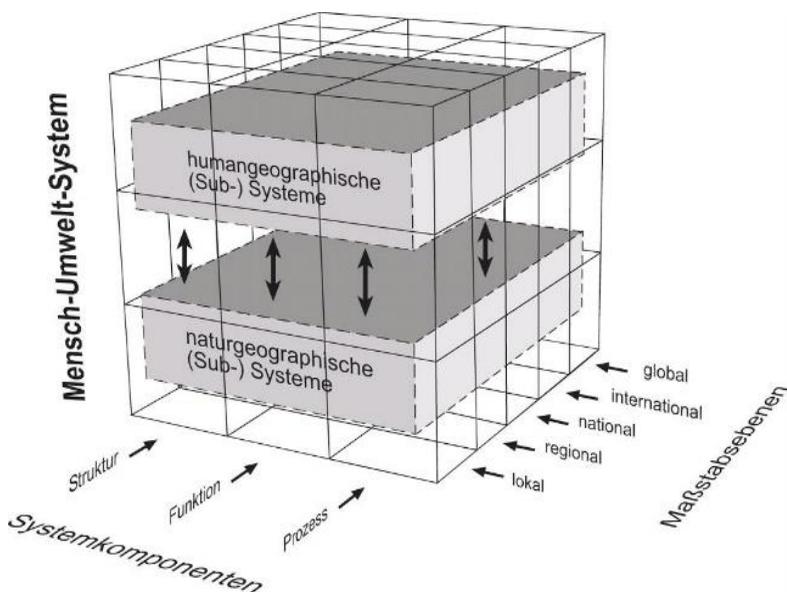


Abbildung 2: Die Basiskonzepte der Geographie. (Quelle: DGfG 2014, 11)

Theoretische Grundlage für das geographische Systemverständnis bildet der Ansatz der Sozialökologie (ausführlich dargelegt vgl. Rempfler/Uphues 2010). Das sozialökologische Systemverständnis ist der Versuch, „das Beziehungsgeflecht zwischen Gesellschaft und Natur in seinem Gesamtzusammenhang als

System darzustellen. Die äußeren Beziehungen zwischen Gesellschaft und Natur werden dann zu inneren Beziehungen des sich herausbildenden sozial-ökologischen Systems“ (Liehr et al. 2006, 269). Die methodische Alternative, Gesellschaft und Natur durch relativ autonome (Sub-)Systeme zu repräsentieren, die über äußere Beziehungen miteinander gekoppelt sind, zeigt sich etwa im landschaftsökologischen Ansatz (mit Geo-, Bio- und Anthroposystem; vgl. Leser 1991). Nach sozialökologischem Verständnis dominierte dieses Vorgehen beim traditionellen Umgang der Wissenschaftsdisziplinen mit Gesellschaft und Natur. Als Konsequenz ergibt sich, dass von den Naturwissenschaften die sozialen Einflüsse beziehungsweise von den Sozialwissenschaften die naturbürtigen Einflüsse als äußere Störungen des untersuchten Systems aufgefasst wurden und diese Konzeption für die Geographie somit an ihre Grenzen stößt.

2. Systemkompetenz in der Geographie

Unter Systemkompetenz werden in der Geographie die Fähigkeit und Fertigkeit verstanden, einen komplexen Wirklichkeitsbereich sozialer und/oder natürlicher Prägung in seiner Organisation und seinem Verhalten als erdräumliches System zu erkennen, zu beschreiben und zu modellieren und auf der Basis dieser Modellierung Prognosen und Maßnahmen zur Systemnutzung und -regulation zu treffen (vgl. Rieß/Mischo 2008; Rempfler/Uphues 2010). Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts GeoSysKo wurde ein entsprechendes Kompetenzstruktur- und -stufenmodell theoretisch hergeleitet und empirisch auf der Grundlage der Item-Response-Theory (IRT) überprüft (vgl. Mehren et al. o.J.). Es umfasst die zwei Dimensionen ‚Systemorganisation und -verhalten‘ und ‚systemadäquate Handlungsintention‘ (vgl. Tabelle 1). Modellgütemaßen zeigen, dass es sich dabei um zwei unterschiedliche Fähigkeiten handelt. Das bedeutet, dass ein Schüler, der zum Beispiel ein System sehr sinnvoll modellieren

kann, nicht automatisch kompetent darin ist, auf der Grundlage dieses Modells Handlungsempfehlungen zu geben (und umgekehrt). Die Niveaustufen unterscheiden sich grob im Hinblick auf drei zentrale schwierigkeitsgenerierende Merkmale:

- Zunächst ist dies die Anzahl der Elemente (= Bestandteile der Concept Map) im Verhältnis zur Anzahl der Relationen (= Beziehungen zwischen den Bestandteilen in Form von Pfeilen). Schüler auf einer hohen Kompetenzstufe sind in der Lage auch komplexe Systeme zu erfassen.
- Das zweite zentrale schwierigkeitsgenerierende Merkmal ist die Vernetzungsart beziehungsweise die Qualität der Vernetzung. Schwache Systemdenker zeichnen sich durch vielfaches Ausweisen monokausaler Beziehungen aus (A beeinflusst B). Das mittlere Niveau operiert verstärkt mit linearen Beziehungen im Sinne von Pfeilketten (A beeinflusst B, B beeinflusst C usw.) oder Parallelkoppelungen (A beeinflusst B und C, die wiederum beide D beeinflussen). Die höchste Kompetenzstufe beim Systemdenken zeichnet sich durch eine starke Fokussierung auf komplexe Vernetzungsstrukturen wie zum Beispiel Rückkoppelungen im Sinne von direkten und indirekten Kreisläufen aus (A beeinflusst B, B beeinflusst C, C beeinflusst D, D beeinflusst wiederum A).
- Das dritte schwierigkeitsgenerierende Merkmal ist ein theoretisches Verständnis systemspezifischer Eigenschaften. Bei der Dimension Systemorganisation und -verhalten bedeutet dies auf der höchsten Stufe etwa ein Verständnis von Irreversibilität und Emergenz eines Systems. Emergenz meint, dass ein System mehr ist als die Summe seiner Teile. Im Hinblick auf die Irreversibilität bedeutet es, dass ein System in der Regel nicht in einen vorherigen Zustand zurückversetzt werden kann.

In Bezug auf die Dimension systemadäquate Handlungsintention sind Aspekte wie eine stark ausgeprägte Komplexitätsreduktion und das Bewusstsein eingeschränkter Vorhersagbarkeit komplexer Systeme konstituierend. Die Fähigkeit zur Komplexitätsreduktion bedeutet, dass ein Schüler eine komplexe Concept Map im Kopf in der Weise abstrahieren kann, dass ihm die entscheidenden Stellschrauben zur Veränderung der Sachlage bewusst werden. Unter der eingeschränkten Vorhersagbarkeit wird das Bewusstsein verstanden, dass komplexe Systeme sich nur eingeschränkt regulieren lassen, weil zum Beispiel sich immer wieder emergente Strukturen herausbilden.

Kompetenzdimensionen		
Kompetenzstufen	<p>Systemorganisation und Systemverhalten</p> <p>Systemische Struktur, Grenze, Emergenz, Interaktion & Dynamik</p> <p><i>= Fähigkeit, einen komplexen Wirklichkeitsbereich in seiner Struktur und seinem Verhalten als System zu erkennen, zu beschreiben und zu modellieren</i></p>	<p>Systemadäquate Handlungsintention</p> <p>Systemische Prognose & Regulation</p> <p><i>= Fähigkeit, auf der Basis der Modellierung Prognosen und Maßnahmen zur Systemnutzung und -regulation zu treffen</i></p>
Stufe 1	<p>Schüler identifiziert eine niedrige Anzahl an Elementen und Relationen</p> <p>überwiegend isoliert oder monokausal und als vage abgrenzbaren Beziehungszusammenhang.</p> <p>Seine Analyse monokausaler Entwicklungsverläufe basiert auf einem schwach entwickelten Funktions- und Prozessverständnis.</p>	<p>Schüler entwickelt bei einer niedrigen Anzahl an Elementen und Relationen</p> <p>Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund monokausaler Wirkungsanalyse,</p> <p>vager Antizipation der Wirkung und schwach ausgeprägter Komplexitätsreduktion.</p>

Stufe 2	<p>Schüler identifiziert eine mittlere Anzahl an Elementen und Relationen</p> <p>überwiegend linear und als mäßig abgrenzbaren Beziehungszusammenhang.</p> <p>Seine Analyse linearer Entwicklungsverläufe basiert auf dem Verständnis von Wechselbeziehungen, Reihen- und Parallelkopplungen sowie einfachen Haushaltsbeziehungen.</p>	<p>Schüler entwickelt bei einer mittleren Anzahl an Elementen und Relationen</p> <p>Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund linearer Wirkungsanalyse,</p> <p>Antizipation der Wirkung und mäßig ausgeprägter Komplexitätsreduktion.</p>
Stufe 3	<p>Schüler identifiziert eine hohe Anzahl an Elementen und Relationen</p> <p>überwiegend komplex und als eindeutig abgrenzbaren Beziehungszusammenhang sowie als Teil verschachtelter Systeme.</p> <p>Seine Analyse linearer und nicht linearer Entwicklungsverläufe basiert auf dem Verständnis von Rückkopplungen und Kreisläufen sowie anspruchsvollen Haushaltsbeziehungen, Irreversibilität und Emergenz.</p>	<p>Schüler entwickelt bei einer hohen Anzahl an Elementen und Relationen</p> <p>Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund komplexer Wirkungsanalyse,</p> <p>Antizipation der Wirkung und stark ausgeprägter Komplexitätsreduktion sowie mit dem Bewusstsein eingeschränkter Vorhersagbarkeit.</p>

Tabelle 1: Empirisch überprüftes Kompetenzstruktur- und -stufenmodell zur geographischen Systemkompetenz.

3. Diagnostik von Systemkompetenz

Eine zentrale Voraussetzung zur effektiven Anbahnung von Systemkompetenz ist die vorgeschaltete Diagnostik auf Seiten der Schüler. Um Systemkompetenz valide messen zu können, muss es vom Fachwissen abgegrenzt werden. Fachwissen und Systemkompetenz korrelieren in der Regel hoch miteinander. Ein Schüler, der über nur wenig geographisches Wissen verfügt, kann

auch kein entsprechendes komplexes System modellieren. Daher ist eine zentrale Voraussetzung der validen Diagnostik von Systemkompetenz, dass die geographischen Inhalte dem Schüler vorliegen beziehungsweise von ihm bereits erarbeitet wurden. Aus diesem Grund eignet sich im Sinne einer Statusdiagnostik zum Beispiel für die erste Kompetenzdimension ein Arbeitsauftrag am Ende einer Unterrichtsreihe im Sinne von ‚Entwickeln Sie auf der Grundlage der abgeschlossenen Unterrichtsreihe eine Concept Map (= Wirkungsdiagramm), die die Zusammenhänge der besprochenen Teilthemen verdeutlicht.‘

Concept Maps sind ein zentraler Schlüssel zur Diagnostik von Systemkompetenz im Geographieunterricht. Das Aufgabenformat hat sich im GeoSysKo-Forschungsprojekt empirisch als sehr valide gezeigt, weil es die Komplexität des systemischen Verständnisses von Schülern deutlich besser als etwa ein zusammenhängender Text sichtbar macht (Mehren et al. o.J.). Ein typisches Diagnoseinstrument für die Systemkompetenz im Geographieunterricht in der Sekundarstufe II ist in Tabelle 2 abgebildet. Zu Beginn der Diagnosephase erhält jeder Schüler die Situationsbeschreibung über die Malaria im Kongo als Informationstext, sodass nur die Systemkompetenz und nicht das Vorwissen getestet wird. Diese ist bewusst sehr inhaltlich dicht, um keinen Deckeneffekt (= alle Schüler lösen die Aufgabe ohne weitere Probleme), sondern eine breite Streuung bei den Leistungen zu gewährleisten. Als Aufgabenstellung sollen die Schüler in Einzelarbeit die Inhalte des Informationstextes in eine Concept Map überführen (= erste Dimension des Kompetenzmodells). Anhand der drei schwierigkeitsgenerierenden Merkmale werden Niveauunterschiede der Concept Maps diagnostizierbar. Mit einem Blick auf die Concept Map wird für die Lehrkraft nachvollziehbar, ob der Schüler mit eher wenigen oder zahlreichen Elementen und Relationen operieren konnte, ob sich verstärkte Kreisläufe abbilden und ein Verständnis von Eigenschaften wie Emergenz und Irreversibilität entwickeln. Ein Beispiel für Emergenz ist das Zusammenwirken von Teilsystemen wie

Bewässerungslandwirtschaft und Malaria, das neue Aspekte entstehen lässt, wie zum Beispiel ein geringerer Ernteertrag durch den krankheitsbedingten Ausfall von Familienmitgliedern als Arbeitskräfte. Im Hinblick auf die Irreversibilität bedeutet es, dass ein System in der Regel nicht in einen vorherigen Zustand zurückversetzt werden kann. So würden etwa die Familienmitglieder nicht dadurch wieder gesund, dass man die Bewässerungskanäle zuschüttet.

Ein weiterer Aufgabenteil fokussiert anschließend auf die zweite Dimension des Kompetenzmodells (systemadäquate Handlungsintention). Im ersten Part der Aufgabe sollen die Schüler einen Vorschlag für einen Handlungseingriff in Form einer Spende von einer Million imprägnierter Moskitonetze durch das deutsche Entwicklungsministerium beurteilen. Anhand der Komplexität ihrer Stellungnahme können wiederum Niveauunterschiede diagnostiziert werden. Auf der niedrigsten Kompetenzstufe erklären sie die Maßnahme monokausal als wirksam, da die Netze – richtig eingesetzt – eine sehr effektive Schutzmaßnahme gegen Malaria sind. Auf der höchsten Kompetenzstufe hingegen erläutern sie die Maßnahme komplex, indem sie verschiedene Vorteile (hohe Wirksamkeit, Spende entlastet finanziell Gesundheitsweisen und Familien, ...) und Nachteile (Bürgerkriegsgebiete nicht zugänglich, Problem der Armut wird nicht gelöst, Netze halten nur fünf Jahre, ...) umfassend diskutieren. Im Hinblick auf das theoretische Verständnis systemspezifischer Eigenschaften realisieren sie, dass ein punktueller Eingriff in das System an nur einer Stelle (= imprägnierte Moskitonetze) eine sehr begrenzte Wirksamkeit entfaltet und dass komplexe Probleme durch eine ganzheitliche Strategie angegangen werden müssen. Zudem erkennen sie, dass die Vorhersagbarkeit über Erfolg und Misserfolg der Maßnahme (beispielsweise aufgrund geringer Motivation der Menschen jeden Abend Sorge dafür zu tragen, dass das Netz auch dicht ist) begrenzt ist.

In einer weiteren Teilaufgabe entwickeln sie eigene Handlungsstrategien. Ein guter Systemdenker zeichnet sich in diesem Kontext unter anderem durch die Fähigkeit zu einer starken Komplexitätsreduktion aus. Die Fähigkeit zur Komplexitätsreduktion bedeutet, dass ein Schüler eine komplexe Concept Map im Kopf in der Weise abstrahieren kann, dass ihm die entscheidenden Stellschrauben zur Veränderung der Sachlage (zum Beispiel im System Malaria die Bekämpfung der Armut) bewusst werden.

Zur Malaria-Situation in der Demokratischen Republik Kongo

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf der Grundlage des WHO-World Malaria Reports 2014

Malaria ist eine Infektionskrankheit mit grippeähnlichen Symptomen, die durch die Anophelesmücke übertragen wird. Die Anophelesmücke ist in den feuchten Tropen verbreitet, da sie hohe Temperaturen und Luftfeuchte benötigt. Jährlich erkranken ca. 258 Millionen Menschen, von denen ungefähr eine Millionen sterben. In Subsahara-Afrika liegt Malaria laut WHO auf Platz 3 der Todesursachen.

Der Kongo ist eine der am stärksten betroffenen Nationen. Das Land ist wirtschaftlich in einem desolaten Zustand (HDI: Platz 186 von 187 Ländern). Auch politisch ist es sehr instabil. Insbesondere im Osten liefern sich konkurrierende Bürgerkriegsparteien bewaffnete Auseinandersetzungen. Etwa ein Viertel der Kosten im staatlichen Gesundheitswesen sind durch Malaria bedingt. Viele Menschen sind zu arm, um sich eine ausreichende Behandlung zu leisten. Sie zögern den Besuch bei Erkrankung aufgrund der Kosten häufig zu lang hinaus. Dies fördert die weitere Verbreitung der Krankheit. In den Gebieten mit hohem Malariarisiko fehlt es an ausländischen Investoren, die Arbeitsplätze schaffen. Internationale

Firmen senden ihre Angestellten nur ungern in stark von Malaria betroffene Gebiete. Die meisten Menschen sind daher in der Landwirtschaft beschäftigt.

Die Malariaerkrankungen treten aufgrund der klimatischen Bedingungen oft in der Erntezeit auf, wodurch Familienmitglieder bei der Feldarbeit ausfallen. Häufig müssen dann die Nachbarn, aber auch die Kinder als Erntehelfer einspringen. Dies führt zu Ernteeinbußen von bis zu 30 %. Ein Großteil der Familien leidet unter Mangelernährung, was wiederum die Malariaansteckung fördert. Aufgrund eigener Erkrankungen sowie der Erntearbeit fehlen die Kinder häufig in der Schule beziehungsweise verlassen sie ganz. Die Schulen sind jedoch ein wichtiger Ort zur Aufklärung. Durch die kriegerische Auseinandersetzung in manchen Gebieten und nur sehr begrenzte Entwicklungshilfemittel der Industriestaaten ist eine flächendeckende Aufklärung herausfordernd. Viele Menschen im Kongo wissen nicht, dass Malaria durch Mücken übertragen wird oder wie man sich schützen kann. Eine sehr effektive Schutzmaßnahme ist das Schlafen unter Moskitonetzen, die mit Pflanzenschutzmitteln imprägniert sind. Diese sind jedoch sehr teuer und müssen nach ca. fünf Jahren erneuert werden. Viele informierte Einwohner nehmen trotzdem lieber günstige, aber wenig wirksame Netze oder nutzen sie länger, in der Hoffnung, dass die Imprägnierung noch hält. Zudem ist es für die Menschen mühselig jeden Abend vor dem Schlafengehen zu kontrollieren, ob die Netze auch so drapiert sind, dass sie dicht sind.

Es ist nicht möglich sich gegen Malaria zu impfen, da bislang noch kein Impfstoff erfunden wurde. Viele Malariaerreger sind zudem mittlerweile gegen viele Medikamente, die bei der Behandlung eingesetzt werden, resistent geworden. Da Medikamente teuer sind, werden sie häufig von den Menschen nur

sehr sparsam eingesetzt. Durch diese Unterdosierung gewöhnen sich die Erreger an die Gegenmittel. Zudem haben zahlreiche internationale Pharmakonzerne ihre Malariaforschung deutlich zurückgefahren, weil sie im Absatzmarkt Afrika nur wenig Geld mit solchen Präparaten verdienen können. Auch sind nicht immer ausreichend Medikamente insbesondere in den ländlichen Regionen vorhanden. Viele Gesundheitsstationen sind in Folge der kriegerischen Auseinandersetzungen wiederholt zerstört worden. Zudem sind solche Gegenden während der Regenzeit aufgrund fehlender asphaltierter Straßen häufig nicht erreichbar.

Während der Regenzeit sind die Dörfer voller Pfützen, die perfekte Brutstätten für Malariaparasiten sind. Nach Aufklärungskampagnen durch Entwicklungshelfer wissen die Bewohner vieler Dörfer, dass sie die Pfützen um ihr Haus herum wegwischen müssen. Nach einer gewissen Zeit unterlassen sie dies aber häufig wieder. In armen Gegenden, wo es zudem viel regnet, haben die Leute schlicht in ihrem Alltag andere Dinge im Kopf. Um die Armut zu bekämpfen, wurde in den letzten Jahren die Bewässerungslandwirtschaft im Rahmen von Entwicklungsprojekten gefördert. Dadurch entstanden jedoch wiederum zahlreiche offene Wasserstellen (Staudämme, Bewässerungskanäle etc.), die die Verbreitung des Malariaerregers stark bedingt haben.

Durch die kriegerischen Auseinandersetzungen kommt es im Kongo vielfach zu Vertreibungen. Flüchtlinge stellen ein erhöhtes Risiko dar. Neben ihrer oftmals gesundheitlich schlechten Verfassung spielen vor allem die für Anophelesmücken günstigen Bedingungen im Umfeld von Lagern eine Rolle, wie etwa die mangelnde Abwasserinfrastruktur. Zudem gehen die Flüchtlinge häufig nach Ende der kriegerischen Auseinandersetzung zurück in ihre Provinzen, was die Ausbreitung befördert.

Arbeitsaufträge

1. Stellen Sie die Malaria-Situation im Kongo (M 1) in einer Concept Map (= Wirkungsdiagramm mit *beschrifteten* Pfeilen) auf einem DIN A3-Blatt dar.
2. Berechnen Sie mit Hilfe von M 2 den Strukturindex Ihres Banknachbarn.
3. Stellen Sie sich vor, das deutsche Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) beschließt eine Million imprägnierte Netze zu kaufen und diese als Entwicklungshilfe an die Regierung im Kongo zu liefern. Erläutern Sie anhand der Concept Map die Wirksamkeit dieses Ansatzes.
4. Entwickeln Sie auf der Grundlage Ihrer Concept Map eine eigene Strategie, um die Situation im Kongo zu verbessern.

Tabelle 2: Beschreibung der Malaria-Situation im Kongo. (Quelle orientiert an: Mehren et al. 2015)

Neben der inhaltlich qualitativen Analyse einer Concept Map durch den Lehrer kann zur Auswertung auch der Strukturindex herangezogen werden (vgl. Tabelle 3). Der Strukturindex ist eine Kennziffer, die Auskunft darüber gibt, wie komplex ein System vernetzt ist (Art und Anzahl der Relationen im Verhältnis zur Anzahl der Elemente). Der Strukturindex als Maß zeigt durchaus Schwächen, indem er zum Beispiel rein quantitativ ausgelegt ist und daher kaum Aussagen zur inhaltlichen Qualität der Vernetzung zulässt. Dennoch hat sich im Forschungsprojekt GeoSysKo auf der Grundlage von Testergebnissen von mehr als 2.000 Probanden empirisch gezeigt, dass mit ihm sehr genau die Systemkompetenz eines Schülers diagnostiziert werden kann.

Da die Berechnung des Strukturindexes einerseits sehr aufwändig ist und andererseits in dieser Form der diagnostischen Analyse eines Systems auch ein großer Lerngewinn steckt, übernimmt dies in der Regel ein Mitschüler.

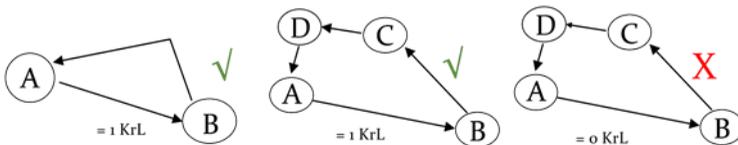
Berechnung des Strukturindexes (Dimension „Systemorganisation & -verhalten“)

(Rempfler 2010, verändert nach Bollmann-Zuberbühler 2008, Ossimitz 2000)

Allgemein gilt, dass nur Pfeile gezählt werden, die a) inhaltlich sinnvoll und b) beschriftet sind.

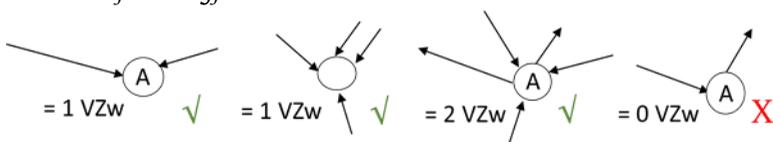
- Bestimmen Sie durch Auszählen die Anzahl der Systemelemente (=Begriffe) und tragen Sie diese unten in den Nenner des Strukturindexes ein.
- Kolorieren Sie mit einem Textmarker zuerst alle Kreisläufe (KrL) in der Concept Map und tragen sie die Anzahl unten in die Formel ein.

Ein Kreislauf ist eine geschlossene Kette von Pfeilen, die in die gleiche Richtung laufen.



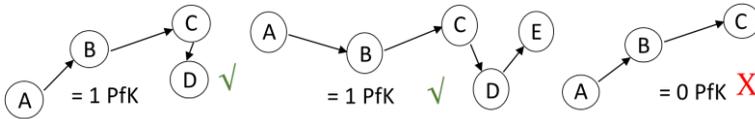
- Kolorieren Sie mit einem andersfarbigem Textmarker anschließend alle Verzweigungen (VZw) und tragen Sie die Anzahl unten in die Formel ein.

Eine Verzweigung ist ein Element, zu dem mindestens zwei Pfeile hinführen beziehungsweise von dem mindestens zwei Pfeile wegführen.



4. Kolorieren Sie mit einem dritten Textmarker anschließend alle Pfeilketten (Pfk) und tragen Sie die Anzahl wiederum unten in die Formel ein.

Eine Pfeilkette ist eine Abfolge von mindestens drei Pfeilen, die in die gleiche Richtung laufen.



$$\text{STRUKTURINDEX (SX)} = \frac{\boxed{} \text{Krl} + \boxed{} \text{VZw} + \boxed{} \text{Pfk}}{\boxed{} \text{Elemente}}$$

Berechnungsbeispiele:

B → D → C → zählt nicht als Pfk, weil sie überwiegend Teil des Krl sind. Darum ist es beim SX wichtig, dass zuerst die Krl, dann die VzW und dann erst die Pfk ausgezählt werden.

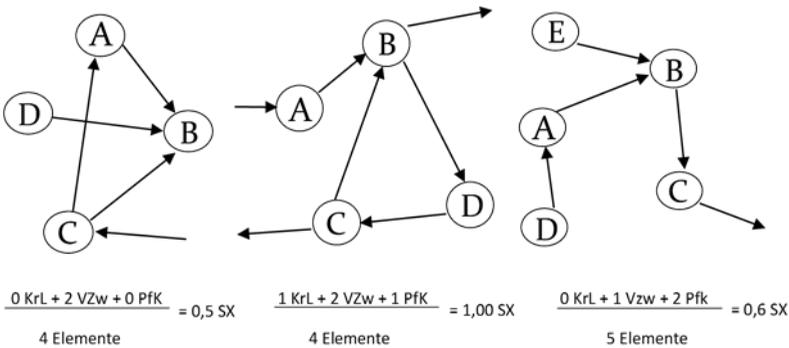


Tabelle 3: Anleitung zur Berechnung des Strukturindexes. (Quelle: Mehren et al., 2015)

4. Förderung von Systemkompetenz

Diagnostik und Förderung verstehen sich als zirkulärer Prozess; der eine Bestandteil sollte nicht ohne den anderen gedacht werden. In Bezug auf die Förderung von Systemkompetenz können verschiedene evidenzbasierte Kriterien auf der Grundlage bestehender empirischer Forschung destilliert werden:

- Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich Systemkompetenz durch entsprechende unterrichtliche Interventionen steigern lässt (Maierhofer 2001). Es gibt aber auch Hinweise, dass sich die Anwendungskompetenz der Lerner nach einer gewissen Zeit wieder verliert (vgl. Bell 2003).
- Systemkompetenz ist kein isolierbarer und mit einem einzigen Wert zu kennzeichnender Kompetenzbereich, sondern setzt sich aus zwei Teilkompetenzen zusammen. Diese Kompetenzdimensionen korrelieren nicht automatisch sehr hoch bei jedem Schüler und sollten daher beide gefördert werden (vgl. Mehren et al. o.J.).
- Die Förderung der Systemkompetenz ist nicht höheren Jahrgangsstufen vorbehalten, sondern lässt sich mindestens von der Grundschule an anbahnen (vgl. Sweeney/Sterman 2007; Sommer 2005).
- Der Systemansatz sollte nicht als Addition neuer Unterrichtsthemen, sondern vielmehr als Unterrichtsprinzip gedacht werden (vgl. Köck 1985). Die Entwicklung systemischen Denkens hat nur eine realistische Entfaltungschance, wenn sie nicht auf wenige isolierte Unterrichtsstunden beschränkt bleibt, sondern quasi als leitendes Gestaltungsmerkmal spiralscurricular gesehen wird (vgl. Ossimitz 2000, 241).

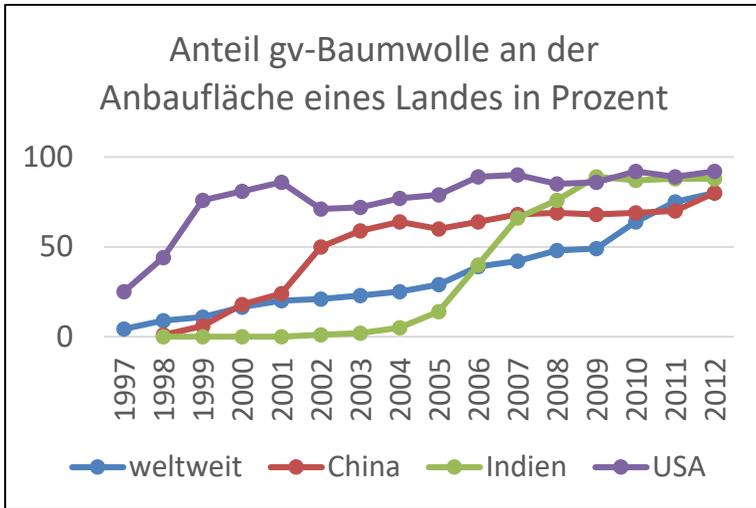
- Für Ossimitz (2000) sind die Lehrperson und ihr Unterrichtskonzept wichtige Faktoren für die Vermittlung systemischen Denkens. Hmelo-Silver/Azevedo (2006) sowie Nagel et al. (2008) teilen die Einschätzung, dass man Lehrpersonen helfen muss, komplexe Systeme zu verstehen, damit sie Lernprozesse für Schüler entsprechend konzipieren können.
- Systemkompetenz gilt grundsätzlich als domänenspezifisch (vgl. Klieme/Maichle 1994). Nach Sommer (2005) gibt es allerdings Hinweise auf eine bereichsübergreifende Fähigkeit.
- Systemkompetenz sollte nicht mittels eines theoretisch-abstraktes Systemtrainings, sondern über eine entsprechend systemorientierte Aufbereitung von fachlichen Inhalten gefördert werden (vgl. Sweeney 2004, Rempfler 2010).
- Ein entscheidender Erfolgsfaktor zur Verbesserung der systemischen Denkfähigkeit ist der Umgang mit entsprechenden Darstellungsformen (vgl. Hildebrandt 2007). Grafische Repräsentationen – sowohl deduktiv (zum Beispiel in Form eines pfeilbasierten Schaubildes) als auch induktiv (zum Beispiel Erstellung einer Concept Map) eingesetzt – verbessern die systemische Denkfähigkeit (vgl. Hildebrandt 2007). So zeigen etwa Haugwitz/Sandmann (2009) im Rahmen einer Interventionsstudie, dass sechs Monate nach einer erfolgten Unterrichtseinheit Schüler, die Concept Maps erstellt haben, Aufgaben sowohl zum inhaltlichen als auch zum anwendungsorientierten Wissen besser lösen als Schüler, die in ihren Lerngruppen schriftliche Zusammenfassungen erstellt haben.
- Die unterrichtliche Einbindung metareflexiver Elemente des systemischen Denkens unterstützen den Verstehensprozess komplexer Systeme auf Seiten der Schüler (vgl. Tabelle 4; Rieß/Mischo 2010).

- Alltagsvorstellungen/-theorien nehmen Einfluss auf die Rezeption komplexer Sachlagen und stehen unter Umständen der systemisch-analytischen Durchdringung als Lernhindernis im Wege (vgl. Assaraf /Orion 2005).
- Unterrichtsarrangements zur Förderung der Systemkompetenz sollten ausreichend komplex sein und das Aushandeln von Lösungen innerhalb einer Schülergruppe ermöglichen. Eine intensive Diskussion über die Systemorganisation und das Systemverhalten sowie das Durchspielen und gegebenenfalls Verwerfen von Lösungsansätzen steigert die kognitive Verarbeitungstiefe (vgl. Schuler 2012).

-
- **Behalte den Blick aufs Ganze.**
 - **Finde heraus, wie Elemente und Beziehungen sich mit der Zeit verändern und versuche, Muster und Trends zu erkennen.**
 - **Bedenke, dass die Struktur eines Systems bestimmte Verhaltensweisen hervorbringt.**
 - **Beachte, dass Wirkungsbeziehungen häufig nicht nur linear, sondern auch zirkulär sein können.**
 - **Betrachte die Dinge aus verschiedenen Blickwinkeln.**
 - **Stelle Vermutungen auf und teste sie.**
 - **Bedenke eine Sachlage vollständig und hüte dich vor vorschnellen Schlussfolgerungen.**
 - **Bedenke, wie eigene Vorstellungen (mentale Modelle) die gegenwärtige Wirklichkeit und die Zukunft beeinflussen.**
 - **Entscheide auf der Grundlage deines Verständnisses der Systemstruktur, wo man sinnvollerweise eingreifen kann.**
 - **Bedenke sowohl die kurz- als auch langfristigen Folgen von Handlungen.**
 - **Finde heraus, wo unbeabsichtigte Konsequenzen aus deiner Handlung drohen.**
 - **Beachte den Einfluss von Zeitverzögerungen, wenn du Ursache-Wirkungsgefüge untersuchst.**
 - **Überprüfe die Wirkungen und passe, wenn nötig, deine Handlungen sukzessive an.**
-

Tabelle 4: Habits eines Systemdenkers als Grundlage zur Metareflexion. (Quelle orientiert an: Waters Foundation 2010)

Vor dem Hintergrund der empirischen Hinweise zur Anbahnung der Systemkompetenz bietet sich der Einsatz der Mystery-Methode (vgl. Vankan et al. 2007) im Besonderen an. Bei einem Mystery besteht die Aufgabe darin, eine rätselhafte Leitfrage zu einem Fallbeispiel zu beantworten (zum Beispiel ‚Warum begehen viele Bauern in Indien Selbstmord?‘ vgl. Abbildung 3). Dazu erhalten die Schüler einen Stapel von ungeordneten Informationskärtchen, auf denen Ereignisse und Hintergründe zu diesem Fall notiert sind. Ihre Aufgabe besteht darin, aus diesen Kärtchen auf einem Poster ein Wirkungsdiagramm zu entwickeln, mit dessen Hilfe sie die Leitfrage umfassend beantworten können. Im Anschluss daran versuchen die Schüler auf der Grundlage ihrer Wirkungsdiagramme Ansatzpunkte zu identifizieren und Strategien zu entwickeln, um die implizite problematische Situation nachhaltig anzugehen (= systemadäquate Handlungsintention, vgl. Abbildung 2). Anknüpfend an eine Schülerpräsentationsphase wird sich intensiv der Reflexion im Hinblick auf Inhalt und Arbeitsprozess gewidmet. Die Schüler werden sich durch den Vergleich der Gruppen bewusst, wie sie jeweils beim Lösen der Aufgabe vorgegangen sind, welche (systemadäquaten) Strategien sie eingesetzt haben (vgl. Tabelle 4), wie eine optimale Lösungsstrategie aussehen könnte und in welchen anderen Zusammenhängen diese Strategie noch nützlich sein könnte (vgl. Schuler 2012). Die Methode entstammt dem Ansatz des Thinking Through Geography (TTG) der Arbeitsgruppe um David Leat (1998) und offeriert zahlreiche Stellungschrauben zur binnendifferenzierten Förderung (vgl. Tabelle 5). Im Hinblick auf die zuvor aufgelisteten evidenzbasierten Kriterien für die Anbahnung der Systemkompetenz kann konstatiert werden, dass die Mystery-Methode zahlreiche Elemente aufgreift.



Um Saatgut, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel zu kaufen, leihen sich die Bauern Kredite bei privaten Geldverleihern.

Diese geben häufig dann noch Geld, wenn die Banken keines mehr geben, weil sie befürchten, dass die Bauern es nicht zurückzahlen können.

Dafür nehmen sie Wucherzinsen bis zu 150%, so dass sich die Bauern verschulden.

4	Vorsortierung der Kärtchen	Die Mysterykärtchen können Schülergruppen bereits vorsortiert in kleineren Päckchen gegeben werden, um die Arbeit zu erleichtern.
5	Einbindung von Hilfsfragen	Zusätzlich zu den Mysterykärtchen können schwächeren Schülern Hilfsfragen zur Verfügung gestellt werden, die den Denkprozess etwas vorstrukturieren.
6	Darreichungsform der Informationen	Kärtchen mit Diagrammen, Fotos, längeren Texten etc., bei denen die Information erst analysiert werden muss, bevor sie vernetzt werden kann, sind herausfordernder als Kärtchen mit nur einem Satz.
7	Vorenthalten von Informationen	Wichtige Kärtchen können bei stärkeren Schülern zu Beginn zurückgehalten werden, so dass diese verstärkt Vermutungen anstellen und Lösungshypothesen bilden müssen.
8	Zusatzinformationen	Zum Mystery können zusätzliche Begleittexte ausgeteilt werden, mit denen die Informationen auf den Kärtchen vertieft erschlossen werden können.
9	Verbindung von zwei Mysterys	Die Durchführung von zwei unterschiedlichen Mysterys in arbeitsteiliger Gruppenarbeit, die in der Präsentationsphase wiederum vernetzt werden müssen (zum Beispiel Textilkonsum in Europa und Produktionsbedingungen in Asien), lässt das Fallbeispiel komplexer werden.
10	Informationsgüte	Die Integration von Kärtchen mit irrelevanten oder nebensächlichen Informationen, die aussortiert werden müssen, erhöht den Schwierigkeitsgrad.
11	Leere Kärtchen	Die Integration von leeren Kärtchen, auf denen die Schüler Informationen aus vorangegangenen Unterrichtseinheiten eintragen sollen, die sie wiederum in das System einordnen müssen, stärkt die Vernetzung.

12	ICH-Karte	Die Integration einer ICH-Karte, mit der die Schüler sich selber als Teil des Systems einordnen müssen, eröffnet neue Denkwege.
13	Weiterarbeit	Die Weiterarbeit mit dem Mystery, indem auf dessen Grundlage verschiedene Szenarien zur Verbesserung von Situationen durchgespielt werden („Was wäre, wenn...-Fragen“), fördert das systemische Denken.
14	Eigener Entwurf eines Mystery	Die Entwicklung eigener Mysterys durch Schülergruppen auf der Basis von gegebenen Materialien bzw. am Ende einer Unterrichtseinheit ist herausfordernd.

Tabelle. 5: Ausgewählte Ansatzpunkte zur Variation der Komplexität eines Mysterys im Hinblick auf individuelle Förderung. (Quelle orientiert an: Mehren/Mehren 2015)

Während die Mystery-Methode einen qualitativen Systemansatz verfolgt, stellt die Bewertungsmatrix (vgl. Tabelle 6) stärker die Analyse der Stärke der Beziehungen in den Fokus. Bei dieser Methode identifizieren die Schüler zunächst aus einem Materialpool die Elemente eines Systems. In Bezug auf die Situation im Kongo könnten dies zum Beispiel das Bevölkerungswachstum, der Bildungsstand, kulturelle Gegebenheiten usw. sein. Diese werden nun in eine Matrix eingefügt, bei der jedes Element auf der y-Achse mit allen anderen Elementen auf der x-Achse verknüpft ist. Die Schüler beurteilen anschließend die Stärke des jeweiligen Systemelements auf die anderen Elemente auf einer Skala von null bis drei. Ist dies für alle Elemente geschehen, können mit der Aktivsumme, der Passivsumme, der Q-Zahl als aktiver Faktor sowie der P-Zahl als kritischer Faktor verschiedene Kennziffern berechnet werden, die im Sinne der Kompetenzdimension systemadäquate Handlungsintention die Entscheidungsfindung unterstützen, wo sinnvollerweise im System eingegriffen werden sollte, um einen angestrebten Zustand zu erreichen.

Wirkung von ↓ auf →	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	...	AS	Q
A Bevölkerungswachstum	•	1	1	2	3	3	1	3									14	07
B Bildungsstand	3	•	2	0	3	1	3	3									13	33
C Kulturelle Gegebenheiten	3	1	•	0	1	0	3	2									8	27
D Medizinische Versorgung	3	0	0	•	1	0	2	1									7	12
E Lebensbedingungen	3	0	0	0	•	2	2	1									8	07
F Wirtschaftliche Situation	3	2	0	2	2	•	2	1									11	14
G Familienplanung	3	0	0	0	2	2	•	2									7	05
H Altersstruktur	3	0	1	0	1	1	2	•									8	06
I									•									
J										•								
K											•							
L												•						
M													•					
N														•				
O															•			
...																•		
PS	21	4	3	6	12	8	15	13										
P	23 4	52	24	42	36	88	106	104										

AS: Faktor mit der höchsten Aktivsumme – er beeinflusst die anderen am stärksten

PS: Faktor mit der höchsten Passivsumme – er wird am meisten beeinflusst

Q: Faktor mit der höchsten Q-Zahl (aktiver Faktor)– er beeinflusst alle anderen am stärksten, wird aber von ihnen am schwächsten beeinflusst

Faktor mit der niedrigsten Q-Zahl (reaktiver Faktor) – er beeinflusst die übrigen am schwächsten, wird aber selbst am stärksten beeinflusst

P: Faktor mit der höchsten P-Zahl (kritischer Faktor) – er beeinflusst die übrigen am stärksten und wird gleichzeitig auch von ihnen am stärksten beeinflusst

Faktor mit der niedrigsten P-Zahl (puffender Faktor) – er beeinflusst die übrigen am schwächsten und wird von ihnen am schwächsten beeinflusst

Arbeitsaufträge

1. Identifiziere die Elemente des Systems und trage sie in die linke Spalte ein.
2. Beurteile die Stärke der gegenseitigen Beeinflussung der Faktoren und trage sie in das Matrixfeld ein.
(0 = keine Wirkung, 1 = schwache Wirkung, 2 = mittlere Wirkung, 3 = starke Wirkung)
3. Werte die Matrix wie folgt aus:
 - Addiere alle senkrechten Zahlen je Faktor (= Passivsumme (PS) und alle waagerechten Zahlen je Faktor = Aktivsumme (AS))
 - Berechne die Produktzahl P je Faktor ($P = AS \times PS$) und die Quotientenzahl Q je Faktor ($Q = AS : PS$).

Tabelle 6: Beispiel für eine Bewertungsmatrix. (Quelle orientiert an: Brodengeier et al. 2009)

Literatur

Assaraf, O./Orion, N. (2005): Development of system thinking skills in the context of earth system education. In: *Journal of research in science teaching*, 42/5/2005, S. 518 – 560.

Bell, T. (2003): *Strukturprinzipien der Selbstregulation: Studien zum Physiklernen*. Band 25, Berlin.

Bollmann-Zuberbühler, B. (2008): *Lernwirksamkeitsstudie zum systemischen Denken an der Sekundarstufe I*. In: Frischknecht-Tobler, U./Nagel, U./Seybold H. (Hrsg.): *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen*. Zürich, S. 99 – 118.

Brodengeier, E./Bünstorf, U./Hemmer, M./Jackowski, C./Jansen, R./Pungel, S./Salmen, H. J./Sauerborn, P./Schumann, W./Schmielowski, B./Zimmermann, K. (2009): *TERRA Erdkunde 3. Jahrgangsstufe 9*. Gymnasium Nordrhein-Westfalen. Stuttgart.

Deutsche Gesellschaft für Geographie (Hrsg.) (2014): *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen*. Berlin.

Haugwitz, M./Sandmann, A. (2009): *Kooperatives Concept Mapping in Biologie: Effekte auf den Wissenserwerb und die Behaltensleistung*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15/2009, S. 89 – 107.

Hildebrandt, K. (2007): Die Wirkung systemischer Darstellungsformen und multiperspektivischer Wissensrepräsentationen auf das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Kiel.

Verfügbar unter:

[http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00002136/070724_Dissertation_Hildebrandt.pdf;jsessionid=C4C06568D6DF7998E58E820CE8CA A3C3?hosts=\[20.02.2016\]](http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00002136/070724_Dissertation_Hildebrandt.pdf;jsessionid=C4C06568D6DF7998E58E820CE8CA A3C3?hosts=[20.02.2016])

Hmelo-Silver, C. E./Azevedo, R. (2006): Understanding Complex Systems: Some Core Challenges. In: The Journal of the Learning Sciences, 15/1/2006, S. 53 – 61.

Klieme, E./Maichle, U. (1994): Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I. Bonn.

Köck, H. (1985): Systemdenken – geographiedidaktische Qualifikation und unterrichtliches Prinzip. In: Geographie und Schule, 7/33/1985, S. 15 – 19.

Köck, H./Rempfler, A. (2004): Erkenntnisleitende Ansätze – Schlüssel zur Profilierung des Geographieunterrichts. Köln.

Leat, D. (1998): Thinking through Geography. Cambridge.

Leser, H. (1991): Landschaftsökologie. Stuttgart.

Liehr, S./Becker, E./Keil, F. (2006): Systemdynamiken. In: Becker, E./Jahn, T. (Hrsg.): Soziale Ökologie - Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. Frankfurt/Main, S. 267 – 283.

Maierhofer, M. (2001): Förderung des systemischen Denkens durch computerunterstützten Biologieunterricht. Salzburg.

Mehren, M./Rempfler, A./Ulrich-Riedhammer, E. M. (2015): Diagnostik von Systemkompetenz mittels Concept Maps - aufgezeigt am Beispiel der Malariaabekämpfung im Kongo. In: Praxis Geographie, 7-8/2015, S. 29 – 33.

Mehren, M./Mehren, R. (2015): Kompetenzorientiert Unterrichten – aufgezeigt am Beispiel des Fachs Geographie. In: Bresges, A./Dilger, B./Hennemann, T./König, J./Lindner, H./Rhode, A./Schmeinck, D. (Hrsg.): Kompetenzen perspektivisch. Interdisziplinäre Impulse für die LehrerInnenbildung. Berlin, S. 55 – 77.

Mehren, M./Rempfler, A./Ulrich-Riedhammer, E. M./Buchholz, J./Hartig, J. (o.J.): Systemkompetenz im Geographieunterricht. Ein theoretisch hergeleitetes und empirisch überprüftes Kompetenzstrukturmodell. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (im Review).

Nagel, U./Frischknecht-Tobler, U./Wilhelm Hamiti, S. (2008): Fallstudien zum Systemlernen bei Kindern und Jugendlichen. In: Frischknecht-Tobler, U./Nagel, U./Seybold, H. (Hrsg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Zürich, S. 77 – 98.

Ohl, U. (2012): Bauernselbstmorde in Indien. Ein Mystery zur Situation indischer Kleinbauern. In: Praxis Geographie, 9/2012, S. 14 – 19.

Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. Klagenfurter Beiträge zur Didaktik der Mathematik 1. München.

Rempfler, A. (2010): Fachliche und systemische Alltagsvorstellungen von Schülern zum Thema Lawinen. In: Reinfried, S. (Hrsg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Berlin.

Rempfler, A./Uphues, R. (2010): Sozialökologisches Systemverständnis: Grundlage für die Modellierung von geographischer Systemkompetenz. In: *Geographie und ihre Didaktik*, 4/2010, S. 205 – 217.

Rieß, W./Mischo, C. (2008): Wirkungen variierten Unterrichts auf systemisches Denken. In: Frischknecht-Tobler, U./Nagel, U./ Seybold, H. (Hrsg.): *Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen*. Zürich, S. 138 – 147.

Rieß, W./Mischo, C. (2010): Promoting systems thinking through biology lessons. In: *International Journal of Science Education*, 32(6)/2010, S. 705 – 725.

Schuler, S. (2012): Mit Karten denken lernen – Strategien zur Förderung des metakognitiven Denkens beim Einsatz von Geomedien. In: Hüttermann, A./Kirchner, P./Schuler, S./Drieling, K. (Hrsg.): *Räumliche Orientierung*. Braunschweig, S. 204 – 215.

Sommer, C. (2005): *Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschulern im Bereich Biologie*.

Verfügbar unter:

http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00001652/d1652.pdf [06.05.2010]

Sweeney, L. B./Serman, J. D. (2007): Thinking about systems: student and teacher conceptions of natural and social systems. In: *System Dynamics Review*, 23/2-3/2007, S. 285 – 312.

Sweeney, L. B. (2004): *Thinking about Everyday Systems*. Harvard.

Vankan, L./Rohwer, G./Schuler, S. (2007): *Diercke Methoden - Denken lernen mit Geographie*. Braunschweig.

Waters Foundation (2010): Systems Thinking in Schools. A Waters Foundation Project.

Verfügbar unter:

<http://watersfoundation.org/systems-thinking/habits-of-a-systems-thinker/> [23.09.2013].

Weichhart, P. (2003): Physische Geographie und Humangeographie – eine schwierige Beziehung: Skeptische Anmerkungen zu einer Grundfrage der Geographie und zum Münchener Projekt einer „Integrativen Umweltwissenschaft“. In: Heinritz, G. (Hrsg.): „Integrative Ansätze in der Geographie – Vorbild oder Trugbild?“ Münchener Symposium zur Zukunft der Geographie, 28. April 2003. Eine Dokumentation. Münchener Geographische Hefte. Band 85, Passau, S. 17 – 34.

World Health Organization (WHO) (2014): World Malaria Report 2014. Genf.

Holger Arndt

Systemisches Denken in der historischen Bildung

1. Allgemein

Geschichtsunterricht, der seinen vielfältigen Beiträgen zur Allgemeinbildung gerecht wird, erschöpft sich nicht im Auswendiglernen von Fakten, sondern zeichnet sich insbesondere durch Gegenwarts- und Zukunftsbezug (vgl. Bergmann 2007) sowie Multikausalität, die das Entstehen von Phänomenen durch ihr komplexes Wirkungsgefüge untersucht (vgl. Gadamer 1987), aus.

Vor diesem Hintergrund überrascht nicht, dass in den Bildungsstandards des Fachs Geschichte unmittelbar nach den allgemeinen Ausführungen angeführt wird:

- wichtige Ereignisse, Entwicklungen und Strukturen in den jeweiligen Themengebieten kennen und beschreiben
- Ursachen und Auswirkungen dieser Ereignisse und Prozesse kennen (Verband der Geschichtslehrer Deutschlands 2006, 9).

Im Hinblick auf systemisches Denken lässt sich diesen kurzen Ausführungen bereits entnehmen, dass die Analyse komplexer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, was besonders dem vernetzten Denken entspricht, für die historische Bildung von hervorgehobener Bedeutung ist. Interessant ist ferner die Betonung von Strukturen, da viele vergangene und aktuelle Phänomene weitgehend strukturgleich sind (vgl. Folgeabschnitt). Damit geht sowohl ein hohes Transferpotenzial als auch die Chance einher, gegenwärtige Herausforderungen vor dem Hintergrund der Erfahrungen früherer ähnlicher Probleme zu bewältigen.

Besonders offensichtlich wird die Eignung systemischer Ansätze für die historische Bildung im Hinblick auf den Zeitaspekt. So ist die Veränderung von Phänomenen und Strukturen im Zeitverlauf ein zentrales Untersuchungsfeld der Geschichte, was stark mit dem dynamischen Denken korrespondiert (vgl. Artikel ‚Systemisches Denken im Fachunterricht‘).

Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sich historische Bildung auch durch Medien- und Methodenkompetenz auszeichnet. Die entsprechenden Ausführungen in den Bildungsstandards weisen einen klaren Bezug zu systemischen Werkzeugen wie Wirkungsdiagrammen, Diagrammen zur Darstellung von Zeitverläufen und Flussdiagrammen auf:

- relative Angaben von Daten richtig bewerten (Prozentangaben, Quoten, Indexreihen),
- komplexere Formen der Veranschaulichung [...] auswerten [...],
- eine differenzierte Begrifflichkeit zur Beschreibung von Veränderungen anwenden (z.B. Abnahme, Zunahme, Wachstum, Rückgang, Steigerung, Sinken, Schwankung, Stagnation, Anstieg etc.) (Verband der Geschichtslehrer Deutschlands 2006, 36).

2. Beispiele

Eine für die historische Bildung bedeutsame Struktur ist die Verbreitung von Epidemien. Als bekannteste Beispiele, die nicht nur für die Bevölkerungszahl, sondern auch für die weitere historische Entwicklung bedeutsam waren, dürften Pocken und Pest gelten, die bereits in der Antike verbreitet waren. Allerdings hatten auch Syphilis, die sich in Folge der Entdeckung Amerikas in Europa verbreitete, Cholera, Typhus, Polio und verschiedene Grippewellen erhebliche Auswirkungen. Epidemien wie HIV, Ebolafieber und der Zikavirus verdeutlichen, dass die Verbreitung von Epidemien auch heute noch eine große Herausforderung darstellt.

Abbildung 1 veranschaulicht die grundlegenden Zusammenhänge der Verbreitung von Epidemien in einem einfachen Wirkungszusammenhang, während Abbildung 2 das grundlegende System-Dynamics-Modell und Abbildung 3 die Konsequenzen der Epidemie für die Bevölkerung darstellen.

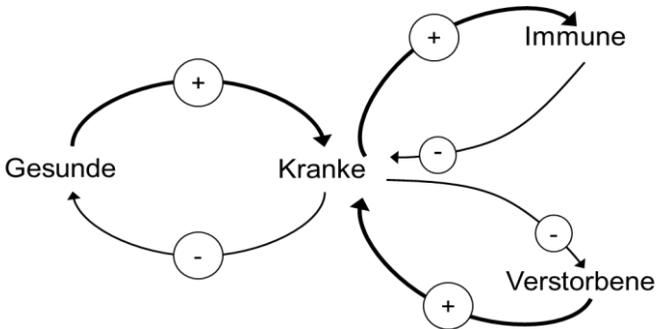


Abbildung 1: Wirkungsdiagramm zur Verbreitung von Epidemien.

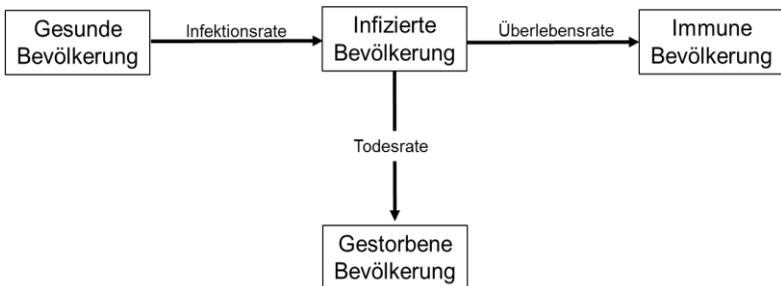


Abbildung 2: Vereinfachtes System-Dynamics-Modell.

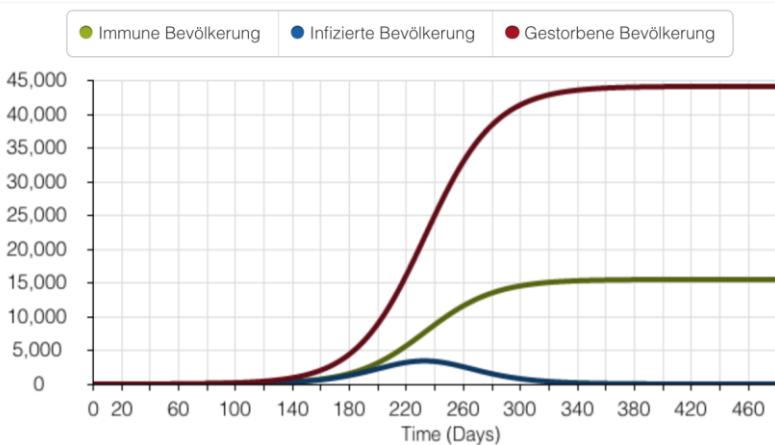


Abbildung 3: Verlauf einer Epidemie im Hinblick auf Infektionen und Todesfälle.

Eine umfassend ausgearbeitete, online publizierte Lernumgebung zu diesem Thema, die unter anderem System-Dynamics-Modelle und verschiedene historische Fallstudien zu Epidemien enthält, wurde von Potash und Heinbokel (2001) entwickelt.

Andere Beispiele, die sich gut mit Methoden des systemischen Denkens erschließen lassen, sind Verbreitung beziehungsweise Verlauf von Weltanschauungen, Religionen (insbesondere Christentum und Islam) und Revolutionen (zum Beispiel in Frankreich, Amerika, Deutschland). Bemerkenswert ist, dass sie strukturell dem Verlauf von Epidemien ähneln, was von Barrientos (2007) herausgearbeitet wurde.

Strukturell unterschiedlich und auch etwas vielschichtiger sind Phänomene wie die Institutionalisierung von selbsttragendem Wachstum im Rahmen industrieller Revolutionen (vgl. zum Beispiel Buchheim 1994), Aufstieg und Niedergang von (Welt-)Reichen oder Ursachen und Verlauf von Hungersnöten.

3. Beispiel Bevölkerungsentwicklung

3.1 Fachliche Hintergründe

In diesem Artikel steht die Auseinandersetzung mit strukturellen Zusammenhängen der Bevölkerungsentwicklung im Fokus. Aus historischer Sicht ist das in mehrerlei Hinsicht bedeutsam. So gelten viele veränderte Rahmenbedingungen, die sich auf die Geburten- oder Sterberate auswirkten, als zentral für die Menschheitsgeschichte. So stehen Innovationen, Epidemien (vgl. Abschnitt 2), Kriege aber auch die soziale und wirtschaftliche Entwicklung in unmittelbarem Zusammenhang zur Veränderung der Bevölkerungszahl.

Während sich die Weltbevölkerung der Menschheit bis zur neolithischen Revolution über hunderttausende von Jahren nur sehr langsam auf geschätzte 5 – 10 Millionen Menschen erhöhte, stieg die Wachstumsrate von ca. 10.000 mit der neolithischen Revolution beziehungsweise dem Übergang des Menschen vom Jäger und Sammler zum Ackerbauer und Viehzüchter aufgrund einer erhöhten Geburtenrate (vgl. Junker/Paul 2009) stark an. Mit diesem technologischen Wandel der Agrarwirtschaft ging eine sprunghaft erhöhte Produktivität einher, sodass mehr Menschen auf gleichem Raum leben konnten. Darüber hinaus ermöglichte der Produktivitätssprung differenzierte, komplexe und arbeitsteilig organisierte Gesellschaftssysteme, da ein weit geringerer Bevölkerungsanteil für die Nahrungsmittelproduktion benötigt wurde. Infolgedessen konnten vermehrt andere Produkte hergestellt und Handel mit ihnen betrieben werden. Handel wiederum begünstigte Arbeitsteilung und Spezialisierung, was wiederum die Produktivität erhöhte. Weiterhin konnten größere Städte und erste Hochkulturen entstehen, die jenseits des Überlebens große Freiräume für andere Tätigkeiten und gesellschaftliche Funktionen hatten. Städte waren unter anderem aufgrund der dort erbeutbaren Nahrung, Güter und Menschen ein attraktives Ziel für Angriffe, was den Bau von

Stadtbefestigungen notwendig machte¹ und den Aufbau militärischer Strukturen zur Verteidigung begünstigte. Weiterhin ermöglichten die erhöhte landwirtschaftliche Produktivität und die deswegen wachsenden Bevölkerungszahlen verstärkte religiös-kultische Aktivitäten (zum Beispiel Priesterkaste, Einbalsamierung und Pyramidenbau in Ägypten) oder den Aufbau differenzierter Rechts- und Verwaltungsstrukturen, die in Kombination mit militärischen Innovationen den Aufbau großer Reiche ermöglichten (insbesondere das Römische Reich).

Von der neolithischen Revolution bis zum Beginn der Industriellen Revolution in Großbritannien ca. Mitte des 18. Jahrhunderts wuchs die Weltbevölkerung von ca. 10 Millionen auf ungefähr 700 Millionen Menschen an. Dies entspricht einer Verdopplung der Menschheit in einem Zeitraum von 1600 Jahren beziehungsweise einer jährlichen Wachstumsrate von 4 Promille, was zum Beispiel 34 Geburten bei 30 Todesfällen pro 1000 Einwohnern gleichkommt. Im Durchschnitt dürfte die Geburtenzahl zwar etwas stärker über den Todesfällen gelegen haben, aber gelegentlich reduzierte sich die Bevölkerung durch Krisen wie Epidemien oder Kriege teilweise massiv. In diesem Zusammenhang ist Malthus' Bevölkerungstheorie interessant, die davon ausgeht, dass die Bevölkerung exponentiell wächst, das Nahrungsmittelangebot hingegen nur linear, sodass es immer wieder zu Überbevölkerungskrisen beziehungsweise sogenannten ‚positive checks‘ wie Hungersnöten, Epidemien und Kriegen kommt, die die Bevölkerung erheblich reduzieren (vgl. Malthus 1803/1992).

¹ So belegen Ausgraben von Jericho die Existenz einer Stadtmauer und eines Turms, die vermutlich Verteidigungszwecken dienten, bereits vor über 10.000 Jahren.

Die Agrarrevolution, die in Großbritannien um 1650 einsetzte, brachte einen erneuten Produktivitätsschub in der Landwirtschaft. Neben technischen Innovationen wie der Übergang zur Fruchtwechselwirtschaft waren hierfür insbesondere ein erhöhter Viehbestand (mit besserer Zugkraft etwa für Pflüge und anfallendem Dung), der Informationsaustausch zu landwirtschaftlichen Fragen in Agrargesellschaften, die weitgehende Privatisierung der Allmende, eine erhöhte Konzentration und vor allem die zunehmende Gewinnorientierung der Landwirte verantwortlich. Letztere war insofern für die weitere Entwicklung Großbritanniens (und später auch der meisten anderen industrialisierten Länder) bedeutsam, als nicht mehr so viele Menschen auf Höfen beschäftigt wurden, wie ernährt werden konnten, sondern nur noch so viele, wie es wirtschaftlich war. In der Folge mussten sich viele Menschen eine Beschäftigung im gewerblichen Sektor suchen. Diese sogenannte Industrialisierung der Beschäftigtenstruktur war neben den günstigeren Lebensmitteln – und infolgedessen mehr verbleibender Kaufkraft und Nachfrage für gewerbliche Produkte – eine wesentliche Voraussetzung für die dann eintretende Industrielle Revolution (vgl. Buchheim 1994).

Mit den Agrarrevolutionen und industriellen Revolutionen ging in fast allen industrialisierten Ländern ein starkes Bevölkerungswachstum infolge des demografischen Übergangs einher, der grundsätzlich folgenden Verlauf nimmt:

- Zu Beginn sind Geburten- und Sterberate hoch, die Bevölkerung wächst sehr langsam, wobei krisenbedingte Anstiege der Sterberate immer wieder für Einbrüche der Bevölkerungszahlen sorgen.

- In der Frühphase der Industrialisierung kommt es zu einem langsamen Sinken der Sterberate, während die Geburtenrate hoch bleibt, weswegen das Bevölkerungswachstum steigt.
- In der sogenannten Übergangsphase sinkt die Sterberate insbesondere aufgrund hygienischer und medizinischer Fortschritte deutlich stärker auf ein sehr niedriges Niveau (ca. 10 Sterbefälle pro 1000 Einwohner). In der Bevölkerung wird zunehmend erkannt, dass insbesondere die Sterblichkeit von Kindern stark zurückgeht, was zu einem veränderten Reproduktionsverhalten führt und die Geburtenrate kontinuierlich sinken lässt.
- Mit Abschluss des demografischen Übergangs pendeln sich die Geburten- und Sterberate auf einem deutlich niedrigeren Niveau als zu dessen Beginn wieder ein. In der Regel wächst die Bevölkerung dann nur noch langsam, in manchen Ländern, zu denen auch Deutschland gehört, sinkt die Bevölkerung aufgrund sehr niedriger Geburtenraten sogar.

Abbildung 4 zeigt die Phase des demografischen Übergangs in Schweden, der in den meisten anderen industrialisierten Ländern strukturell sehr ähnlich verlief.

Das Modell des demografischen Übergangs hilft nicht nur beim Verständnis früherer Industrialisierungsprozesse, sondern kann auch auf aktuelle Situationen bezogen werden. So lässt sich als Ursache der Bevölkerungsexplosion in vielen wirtschaftlich kaum entwickelten Ländern ausmachen, dass die Sterberate vor allem von Kindern aufgrund recht unmittelbar verfügbarer Erkenntnisse und importierter Technologien (insbesondere im medizinischen Bereich) schnell sinkt, während das regenerative Verhalten sich nur sehr langsam ändert, sodass die Phase des starken Bevölkerungswachstums deutlich länger anhält und stärker ausgeprägt ist.

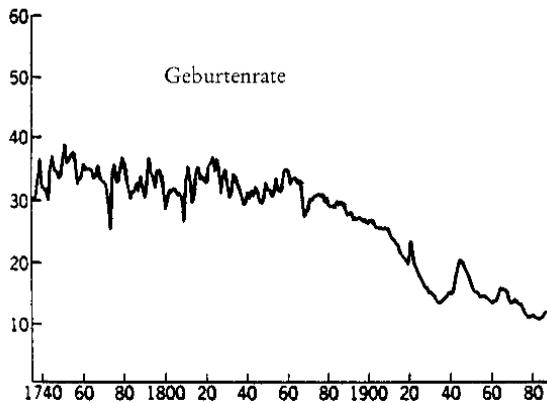
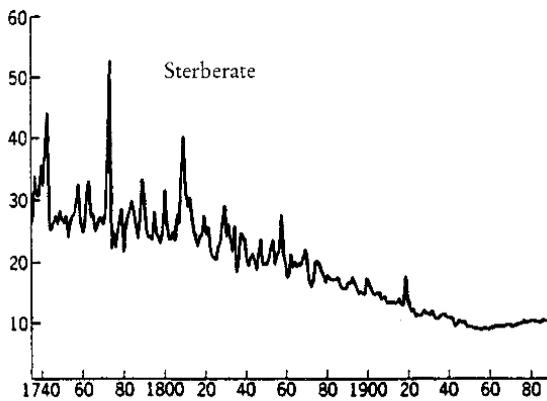


Abbildung 4: Der demografische Übergang in Schweden. (Quelle: Maddison (1991): Dynamics Forces in Capitalist Development. Oxford, S. 61.)

3.2 Modelle und Anregungen zur Unterrichtsgestaltung

So vielschichtig sich die Entwicklung der Bevölkerungszahl in unterschiedlichen Ländern und Epochen auch darstellen mag, ist sie strukturell doch sehr einfach. Im Grundmodell entspricht sie weitgehend der generischen Struktur des exponentiellen Wachstums (vgl. Artikel ‚Generische Strukturen und Systemarchetypen‘). Abbildung 5 zeigt das System Dynamics Modell, mit dessen Hilfe sich viele der oben angesprochenen Sachverhalte untersuchen lassen.

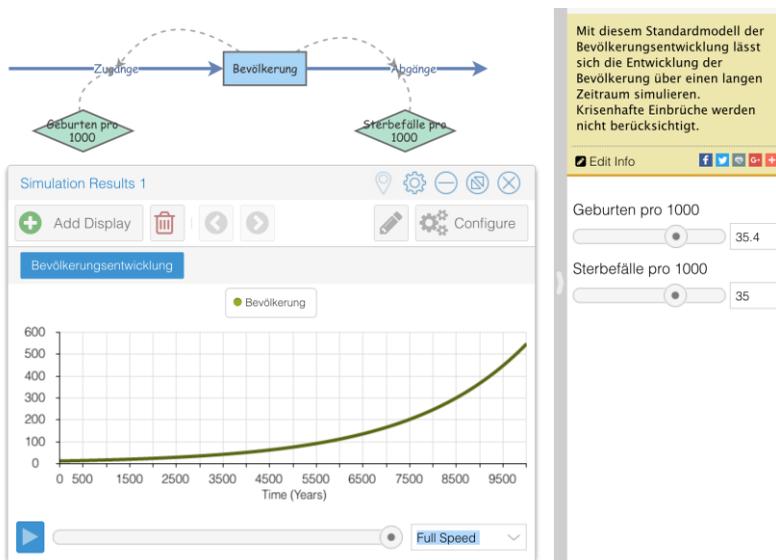


Abbildung 5: Modell Bevölkerungsentwicklung I zur Analyse demografischer Entwicklungen.

Die Simulation verdeutlicht die Entwicklung der Bevölkerungszahl in den 10.000 Jahren vor der Industriellen Revolution. Dabei stieg die Weltbevölkerung von 10 Millionen auf 550 Millionen Menschen an, wobei sowohl Geburten- als auch Sterberate vergleichsweise hoch sind, was für diesen Zeitraum typisch war.

Durch Verändern der Geburten- und Sterberaten über die Schieberegler können die Schüler erkennen, dass bereits minimale Änderungen langfristig große Auswirkungen haben. Wird beispielsweise die Geburtenrate von 35,4 auf 35,1 reduziert, wächst die Bevölkerung im gleichen Zeitraum nur noch auf ca. 27 Millionen Menschen an.

Tatsächlich dürfte die Geburtenrate etwas stärker über der Sterberate gelegen haben. Dies wurde jedoch durch krisenbedingte Ausschläge der Sterberate ausgeglichen. Im zweiten Modell besteht während der Simulationsläufe die Möglichkeit, während der Simulation aufgrund von Krisen wie Kriegen oder Seuchen punktuell erhöhte Sterblichkeitswerte einzutragen. Abbildung 6 zeigt einen möglichen Verlauf.

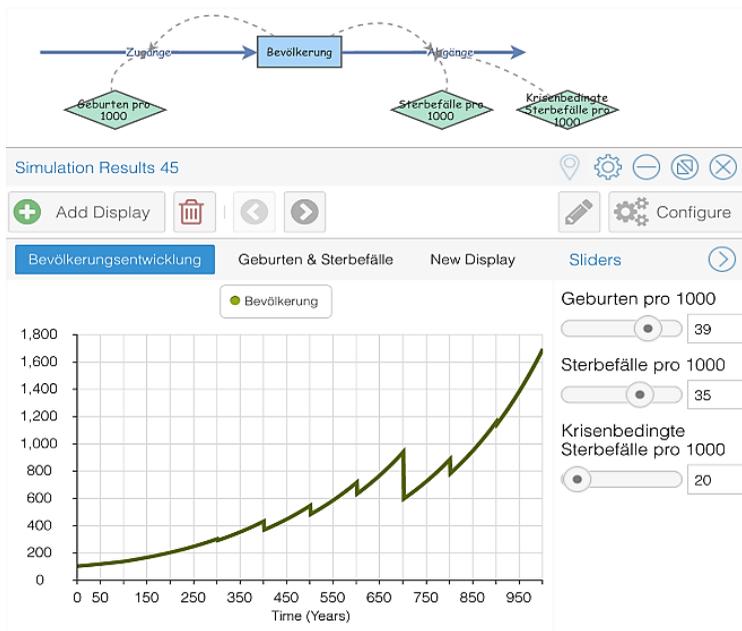


Abbildung 6: Bevölkerungsentwicklung mit krisenhaften Einbrüchen.

Zusätzlich zu freiem Experimentieren, um einen Eindruck für die Relevanz von Krisen für die weitere Bevölkerungsentwicklung zu bekommen, kann dieses Modell genutzt werden, um Schüler größere Krisen recherchieren und anschließend im Modell abbilden zu lassen.

Um eine Simulation vergleichsweise schnell durchlaufen zu können, ist sie zunächst so eingestellt, dass nur alle 100 Jahre eine Eingabe der krisenbedingten Sterbefälle erfolgen kann. Über die Simulationseinstellung kann dies bei Bedarf jedoch über ‚Pause Interval‘ an die spezifischen Bedürfnisse angepasst werden. Abbildung 7 zeigt geeignete Simulationseinstellungen für die Analyse des demografischen Übergangs auf Basis der schwedischen Daten (vgl. Abbildung 4).

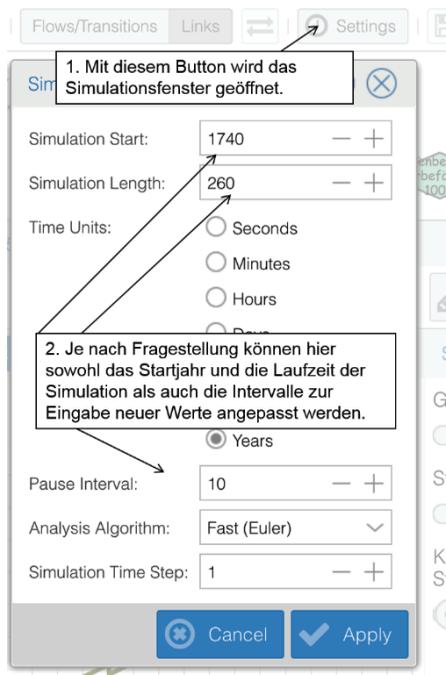


Abbildung 7: Änderung der Simulationseinstellungen.

Ein geeigneter Arbeitsauftrag zur Vertiefung des Verständnisses des demografischen Wandels könnte darin bestehen, auf Basis historischer Zeitreihen (zum Beispiel der in Abbildung 4 dargestellten Werte) eine entsprechende Simulation durchzuführen und die Ergebnisse insbesondere im Hinblick auf die Bevölkerungsentwicklung zu interpretieren. Abbildung 8 stellt einen solchen Simulationsverlauf dar. In dem oberen Bereich sind die Eingaben während der Simulation ersichtlich: Die Geburtenrate ist bis 1870 auf konstant hohem Niveau und sinkt dann schrittweise auf die aktuell niedrige Geburtenrate. Aus der roten Linie ist ersichtlich, dass die Sterberate bereits ab ca. 1820 sinkt, womit sich die Schere zwischen Geburten- und Sterberate stark zu öffnen beginnt. Die entsprechenden Konsequenzen zeigen sich im mittleren und unteren Bereich der Abbildung sowohl in Form einer deutlich erhöhten Differenz zwischen Zu- und Abgängen als auch in stark steigenden Bevölkerungszahlen. Im Laufe des 20. Jahrhunderts gleichen sich Geburten- und Sterberaten an, sodass sich das Bevölkerungswachstum abschwächt und schließlich ganz zum Erliegen kommt.

Zu dem gezeigten Simulationsverlauf ist noch anzumerken, dass die krisenbedingten Sterbefälle im Lauf der Zeit deutlich abgenommen haben und im 20. Jahrhundert kaum noch Wirkungen entfaltet haben. Für Deutschland stellt sich die Situation aufgrund der Weltkriege natürlich anders dar, was jedoch leicht abbildbar ist.

Anzumerken ist ferner, dass in der Simulation die Startbevölkerung auf den Wert 100 normiert ist. Dadurch wird der relative Bevölkerungsanstieg leichter erkennbar. Alternativ lassen sich auch absolute Bevölkerungswerte verwenden.

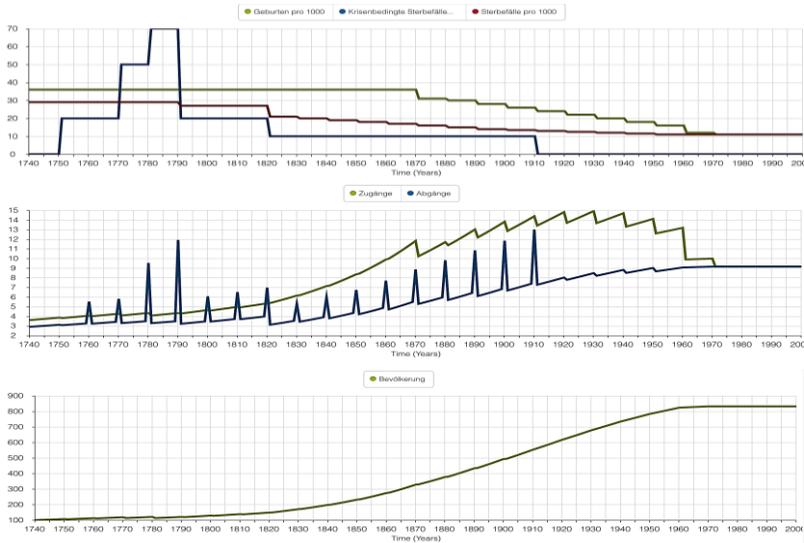


Abbildung 8: Simulation eines demografischen Übergangs orientiert an den historischen Daten Schwedens.

Weitere Fragestellungen, die sich mit diesem Modell untersuchen lassen, sind beispielsweise die Auswirkungen niedriger Geburtenraten auf die Bevölkerungsgröße, was in Deutschland zu einer sinkenden Bevölkerungsgröße führt.² Interessant ist auch der Vergleich unterschiedlicher Ländertypen. So stellt sich die Bevölkerungsentwicklung eines industrialisierten Lands wie Deutschland gänzlich anders dar als die eines Entwicklungslands wie Vietnam oder eines Lands, das stark von einer Epidemie betroffen ist (zum Beispiel Botswana, in dem 23 % der Erwachsenen mit HIV infiziert sind).³

² Das Grundmodell berücksichtigt jedoch keine Migrationsbewegungen, was sich allerdings leicht ergänzen lässt, wodurch noch realitätsnähere Simulationen und differenziertere Analysen möglich werden.

³ Aktuelle Werte der Geburten- und Sterberaten vieler Länder lassen sich unter anderem finden bei <http://www.laenderdaten.de/bevoelkerung/geburtenrate.aspx> und <http://www.laenderdaten.de/bevoelkerung/sterberate.aspx>.

Literatur

Barrientos, M. (2007): Evaluating System Dynamics as a Tool for Teaching History.

Verfügbar unter: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2007/proceed/papers/CRUZ%20325.pdf> [02.10.2016]

Bergmann, K. (2007): Gegenwarts- und Zukunftsbezug. In: Mayer, U./Pandel, H.-J./Schneider, G. (Hrsg.): Handbuch Methoden im Geschichtsunterricht. 2. überarbeitete Auflage, Schwalbach/Ts., S. 91 – 112.

Buchheim, C. (1994): Industrielle Revolutionen. Langfristige Wirtschaftsentwicklung in Großbritannien, Europa und in Übersee. München.

Gadamer, H.-G. (1987): Kausalität in der Geschichte? In: Ders. Gesammelte Werke, Band 4: Neuere Philosophie II. Probleme, Gestalten. Tübingen, S. 107 – 118.

Junker, T/Paul, S. (2009): Der Darwin-Code. Die Evolution erklärt unser Leben. München.

Maddison, A. (1991): Dynamics Forces in Capitalist Development. Oxford.

Malthus, T. (1803/1992): An Essay on the Principle of Population. Cambridge.

Taha, H./Qleibo, A. (2010): Jericho, a Living History: Ten Thousand Years of Civilization. Jerusalem.

Potash, P/Heinbokel, J. (2001): Building an Integrated High School Curriculum Focused on the Biology and History of Smallpox. Burlington.

Verfügbar unter: http://static.clexchange.org/ftp/conference/CLE_2002/44_HeinbokelandPotash.pdf [30.9.2016]

Verband der Geschichtslehrer Deutschlands (2006): Bildungsstandard.

Verfügbar unter: http://www.vgd-nds.de/docs/Bildungsstandards_Geschichte_16.06.06.pdf [23.2.2017]

Systemisches Denken in der politischen Bildung¹

1. Relevanz systemischen Denkens in der politischen Bildung

Im Vergleich zu anderen gesellschaftswissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Domänen scheint dem systemischen Denken in der politischen Bildung zunächst ein geringerer Stellenwert zuzukommen, was sowohl aus der Auseinandersetzung mit Kategorien und Basiskonzepten als auch Bildungsstandards der politischen Bildung hervorgeht.

Im Rahmen des kategorialen Ansatzes politischer Bildung (vgl. zum Beispiel Giesecke 1976), der mittlerweile zwar umstritten ist (vgl. Sander 2011), werden von Giesecke selbst elf Kategorien angeführt, wovon die des ‚Funktionszusammenhangs‘ einen vergleichsweise deutlichen Bezug zum systemischen Denken aufweist:

Diese Kategorie sucht der Tatsache Rechnung zu tragen, daß unter modernen politisch-soziologischen Bedingungen alle politischen Einzelaktionen und Situationen auf zahlreiche andere einwirken, daß es also in der arbeitsteiligen Gesellschaft keine isolierten politisch-gesellschaftlichen Erscheinungen mehr gibt. In dieser Kategorie kommt sachlich wie ethisch

¹ Für diesen Artikel konnte kein Politikdidaktiker gewonnen werden, da systemisches Denken in der Politikdidaktik kaum bearbeitet wird. Weil der Herausgeber der Ansicht ist, dass systemisches Denken auch für die politische Bildung von Bedeutung ist und der Politikunterricht durch Wirkungsdiagramme und System Dynamics bereichert werden kann, hat er diesen Beitrag selbst verfasst. Vor dem Hintergrund seiner Fachfremdheit sind politikdidaktische Spezifika in dem Artikel auf ein Minimum reduziert. Der Fokus des Beitrags liegt in einer Unterrichtsskizze, die exemplarisch die Verwendbarkeit systemischer Werkzeuge im Politikunterricht aufzeigt.

das Ganze des politischen Zusammenlebens in den Blick. Sie enthält zudem die Forderung, die Verantwortung für Folgen zu übernehmen, die durch eine politische Maßnahme oder Unterlassung im Rahmen des Ganzen hervorgerufen werden (Giesecke 1976, 168 f.).

Bei anderen kategorialen Systemen sind systemische Aspekte noch randständiger. So werden etwa von Willenbacher (1988) 20 Kategorien angeführt, von denen lediglich ‚Zielkonflikte‘ einen wesentlichen Aspekt systemischen Denkens berührt.

Ein weiteres politikdidaktisches Konzept ist das der Basiskonzepte, von denen beispielsweise Sander (2009) Macht, Recht, Gemeinwohl, Öffentlichkeit, Knappheit und System anführt. Bei der Konkretisierung zu ‚System‘ findet sich mit „Was kennzeichnet das Zusammenleben in modernen Gesellschaften sowie zwischen Gesellschaften in Europa und weltweit?“ (Sander 2009, 58) jedoch eine Systemvorstellung, die wesentliche Aspekte des systemischen Denkens nur bedingt erfasst.

Des Weiteren sind noch die Bildungsstandards der Gesellschaft für Politikdidaktik und politische Jugend- und Erwachsenenbildung (2004) bedeutsam, in denen als Unterpunkt des Kompetenzbereichs ‚Politische Urteilsfähigkeit‘ doch zwei für das systemische Denken wichtige Ziele aufgeführt sind:

- Komplexe politische Sachverhalte strukturiert wiedergeben und dabei zentrale Aspekte identifizieren; [...]
- Folgen und Nebenfolgen politischer Entscheidungen reflektieren, also nach möglichen, insbesondere auch nach unbeabsichtigten Wirkungszusammenhängen fragen (Gesellschaft für Politikdidaktik und politische Jugend- und Erwachsenenbildung 2004, 16).

Unabhängig von den Bezügen der angeführten politikdidaktischen Konzepte und Bildungsstandards ergibt sich die Relevanz des systemischen Denkens auch aus ihrem Anspruch der Interdisziplinarität und der Unterrichtswirklichkeit. So ist politische Bildung häufig nicht als eigenständiges Fach anzutreffen, sondern wird vielfach mit anderen Domänen zu einem Kombinationsfach zusammengefasst, beispielsweise mit Geschichte, Wirtschaft oder Geographie. In diesen Domänen kommt dem systemischen Denken eine größere Rolle zu, sodass eine entsprechende Kompetenz auch für multidisziplinär ausgerichtete Politiklehrkräfte hilfreich ist.

2. Exemplarische Gegenstandsfelder mit Bezug zu systemischem Denken

Ergänzend zu den obigen Ausführungen sei darauf hingewiesen, dass ein vertieftes Verständnis zahlreicher Gegenstandsbereiche des Politikunterrichts systemische Denkschemata wie dynamisches und vernetztes Denken voraussetzt. So haben politische Entscheidungen häufig die Eigenschaft, dass kurz- und langfristige Wirkungen gegenteilige Effekte haben; was kurzfristig attraktive Folgen hat, wirkt sich langfristig häufig negativ aus und vice versa. Beispielsweise kann eine höhere aktuelle Staatsverschuldung, die unmittelbar politische Gestaltungsspielräume eröffnet, die künftigen Handlungsoptionen erheblich einschränken. Auch lassen sich die Herausforderungen etwa der sozialen Sicherungssysteme nur verstehen, wenn die langfristige demografische Entwicklung adäquat berücksichtigt wird. Eine gänzlich andere originär politische Fragestellung ist als Wirkungsdiagramm in Abbildung 1 dargestellt. Sie veranschaulicht wesentliche Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, die dem Wettrüsten des Kalten Kriegs zugrunde lagen.

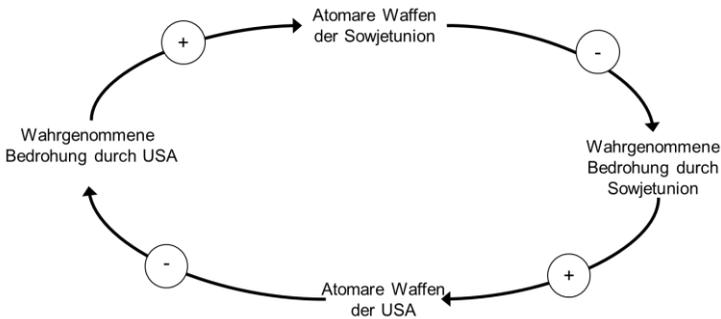


Abbildung 1: Wirkungsdiagramm zum Wettrüsten.

Auch Fragen des Umweltschutzes und der Globalisierung sind wichtige Gegenstandsfelder, mit denen sich der Politikunterricht auseinandersetzt. Da diese Fragen auch interessante Anknüpfungspunkte zu anderen Fächern im Rahmen des interdisziplinären Lernens aufweisen, wird zu dieser Thematik im Folgenden eine ausführliche Unterrichtssequenz vorgestellt.

3. Beispiel Umweltschutz vor dem Hintergrund der Globalisierung²

3.1 Überblick

Im Rahmen der Lernumgebung wird der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen Umweltschutzmaßnahmen auf andere Bereiche wie Wirtschaftsleistung und Lebensqualität haben. Der Analysehorizont ist dabei nicht auf ein einzelnes Land beschränkt, sondern berücksichtigt auch die internationale Perspektive.

Um den Lernprozess trotz der Ähnlichkeiten hinreichend mit neuen Lerngegenständen und methodischer Variation zu versehen, liegt der Schwerpunkt bei der Arbeit mit Wirkungsdiagrammen.

² Die Ausführungen dieses Artikels sind weitgehend aus Arndt (2016) entnommen.

Neben der Verbesserung des systemischen Denkens inklusive seiner Teilfacetten (vgl. Artikel ‚Systemisches Denken im Fachunterricht‘ Abschnitt 3) können mit der nachstehend vorgestellten Lernsequenz die im Folgeabschnitt adressierten Inhalte und Zusammenhänge gelernt oder vertieft werden, etwa...

- Bedeutung von Standortfaktoren vor dem Hintergrund des internationalen Standortwettbewerbs
- Auswirkungen von Umweltschutzmaßnahmen auf die Standortattraktivität und Lebensqualität eines Lands
- globale Aspekte des Umweltschutzes

3.2 Darstellung des fachlichen Hintergrunds³

Offensichtlich führen Umweltschutzmaßnahmen zu einer geringeren Umweltbelastung. Gleichwohl haben entsprechende Maßnahmen zahlreiche weitere Konsequenzen. Einige sind in Abbildung 2 dargestellt und nachfolgend erläutert. Die Zusammenhänge sind nur skizziert und wären im Unterricht je nach Lerngruppe und verfügbarer Zeit auszuführen, differenzierter zu betrachten und gegebenenfalls zu verändern beziehungsweise zu ergänzen. Generell bleibt als Positivum festzuhalten, dass Annahmen über kausale Zusammenhänge expliziert sind und dadurch (kritisch) hinterfragbar werden.

³ Die Ausführungen dieses Abschnitts sind entnommen aus Arndt, H. (2007): Methoden des Wirtschaftsunterrichts zur Förderung des Nachhaltigkeitsdenkens. In: Seeber, G. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und ökonomische Bildung. Bergisch Gladbach. S. 141 – 162.

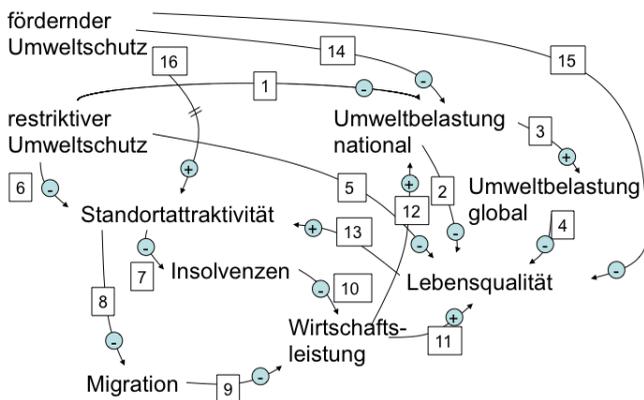


Abbildung 2: Wirkungsgefüge von Umweltschutzmaßnahmen.

Restriktive Umweltschutzmaßnahmen, die die Wirtschaft einschränken, beispielsweise durch Ge- und Verbote, Steuern und Grenzwerte, reduzieren die nationale Umweltbelastung (1) und niedrigere nationale Umweltbelastungen erhöhen die Lebensqualität der Bevölkerung (2). Da zahlreiche Aspekte der Umweltbelastung wie Luftverschmutzung, Ozonloch und Treibhauseffekt an den Landesgrenzen nicht haltmachen, besteht eine positive Wirkungsrichtung von der nationalen zur globalen Umweltbelastung (3). Die Bedeutung dieser Unterscheidung wird weiter unten relevant, wenn die Analyse auf internationale Zusammenhänge ausgeweitet wird. Restriktive Umweltschutzmaßnahmen reduzieren über eine verringerte nationale Umweltbelastung somit die globale Umweltbelastung und erhöhen damit ebenfalls die Lebensqualität der Bevölkerung (4). Andererseits senken diese Maßnahmen die Lebensqualität unmittelbar (5), da sie den Konsum umweltbelastender Produkte und Dienstleistungen verteuern und damit einschränken. Eine weitere negative Wirkung besteht in der verschlechterten Standortattraktivität für Unternehmen (6), die sich aus beispielsweise verteuerten Energiepreisen, Auflagen für Filtermaßnahmen oder Verboten schädlicher Herstellungsprozesse ergibt.

Eine verschlechterte Standortattraktivität führt jedoch über Insolvenzen beziehungsweise Produktionskürzungen (7) und Migration in Länder mit besserer Standortattraktivität (8) zu einer geringeren Wirtschaftsleistung (9 und 10). Eine schwächere Wirtschaftsleistung wiederum wirkt sich primär negativ auf die Lebensqualität aus (11), beispielsweise wegen erhöhter Arbeitslosigkeit, geringerer Löhne und reduzierter staatlicher Handlungsfähigkeit (zum Beispiel für Bildung, Infrastruktur, Sozialtransfers) durch niedrigere Steuereinnahmen. Andererseits führt eine niedrigere Wirtschaftsleistung zu geringeren Umweltbelastungen (12) und damit wiederum zu erhöhter Lebensqualität. Dies gilt insbesondere, da die sinkende Wirtschaftsleistung primär auf das Wegfallen besonders umweltschädlicher Produktion zurückzuführen ist. Ferner besteht eine gleichgerichtete Wirkung von Lebensqualität und Standortattraktivität (13), beispielsweise weil in Ländern mit niedrigerer Kaufkraft weniger Absatzpotenzial besteht oder extrem verschmutzte beziehungsweise unsichere Länder hochwertige Investitionen behindern, unter anderem weil dafür nur erschwert qualifizierte Mitarbeiter zu gewinnen sind.

Die geschilderten Wirkungszusammenhänge vorausgesetzt, lassen sich die Auswirkungen restriktiver Umweltschutzmaßnahmen beispielsweise auf die Lebensqualität analysieren. Zunächst besteht ein unmittelbarer negativer Einfluss (5). Wie im Artikel ‚Einsatz von Wirkungsdiagrammen zur Förderung des systemischen Denkens‘ erläutert, lässt sich die Wirkungsart einer Rückkopplungsschleife außer durch logisches Mitdenken auch leicht mathematisch durch Zählen der negativen Vorzeichen ermitteln, was sich insbesondere bei längeren Ketten empfiehlt: Eine ungerade Zahl führt zu einem entgegengesetzten Effekt, während eine gerade Anzahl eine gleichgerichtete Wirkung entfaltet. Die beiden ‚Umweltketten‘ (1 – 2 und 1 – 3 – 4) enthalten jeweils zwei negative Zusammenhänge, also eine gerade Anzahl. Somit führt eine Erhöhung der restriktiven Umweltschutzmaßnahmen über diese Wirkungsketten zu einer Erhöhung der

Lebensqualität. Die kürzeren Wirkungsketten (6 – 8 – 9 – 11 und 6 – 7 – 10 – 11) haben drei negative Vorzeichen, weswegen eine Erhöhung der Umweltschutzmaßnahmen zu einer niedrigeren Lebensqualität führt. Die Wirtschafts-Umweltketten (6 – 8 – 9 – 12 – 2 und 6 – 7 – 10 – 12 – 2) reagieren hingegen mit höherer Lebensqualität auf verstärkte Umweltschutzmaßnahmen.

Interessant ist auch die Analyse von Rückkopplungsschleifen in Netzwerken. Sowohl die Schleife 13 – 7 – 10 – 11 als auch 13 – 8 – 9 – 11 haben eine gerade Anzahl negativer Zusammenhänge, was auf eine sich selbst verstärkende Rückkopplung hinweist. Isoliert betrachtet hieße dies, dass eine steigende Lebensqualität über eine bessere Standortattraktivität und Wirtschaftsleistung zu erneut erhöhter Lebensqualität führte und somit irgendwann eine unendlich große Lebensqualität erreicht wäre. Dies kann jedoch nicht eintreten, da einige der oben erwähnten Kausalketten die Lebensqualität senken.

Welche Wirkung eine Erhöhung restriktiver Umweltschutzmaßnahmen auf die Lebensqualität hat, kann ohne Quantifizierung nicht ermittelt werden, da einige Ketten eine gleichgerichtete Wirkung, andere eine gegengerichtete Wirkung entfalten. Die Unterscheidung zwischen restriktivem und förderndem Umweltschutz vermag weitere interessante Erkenntnisse zu liefern. Letztere zeichnen sich dadurch aus, dass sie hinsichtlich der Standortattraktivität zumindest neutral, eher jedoch positiv sind, wengleich auch erst mit erheblicher Zeitverzögerung (16)⁴. Entsprechende Maßnahmen sind unter anderem Förderung der Erforschung von Umwelttechnologien, Subventionierung umweltfreundlicher Produktionsprozesse, aber auch die Umwelterziehung der Bürger und Versuche, einen allgemeinen Wertewandel zugunsten umweltbewussteren Verhaltens zu initiieren. Die unmittelbar negative Wirkung entsprechender Maßnahmen auf die Lebensqualität (15) ergibt sich primär aus

⁴ Verzögerungen werden mit zwei Querstrichen in Wirkungsdiagrammen gekennzeichnet.

deren Finanzierungsbedarf. So kosten fördernde Umweltschutzmaßnahmen Geld, das in Form von Steuererhöhungen oder Einsparungen die Lebensqualität reduziert. Bedeutsam ist der unterschiedliche Zeithorizont der Maßnahmen: Während ihre Nachteile (der Finanzbedarf) sofort fällig werden, entfalten die positiven Wirkungen erst deutlich später ihre Wirkungen. Selbst unter der Prämisse, dass die Lebensqualität in langfristiger Sicht dadurch steigt, erklärt das zeitliche Auseinanderfallen von Vor- und Nachteilen zumindest zum Teil, warum fördernde Umweltschutzmaßnahmen gesellschaftlich und politisch schwer umsetzbar sind.

Auf Basis der bisherigen Ausführungen lässt sich eine weitere Ursache für Zurückhaltung im Umweltschutz untersuchen: Die globale Dimension vieler Umweltprobleme in Kombination mit der Problematik externer Effekte beziehungsweise Trittbrettfahrerverhaltens. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 3 veranschaulicht, das zugunsten eines anderen Schwerpunkts auf die Darstellung einiger bereits diskutierter Aspekte (fördernde Umweltschutzmaßnahmen und Insolvenzen) verzichtet.

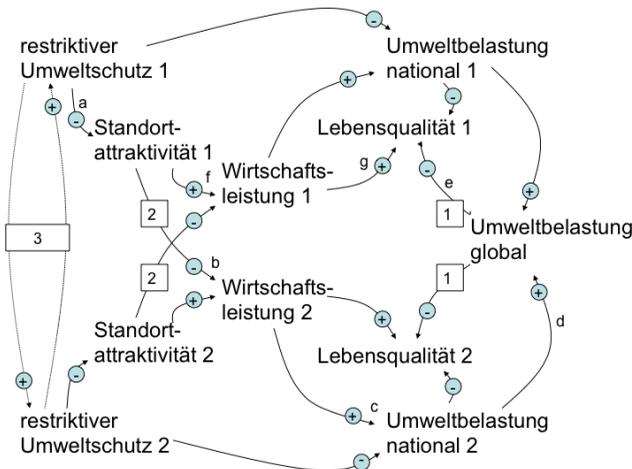


Abbildung 3: Internationale Dimension des Umweltschutzes.

Die Kosten von Umweltschutzmaßnahmen eines Landes fallen bei diesem komplett an, während es sich deren Nutzen mit anderen Ländern teilt. Derart isoliert betrachtet ist die Rendite solcher Maßnahmen vermutlich negativ. Umgekehrt profitieren Länder mit geringen Umweltschutzmaßnahmen von den Anstrengungen aktiverer Länder: Zum einen über die verbesserte (oder sich immerhin nur langsamer verschlechternde) globale Umweltbelastung (1), aber auch aufgrund von Unternehmensmigration von Ländern mit hohen in Länder mit niedrigen Umweltschutzstandards (2). Eine problematische Eigendynamik kann die in (3) angedeutete Rückkopplungsschleife entfalten. Senkt ein Land seine Umweltschutzmaßnahmen, wodurch es seine Standortattraktivität erhöht, steigt der Druck auf andere Länder, ihre Standards ebenfalls zu senken, um der Abwanderung von Unternehmen vorzubeugen. Somit kann sich schnell ein ‚race to the bottom‘ entwickeln, das für alle Länder nachteilig ist und beispielsweise auch bei der Steuerpolitik anzutreffen ist. Eine geringere Auftretenswahrscheinlichkeit hat der umgekehrte Effekt, dass andere Länder der Vorbildfunktion eines Landes folgen, das seine Umweltschutzmaßnahmen erhöht. Ein anderes bemerkenswertes Phänomen ist die Möglichkeit, dass sich die Umweltbelastung in einem Land trotz erhöhter restriktiver Umweltschutzmaßnahmen verschlechtern kann. Wenn Unternehmen aufgrund starker Reglementierung und Kostenbelastung ihre Produktion in andere Länder auslagern und dort kostengünstiger und umweltbelastender arbeiten, steigt dort die Umweltbelastung stark an. Über globale Verteilungseffekte kann dies zu einer Verschlechterung der Umweltsituation im Ursprungsland führen (siehe Kette: a – b – c – d – e), das durch die Abwanderung außerdem in seiner Wirtschaftsleistung geschwächt ist (a – f – g).

Die diskutierten Zusammenhänge verdeutlichen, dass nationale Alleingänge ökonomisch und eventuell sogar ökologisch zu Lasten der aktiven Länder gehen. Eine sinnvollere Lösung besteht

in internationalen Umweltschutzabkommen. Allerdings stimmen bisherige Erfahrungen skeptisch – wirtschaftlichen Interessen wird in manchen Ländern Priorität eingeräumt, was andere Länder unter Druck setzt, sich ebenfalls umweltschädigend zu verhalten. Voraussichtlich wird die Bereitschaft zu global konzertierten Aktionen erst steigen, wenn der Leidensdruck aufgrund massiver ökologischer Schäden wächst. Aufgrund hoher zeitlicher Verzögerungen etwa beim Treibhauseffekt und teilweisen Irreversibilitäten scheint die Prognose nicht gewagt, dass solche Maßnahmen – wenn überhaupt – jedoch zu spät kommen könnten.

3.3 Die Struktur der Unterrichtsreihe

Nach einem kurzen motivierenden Einstieg in das Thema sollten zunächst die in Abbildung 2 zum Ausdruck gebrachten Sachverhalte erarbeitet werden. Hierfür empfiehlt sich, die Lernenden ein Wirkungsdiagramm mittels eines Texts erstellen zu lassen.⁵ Hierfür kann das erste Arbeitsblatt verwendet werden. Es enthält einen Text, der weitgehend den obigen Ausführungen zum ersten Wirkungsdiagramm entspricht. Darüber hinaus sind die Elemente des Wirkungsdiagramms angegeben, was sowohl den Schwierigkeitsgrad etwas reduziert als auch für einheitlichere Ergebnisse sorgt. Sollte dies unerwünscht sein, können die Begriffe aus dem Arbeitsblatt, das sich als bearbeitbares Word-Dokument von wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken/ herunterladen lässt, entfernt werden. Nachdem die Schüler das Wirkungsdiagramm erstellt haben, sollte es besprochen und gewährleistet werden, dass alle Lernenden eine korrekte Ausgangsbasis für die folgenden Analyseaufträge haben. Damit die späteren Aufgaben klarer besprochen werden können, sollten

⁵ Alternativ kann das Wirkungsdiagramm gemeinsam im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch erstellt werden. Denkbar ist ferner, den Schülern das Wirkungsdiagramm zu geben und es von ihnen interpretieren zu lassen.

die einzelnen Wirkungsverbindungen mit Nummern analog zu Abbildung 2 versehen werden.

Anschließend wäre das Wirkungsdiagramm zu untersuchen, wofür die Aufgaben 2 und 3 des Arbeitsblatts dienen. Die vierte Frage soll den Schülern verdeutlichen, dass bei gegenläufigen Wirkungsrichtungen nur Aussagen über die Wirkungen von Maßnahmen getroffen werden können, wenn ihnen quantifizierende Annahmen zugrunde liegen. Bei der Besprechung kann darauf hingewiesen werden, dass diese Annahmen bei abstrakteren Sachverhalten häufig nicht eindeutig zu bestimmen sind, was eine Erklärung für unterschiedliche Expertenmeinungen darstellt. Nun könnte das Wirkungsdiagramm noch um die Größe *fördernder Umweltschutz* ergänzt und die zugehörigen Wirkungen (vgl. Abschnitt 2) kurz erläutert werden.

Nachdem die grundlegenden Zusammenhänge erarbeitet sind, ist die Analyse um die internationale Perspektive auszuweiten. Hierzu werden die Lernenden auf dem zweiten Arbeitsblatt mit einem entsprechenden Wirkungsdiagramm konfrontiert, dass sie mittels erkenntnisleitender Fragestellungen untersuchen sollen.

Auf dieser Basis können die Zusammenhänge mit quantitativen System-Dynamics-Modellen genauer untersucht werden. Hierzu ist zunächst das Basismodell *Umweltschutz I* zu öffnen. Darin ist modelliert, wie Unternehmen abhängig von der Differenz der Standortattraktivitätswerte, dem Migrationsfaktor und der Anzahl der Unternehmen in den Ländern zu- beziehungsweise abwandern. Das Modell ist strukturell identisch mit *Standortwettbewerb I* aus dem Artikel ‚Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung‘, weswegen auf die dortigen Ausführungen in Abschnitt 5.3.2 verwiesen wird. Sollten die Schüler diese Lernumgebung bereits bearbeitet haben, dürfte ein kurzer Blick auf das Modell genügen, um sich die Sachverhalte wieder zu vergegenwärtigen. Ansonsten kann das Arbeitsblatt verwendet werden, das in Abschnitt 3.4.3 dieses Artikels erneut aufgeführt ist.

Das Folgemodell *Umweltschutz II a* berücksichtigt zusätzlich die Umweltbelastung des ersten Lands. In jeder Zeiteinheit steigt sie um die neue Umweltbelastung und reduziert sich um die natürliche Regenerationsrate des ökologischen Systems. Die neue Umweltbelastung berechnet sich aus der Anzahl der Unternehmen und den Umweltschutzmaßnahmen. Erhöhte Umweltschutzmaßnahmen reduzieren jedoch nicht nur die Umweltbelastung, sondern auch die Standortattraktivität. Alle Variable im Modell, deren Name mit einer Abkürzung beginnt (zum Beispiel *NUB_Anzahl Unternehmen 1* oder *SAT_Umweltschutzmaßnahmen 1*) enthalten Umrechnungsfunktionen, die Annahmen über einen bestimmten Ursache-Wirkungs-Verlauf enthalten. Sie lassen sich ansehen, wenn zunächst eine Variable markiert und dann auf das erscheinende ‚=‘-Zeichen geklickt wird. Dabei ist durchaus denkbar, die Verläufe kritisch zu hinterfragen, etwa:

- Beschreiben die den Verlauf des Graphen. Wie erklären Sie sich den Verlauf?
- Wenn Sie der Meinung sind, dass der Graph das Verhältnis zwischen den beiden Größen nicht gut zum Ausdruck bringt, schlagen Sie einen alternativen Verlauf vor.

Sollten mehrere Varianten entwickelt worden sein, lassen sie sich im Klassenplenum miteinander vergleichen. Weiterhin kann der Frage nach dem ‚richtigen‘ Verlauf nachgegangen und erörtert werden, warum es diesen eigentlich nicht geben kann.⁶

⁶ Ausführlichere Anmerkungen zu diesem Themenblock finden sich im Artikel ‚Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung‘ Abschnitt 5.3.3.

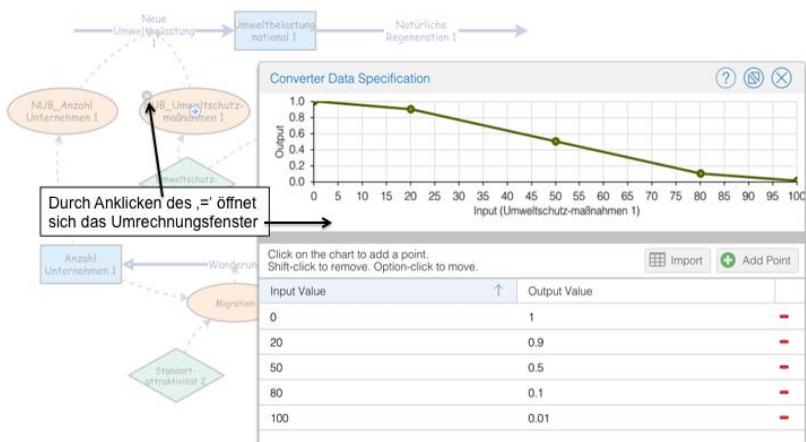


Abbildung 4: Öffnen des Programmierfensters.

In Modell *Umweltschutz II b* ist zusätzlich noch modelliert, wie sich die Anzahl der Unternehmen, die Umweltschutzmaßnahmen und die (nationale) Umweltbelastung auf die Lebensqualität der Bevölkerung auswirken.

Mithilfe des vierten Arbeitsblatts untersuchen die Lernenden das Modell *Umweltschutz II a* und das Verhalten des Systems. Die Frage nach Elementen der noch zu ermittelnden Lebensqualität leitet zum Folgemodell *Umweltschutz II b* über, in dem diese Größe ebenfalls modelliert ist. Die weiteren Fragen des Arbeitsblatts regen die Schüler an, das Verhalten des Modells auf verschiedene Parametervariationen (Umweltschutzmaßnahmen, Migrationsfaktor und natürliche Regeneration) zu untersuchen.

Das letzte Modell der Lernsequenz bildet nun auch das zweite Land ab, sodass auch dort Entscheidungen über Umweltschutzmaßnahmen getroffen werden können. Die Regenerationsrate der Umwelt wurde bewusst herabgesetzt, sodass sich das System nicht im Gleichgewicht befindet und sich die Lebensqualität bei unveränderten Umweltschutzmaßnahmen deutlich verschlechtern würde. Im Rahmen der Modellexploration sollen

die Schüler unter anderem erkennen, dass gemeinsam abgestimmte Erhöhungen des Umweltschutzes die positivsten Effekte auf die Lebensqualität der Bevölkerung beider Länder aufweisen.

Zum Ende der Lernsequenz sollen sich die Schüler kritisch mit dem Modell beziehungsweise seinen Prämissen auseinandersetzen und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge unterbreiten. Bei hinreichender Zeit und Modellierkompetenz können diese dann auch implementiert werden. Eine weitere Anregung zur vertieften Arbeit für Lernende mit guter Modellierkompetenz besteht darin, das Modell *Steuern V* der Lernumgebung des Artikels ‚Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung‘ in Abschnitt 5, um den Sachverhalt des Umweltschutzes zu ergänzen.

3.4 Arbeitsblätter mit Lösungshinweisen

Die nachstehenden Arbeitsblätter können unter dem Link http://www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken als bearbeitbares Word-Dokument heruntergeladen werden. Sie unterscheiden sich von den nachstehenden Arbeitsblättern durch das Fehlen der (kursiv formatierten) Lösungshinweise zu den Aufgaben.

3.4.1 Umweltschutz und Lebensqualität

Restriktive Umweltschutzmaßnahmen, die die Wirtschaft einschränken, beispielsweise durch Ge- und Verbote, Steuern und Grenzwerte, reduzieren die nationale Umweltbelastung und niedrigere nationale Umweltbelastungen erhöhen die Lebensqualität der Bevölkerung. Da zahlreiche Aspekte der Umweltbelastung wie Luftverschmutzung, Ozonloch und Treibhauseffekt an den Landesgrenzen nicht Halt machen, besteht eine positive Wirkungsrichtung von der nationalen zur globalen Umweltbelastung. Restriktive Umweltschutzmaßnahmen reduzieren über eine verringerte nationale Umweltbelastung somit die globale

Umweltbelastung und erhöhen damit ebenfalls die Lebensqualität der Bevölkerung. Andererseits senken diese Maßnahmen die Lebensqualität unmittelbar, da sie den Konsum umweltbelastender Produkte und Dienstleistungen verteuern und damit einschränken. Eine weitere negative Wirkung besteht in der verschlechterten Standortattraktivität für Unternehmen, die sich aus beispielsweise verteuerten Energiepreisen, Auflagen für Filtermaßnahmen oder Verboten schädlicher Herstellungsprozesse ergibt. Eine verschlechterte Standortattraktivität führt jedoch über Insolvenzen beziehungsweise Produktionskürzungen und Migration in Länder mit besserer Standortattraktivität zu einer geringeren Wirtschaftsleistung. Eine schwächere Wirtschaftsleistung wiederum wirkt sich primär negativ auf die Lebensqualität aus, beispielsweise wegen erhöhter Arbeitslosigkeit, geringerer Löhne und reduzierter staatlicher Handlungsfähigkeit (zum Beispiel für Bildung, Infrastruktur, Sozialtransfers) durch niedrigere Steuereinnahmen. Andererseits führt eine niedrigere Wirtschaftsleistung zu geringeren Umweltbelastungen und damit wiederum zu erhöhter Lebensqualität. Dies gilt insbesondere, da die sinkende Wirtschaftsleistung primär auf das Wegfallen besonders umweltschädlicher Produktion zurückzuführen ist. Ferner besteht eine gleichgerichtete Wirkung von Lebensqualität und Standortattraktivität, beispielsweise weil in Ländern mit niedrigerer Kaufkraft weniger Absatzpotenzial besteht oder extrem verschmutzte beziehungsweise unsichere Länder hochwertige Investitionen behindern, unter anderem weil dafür nur erschwert qualifizierte Mitarbeiter zu gewinnen sind.

1) Erstellen Sie ein Wirkungsdiagramm zu den geschilderten Sachverhalten. Verwenden Sie dabei folgende Begriffe: Insolvenzen - Lebensqualität - Migration - restriktiver Umweltschutz - Standortattraktivität - Umweltbelastung global - Umweltbelastung national - Wirtschaftsleistung

vgl. Abbildung 2

2) Identifizieren Sie alle Wirkungsketten in Ihrem Diagramm, die von *restriktiver Umweltschutz* zu *Lebensqualität* laufen. Geben Sie bei jeder dieser Ketten an, wie sich erhöhte Umweltschutzmaßnahmen auf die Lebensqualität auswirken.

Aus Übersichtsgründen werden hier nur die Nummern angegeben, die sich im Wirkungsdiagramm (Abbildung 2) finden.

- *5: mehr Umweltschutzmaßnahmen → reduzierte Lebensqualität*
- *1-2: mehr Umweltschutzmaßnahmen → erhöhte Lebensqualität*
- *1-3-4: mehr Umweltschutzmaßnahmen → erhöhte Lebensqualität*
- *6-8-9-11: mehr Umweltschutzmaßnahmen → niedrigere Lebensqualität*
- *6-7-10-11: mehr Umweltschutzmaßnahmen → niedrigere Lebensqualität*
- *6-8-9-12-2: mehr Umweltschutzmaßnahmen → erhöhte Lebensqualität*
- *6-7-10-12-2: mehr Umweltschutzmaßnahmen → erhöhte Lebensqualität*

3) Identifizieren Sie Rückkopplungsschleifen, die von Lebensqualität über Standortqualität über weitere Größen zurück zur Lebensqualität führen. Haben sie eskalierenden (sich selbst verstärkenden) oder ausgleichenden Charakter?

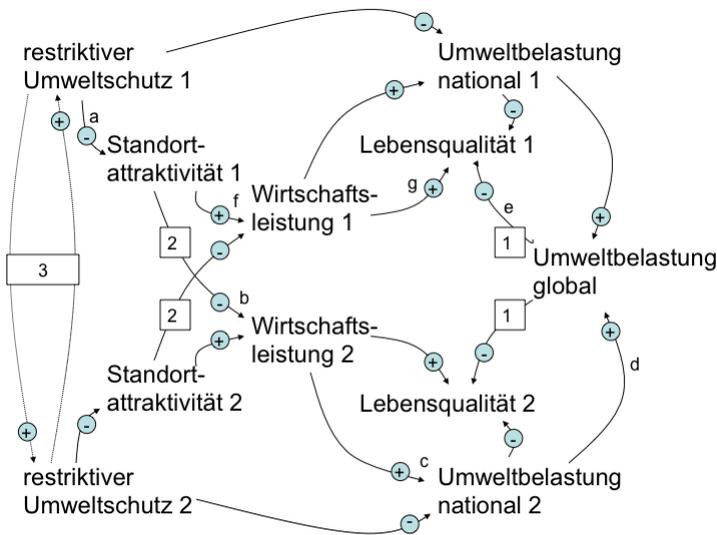
- *13-7-10-11: verstärkende Rückkopplungsschleife*
- *13-8-9-11: verstärkende Rückkopplungsschleife*

4) Verwenden Sie zur Beantwortung der folgenden Frage lediglich die im Text geschilderten *Sachverhalte und Ihre Überlegungen aus den bisherigen beiden Aufgaben*: Wie wird sich eine Erhöhung restriktiver Umweltschutzmaßnahmen auf die Lebensqualität auswirken?

Es soll erkannt beziehungsweise bei der Besprechung herausgearbeitet werden, dass die Frage auf Basis der vorhandenen Informationen nicht beantwortet werden kann, da gegenläufige Wirkungsmechanismen (solche, die eine Senkung der Lebensqualität und solche, die deren Erhöhung zur Folge haben) im System enthalten sind. Um die Frage zu beantworten, müssten Annahmen über die jeweiligen Stärken der Wirkmechanismen getroffen werden. An dieser Stelle kann betont werden, dass in komplexen Systemen zwischen Experten häufig Einigkeit über die grundlegenden Zusammenhänge besteht, aber nicht in den unterstellten Wirkungsstärken. Dies erklärt auch, warum Wissenschaftler gelegentlich unterschiedliche Standpunkte vertreten. Für die Schüler sollte die Erkenntnis folgen, den Prognosen und Empfehlungen zugrunde liegenden Annahmen zu hinterfragen.

3.4.2 Die internationale Dimension des Umweltschutzes

Nachstehendes Wirkungsdiagramm geht von den bisherigen Zusammenhängen aus, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit die Größen *Migration* und *Insolvenzen* nicht dargestellt sind. Dafür wird die Perspektive um ein weiteres Land (stellvertretend für viele Länder beziehungsweise das Ausland im Allgemeinen) erweitert. Die beiden Länder sind durch die jeweiligen Nummern gekennzeichnet; so bezeichnet beispielsweise *Lebensqualität 2* die Lebensqualität der Bevölkerung des Landes 2.



- 1) Erklären Sie den Wirkungszusammenhang 2 (zunehmende Standortattraktivität eines Landes führt zu abnehmender Wirtschaftsleistung des anderen Landes).

Erhöht ein Land seine Standortattraktivität, wandern Unternehmen aus dem anderen Land ab, was dessen Wirtschaftsleistung schwächt. Bei der Besprechung sollte auch der scheinbar banale, aber nicht jedem Schüler klare Sachverhalt erwähnt werden, dass die abnehmende Standortattraktivität eines Landes zu zunehmender Wirtschaftsleistung des anderen Landes führt.

- 2) Welche Konsequenzen ergeben sich, wenn Land 1 seine Umweltschutzmaßnahmen senkt?

Zunächst belastet dies die Umwelt in Land 1 und darüber hinaus auch die globale Umwelt. Beides führt zu sinkender Lebensqualität in Land 1.

Allerdings erhöht sich damit auch die Standortattraktivität, was wegen der damit einhergehenden Zuwanderung (und

generell wirtschaftsfreundlicheren Rahmenbedingungen) zu steigender Wirtschaftsleistung in Land 1 führt, was wiederum eine steigende Lebensqualität zur Folge hat.

Allerdings geht mit der erhöhten Standortattraktivität in Land 1 wegen der Migrationsbewegungen eine sinkende Wirtschaftsleistung von Land 2 einher, mit entsprechend negativen Konsequenzen für Land 2. Deswegen könnte Land 2 ebenfalls seine Umweltschutzmaßnahmen senken (vgl. Folgeaufgabe).

3) Erklären Sie den Wirkungszusammenhang 3.

Senkt ein Land seine Umweltschutzmaßnahmen, wodurch es seine Standortattraktivität erhöht, steigt der Druck auf andere Länder, ihre Standards ebenfalls zu senken, um der Abwanderung von Unternehmen vorzubeugen. Somit kann sich schnell ein ‚race to the bottom‘ entwickeln, das für alle Länder nachteilig ist und beispielsweise auch bei der Steuerpolitik anzutreffen ist (vgl. Artikel ‚Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung‘ Abschnitt 5). Eine geringere Auftretenswahrscheinlichkeit hat der umgekehrte Effekt, dass andere Länder der Vorbildfunktion eines Landes folgen, das seine Umweltschutzmaßnahmen erhöht.

4) Unter welchen Umständen können erhöhte Umweltschutzmaßnahmen eines Landes zu einer insgesamt schlechteren Umweltsituation für die Bevölkerung dieses Landes führen?

Wenn Unternehmen aufgrund starker Reglementierung und Kostenbelastung ihre Produktion in andere Länder auslagern und dort kostengünstiger und umweltbelastender arbeiten, steigt dort die Umweltbelastung stark an. Über globale Verteilungseffekte kann dies zu einer Verschlechterung der Umweltsituation im Ursprungsland führen (siehe Kette: a – b – c – d – e), das durch die Abwanderung außerdem in seiner Wirtschaftsleistung geschwächt ist (a – f – g).

3.4.3 Das Basismodell

Im Modell *Umweltschutz I* ist der grundlegende Sachverhalt zweier miteinander konkurrierender Länder abgebildet. Zu Beginn hat jedes Land eine bestimmte Anzahl an Unternehmen, die sich im Zeitverlauf jedoch durch Migration verändern kann. Diese Wanderung zwischen den Ländern hängt von bestimmten Variablen ab.

Sie können das Modell durch einen Klick auf den Simulieren-Button untersuchen. Im dann erscheinenden Simulationsfenster sind mehrere Diagramme zur Analyse verfügbar. Weiterhin können Sie die Werte beziehungsweise Programmierung eines Objekts ansehen, indem Sie zunächst darauf zeigen und auf das dann links oben im Objekt erscheinende Gleichheitszeichen (=) klicken.

1. Erklären Sie, wie und von welchen Faktoren die Migration beeinflusst wird.

- *Die Standortattraktivität der Länder (beziehungsweise der Differenz beider Standortattraktivitätswerte)*
- *Die Anzahl der Unternehmen in den Ländern*
- *Dem Migrationsfaktor*

2. Was bedeutet ein positiver und was ein negativer Wert bei Migration?

Bei einem positiven Migrationswert wandern Unternehmen aus Land_1 ab, bei einem negativen Wert erfolgt eine Zuwanderung.

3. Unter welchen Bedingungen erhöht sich die Zahl der Unternehmen in Land 1?

Die Standortattraktivität von Land_1 muss größer als die von Land_2 sein (und der Migrationsfaktor muss über 0 liegen).

4. Wovon hängt ab, mit welcher Geschwindigkeit Unternehmen die Länder wechseln?

- *Der Differenz beider Standortattraktivitätswerte*
- *Die Anzahl der Unternehmen in dem Land, aus dem die Unternehmen abwandern*
- *Der Migrationsfaktor*

5. Wesentlichen Einfluss auf die Migration haben die Standortattraktivitätswerte.

a) Führen Sie eine Simulation durch, bei der sich die Standortattraktivitätswerte (abgekürzt SAT) beider Länder unterscheiden. Wie entwickelt sich die Migration im Zeitverlauf? Warum wurde dies so modelliert?

Die Migrationsbewegungen werden absolut betrachtet immer geringer. Dies erklärt sich dadurch, dass jedes Jahr ein bestimmter Prozentsatz der verbleibenden Unternehmen den Standort wechselt. Eine relative Wanderung ist realitätsnäher als ein konstanter Wert, was empirisch bei vielen Sachverhalten belegt ist.

b) Beschreiben und erklären Sie den Verlauf des Diagramms ‚Migration‘, wenn ...

- I) $\text{Standortattraktivität}_1 > \text{Standortattraktivität}_2$
Die Migration beginnt mit einem negativen Wert und nähert sich asymptotisch der 0 an.
- II) $\text{Standortattraktivität}_1 < \text{Standortattraktivität}_2$
Die Migration beginnt mit einem negativen Wert und nähert sich asymptotisch der 0 an.

c) Die Standortattraktivität ist eine abstrakte Größe und fasst zahlreiche Aspekte der Wirklichkeit zusammen. Was könnte alles die Attraktivität eines Landes für Unternehmen beeinflussen?

Zum Beispiel Steuersätze für Unternehmen und Kapitalerträge; unternehmerfreundliche Gesetzgebung (unter anderem bezüglich Kündigungsschutz, Mitbestimmung, Bürokratie); Kaufkraft und Qualifikationsniveau der Bevölkerung, Infrastruktur, politische und wirtschaftliche Stabilität

6. Der Migrationsfaktor ist eine abstrakte Größe.

a) Welche Funktion hat er im Modell beziehungsweise was bildet er aus der Wirklichkeit ab?

Der Migrationsfaktor bringt zum Ausdruck, wie stark Unternehmen auf Differenzen der Standortattraktivitätswerte mit Migration reagieren. In einem liberalen Umfeld ohne wesentliche Hürden dürften Unternehmen eher zur Migration tendieren als in Ländern mit Kapitalverkehrskontrollen oder hohen Importzöllen. Beispielsweise dürfte durch die europäische Integration die Bereitschaft von Unternehmen, ihren Standort in andere EU-Länder zu verlagern, gestiegen sein, was mit einem höheren Migrationsfaktor zu modellieren wäre.

b) Welche Konsequenzen hätte ein Migrationsfaktor von 0?

Ein Migrationsfaktor von 0 bringt zum Ausdruck, dass keine Migration zwischen den Ländern erfolgt. Dies entspräche einer nach außen komplett geschlossenen Wirtschaft. Nordkorea könnte als Beispiel eines Lands mit einem sehr niedrigen Migrationsfaktor dienen.

c) Wie hat sich Ihrer Meinung nach der Migrationsfaktor (die Mobilität der Unternehmen) in den letzten Jahrzehnten geändert? Begründen Sie!

Die Mobilität der Unternehmen hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht, was mit der zunehmenden Globalisierung einherging. Wesentliche Treiber der erhöhten Mobilität von Waren-, Wert- und Informationsflüssen und damit einhergehend auch Unternehmenswanderungen waren unter

anderem Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie, im Transportwesen, politische Entwicklungen (Ende des Kalten Kriegs, Europäische Integration) und multinationale Verhandlungen zur wirtschaftlichen Liberalisierung (GATT/WTO).

d) Welche Konsequenzen hat die Veränderung des Migrationsfaktors für die Wirtschaftspolitik eines Landes?

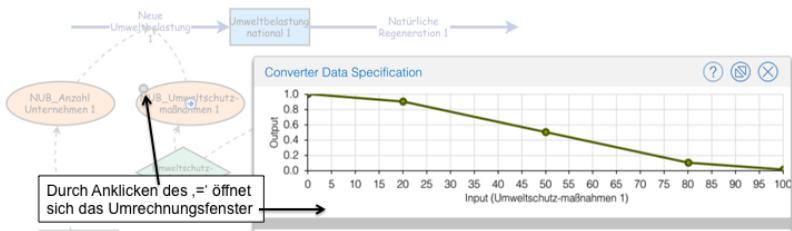
Mit zunehmender Migrationsfähigkeit beziehungsweise –bereitschaft der Unternehmen verstärkt sich der internationale Standortwettbewerb, weswegen wirtschaftspolitische Maßnahmen eines Landes immer weniger isoliert von den Standortbedingungen anderer Länder getroffen werden können beziehungsweise sollten.

7. Beschreiben Sie das Modell mit seinen unterstellten Zusammenhängen und Grundannahmen (Prämissen) in eigenen Worten. An welchen Stellen halten Sie es für (zu) unrealistisch? An welchen Stellen sollte das Modell Ihrer Ansicht nach detaillierter sein?

Die Migration von Unternehmen hängt ab von der Differenz der Standortattraktivitätswerte, dem Migrationsfaktor und der Anzahl der Unternehmen in einem Land. Insbesondere die Standortattraktivität und gegebenenfalls auch der Migrationsfaktor sind sehr abstrakt und könnten/sollten ausdifferenziert werden (dies erfolgt im Rahmen der folgenden Modelle).

3.4.4 Auswirkungen von Umweltschutzmaßnahmen

Öffnen und analysieren Sie das Modell *Umweltschutz II a*. Sie können sich die Programmierung eines Objekts ansehen, wenn Sie es markieren und auf das dann erscheinende (=) klicken.



1) Beschreiben Sie, um welche Größen und Zusammenhänge das Modell *Umweltschutz II* im Vergleich zum Basismodell ergänzt wurde.

Als neue Größen sollten erwähnt werden: Neue Umweltbelastung, Umweltbelastung national 1, Natürliche Regeneration, Umweltschutzmaßnahmen 1, NUB_Anzahl Unternehmen 1, NUB_Umweltschutzmaßnahmen 1, SAT_Umweltschutzmaßnahmen 1.

Wesentliche Zusammenhänge sind:

- *Die Flussgröße Neue Umweltbelastung 1' erhöht die Bestandsgröße Umweltbelastung national 1, die wiederum von der Flussgröße Natürliche Regeneration 1 reduziert wird.*
- *Die Neue Umweltbelastung 1 ergibt sich aus dem Produkt von zwei umgerechneten Größen, die letztlich von der Anzahl der Unternehmen und den Umweltschutzmaßnahmen abhängen:*
 - *Die Anzahl der Unternehmen erhöht indirekt Neue Umweltbelastung 1 über die Umrechnung in der Größe NUB_Anzahl Unternehmen 1. Die Umrechnung ist in diesem Fall ein linearer Zusammenhang: Bei der geringstmöglichen Unternehmensanzahl von 0 wird ein Wert von 0 an die Neue Umweltbelastung 1 übergeben, bei dem Maximalwert von 2000 wird der Wert 100 weitergereicht.*

- Die Umweltschutzmaßnahmen werden im Feld NUB-Umweltschutzmaßnahmen 1 umgerechnet, wobei der weiterzugebende Wert beziehungsweise Multiplikator mit zunehmenden Umweltschutzmaßnahmen abnimmt.
- Analog wirken die Umweltschutzmaßnahmen über das Umrechnungsfeld SAT_Umweltschutzmaßnahmen 1 auf die Standortattraktivität und damit auf Migrationsbewegungen.

2) Führen Sie eine Simulation durch, ohne die voreingestellten Werte zu verändern. Beschreiben Sie den Simulationsverlauf.

Alle Größen sind im Gleichgewicht und die Werte ändern sich während der Simulation nicht.

Bevor Sie eine Simulation durchführen, schätzen Sie erst die Ergebnisse grob ab. Vergleichen Sie dann Ihre Prognose mit den Simulationsergebnissen.

a) Was wird passieren, wenn Land 1 seine Umweltschutzmaßnahmen erhöht?

Da vorher die Umweltbelastung nicht größer als die natürliche Regenerationsrate war, können höhere Umweltschutzmaßnahmen kaum eine Verbesserung der Umweltsituation bewirken.

Allerdings sinkt die Standortattraktivität des Landes, weswegen Unternehmen abwandern.

b) Was wird passieren, wenn Land 1 seine Umweltschutzmaßnahmen senkt?

Die Umweltbelastung steigt aus zweierlei Gründen: Wegen geringerer Umweltschutzmaßnahmen steigt die Umweltbelastung unmittelbar an. Gleichzeitig wandern Unternehmen zu, die die Umwelt zusätzlich belasten.

3) Im kommenden Modell soll noch die Lebensqualität der Bevölkerung berücksichtigt werden. Welche im Modell bereits vorhandenen Größen sollten in die Berechnung der Lebensqualität einfließen?

Die Umweltbelastung dürfte offensichtlich sein. Nicht vergessen werden sollte jedoch auch die Anzahl der Unternehmen, die im Modell die Wirtschaftskraft eines Landes und damit auch den Wohlstand der Bevölkerung abbildet. Ein weiterer Aspekt sind die Umweltschutzmaßnahmen, die die Lebensqualität zunächst senken.

4) Öffnen Sie nun das Modell *Umweltschutz II b*. Hier ist auch die Lebensqualität modelliert.

a) Führen Sie einen Simulationslauf durch, ohne die Standardwerte zu verändern. Wie hoch ist der Wert für die Lebensqualität?

209 (gerundet)

5) Beantworten Sie folgende Fragen wieder, ohne zunächst einen Simulationslauf durchzuführen. Überprüfen Sie Ihre Vermutung anschließend mit einer Simulation. Falls es größere Abweichungen zwischen Ihrer Schätzung und den Simulationsergebnissen gab: Wie erklären Sie sich das?

a) Wie wird sich die Lebensqualität bei einer Erhöhung der Umweltschutzmaßnahmen auswirken?

Da sich die Umweltbelastung nicht reduzieren wird (vgl. Aufgabe 2 a), steigt dieser Aspekt der Lebensqualität nicht an. Allerdings wandern Unternehmen ab, weswegen die Lebensqualität insgesamt sinkt.

b) Wie entwickelt sich die Lebensqualität bei einer Senkung der Umweltschutzmaßnahmen auf einen Wert von 45?

Die Lebensqualität steigt zunächst ein wenig an, da die erhöhte Umweltbelastung noch nicht ins Gewicht fällt (eine schwache

Umweltbelastung hat im Modell kaum Konsequenzen für die Lebensqualität) und Unternehmen zuwandern. Im Zeitverlauf sinkt jedoch die Lebensqualität wieder ab, da die Umweltbelastung immer stärker steigt. Nach 100 Zeiteinheiten liegt die Lebensqualität bei einem Wert von -250.

- c) Wie entwickelt sich die Lebensqualität bei einer Senkung der Umweltschutzmaßnahmen auf einen Wert von 30?

Der Verlauf ähnelt dem der vorigen Aufgabe. Allerdings sinkt die Lebensqualität wegen der erhöhten Umweltbelastung früher und stärker ab, sodass sie nach 100 Zeiteinheiten nur noch bei -434 liegt.

- 6) Wie wäre der Umweltschutz im Laufe der Simulation zu verändern, um eine möglichst hohe Lebensqualität im Modell zu bewirken?

Zunächst sollten die Umweltschutzmaßnahmen etwas gesenkt werden, um zusätzliche Unternehmen anzuziehen. Sobald sich die Umweltbelastung jedoch negativ auf die Lebensqualität (beziehungsweise die Größe $LQ_Umweltbelastung\ national\ 1$) auszuwirken beginnt, sollte der Umweltschutz wieder auf den Gleichgewichtswert von 50 erhöht werden.

- 7) Wie würde sich ein a) höherer und b) niedrigerer Migrationsfaktor auf die Entwicklung der Lebensqualität auswirken?

Bei einem Wert der Umweltschutzmaßnahmen > 50 : Hier wandern Unternehmen ab, ohne dass sich die Umweltsituation verbessert. Insofern führt ein höherer Migrationsfaktor zu einer verstärkten Abwanderung und zu einer noch niedrigeren Lebensqualität. Umgekehrt würde ein niedrigerer Migrationsfaktor die Abwanderung und damit den Verlust an Lebensqualität reduzieren.

Bei einem Wert der Umweltschutzmaßnahmen < 50 : Hier wandern Unternehmen zu, aber die Umweltbelastung steigt.

Insofern wirkt eine höhere Migrationsrate positiv, da mehr Unternehmen zuwandern. Dies kann die Verluste an Lebensqualität durch die schlechtere Umweltsituation zumindest eine längere Zeit kompensieren.

8) Das System ist derzeit so eingestellt, dass es sich im Gleichgewicht befindet und höhere Umweltschutzmaßnahmen nur negative Auswirkungen haben.

a) Welche Möglichkeiten zur Erhöhung der Lebensqualität würden sich bei einer höheren Regenerationsrate ergeben?

Bei einer höheren Regenerationsrate können die Umweltschutzmaßnahmen reduziert werden, ohne dass die Umwelt dadurch belastet wird. In der Folge steigt die Lebensqualität aufgrund einer höheren Unternehmenszahl und geringer Belastung durch Umweltschutzmaßnahmen.

b) Wie entwickelt sich die Lebensqualität bei einer niedrigeren Regenerationsrate?

Die Lebensqualität wird in jedem Fall sinken.

c) Bei welchem Umweltschutzwert wird die Lebensqualität langfristig am Höchsten sein, wenn die Regenerationsrate einen Wert von 20 hat?

Ein Umweltschutzwert von 53 führt zu einer (gesunkenen) Lebensqualität von 180.

3.4.5 Zwei aktive Länder

1) Untersuchen Sie das Modell *Umweltschutz III*. Inwiefern unterscheidet es sich von dem vorigen Modell?

- *Das Land 2 ist ebenfalls modelliert und kann über die Größe Umweltschutzmaßnahmen 2 aktiv gesteuert werden.*
- *Das Modell ist um die Größe Umweltbelastung global ergänzt, die ebenfalls Einfluss auf die Lebensqualität hat.*

- *Der Einfluss des nationalen Umweltschutzes auf die Lebensqualität ist ein wenig reduziert (durch Division um 4 im Feld Lebensqualität).*
- *Der Startwert für die natürliche Regeneration ist auf 20 reduziert, sodass sich das Modell nicht im Gleichgewicht befindet und Handlungsbedarf besteht.*

2) Experimentieren Sie mit verschiedenen Werten für die Umweltschutzmaßnahmen beider Länder. Was fällt Ihnen auf?

Bei dieser Frage ist ein recht großes Spektrum individueller Antworten möglich. Allerdings sollte erwähnt werden ...

- *bei keinen Änderungen verschlechtert sich die Lebensqualität immer mehr, da die Umwelt zu stark belastet wird.*
- *Ähnliches gilt bei einer Reduktion der Umweltschutzmaßnahmen. Zwar wandern mehr Unternehmen zu, aber langfristig kommt es dennoch zu erheblichen Verlusten an Lebensqualität.*
- *leichte Erhöhungen (etwa auf einen Wert von 52) des Umweltschutzes eines Lands führen zu einer vergleichsweise guten Entwicklung der Lebensqualität dieses Lands, da die Umwelt kaum belastet wird und nur relativ wenige Unternehmen abwandern.*
- *stärkere einseitige Erhöhungen des Umweltschutzes führen hingegen zu einem größeren Verlust an Lebensqualität, da die Unternehmensabwanderung die positiven Umwelteinflüsse überwiegt.*
- *Insgesamt betrachtet ergeben sich die besten Ergebnisse, wenn beide Länder ihre Umweltschutzmaßnahmen gemeinsam nennenswert (etwa auf Werte um 60) erhöhen, weil dann die Umweltbelastung gering gehalten wird, ohne dass Unternehmen abwandern.*

3) An welchen Stellen erscheint Ihnen das Modellverhalten unrealistisch? Wie würden Sie das Modell verbessern?

Individuelle Antworten

Vertiefungsanregungen:

4) Setzen Sie Ihre Überlegungen aus der vorigen Aufgabe im Modell um. Vermutlich werden Sie ein wenig mit verschiedenen Werten beziehungsweise Kurvenverläufen experimentieren müssen, bis sich Ihr Modell wie gewünscht verhält.

5) Fassen Sie die wesentlichen Erkenntnisse, die Sie beim Bearbeiten dieser Lernsequenz gewonnen haben, für sich zusammen. Analysieren und beurteilen Sie vor diesem Hintergrund sowohl die aktuelle Politik der Bundesregierung als auch die Vorstellungen der politischen Parteien (zum Beispiel aufgrund von Aussagen in deren Wahlprogrammen).

Individuelle Antworten

Literatur

Arndt, H. (2007): Methoden des Wirtschaftsunterrichts zur Förderung des Nachhaltigkeitsdenkens. In: Seeber, G. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und ökonomische Bildung. Bergisch Gladbach, S. 141 – 162.

Arndt, H. (2016): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen.

Gesellschaft für Politikdidaktik und politische Jugend- und Erwachsenenbildung (2004): Anforderungen an Nationale Bildungsstandards für den Fachunterricht in der Politischen Bildung an Schulen. 2. Auflage, Schwalbach/Ts.

Giesecke, H. (1976): Didaktik der politischen Bildung. 10. Auflage, München.

Sander, W. (2009): Wissen: Basiskonzepte der Politischen Bildung. In: Informationen zur Politischen Bildung, Band 30, Innsbruck, S. 57 – 60.

Sander, W. (2011): Konzepte und Kategorien in der politischen Bildung. In: Goll, T. (Hrsg.): Politikdidaktische Basis- und Fachkonzepte. Schwalbach/Ts., S. 32 – 43.

Willenbacher, W. (1988): Zur immanent methodischen Struktur des Politischen. In: Politik unterrichten, 1/1988, S. 14 – 29.

Holger Arndt

Systemisches Denken in der ökonomischen Bildung¹

1. Überblick

Der Umgang mit Komplexität und die Förderung des systemischen Denkens sind zentrale Elemente der ökonomischen Bildung, da zahlreiche ökonomisch bedeutsame Fragestellungen und Lebenssituationen in komplexe Systeme eingebettet sind. Im zweiten Abschnitt ist die Relevanz des systemischen Denkens für die ökonomische Bildung dargestellt, indem Bezüge zwischen systemischem Denken einerseits und Bildungsstandards und fachdidaktischen Konzepten andererseits aufgezeigt werden. Anschließend werden für den Wirtschaftsunterricht bedeutsame Modelle und modellbasierte Unterrichtsmethoden vorgestellt und im Hinblick auf ihre Eignung zur Förderung des systemischen Denkens klassifiziert. Zwei Beispiele am Ende des Artikels dienen der Veranschaulichung des Einsatzes von Wirkungsdiagrammen und System Dynamics im Wirtschaftsunterricht.

2. Relevanz systemischen Denkens in der ökonomischen Bildung

Die herausgehobene Bedeutung systemischen Denkens zeigt sich insbesondere in den für die ökonomische Bildung erstellten Bildungsstandards. So bildet im Kompetenzmodell der Bildungsstandards der Deutschen Gesellschaft für ökonomische Bildung der Kompetenzbereich ‚Ökonomische Systemzusammenhänge erklären‘ einen von insgesamt fünf Bereichen ab

¹ Die Ausführungen dieses Artikels sind weitgehend aus Arndt (2016) entnommen.

(vgl. DeGÖB 2004). Die zugehörigen Ausführungen lassen den Bezug zum systemischen Denken deutlich erkennen:

Moderne Gesellschaften sind durch ein hohes Maß an Arbeitsteilung, Spezialisierung und Austausch gekennzeichnet. Dadurch entstehen vielfältige wechselseitige Abhängigkeiten, aus denen sich einerseits der freiwillige Austausch von Leistung und Gegenleistung und andererseits das Erfordernis der Koordination ergibt. Der Leistungsaustausch zwischen Anbietern und Nachfragern findet auf Märkten, aber auch in Unternehmen statt. Die Koordination der ökonomischen Akteure erfolgt im Rahmen von Märkten, Netzwerken und Hierarchien. Durch die Kenntnis solcher Systemzusammenhänge kann das Individuum ein verständiges Urteil als Wirtschaftsbürger treffen, da es die Wirkungen und Nebenwirkungen von Einflüssen und praktizierten oder unterlassenen Maßnahmen antizipieren und somit verantwortlich mitgestalten kann. Das Individuum kann verstehen, dass das Ganze etwas anderes ist als die Summe seiner Teile (DeGÖB 2004, 6 f.).

Auch in anderen Bildungsstandards der ökonomischen Bildung, wie etwa von Retzmann et al. (2010) wird die Bedeutung systemischer Zusammenhänge hervorgehoben.

Generell gilt es als besondere kognitive Herausforderung der ökonomischen Bildung, Unterschiede zwischen der gut zugänglichen individuellen Erfahrungsebene und der abstrakteren systemischen Ebene zu erkennen. Gerade dies ist ein wesentlicher Unterschied zwischen Novizen und Experten. So ist die Annahme, dass Umverteilungsmechanismen ein Nullsummenspiel darstellen (sich der Nutzen insgesamt also nicht verändert, nur unterschiedlich auf betroffene Akteure verteilt wird) eine typische Novizenvorstellung, die einen solchen Unterschied nicht adäquat erfasst. Im Gegensatz dazu berücksichtigen Experten auch die Konsequenzen von Maßnahmen auf den Nutzen insgesamt, der sich durchaus häufig verändert.

Eine didaktische Herausforderung ergibt sich daraus, dass die systemische Perspektive meist nicht direkt auf der individuellen Erfahrung aufbaut und infolgedessen nur schwer aus ihr erschlossen werden kann (vgl. Remmele 2012). Im folgenden Abschnitt sind Möglichkeiten aufgezeigt, dieser Herausforderung zu begegnen.

Die Bedeutung systemischen Denkens für die ökonomische Bildung zeigt sich auch in fachdidaktischen Konzepten. Bei der kategorialen ökonomischen Bildung werden Denkschemata identifiziert, die für das Fach von besonderer Bedeutung und in vielfältigen ökonomischen Fragestellungen enthalten sind. Indem Schüler diese Denkschemata beziehungsweise Kategorien verinnerlichen, sollen sie sich mit ihrer Hilfe eigenständig neue ökonomische Phänomene erschließen können. Welche Kategorien von einem Autor in sein jeweiliges Kategoriensystem aufgenommen werden, bringt zum Ausdruck, was er als besonders bedeutsam erachtet. Bemerkenswert ist, dass in drei verbreiteten ökonomischen Kategoriensystemen von Dauenhauer (2001), May (2001) und Kruber (2000) jeweils Kategorien mit aufgeführt sind, die für systemisches Denken von besonderer Bedeutung sind: Interdependenz, Kreislauf und Zielkonflikt. Darüber hinaus sind manche der in Tabelle 1 angeführten Kategorien ebenfalls für systemisches Denken relevant, etwa Entscheidung, Externalitäten, Koordinierung, Rationalität, Wirtschaftsordnung und Risiko.

Wirtschaftliches Handeln ist charakterisiert durch den Begriff / die Kategorie...	Dauenhauer 1999/2000	May 2001	Kruber 2008
Arbeitsteilung	+	+	+
Bedürfnis	(+)	+	-
Entscheidung	-	+	+
Externalitäten	-	-	+
Interdependenz	+	+	+
Knappheit	+	+	+
Koordinierung(-sbedarf)	-	+	+
Kreislauf	+	+	+
Nutzen/Gewinn	+	+	+
Rationalität	+	-	-
Risiko	+	+	+
Ungleichheit	-	-	+
Wirtschaftsordnung	(+)	-	(+)
(Ziel-)Konflikt	+	+	+

Tabelle 1: Kategoriensysteme im Vergleich. (Quelle: Hedtke, Reinhold 2011: Konzepte ökonomischer Bildung. Wochenschau Verlag, Schwalbach/Ts, S. 19.)

Ein anderes bedeutsames Konzept der ökonomischen Bildung mit Bezügen zum systemischen Denken ist das der institutionenökonomischen Bildung. Ihr Ausgangspunkt ist die Annahme, dass die wichtigsten Herausforderungen und sozialen Dilemmata arbeitsteilig wirtschaftender Gesellschaften auf Rahmenbedingungen zurückzuführen sind, die zu Verhaltens-, Interaktions- und Kommunikationsproblemen führen (vgl. Karpe 2008). Entsprechend stellt sich die Frage, wie sich das Verhalten von Individuen und Systemen (zum Beispiel Unternehmen) erklären und beeinflussen lässt. Soziale Dilemmata sind durch einen Gegensatz zwischen individueller und kollektiver Rationalität gekennzeichnet und führen zur kollektiven Selbstschädigung durch Verfolgen des eigenen Vorteils. Etliche Problembereiche haben die Struktur solcher Dilemmata. Nutzungsdilemmata, die strukturell einem der Systemarchetypen nach Senge entsprechen (vgl. Artikel ‚Generische Strukturen

und Archetypen'), führen häufig zur Übernutzung einer gemeinsamen Ressource (zum Beispiel Überfischung), während bei Beitragsdilemmata Trittbrettfahrerprobleme auftreten, bei denen einzelne Akteure keinen Beitrag zum Erreichen eines gemeinsamen Ziels leisten (zum Beispiel Steuerhinterziehung). Im Rahmen der institutionenökonomischen Bildung werden Institutionen, Regeln und Gesetze gesucht beziehungsweise bewertet, die diese Probleme entschärfen. Ein Beispiel solcher Institutionen wären Fischfangquoten zur Lösung des Problems der Überfischung. Bei der Ausgestaltung der Institutionen ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich Nebenwirkungen ergeben, Ausweichstrategien der Akteure zum Tragen kommen und im Zeitverlauf unerwünschte Effekte auftreten können. Für eine adäquate Beurteilung der Institutionen bedarf es folglich der Fähigkeit des systemischen Denkens.

Ein drittes wichtiges fachdidaktisches Konzept mit Bezügen zum systemischen Denken ist das der lebenssituationsorientierten ökonomischen Bildung. Der Kerngedanke dieses Ansatzes besteht darin, ökonomisch relevante Lebenssituationen zu identifizieren und die zu ihrer erfolgreichen Bewältigung benötigten Qualifikationen beziehungsweise Kompetenzen im Unterricht zu entwickeln (vgl. Steinmann 1997). Die Lebenssituationen werden häufig übergeordneten Rollen zugeordnet, etwa denen des Verbrauchers, des Erwerbstätigen und des Wirtschaftsbürgers. Systemisches Denken ermöglicht ein erfolgreicherer Handeln in diesen Rollen beziehungsweise Lebenssituationen. So können Verbraucher eher langfristige und unerwünschte Konsequenzen problematischen Konsumverhaltens (zum Beispiel Treibhauseffekt, Umweltverschmutzung, Ressourcenverbrauch) erfassen. Dies wiederum ist eine wesentliche Voraussetzung, um das eigene Verhalten zu ändern beziehungsweise veränderte institutionelle Rahmenbedingungen oder gesetzliche Regelungen zu unterstützen.

Nebenwirkungen und Rückkopplungen zu erkennen, langfristige Entwicklungen einzuschätzen und nichtlineares Wachstum

zu verstehen ist beispielsweise auch für potenzielle Kapitalanleger hilfreich.

So dürfte die Bereitschaft steigen, frühzeitig finanzielle Rücklagen zu bilden und das Risiko von Fehlinvestitionen, etwa aufgrund von Fehleinschätzungen von Konjunktur-, Zins- und Börsenzyklen, sinken. Auch Erwerbstätige profitieren von Kompetenzen im systemischen Denken, beispielsweise hinsichtlich langfristiger Investitions- und Personalplanungen oder im Rahmen der Lagerbestandsoptimierung in Wertschöpfungsketten. Schließlich ist systemisches Denken für die Bürgerrolle von Bedeutung, da ein Großteil (wirtschafts-)politischer Entscheidungen in einem komplexen Gefüge wirkt, sodass Gesetzesinitiativen oft unerwünschte Nebenwirkungen haben. Wenn breitere Wählerschichten ein Verständnis dafür entwickeln, dass Gesetze kurzfristig erwünschte Wirkungen, aber langfristig sehr nachteilige Konsequenzen haben können (und umgekehrt), mag dies förderlich für eine nachhaltigere (Wirtschafts-)Politik sein. Denn wenn Politiker auf ein stärkeres Verständnis der Wähler für kurzfristig unangenehme Entscheidungen vertrauen können, mag deren Bereitschaft langfristig erfolversprechende Initiativen zu ergreifen, steigen.

Entsprechend wären Probleme etwa der Staatsverschuldung, der Rentenversicherung, der geringen Bildungsinvestitionen oder der defizitären ökologischen Nachhaltigkeit mit höherer Priorität adressierbar (vgl. Arndt 2007).

3. Modelle und modellbasierte Unterrichtsmethoden im Wirtschaftsunterricht

Die Arbeit mit Modellen ist eine zentrale Erkenntnismethode in den Wirtschaftswissenschaften. Mit Modellen lässt sich die Komplexität eines Wirklichkeitsbereichs gezielt einschränken, wodurch relevante Strukturen und Zusammenhänge deutlicher hervortreten können (vgl. Mankiw 2004). Deswegen wird auch

im Wirtschaftsunterricht intensiv mit Modellen und mit modellbasierten Unterrichtsmethoden gearbeitet. Abbildung 1 zeigt eine Auswahl von Modellen, die für den Wirtschaftsunterricht bedeutsam sind und ordnet diese nach den Kriterien (visuelle) Anschaulichkeit und Dynamik. Der erstgenannte Aspekt ist bedeutsam im Hinblick auf die Unterstützung des Lernprozesses, während die Frage der Dynamik ein zentrales Element systemischen Denkens ist. Die Zahlen an den Modelltypen beziehen sich auf die im Artikel ‚Systemisches Denken im Fachunterricht‘ in Abschnitt 3 erläuterten Teildimensionen systemischen Denkens nach Ossimitz. Ist eine Zahl angeführt, bringt dies die Eignung der Methode zur Förderung des zugehörigen Aspekts des systemischen Denkens zum Ausdruck, wobei ein ‚+‘ auf eine besonders starke Tauglichkeit hinweist.

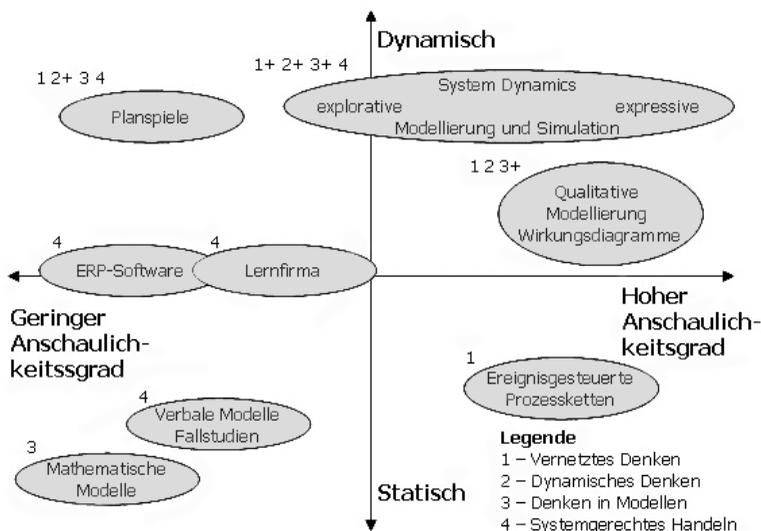


Abbildung 1: Typologie ausgewählter Modelliervarianten. (Quelle online: Arndt (2006): Der Blick über die Unternehmensgrenze hinaus: Förderung ganzheitlichen Denkens im Management der Wertschöpfungskette durch qualitative und quantitative Modellierung und Simulation. In: Berufs- und Wirtschaftspädagogik online (BWP@), 10/2006, S. 8.)

- Textbasierte Modelle beschreiben einen realen oder fiktiven Sachverhalt verbal. Die Fallstudie ist eine im Wirtschaftsunterricht häufig verwendete Unterrichtsmethode, die auf Textmodellen basiert.
- Ein vielfach anzutreffender Lerngegenstand des Wirtschaftsunterrichts sind mathematische Modelle, etwa die Andler'sche Formel zur Losgrößenberechnung beziehungsweise zur Ermittlung der optimalen Bestellmenge, die Preisbildung von Monopolisten (Berechnung des Cournot'schen Punkts), mikroökonomische (zum Beispiel Gleichgewichtspreis, Elastizitäten) und makroökonomische Modelle. Mathematische Modelle sind für Schüler jedoch wenig anschaulich und aufgrund ihres hohen Formalisierungsgrads nur für relativ einfache Probleme mit geringer Komplexität für schulisches Lernen verwendbar. Weiterhin werden aufgrund des hohen Rechenaufwands von dynamischen mathematischen Modellen meist lediglich statische Modelle verwendet (vgl. Arndt 2006).
- Bei der handlungsorientierten Unterrichtsmethode des Planspiels handelt es sich um ein mehrperiodisches Entscheidungsspiel auf Basis eines Modells. In der Regel erfolgt die Durchführung in mehreren strukturgleichen Perioden oder Runden. In jeder Runde treffen die Spieler Entscheidungen (im Rahmen der Spielregeln auf Basis des dem Spiel zugrunde liegenden Modells). Anschließend erhalten sie eine Rückmeldung dazu, sodass sie ihre Entscheidungen überprüfen können. Auf Basis dieses Feedbacks lässt sich in der Folgeperiode gegebenenfalls eine verbesserte Entscheidung treffen. Durch diese Mehrperiodizität können Spieler auch erkennen, wie sich ihre Entscheidungen im Zeitverlauf auswirken. Eine weitere Stärke dieser Methode besteht in ihrem Spielcharakter mit dem eine starke Motivationswirkung einhergehen kann. Allerdings werden bei den meisten

Planspielen die Zusammenhänge des zugrunde liegenden Modells nicht oder kaum veranschaulicht (vgl. Arndt 2013).

Eine bemerkenswerte Ausnahme hierzu bildet beispielsweise das Planspiel Democracy-3, das für die Förderung systemischen Denkens im Wirtschaftsunterricht gut geeignet ist. Hierbei übernimmt der Spieler die Rolle der Regierung eines Landes und muss Entscheidungen in verschiedenen Bereichen treffen, die vielfach vernetzt sind und im Zeitverlauf unterschiedliches Verhalten aufweisen. Darüber hinaus sind die komplexen Zusammenhänge übersichtlich veranschaulicht. Ein Nachteil des Spiels, der sich gegebenenfalls in Kooperation mit der Englischlehrkraft mindern lässt, besteht darin, dass es derzeit lediglich in Englisch verfügbar ist.

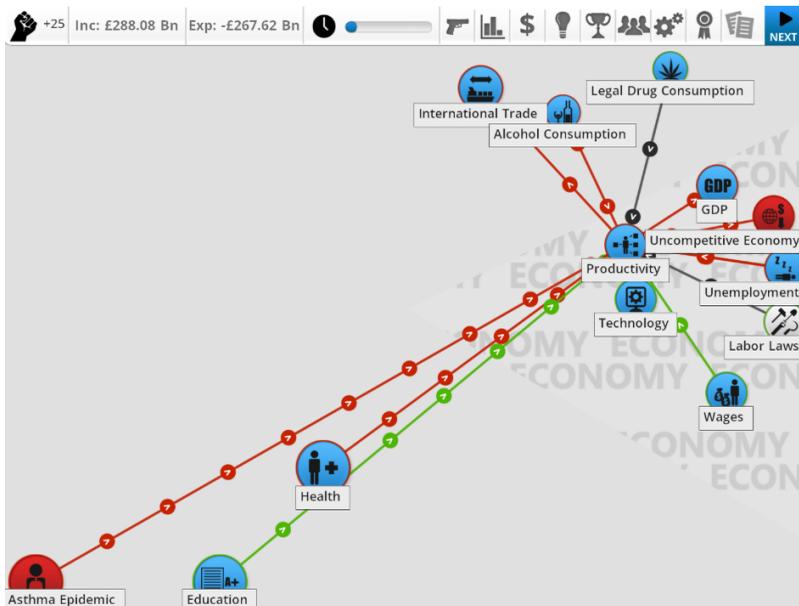


Abbildung 2: Screenshot des Planspiels Democracy-3.

Da neben wirtschaftlichen Zusammenhängen vor allem politische Fragen im Zentrum des Spiels stehen, bietet sich hierfür die Zusammenarbeit mit dem Fach Politik an, beispielsweise im Rahmen eines Projekts. Das Spiel ist für ca. 3 Euro für iPads und zu einem etwas höheren Preis für PCs erhältlich, wobei auch günstigere Schullizenzen erworben werden können.

- Ein für den betriebswirtschaftlich ausgerichteten Unterricht wichtiger Modelltyp sind Enterprise-Resource-Planning-Programme wie *Business One* von SAP oder *Microsoft Dynamics ERP*. Sie bilden Unternehmen in ihren Mengen- und Wertströmen umfassend im Computer ab. Allerdings sind die Zusammenhänge der unternehmensinternen und der unternehmensübergreifenden Waren- und Informationsflüsse für die Softwarenutzer, die meist nur einen kleinen Teilbereich bearbeiten, oft nicht erkennbar. Dies ist scheinbar auch nicht notwendig, da die Software die Koordination übernimmt; Teilaufgaben verschwinden sozusagen hinter der Bildschirmoberfläche. Mit der einhergehenden reduzierten Transparenz geht Wissen um die Strukturen und Zusammenhänge tendenziell verloren (vgl. Getsch/Preiss 2003). Dieser Gefahr gilt es im Unterricht zu begegnen, zum Beispiel durch die zusätzliche Verwendung grafischer Modelle.
- Grafische Modelle wie ereignisgesteuerte Prozessketten, Wirkungsdiagramme und die System-Dynamics-Notation beziehungsweise Flussdiagramme sind dagegen sehr anschaulich und können im Allgemeinen besser verstanden und erinnert werden. Eine einfache und sehr effektive Methode zur Förderung systemischen Denkens ist die qualitative Modellierung mit Wirkungsdiagrammen. Sie sind insbesondere zur Darstellung von Systemen mit Vernetzungen und Rückkopplungsschleifen geeignet.

- Im Hinblick auf die Förderung systemischen Denkens ist neben der Arbeit mit Wirkungsdiagrammen die Modellierungs- und Simulationsmethode System Dynamics besonders vielversprechend. Ihr Einsatz im Fach wird anhand der beiden folgenden Beispiele veranschaulicht.

4. Beispiel ‚Vermögensentwicklung‘

4.1 Überblick

Gegenstand dieser Lernsequenz ist die Entwicklung eines Vermögensstocks im Zeitverlauf, wobei die Auswirkungen der Verzinsung, der Inflation und der Kapitalertragssteuer berücksichtigt werden.

Neben der Verbesserung des systemischen Denkens inklusive seiner Teilfacetten (vgl. Artikel ‚Systemisches Denken im Fachunterricht‘ Abschnitt 3) können die Lernenden erfassen, ...

- wie sich exponentielles Wachstum darstellt,
- wie stark sich unterschiedliche Zinssätze im Zeitverlauf aufgrund des Zinseszins effekts auswirken,
- dass Nominalwerte von realen Größen zu unterscheiden sind und die Kaufkraft durch Inflation reduziert wird,
- wie sich Kapitalertragssteuern auf den realen Vermögenswert auswirken.

Die Lernumgebung basiert auf dem explorativen Modellieransatz. Die Lernenden entwickeln also keine eigenen Modelle, sondern untersuchen und variieren vorhandene Dateien. Weiterhin sollen Wirkungsdiagramme erstellt werden. Das Modell weist Charakteristika der generischen Struktur ‚exponentielles Wachstum‘ auf (vgl. Artikel ‚Generische Strukturen und Archetypen‘).

Je nach Intensität der Modellexploration und geplanten Eigenaktivität werden ca. ein bis zwei Unterrichtsstunden für die Lernsequenz benötigt, die nur geringe Vorkenntnisse bezüglich System Dynamics und der Software *Insight Maker* voraussetzt.

4.2 Fachlicher Hintergrund

Verzinstes Kapital wächst aufgrund von Zinseszinsseffekten exponentiell. Im Hinblick auf die damit einhergehende Kaufkraft ist jedoch der inflationsverursachte Wertverlust zu berücksichtigen beziehungsweise der nominale Wert des Kapitals von seinem realen Wert zu unterscheiden. Hinzu kommt, dass Steuern den Anstieg des Kapitals reduzieren. So liegt die Kapitalertragssteuer derzeit bei 25 %, die sich um den Solidaritätszuschlag und gegebenenfalls die Kirchensteuer erhöht, sodass die Versteuerung des Kapitalzuwachses ohne Berücksichtigung von Freibeträgen bei ca. 30 % liegt.

Aus dieser Konstellation ergibt sich, dass Kapitalanlagen wie festverzinsliche Wertpapiere mit vermeintlich guten Anlagekonditionen unter Umständen zu einem Kaufkraftverlust führen können.

4.3 Die Struktur der Unterrichtsreihe

4.3.1 Allgemeine Hinweise

Grundsätzlich empfiehlt sich bei der Bearbeitung der vorliegenden Lernumgebung, die im Artikel ‚Lernen mit System Dynamics‘ in Abschnitt 6.4 zu berücksichtigen. Darüber hinaus sei angemerkt, dass in den nachstehenden Abschnitten die grundsätzliche Struktur des Lernprozesses erörtert ist, der anhand der Modelle und Arbeitsblätter geleitet wird. Die didaktische Detailplanung sollte von der Lehrkraft erfolgen, da sich abhängig von der Klassenzusammensetzung, den technischen Rahmenbedingungen oder den angestrebten Lernzielen eine unterschiedliche Unterrichtsgestaltung anbietet.

4.3.2 Vorschläge zum Unterrichtsverlauf

Als Einstieg in die Thematik kommen verschiedene Möglichkeiten in Betracht. Denkbar wäre, die Schüler mit der bekannten Aussage zu konfrontieren, dass ‚die Reichen immer reicher‘ würden, wozu sich meist ohne großen Aufwand aktuelle Belege finden lassen (vgl. Beardsley et al. 2015). In der folgenden Unterrichtsphase wäre herauszuarbeiten, dass Kapitalerträge eine wesentliche Ursache für den wachsenden Wohlstand von Vermögenden sind. Gleichzeitig sollte deutlich werden, dass wachsendes Vermögen oder eine zunehmende Zahl von Millionärshaushalten nicht unbedingt mit einem Zuwachs an Kaufkraft einhergehen muss.

Alternativ könnte die Lerneinheit mit einem Fall beginnen, in dem jemand einen Geldbetrag erbt. Dieser soll angelegt werden, beispielsweise um in weiterer Zukunft eine größere Anschaffung, wie ein Haus, tätigen zu können. Auch bei dieser Variante wäre der Kaufkraftverlust durch Inflation zu erörtern.

Nach dem Einstieg sollte eine intensivere Auseinandersetzung mit den Sachverhalten erfolgen, wobei sich methodisch die Modellierung mit Wirkungsdiagrammen anbietet. Ein inhaltlicher Input kann beispielsweise durch einen kurzen Lehrvortrag oder anhand eines Informationsblatts erfolgen. Je nach Vertrautheit der Lerngruppe mit Wirkungsdiagrammen können sie gemeinsam im fragend-entwickelnden Unterricht konzipiert oder selbstständig von den Schülern in Partner- beziehungsweise Kleingruppenarbeit erstellt werden (vgl. Abschnitt 4.3.3).

Auf Basis des Verständnisses, das durch das Erstellen der Wirkungsdiagramme erarbeitet wurde, kann sich die Lerngruppe mit dem System-Dynamics-Modell auseinandersetzen (vgl. Abschnitt 4.3.4). Der Explorationsprozess lässt sich dabei anhand des Arbeitsblatts strukturieren.

Abschließend können Transferfragen erörtert werden, beispielsweise wo sich ähnliche Strukturen finden lassen.

4.3.3 Die Wirkungsdiagramme

Zunächst sollte der grundlegende Sachverhalt des exponentiellen Vermögenswachstums durch Zinsen dargestellt werden und ist dann um den Kaufkraftverlust durch Inflation zu ergänzen (Abbildung 3). In einem dritten Schritt erfolgt die Ergänzung des Diagramms um die Auswirkungen der Kapitalertragssteuer (Abbildung 4).

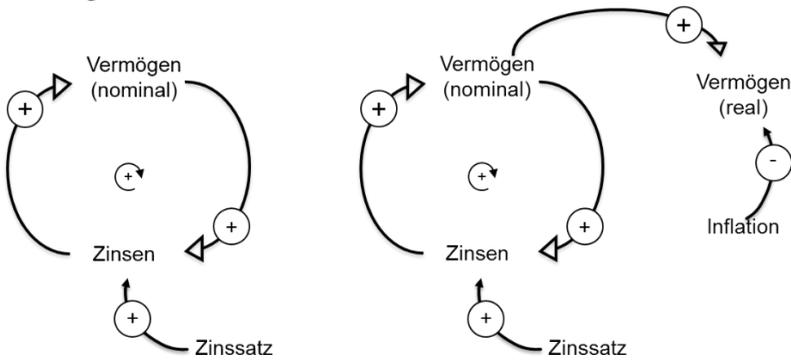


Abbildung 3: Wirkungsdiagramm zum Vermögenswachstum I und II.

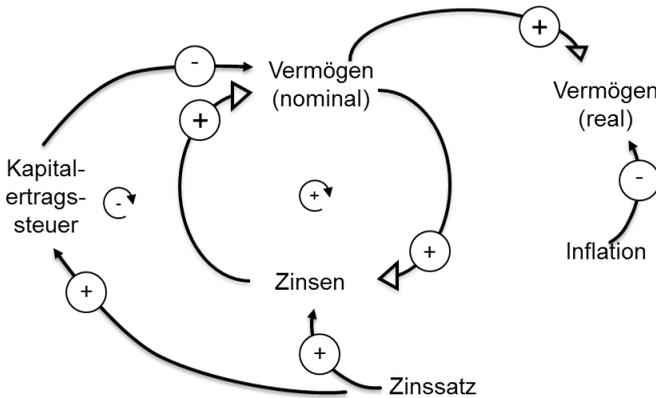


Abbildung 4: Wirkungsdiagramm zum Vermögenswachstum III.

4.3.4 Das System-Dynamics-Modell zur Vermögensentwicklung

Abbildung 5 zeigt das System-Dynamics-Modell und einen Simulationslauf, bei dem auch Werte für Inflationsrate und Kapitalertragssteuer eingetragen sind.

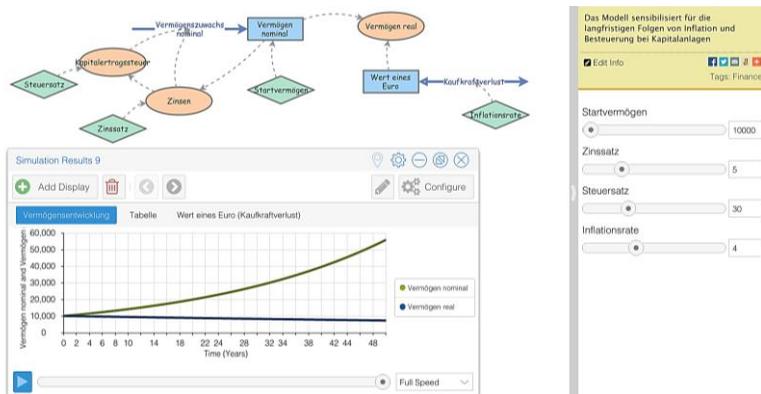


Abbildung 5: System-Dynamics-Modell zur Vermögensentwicklung.

Da sich die Lernenden zum Zeitpunkt der Konfrontation mit dem Modell bereits mit den Sachverhalten durch die Erstellung des Wirkungsdiagramms auseinandergesetzt haben, dürfte ihnen das Modell und seine Zusammenhänge leicht verständlich sein. Analog zum Vorgehen bei der Erarbeitung der Inhalte empfiehlt sich auch bei der Arbeit mit dem Modell ein schrittweises Vorgehen: Zunächst sollte lediglich der Zinssatz variiert, anschließend die Inflationsrate berücksichtigt und erst dann die Kapitalertragssteuer variiert werden. Vor den jeweiligen Simulationsläufen bietet sich an, die Ergebnisse der Simulation zumindest grob zu schätzen.

Zwar kann die Arbeit mit dem Modell auch im Rahmen fragend-entwickelnden Unterrichts erfolgen, allerdings liegt die selbstständige Auseinandersetzung mit dem Modell in Kleingruppenarbeit näher. Diese Schülerarbeitsphase kann mithilfe des Arbeitsblatts (vgl. Abschnitt 4.4) erfolgen.

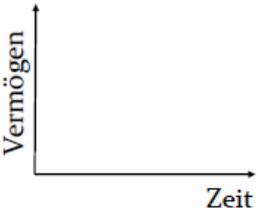
4.4 Arbeitsblätter²

Untersuchen Sie mithilfe des Modells ‚Vermögensentwicklung‘ anhand der Aufgaben den Einfluss des Zinssatzes, der Inflationsrate und des Steuersatzes auf die Entwicklung des Vermögens.

I Einfluss des Zinssatzes

Schätzen Sie bei den Aufgaben *zuerst* die groben Werte und den Verlauf des Diagramms selbst ab. Überprüfen Sie erst *danach* Ihre Vermutung mit einem Simulationslauf. Halten Sie auch fest, was Sie überraschend oder bemerkenswert finden.

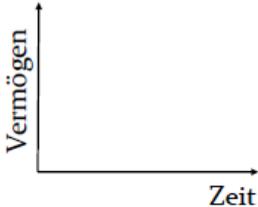
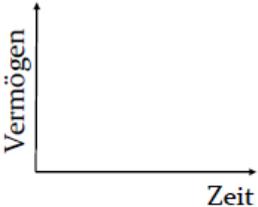
a) Wie wird sich das Vermögen (nominal) entwickeln, wenn Zinssatz, Inflationsrate und Steuersatz bei 0 liegen?

	Ihre Schätzung	Simulationsergebnis
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Diagramm (Grobskizze)		

Anmerkungen:

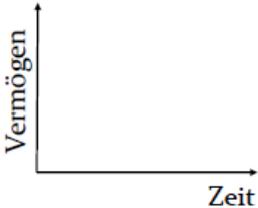
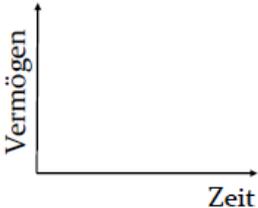
² Die Arbeitsblätter können als bearbeitbares Word-Dokument von www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken heruntergeladen werden.

b) Erhöhen Sie nun den Zinssatz auf 2 %.

	Ihre Schätzung	Simulationsergebnis
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Diagramm (Grob-skizze)		

Anmerkungen:

c) Verdoppeln Sie den Zinssatz auf 4 %.

	Ihre Schätzung	Simulationsergebnis
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Diagramm (Grob-skizze)		

Anmerkungen:

II Bedeutung der Inflationsrate

a) Erläutern Sie die Auswirkungen der Inflation auf die Kaufkraft des Geldes. Erklären Sie den Unterschied zwischen dem nominalen und dem realen Vermögen.

b) Experimentieren Sie mit unterschiedlichen Werten für Zinssätze und Inflationsraten. Was fällt Ihnen bezüglich der Entwicklung der nominalen und realen Vermögen auf?

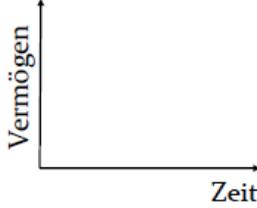
III Auswirkungen von Kapitalertragssteuern

a) Welchen Einfluss haben Kapitalertragssteuern auf die Vermögensentwicklung?

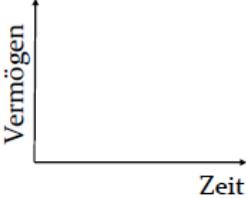
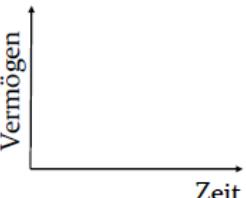
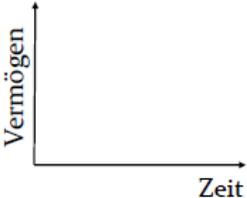
Normalerweise ist die Realverzinsung (also der Zinssatz abzüglich der Inflationsrate) positiv. Das bedeutet, dass das reale Vermögen im Zeitverlauf anwächst, wenn Steuern nicht berücksichtigt werden. Nun soll untersucht werden, ob die Steuern sich bei gleicher Realverzinsung in unterschiedlichen Szenarien auswirken.

Stellen Sie die Kapitalertragssteuer bei nachstehenden Untersuchungen immer auf den gleichen Wert (etwa die in Deutschland üblichen 30 %) ein.

b) Gehen Sie zunächst von einem Umfeld mit niedriger Inflationsrate (1 %) und niedrigen Zinsen (2 %) aus. Schätzen Sie die Entwicklung ein und überprüfen Sie Ihre Vermutung mit einem Simulationslauf.

	Ihre Schätzung	Simulationsergebnis
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Diagramm (Grobskizze)		
Vermögen (real) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (real) nach 50 Perioden – Diagramm (Grobskizze)		

c) Gehen Sie jetzt von einem Umfeld mit gleicher Realverzinsung aber hoher Inflationsrate (6 %) und hohen Zinsen (7 %) aus. Schätzen Sie die Entwicklung ein und überprüfen Sie Ihre Vermutung mit einem Simulationslauf.

	Ihre Schätzung	Simulationsergebnis
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (nominal) nach 50 Perioden – Diagramm (Grobskizze)		
Vermögen (real) nach 50 Perioden – Zahlenwert		
Vermögen (real) nach 50 Perioden – Diagramm (Grobskizze)		

d) Erklären Sie die Unterschiede der beiden Szenarien.

4.5 Lösungshinweise zu den Arbeitsblättern

In der ersten Aufgabe wird lediglich der Einfluss des Zinssatzes auf die nominale Vermögensentwicklung untersucht.

Bei einem Zinssatz von 0 ändert sich der Wert nicht, was kaum überraschend sein sollte. Wird der Zinssatz auf 2 % erhöht, steigt das Vermögen auf 26.915 € an. Aus dem Graphen wird das exponentielle Wachstum des Nominalvermögens ersichtlich. Bei einer Verdoppelung des Zinssatzes steigt das Vermögen überproportional auf 71.066 € an, was einige Lernende verwundern dürfte und folglich in der Besprechung erläutert werden sollte.

Teil a) der zweiten Aufgabe soll den Lernenden bewusst machen, dass Inflation die Kaufkraft des Vermögens reduziert. Während das nominale Vermögen lediglich den Geldbestand zum jeweiligen Zeitpunkt zum Ausdruck bringt, ist das reale Vermögen um die Inflation beziehungsweise den damit einhergehenden Kaufkraftverlust bereinigt. Insofern stellt das reale Vermögen die aussagekräftigere Information dar.

Auf diesen Erkenntnissen aufbauend sollen die Schüler im zweiten Teil der Aufgabe den Einfluss verschiedener Zinssätze und Inflationsraten analysieren. Bei der Besprechung ist herauszustellen, dass ...

- bei Zinssätzen > 0 das nominale Vermögen immer (exponentiell) ansteigt,
- bei Zinssätzen $>$ Inflationsrate auch das reale Vermögen ansteigt, wenngleich in der Regel langsamer als das nominale Vermögen (außer bei negativen Inflationsraten),

- bei Zinssätzen $<$ Inflationsrate das nominale Vermögen zwar ansteigt (natürlich nur bei positiven Zinssätzen, was in Zeiten sehr lockerer Geldpolitik nicht mehr selbstverständlich ist), aber das reale Vermögen sinkt. Dies bedeutet, dass das Sparen mit Kaufkraftverlusten einhergeht.

Weiterhin sollte in der Besprechung der Begriff der Realverzinsung als Differenz zwischen Zinssatz und Inflationsrate eingeführt werden.

Im Rahmen der dritten Aufgabe wird zusätzlich der Einfluss der Kapitalertragssteuer berücksichtigt. Die erste Teilaufgabe soll den Schülern lediglich vergegenwärtigen, dass Kapitalertragssteuern den Zuwachs des Nominalvermögens reduzieren.

Durch die folgenden Teilaufgaben sollen die Schüler erkennen, inwiefern sich Kapitalertragssteuern trotz gleicher Realverzinsung unterschiedlich auf die Vermögensentwicklung auswirken können. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass sich die Kapitalertragssteuer bei hohen Zinssätzen stärker auswirkt und gleichzeitig die erhöhte Inflation einen starken Kaufkraftverlust mit sich bringt.

4.6 Ausblick

Zum Ende der Lernsequenz könnte überlegt werden, für welche Situationen strukturell ähnliche Modelle verwendet werden könnten. So wäre denkbar, ein Modell aus der Schuldnerperspektive zu kreieren, in dem die Entwicklung des Schuldenstands dargestellt wird. Hierfür wären die Bezeichnungen von ‚Vermögen‘ in Schulden zu ändern, die Kapitalertragssteuer zu löschen und noch ein Abfluss von ‚Schulden nominal‘ in Höhe einer Tilgung zu ergänzen.

Das zugehörige Modell, das ebenfalls auf der Website des Buchs verlinkt ist, könnte wie folgt aussehen:

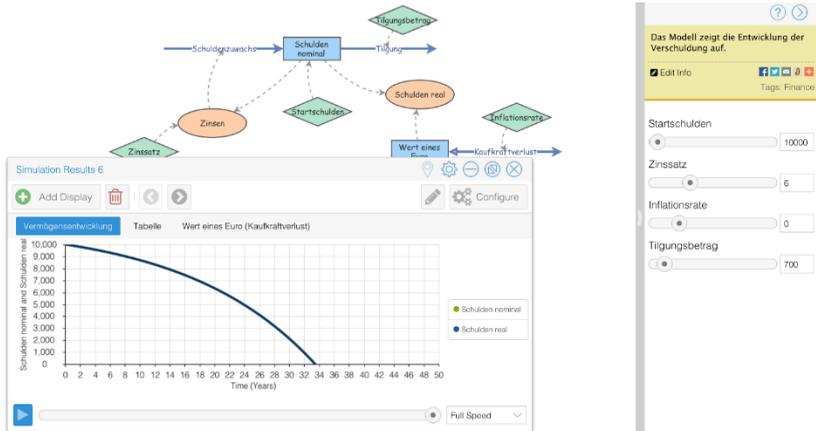


Abbildung 6: Modell zur Schuldenentwicklung.

Wenn die Schüler bereits über ein wenig Erfahrung mit *Insight Maker* verfügen, können sie das Modell gegebenenfalls selbst erstellen. Alternativ lässt sich das fertige Modell auch öffnen und gegebenenfalls weiterentwickeln.³

³ Denkbar ist beispielsweise die Berücksichtigung einer Sondertilgung, die während der Simulation mit unterschiedlichen Werten erfasst werden kann. Hierfür muss neben der Ergänzung des Modells in den Simulationseinstellungen noch ein Pauseintervall festgelegt werden, sodass die Simulation immer wieder zur Eingabe des Tilgungsbetrags unterbrochen wird.

5. Beispiel ‚Konsequenzen wirtschaftspolitischer Maßnahmen vor dem Hintergrund des globalen Standortwettbewerbs‘⁴

5.1 Überblick

Die Lernumgebung setzt sich mit den kurz- und langfristigen Wirkungen wirtschaftspolitischer Entscheidungen auseinander, wobei auch der Einfluss anderer Länder berücksichtigt wird.

Neben der Verbesserung des systemischen Denkens inklusive seiner Teilfacetten (vgl. Artikel ‚Systemisches Denken im Fachunterricht‘ Abschnitt 3) können mit der nachstehend vorgestellten Lernsequenz die im Abschnitt 5.2 adressierten Inhalte und Zusammenhänge gelernt oder vertieft werden, etwa ...

- Bedeutung von Standortfaktoren vor dem Hintergrund des internationalen Standortwettbewerbs,
- Auswirkungen von (Unternehmens-)Steuern auf die Standortattraktivität und Finanzierungsmöglichkeiten eines Lands,
- kurz- und langfristige Auswirkungen von Steuersätzen, Verschuldung und Investitionen,
- Folgen, die sich aus dem Wettbewerb mehrerer Länder ergeben können (Protektionismus, Absprachen/Kooperation, race to the bottom),
- Bedeutung des Wirtschaftswachstums.

⁴ Einige Passagen des zweiten Abschnitts und Elemente von 5.3.2 – 5.3.6.1 entsprechen Arndt, Holger (2007 b): Wirtschaftspolitische Maßnahmen und ihre Folgen. In: Unterricht Wirtschaft, 29/2007, S. 29 – 33.

Darüber hinaus können die Schüler aufgrund des integrierten Planspiels lernen, ...

- Strategien zu entwickeln und zu formulieren,
- (komplexe) Probleme zu analysieren, zu beurteilen und diese angemessen zu lösen,
- Entscheidungen unter Unsicherheit und Zeitdruck zu treffen,
- Rückmeldungen zu interpretieren und auf dieser Basis gegebenenfalls neue Strategien zu entwickeln,
- in einer Gruppe zu arbeiten und zu kommunizieren.

Die Lernumgebung basiert überwiegend auf dem explorativen Modellieransatz. Die Lernenden entwickeln also keine eigenen Modelle, sondern untersuchen und variieren vorhandene Dateien. Allerdings sind an geeigneten Stellen Hinweise zur eigenständigen Weiterentwicklung der Modelle angeführt, so dass auch expressiv modelliert werden kann. Weiterhin können zu den geschilderten Sachverhalten auch Wirkungsdiagramme erstellt werden. Im Wesentlichen weisen die Modelle Charakteristika der generischen Strukturen ‚Zielwertannäherung‘, ‚exponentielles Wachstum‘ und ‚Eskalation‘ auf (vgl. Artikel ‚Generische Strukturen und Archetypen‘).

Zum Abschluss der Lernsequenz kann ein konkurrenzorientiertes Planspiel, das auf den vorher erarbeiteten Sachverhalten und Modellen basiert und diese vertieft, durchgeführt werden.

5.2 Darstellung des fachlichen Hintergrunds

Im Zuge der zunehmenden Globalisierung hat sich die Mobilität von Unternehmen in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht. Wesentliche Treiber dieses Prozesses waren unter anderem Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie, im Transportwesen, politische Entwicklungen (Ende des

Kalten Kriegs, Europäische Integration) und multinationale Verhandlungen zur wirtschaftlichen Liberalisierung (GATT/WTO). Vor diesem Hintergrund greifen Analysen zu kurz, die wirtschaftspolitische Entscheidungen primär unter intranationalen Gesichtspunkten wie Verteilungsgerechtigkeit oder kurzfristiger Interessen diskutieren. Angesichts des zunehmenden Standortwettbewerbs souveräner Staaten sind *auch* die Konsequenzen wirtschaftspolitischer Entscheidungen auf die Standortattraktivität in den Blick zu nehmen und sollten nicht völlig isoliert von den Standortbedingungen anderer Länder getroffen werden.

Faktoren, die die Standortattraktivität eines Landes beeinflussen sind beispielsweise Steuersätze für Unternehmen und Kapitalerträge, Ausgestaltung des Arbeitsrechts (unter anderem bezüglich Kündigungsschutz, Mitbestimmung), Kaufkraft und Qualifikationsniveau der Bevölkerung, rechtliche, politische und wirtschaftliche Stabilität, bürokratischer Aufwand oder Qualität der Infrastruktur.

Im Rahmen der Lernsequenz wird der Schwerpunkt auf finanzielle Aspekte der Standortattraktivität gelegt und dort insbesondere auf die Steuersätze für Unternehmen. Darüber hinaus wird die Ausgabenstruktur (Investitionen und Konsum) des Staats, sein Vermögen inklusive Zinszahlungen, die Zahl der Unternehmen, welche die Wirtschaftskraft eines Landes repräsentieren, das Wirtschaftswachstum und die Zufriedenheit der Bevölkerung in den Blick genommen. Abbildung 7 bringt einen Großteil der unterstellten Zusammenhänge dieser Größen zum Ausdruck:⁵

⁵ Parallel zur Bearbeitung der Modelle kann dieses Wirkungsdiagramm auch während des Unterrichts schrittweise entwickelt werden.

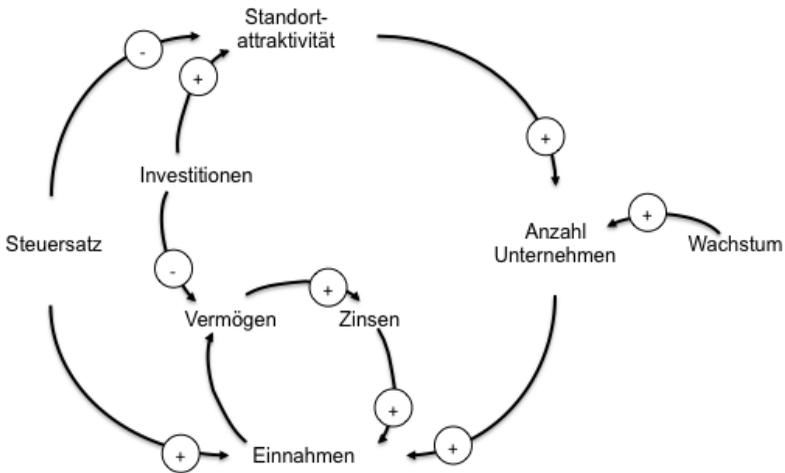


Abbildung 7: Zentrale Größen im Zusammenhang.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die Zufriedenheit der Bevölkerung nicht in diesem Wirkungsdiagramm dargestellt. Im Rahmen der Lernsequenz wird sie als abhängig vom (Staats-) Konsum inklusive Sozialleistungen, der Anzahl der Unternehmen und dem Vermögen beziehungsweise der Schulden des Staats modelliert:

- Konsum: Höhere Konsumausgaben des Staats wie Sozialtransfers erhöhen offensichtlich die Zufriedenheit der davon profitierenden Bevölkerungsgruppen.
- Anzahl Unternehmen: Zunächst gehen mit den Unternehmen auch Arbeitsplätze und individueller Wohlstand einher. Darüber hinaus ist diese aggregierte Größe ein Indikator für die Wirtschaftskraft eines Landes, was ebenfalls zu einer mehrheitlich zufriedenen Bevölkerung führen dürfte.
- Positive Vermögensbestände sind nicht nur ein Indikator für eine erfolgreiche Wirtschaftspolitik, sondern zeigen auch Spielräume für künftige Aktivitäten an. Umgekehrt

ist eine hohe Verschuldung im Hinblick auf die Zukunftsperspektiven problematisch, was von einem Großteil der Bevölkerung kritisch gesehen werden dürfte.

Die Zufriedenheit der Bevölkerung mit der Wirtschaftspolitik ist in demokratischen Gesellschaften eine wesentliche Größe, da Politiker in der Regel ein Interesse an ihrer Wiederwahl haben. Unter systemischer Perspektive sind dabei unterschiedliche Effekte wirtschaftspolitischer Maßnahmen im Zeitverlauf problematisch. So ist die schuldenfinanzierte Erhöhung des Staatskonsums zunächst für die davon profitierenden Bevölkerungsgruppen attraktiv. Langfristig sinken durch Schulden jedoch die Handlungsfähigkeit und der Wohlstand eines Lands, was durch Zinseszinsseffekte verstärkt wird. Umgekehrt können unpopuläre Maßnahmen wie das Senken der Sozialausgaben langfristig positive Auswirkungen haben. Ist der zeitliche Horizont politischer Entscheidungsträger auf die Dauer einer Legislaturperiode ausgerichtet, vermag dies zu langfristig unerwünschten Effekten führen.

Im Rahmen der Lernsequenz werden unter dem Gesichtspunkt der Dynamik insbesondere die Auswirkungen von Steuersatzänderungen, des Wachstums und der Zinsen untersucht.

Eine zentrale Frage ist beispielsweise, wie sich die Erhöhung von Unternehmenssteuersätzen auf die finanzielle Situation eines Landes auswirkt. Kurzfristig werden die Steuereinnahmen dadurch unbestritten steigen. Gleichzeitig ist mit Unternehmensabwanderungen zu rechnen, die eine geringere Besteuerungsbasis zur Folge hat. Ob dies langfristig jedoch zu sinkenden finanziellen Spielräumen führt, hängt ab von Faktoren wie der Migrationsaffinität der Unternehmen und dem Zinsniveau. Die Arbeit mit den Modellen verdeutlicht dabei nicht nur die Komplexität dieser Zusammenhänge, sondern zeigt auch die Prämissengebundenheit von Modellaussagen deutlich auf.

Dies wiederum vermag zu erklären, warum Wirtschaftswissenschaftler selbst bei Einigkeit über die grundlegenden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu unterschiedlichen Prognosen oder Empfehlungen kommen, wenn sie von verschiedenen Wirkungsstärken ausgehen.

Neben kurz- und langfristigen Konsequenzen von Maßnahmen ist die Berücksichtigung von Nebenwirkungen und anderen Akteuren ein wesentliches Element systemischen Denkens. So ist im Zusammenhang des Standortwettbewerbs zu berücksichtigen, wie andere Länder auf die Handlungen eines Staats reagieren könnten. Folgende Phänomene sind dabei in der Realität zu beobachten:

- Race to the bottom: Die Länder versuchen eine höhere Standortattraktivität als die Konkurrenten zu erreichen, beispielsweise über immer geringere Steuersätze. Wenn mehrere Länder so reagieren, ergeben sich keine Zuwächse bei den Unternehmenszahlen und stark reduzierte Steuereinnahmen.
- Alternativ sind Absprachen mit den Konkurrenten möglich, was im europäischen Kontext als ‚Harmonisierung‘ bezeichnet wird. Gleichwohl sind solche Absprachen labil, da ein Ausbrechen für einzelne Mitglieder kurzfristig attraktiv ist. Global betrachtet sind angesichts der Vielzahl der Länder und deren unterschiedlichen Ausgangsbedingungen solche Absprachen schwer durchsetzbar.
- Durch protektionistische Maßnahmen wie Kapitalverkehrsbeschränkungen und Einfuhrzölle lässt sich der Konkurrenzdruck abmildern. Diese Maßnahme hat sich historisch jedoch nur bedingt bewährt, da die inländischen Unternehmen durch die geringere Konkurrenz bequemer werden, sie an internationalen Märkten an Wettbewerbsfähigkeit verlieren und die Leistungen im Inland dadurch schlechter und teurer werden. Darüber

hinaus reagieren andere Länder häufig ebenfalls mit Zugangsbeschränkungen zu ihren Märkten und die Vorteile internationaler Arbeitsteilung gehen verloren. In den Modellen lässt sich die Strategie des Protektionismus durch eine Reduzierung des Migrationsfaktors (im Extremfall bis auf null) abbilden.

- Angesichts der Vielschichtigkeit, Komplexität und Vernetztheit der Thematik können an dieser Stelle bei Weitem nicht alle Aspekte erörtert werden. Weitere Ausführungen finden sich bei den Lösungshinweisen zu den Arbeitsblättern (vgl. Abschnitt 5.4). Außerdem sind die Lernumgebung und die Modelle so offen gestaltet, dass Vertiefungen und Ergänzungen je nach Erkenntnisinteresse an vielen Stellen möglich sind.

5.3 Die Struktur der Unterrichtsreihe

5.3.1 Allgemeine Hinweise

Grundsätzlich sollten bei der Bearbeitung der vorliegenden Lernumgebung, die Empfehlungen in Abschnitt 6.4 des Artikels ‚Lernen mit System Dynamics‘ zur Unterrichtsgestaltung und zum Einsatz der Lernumgebungen berücksichtigt werden. Darüber hinaus sei angemerkt, dass in den nachstehenden Abschnitten die grundsätzliche Struktur des Lernprozesses erörtert ist, der anhand der Modelle und Arbeitsblätter geleitet wird. Die didaktische Detailplanung sollte von der Lehrkraft erfolgen, da sich abhängig von der Klassenzusammensetzung, den technischen Rahmenbedingungen oder den angestrebten Lernzielen eine unterschiedliche Unterrichtsgestaltung anbietet.

5.3.2 Einstieg in die Lernsequenz und Analyse des Basismodells

Der Einstieg in die Lernsequenz könnte mit einer Frage erfolgen: ‚Wer von Ihnen/Euch glaubt, dass ...

- Steuereinnahmen durch Erhöhung des Steuersatzes **steigen** werden?
- Steuereinnahmen durch Erhöhung des Steuersatzes **sinken** werden?
- die Veränderung der Steuereinnahmen anhand dieser Informationen nicht prognostizierbar ist?‘

Alternativ wäre unter anderem denkbar, mit einem (Zeitungs-) Artikel über die Wirkungen von Steuererhöhungen oder die Migration von Unternehmen zu beginnen.

Der Sachverhalt internationaler Konkurrenz wird in den Modellen durch zwei Länder abgebildet. ‚Land 1‘ ist das ‚eigene‘ Land, in dem wirtschaftspolitische Entscheidungen wirken. In der Bestandsgröße ‚Land 2‘ sind prinzipiell alle anderen Länder zusammengefasst.

Über die Größe ‚Anzahl Unternehmen‘ wird in den Modellen etwas abstrahiert die Wirtschaftskraft eines Landes erfasst, da davon unter anderem Wohlstand der Bevölkerung, Arbeitslosigkeit und Steuereinnahmen wesentlich betroffen sind.

Zu Beginn haben beide Länder gleich viele Unternehmen. Bei unterschiedlichen Standortattraktivitätswerten werden Unternehmen jedoch in das attraktivere Land wechseln. Die Migrationshöhe hängt von drei Faktoren ab:

1. Der Differenz der Standortattraktivitätswerte: Je stärker die Unterschiede zwischen den Ländern, desto mehr Unternehmen werden in das attraktivere Land wechseln.

2. Der verbliebenen Unternehmenszahl im unattraktiveren Land: Die Abwanderung wird nicht absolut berechnet, sondern relativ beziehungsweise prozentual zur verbliebenen Unternehmenszahl. Hat ein Land noch sehr viele Unternehmen, werden mehr abwandern, als wenn nur noch wenige verblieben sind.
3. Dem Migrationsfaktor: Über den Migrationsfaktor wird die Wanderungsgeschwindigkeit beziehungsweise Affinität und Möglichkeit zum Standortwechsel abgebildet. In einem protektionistischen Umfeld wäre ein niedriger Faktor zu wählen, während liberale und konkurrenzorientierte Szenarien mit größeren Zahlen abzubilden sind.

Da diese Zusammenhänge grundlegend für die späteren Überlegungen sind, sollen sich die Schüler intensiv damit auseinandersetzen, wozu das erste Modell dient (vgl. Abbildung 8).

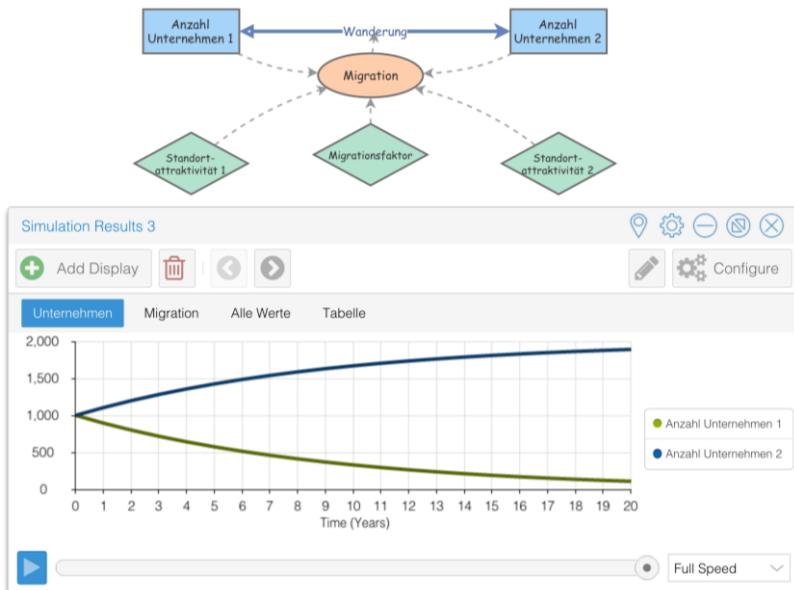


Abbildung 8: Das Basismodell.

Sowohl durch Analysen des Modells selbst als auch durch Simulationsläufe mit unterschiedlichen Einstellungen der Standortattraktivitäten und des Migrationsfaktors erarbeiten sich die Lernenden ein entsprechendes Verständnis. Der zugehörige Erkenntnisprozess wird durch das erste Arbeitsblatt strukturiert. Ein wesentlicher Teil des Lernens mit Modellen besteht im Vergleich und Transfer des Modells auf die Wirklichkeit, indem die abstrakten Modellgrößen konkretisiert werden. Dem dienen die letzten Fragen des Arbeitsblatts, das um weitere Fragen ergänzt werden kann, wie beispielsweise ...

- Wie hat sich Ihrer Meinung nach der Migrationsfaktor (die Mobilität der Unternehmen) in den letzten Jahrzehnten geändert? Begründen Sie!
- Welche Konsequenzen hat die Veränderung des Migrationsfaktors für die Wirtschaftspolitik eines Landes?

Die angeführten Sachverhalte können auch als Wirkungsdiagramm dargestellt werden:

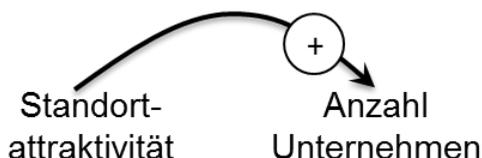


Abbildung 9: Wirkungsdiagramm des grundlegenden Sachverhalts.

5.3.3 Die Auswirkungen von Steuern

Auf das Grundmodell aufbauend werden – mit zunehmendem Komplexitätsgrad – die Konsequenzen unterschiedlicher Besteuerungsstrategien untersucht. Ausgangspunkt ist ein negativer Zusammenhang zwischen Standortattraktivität und Höhe des Steuersatzes, der durch eine doppelt geknickte Kurve in das Modell eingeht (vgl. Abbildung 10).

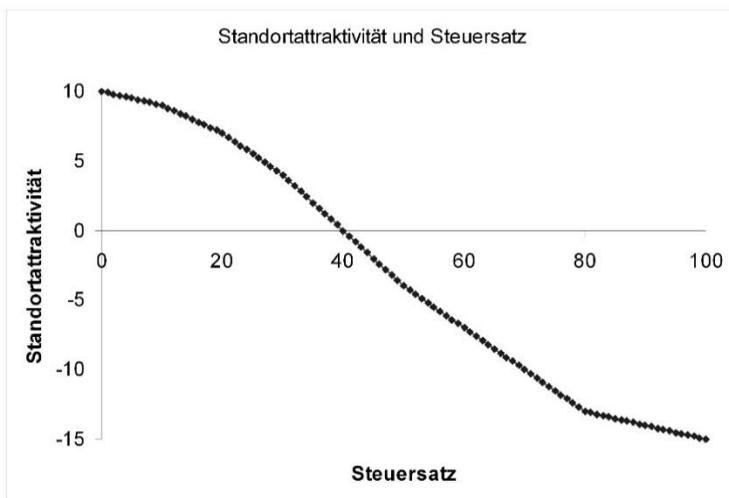


Abbildung 10: Einfluss des Steuersatzes auf die Standortattraktivität.

Die entsprechende Kurve sollte im Unterricht besprochen und (kritisch) hinterfragt werden. Eine diesbezügliche Frage des Arbeitsblatts nach der ‚richtigen‘ Kurve soll zur Erkenntnis führen, dass es eine solche nicht gibt, da die zugrunde liegenden Sachverhalte zu komplex sind, um sich exakt erfassen zu lassen. So erkennen die Schüler die Prämissengebundenheit wissenschaftlicher Modelle und können besser verstehen, warum Wirtschaftswissenschaftler gelegentlich konträre Positionen vertreten.

Der Steuersatz beeinflusst jedoch nicht nur die Standortattraktivität, sondern – in Kombination mit der Anzahl der Unternehmen, die Steuern zahlen – auch die Steuereinnahmen und damit die Handlungsfähigkeit des Staats. Mithilfe von Simulationsläufen erarbeiten sich die Schüler das Verständnis eines komplexeren Zusammenhangs:

Die Höhe des Steuersatzes hat kurz- und langfristig unterschiedliche Steuereinnahmen zur Folge. Ein höherer Steuersatz führt beispielsweise anfangs zu höheren Steuereinnahmen. Gleichzeitig wandern Unternehmen ab, sodass die Einnahmen sinken. Wie stark sich dieses Phänomen auswirkt und welche Steuerstrategie folglich empfehlenswerter ist, wird wesentlich vom Migrationsfaktor beeinflusst. Durch zielgerichtete Simulationsläufe, deren Ergebnisse in Tabellen (vgl. Arbeitsblatt 2) einzutragen sind, und Analysen von Zeitgraphen (vgl. Abbildung 11) wird das entsprechende Verständnis erleichtert.

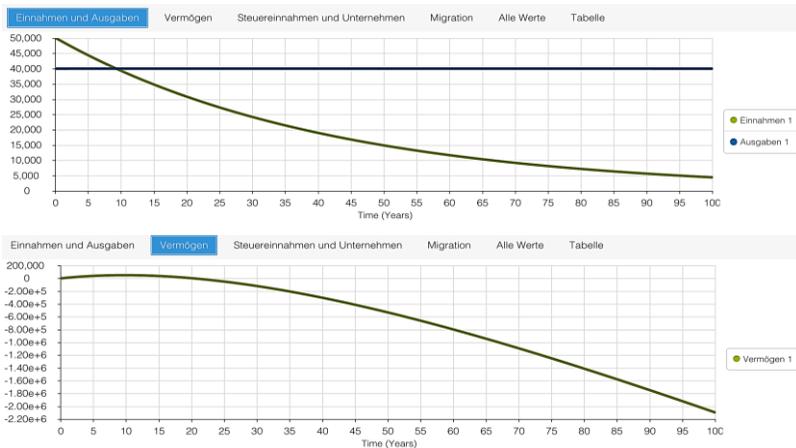


Abbildung 11: Kurz- und langfristige Auswirkungen eines erhöhten Steuersatzes.

Das darauffolgende Modell *Standortwettbewerb II c* berücksichtigt zusätzlich die Zinsen für erspartes Vermögen beziehungsweise Schulden, wodurch das Modell noch komplexer und realitätsnäher wird. Da aufgrund der Zinsen die kurzfristigen Haushaltsüberschüsse beziehungsweise Defizite stärker ins Gewicht fallen, ist die vorher erarbeitete Steuerstrategie (leicht verminderte Steuersätze führen langfristig zu den besten Ergebnissen) nicht mehr so allgemein gültig. Je nach Migrationsfaktor und Zinssatz sind unterschiedliche oder gar konträre Steuerstrategien sinnvoll. Diese Erkenntnis kann bei den Schülern eine differenzierte Denkweise und Skepsis gegenüber vermeintlich überzeugenden Patentrezepten fördern. Darüber hinaus erfolgt zum Ende dieser Lernsequenz ein Transfer auf die Situation in Deutschland, in dessen Rahmen die Verschuldung und Zinszahlungen Deutschlands zu eruieren und zu bewerten sind.

5.3.4 Höhe und Zusammensetzung der Ausgaben

Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen wird die Perspektive auf die Ausgabenseite des Haushalts ausgeweitet. Die Schüler können in den folgenden Modellen jeweils angeben, wie viel sie für Investitionen und Konsum ausgeben wollen. Diese beiden Begriffe sind im Unterricht hinreichend zu präzisieren und zu problematisieren; zum Beispiel zählen Ausgaben für Bildung zurzeit nicht als Investition im Sinne des Artikels 115 GG.

Im Rahmen der Modelle wirken sich Investitionen positiv auf die Standortattraktivität aus. Die Stärke dieses Einflusses ergibt sich aus einem Investitionswirkungsfaktor – mit diesem einstellbaren Regler können unterschiedliche Szenarien getestet werden, so haben in reiferen Volkswirtschaften Investitionen einen anderen Wirkungsgrad als in weniger entwickelten. Ferner lässt sich damit abbilden, wie effektiv die Ressourcen genutzt werden, auch hier bestehen teilweise erhebliche Unterschiede zwischen einzelnen Ländern.

Die Konsumausgaben wiederum haben – neben der Anzahl der Unternehmen und dem Vermögen eines Landes – Einfluss auf

die Zufriedenheit der Bevölkerung. Dies ist zugegebenermaßen eine sehr starke Vereinfachung. So hat der Staatskonsum auch wirtschaftsstimulierende und somit standortattraktivitätssteigernde Effekte. Außerdem wird die Zufriedenheit in erheblichem Maße von nichtwirtschaftlichen Aspekten geprägt. Dies in Modellen abzubilden und zu untersuchen, wäre jedoch sehr zeitintensiv, weswegen entsprechende Fragen eher mündlich zu vertiefen sind.

Mithilfe von Simulationsläufen können die Lernenden unterschiedliche Strategien zur Verbesserung der Standortattraktivität und Bürgerzufriedenheit testen und bewerten. Dabei sollten sie bemerken, dass kurzfristig und langfristig häufig gegenteilige Effekte eintreten.

So hat eine kurzfristige Erhöhung der Zufriedenheit aufgrund erhöhter Konsumausgaben, die durch Schulden finanziert werden, langfristig eine sinkende Zufriedenheit zur Folge.

Auch diese Untersuchungen sind möglichst auszuweiten und auf die Wirklichkeit zu übertragen. So drängt sich die Frage auf, wie Regierungen eine auf langfristigen Erfolg ausgerichtete Politik verfolgen können, ohne dadurch ihre Chancen auf eine erneute Amtszeit übermäßig zu reduzieren.

5.3.5 Einfluss des Wirtschaftswachstums

Die bisherigen Betrachtungen gingen von einem statischen Wirtschaftssystem aus, bei dem ein Land seine Wirtschaftsleistung (im Modell abgebildet durch die Anzahl der Unternehmen) nur auf Kosten eines anderen Lands steigern konnte. Durch Ergänzung der Modelle um Wirtschaftswachstum wird verdeutlicht, wie stark sich Wachstum auf die Haushaltslage und Zufriedenheit der Bevölkerung auswirkt. Durch Experimentieren mit unterschiedlichen Wachstumsraten erkennen Schüler auch, wie erheblich sich bereits ein Unterschied der Wachstumsrate um lediglich ein Prozent auswirkt. Aus dieser Erkenntnis heraus sind im Unterricht wachstumsfördernde wirtschaftspolitische

Maßnahmen zu erörtern, die bei hinreichender Modellierkenntnis und Zeit auch modelliert werden können. Gleichzeitig empfiehlt sich eine gewisse Relativierung, beispielsweise durch die Frage nach negativen Konsequenzen des Wirtschaftswachstums wie Umweltbelastung und Ressourcenverbrauch.

5.3.6 Planspiel: Zwei miteinander konkurrierende Länder

5.3.6.1 Die grundlegenden Zusammenhänge

In Konkurrenzsituationen beeinflussen Handlungen eines Akteurs in der Regel die Entscheidungen seiner Konkurrenten. Das Ausland beziehungsweise Land 2 war in seinem Entscheidungsverhalten bisher stets passiv. Um die Eigendynamik von Systemen mit konkurrierenden Akteuren besser zu erfassen, ist das Modell *Standortwettbewerb V* als konkurrenzorientiertes Planspiel angelegt. Dabei spielen jeweils zwei Gruppen gegeneinander, wobei sie in jeder Spielrunde sowohl über Steuersatz als auch über Ausgaben für Konsum und Investitionen entscheiden. Bei den Spielverläufen ist das Szenario ‚race to the bottom‘ besonders wahrscheinlich, bei dem sich die Spielgruppen gegenseitig zu ihrer beider Nachteil zu unterbieten suchen. Dieses Spielverhalten entspricht weitgehend der generischen Struktur ‚Eskalation‘ (vgl. Artikel ‚Generische Strukturen und Archetypen‘ Abschnitt 10) und lässt sich durch folgendes Wirkungsdiagramm zum Ausdruck bringen:

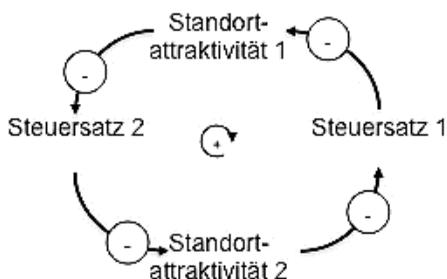


Abbildung 12: Wirkungsdiagramm zur Planspielstruktur ‚race to the bottom‘.

Alternative Spielverläufe wären ‚Harmonisierung‘ und gegebenenfalls ‚Konsumverzicht zugunsten hoher Investitionen‘ (vgl. Abschnitt 5.2), die durchaus auch in der Wirklichkeit zu beobachten sind. Sollten die Gruppen den Migrationsfaktor selbst festlegen können, käme ebenfalls die Strategie ‚Protektionismus‘ in Frage.

5.3.6.2 Überblick zum Verlauf des Planspiels

Abbildung 13 zeigt den allgemeinen Verlauf von Planspielen.

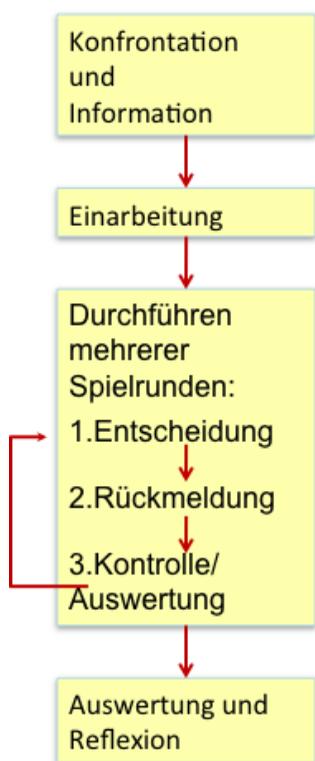


Abbildung 13: Verlauf von Planspielen.

5.3.6.2.1 Konfrontation, Information und Einarbeitung

Zunächst sind die Schüler mit der Ausgangssituation des Planspiels und ihren Modellannahmen zu konfrontieren. Da die Lernenden jedoch bereits mit den Modellen vertraut sind, kann dies recht schnell unter Hinweis auf das fünfte Arbeitsblatt erfolgen.

Es spielen immer zwei Gruppen gegeneinander, wobei sich jeweils eine Gruppengröße von zwei bis vier Mitgliedern empfiehlt. Dabei übernimmt jede Gruppe die Rolle eines Lands. Weiterhin empfiehlt sich, jeder Doppelgruppe, die gemeinsam ein Spiel spielt, einen weiteren Schüler als Moderator zur Seite zu stellen. Dieser kann sich beispielsweise sowohl um die Eingabe der Daten in das Modell als auch um die Einhaltung der Regeln und der Zeitvorgaben kümmern.

Weiterhin sollten die Schüler über die Anzahl der Spielrunden informiert werden, wobei nach Möglichkeit mindestens zehn Runden gespielt werden sollten. Bei kürzeren Spielverläufen wäre damit zu rechnen, dass die langfristigen Effekte der Entscheidungen nicht zum Tragen kommen, was den didaktischen Zielen der Lerneinheit zuwiderliefe.

Zu Beginn sollte den Schülern etwas mehr Zeit für eine Spielrunde eingeräumt werden (etwa 5 – 8 Minuten), da sie noch etwas mehr Zeit zur Orientierung und zur Diskussion der verfolgten Strategie benötigen dürften. In späteren Runden lässt sich dann die verfügbare Zeit deutlich reduzieren. Erfahrungsgemäß tendieren Gruppen bei Planspielen dazu, die Zeitvorgaben zu überschreiten. Gleichwohl ist die Fähigkeit, Entscheidungen unter Unsicherheit und Zeitdruck zu treffen, ein Lernziel des Planspiels. Eine Möglichkeit für die rechtzeitige Abgabe der Entscheidungskarte (vgl. Abschnitt 5.4.5) an den Moderator (oder, falls es keinen Moderator geben sollte, an die andere Spielgruppe) zu sorgen, besteht in der Ankündigung, bei verspäteten Abgaben einfach die gleichen Werte wie in der Vorrunde zu nehmen.

Im Hinblick auf das zu verfolgende Spielziel gibt es mehrere Optionen. Eine besteht darin, gar kein Ziel vorzugeben, die Lernenden einfach spielen zu lassen und am Ende im Rahmen der Reflexion darüber zu sprechen, welche Ziele die Gruppen verfolgt haben, ob sie die Ziele erreicht haben und ob die gesetzten Ziele denn sinnvoll waren. Ansonsten bieten sich als Ziele die Maximierung des Vermögens oder der Bevölkerungszufriedenheit an. Für Letzteres spricht, dass in diese Größe mit dem Vermögen, der Unternehmensanzahl und der Bevölkerungszufriedenheit mehrere Faktoren einfließen. Damit der Wert nicht manipuliert wird, indem die Lernenden in der letzten Spielrunde die Konsumausgaben stark erhöhen, wurde das Modell für das Planspiel um die Größe *Zufriedenheit kumuliert* ergänzt. Dieser Wert berücksichtigt nicht nur die letzte Spielperiode, sondern

bildet alle Zufriedenheitswerte während des Spiels ab und stellt insofern eine sinnvolle Zielgröße dar.

5.3.6.2.2 Durchführung der Spielrunden

Dort sind bei der ersten Spielrunde auch die Entscheidungsgrößen einzustellen. Anschließend wird die Simulation gestartet.

Die ca. 10 – 20 zu spielenden Runden verlaufen strukturgleich. Zunächst ist über die Höhe des Steuersatzes, der Investitionen und Konsumausgaben zu entscheiden. Dann werden die entsprechenden Werte in die Entscheidungskarten eingetragen. Nach Möglichkeit sollten die Gruppen ihre Überlegungen auch schriftlich festhalten, was für die spätere Reflexion hilfreich ist. Bis zum Ende der vorgegebenen Zeit sind die Entscheidungskarten abzugeben, wobei zwei Varianten denkbar sind: Wenn mit einem Moderator gespielt wird, sollte er die Karten erhalten und die Werte in sein Modell eintragen. Alternativ können die Gruppen ihre Entscheidungskarte gleichzeitig miteinander tauschen und jede Gruppe trägt die Werte der anderen Gruppe in ihr eigenes Modell ein.

Bei der Eingabe der Werte ist darauf zu achten, dass sie für die erste Spielrunde mit den Schiebereglern einzustellen sind. Später erfolgt dies im Simulationsfenster. Anschließend wird die Simulation mit einem Klick auf den Button ‚Spiel starten‘ begonnen, woraufhin einmalig die konstanten Werte für *Steuersatz*, *Investitionen* und *Konsum* einzugeben sind. Wenn keine besonderen Szenarien gespielt werden sollen (zum Beispiel Protektionismus, was einen niedrigen Migrationsfaktor nahelegt) können die vorgeschlagenen Standardwerte einfach übernommen werden.

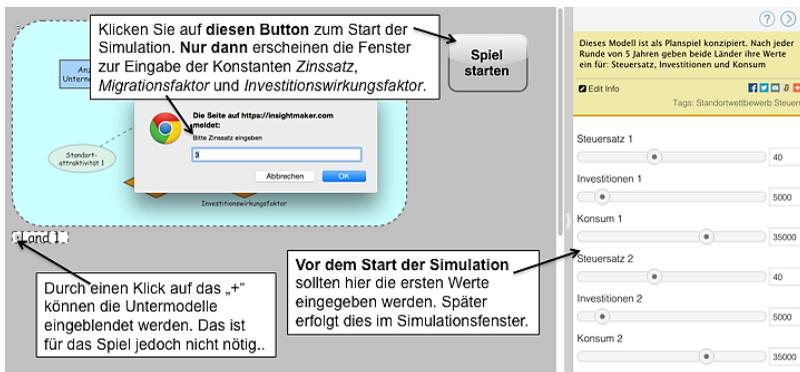


Abbildung 14: Vorgehensweise beim Beginn des Planspiels.

Nach dem Start des Spiels wird das Simulationsfenster geöffnet, das für den kompletten weiteren Spielverlauf verwendet wird und folglich nicht geschlossen werden darf. Hier können die Gruppen die Graphen und Tabellen analysieren, um zu sehen, wie sich ihre Entscheidungen und die ihres Gegners auswirken. Hierfür sollte jede Gruppe über eine eigene Simulationsumgebung verfügen. Auf Basis dieser Analyse können sie die nächsten Entscheidungen treffen und mit einem Klick auf das Dreieckssymbol zur nächsten Spielrunde voranschreiten. Keinesfalls darf jedoch das Viereck unten rechts angeklickt werden, da sonst die Simulation beendet würde. In diesem Fall wäre die Simulation erneut zu starten und sämtliche Werte (die wenigstens noch auf den Entscheidungskarten zu finden sind) müssten wieder eingetragen werden.

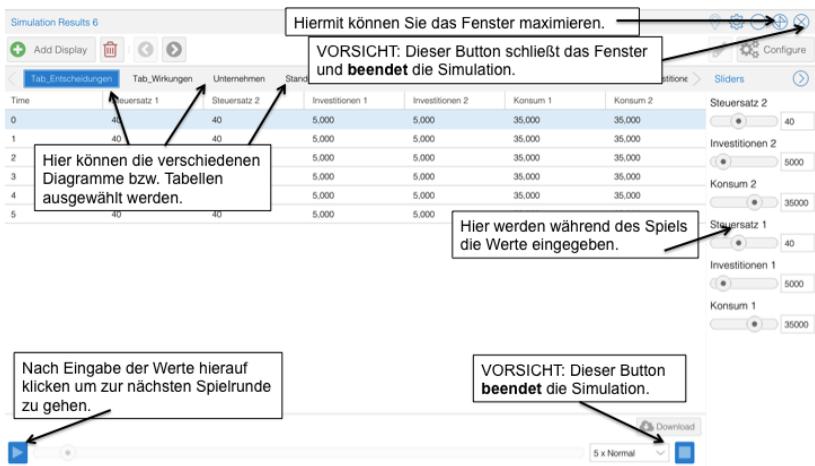


Abbildung 15: Das Simulationsfenster.

5.3.6.2.3 Reflexion

Im Anschluss an die Spieldurchführung sollte eine intensive Reflexion erfolgen. Hierfür bietet sich an, zunächst einige Fragen von den Gruppen bearbeiten zu lassen und sie dann im Rahmen des Klassenplenums zu diskutieren. Zu reflektierende Bereiche sind insbesondere ...

- soziale und kommunikative Aspekte: Wie erfolgreich verlief die Zusammenarbeit? Welche Probleme traten dabei auf und wie wurde mit ihnen umgegangen?
- Analyse des Spielverlaufs und der Spielstrategien: Waren Sie erfolgreich, haben sich die relevanten Kennziffern positiv entwickelt? Wurden Sie von einigen Entwicklungen und Entscheidungen der anderen Gruppe überrascht? Würden Sie Ihre Strategie ändern, wenn Sie erneut spielen könnten?
- Lernprozess: Was wurde während des Spiels gelernt?

Da die Planspielreflexion am Ende der dargestellten Lernsequenz steht, kann sie auch auf den gesamten Lernprozess ausgeweitet werden. In diesem Zusammenhang kann erörtert werden, wie ihnen das Arbeiten mit der Lernumgebung gefiel. Insbesondere sollten noch fachliche Aspekte aufgegriffen und je nach Bedarf vertieft werden. Weitere Reflexionsbereiche, die auch als Ansatzpunkt für weiterführende Lernprozesse dienen können, wären die Modellkritik und Fragen des Transfers. So ließe sich erörtern, an welchen Stellen das Planspiel beziehungsweise die Modelle noch zu unrealistisch sind und wie sie verbessert werden könnten. Wichtig ist auch zu überlegen, auf welche Situationen die im Modell gewonnenen Erkenntnisse übertragbar⁶ und welche Einschränkungen dabei vor dem Hintergrund der Modellprämissen zu berücksichtigen sind.

5.4 Arbeitsblätter mit Lösungshinweisen

Die nachstehenden Arbeitsblätter können unter dem Link http://www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken als bearbeitbares Word-Dokument heruntergeladen werden. Sie unterscheiden sich von den nachstehenden Arbeitsblättern durch das Fehlen der (kursiv formatierten) Lösungshinweise zu den Aufgaben.

5.4.1 Das Basismodell

Im Modell *Standortwettbewerb I* ist der grundlegende Sachverhalt zweier miteinander konkurrierender Länder abgebildet. Zu Beginn hat jedes Land eine bestimmte Anzahl an Unternehmen, die sich im Zeitverlauf jedoch durch Migration verändern kann. Diese Wanderung zwischen den Ländern hängt von bestimmten Variablen ab.

⁶ Auf diesen Aspekt bezieht sich die optionale Abschlussaufgabe in Abschnitt 5.4.5, mit der die erarbeiteten Erkenntnisse mit der politischen Realität kontrastiert werden können.

Sie können das Modell durch einen Klick auf den Simulieren-Button untersuchen. Im dann erscheinenden Simulationsfenster sind mehrere Diagramme zur Analyse verfügbar. Weiterhin können Sie die Werte beziehungsweise Programmierung eines Objekts ansehen, indem Sie zunächst darauf zeigen und auf das dann links oben im Objekt erscheinende Gleichheitszeichen (=) klicken.

1. Erklären Sie, wie und von welchen Faktoren die Migration beeinflusst wird.

- *Die Standortattraktivität der Länder (beziehungsweise die Differenz beider Standortattraktivitätswerte)*
- *Die Anzahl der Unternehmen in den Ländern*
- *Der Migrationsfaktor*

2. Was bedeutet ein positiver und was ein negativer Wert bei Migration?

Bei einem positiven Migrationswert wandern Unternehmen aus Land_1 ab, bei einem negativen Wert erfolgt eine Zuwanderung.

3. Unter welchen Bedingungen erhöht sich die Zahl der Unternehmen in Land 1?

Die Standortattraktivität von Land_1 muss größer als die von Land_2 sein (und der Migrationsfaktor muss über 0 liegen).

4. Wovon hängt ab, mit welcher Geschwindigkeit Unternehmen die Länder wechseln?

- *Der Differenz beider Standortattraktivitätswerte*
- *Die Anzahl der Unternehmen in dem Land, aus dem die Unternehmen abwandern*
- *Der Migrationsfaktor*

5. Wesentlichen Einfluss auf die Migration haben die Standortattraktivitätswerte.

a) Führen Sie eine Simulation durch, bei der sich die Standortattraktivitätswerte (abgekürzt SAT) beider Länder unterscheiden. Wie entwickelt sich die Migration im Zeitverlauf? Warum wurde dies so modelliert?

Die Migrationsbewegungen werden absolut betrachtet immer geringer. Dies erklärt sich dadurch, dass jedes Jahr ein bestimmter Prozentsatz der verbleibenden Unternehmen den Standort wechselt. Eine relative Wanderung ist realitätsnäher als ein konstanter Wert, was empirisch bei vielen Sachverhalten belegt ist.

b) Beschreiben und erklären Sie den Verlauf des Diagramms ‚Migration‘, wenn ...

I) $\text{Standortattraktivität}_1 > \text{Standortattraktivität}_2$
Die Migration beginnt mit einem negativen Wert und nähert sich asymptotisch der 0 an.

II) $\text{Standortattraktivität}_1 < \text{Standortattraktivität}_2$
Die Migration beginnt mit einem negativen Wert und nähert sich asymptotisch der 0 an.

c) Die Standortattraktivität ist eine abstrakte Größe und fasst zahlreiche Aspekte der Wirklichkeit zusammen. Was könnte alles die Attraktivität eines Landes für Unternehmen beeinflussen?

Zum Beispiel Steuersätze für Unternehmen und Kapitalerträge; unternehmerfreundliche Gesetzgebung (unter anderem bezüglich Kündigungsschutz, Mitbestimmung, Bürokratie); Kaufkraft und Qualifikationsniveau der Bevölkerung, Infrastruktur, politische und wirtschaftliche Stabilität

6. Der Migrationsfaktor ist eine abstrakte Größe.

a) Welche Funktion hat er im Modell beziehungsweise was bildet er aus der Wirklichkeit ab?

Der Migrationsfaktor bringt zum Ausdruck, wie stark Unternehmen auf Differenzen der Standortattraktivitätswerte mit Migration reagieren. In einem liberalen Umfeld ohne wesentliche Hürden dürften Unternehmen eher zur Migration tendieren als in Ländern mit Kapitalverkehrskontrollen oder hohen Importzöllen. Beispielsweise dürfte durch die europäische Integration die Bereitschaft von Unternehmen, ihren Standort in andere EU-Länder zu verlagern, gestiegen sein, was mit einem höheren Migrationsfaktor zu modellieren wäre.

b) Welche Konsequenzen hätte ein Migrationsfaktor von 0?

Ein Migrationsfaktor von 0 bringt zum Ausdruck, dass keine Migration zwischen den Ländern erfolgt. Dies entspräche einer nach außen komplett geschlossenen Wirtschaft. Nordkorea könnte als Beispiel eines Lands mit einem sehr niedrigen Migrationsfaktor dienen.

c) Wie hat sich Ihrer Meinung nach der Migrationsfaktor (die Mobilität der Unternehmen) in den letzten Jahrzehnten geändert? Begründen Sie!

Die Mobilität der Unternehmen hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich erhöht, was mit der zunehmenden Globalisierung einherging. Wesentliche Treiber der erhöhten Mobilität von Waren-, Wert- und Informationsflüssen und damit einhergehend auch Unternehmenswanderungen waren unter anderem Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie, im Transportwesen, politische Entwicklungen (Ende des Kalten Kriegs, Europäische Integration) und multinationale Verhandlungen zur wirtschaftlichen Liberalisierung (GATT/WTO).

d) Welche Konsequenzen hat die Veränderung des Migrationsfaktors für die Wirtschaftspolitik eines Landes?

Mit zunehmender Migrationsfähigkeit beziehungsweise -bereitschaft der Unternehmen verstärkt sich der internationale Standortwettbewerb, weswegen wirtschaftspolitische Maßnahmen eines Landes immer weniger isoliert von den Standortbedingungen anderer Länder getroffen werden können beziehungsweise sollten.

7. Beschreiben Sie das Modell mit seinen unterstellten Zusammenhängen und Grundannahmen (Prämissen) in eigenen Worten. An welchen Stellen halten Sie es für (zu) unrealistisch? An welchen Stellen sollte das Modell Ihrer Ansicht nach detaillierter sein?

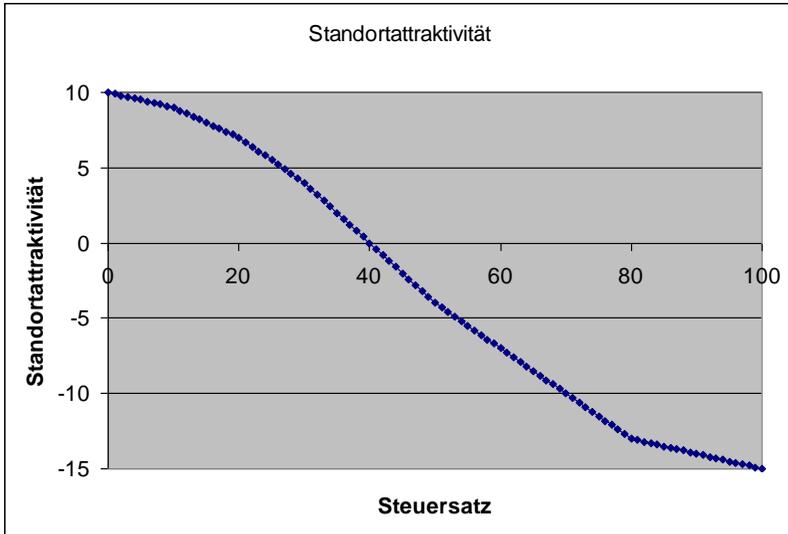
Die Migration von Unternehmen hängt ab von der Differenz der Standortattraktivitätswerte, dem Migrationsfaktor und der Anzahl der Unternehmen in einem Land. Insbesondere die Standortattraktivität und gegebenenfalls auch der Migrationsfaktor sind sehr abstrakt und könnten/sollten ausdifferenziert werden (dies erfolgt im Rahmen der folgenden Modelle).

5.4.2 Die Auswirkungen von Steuern

1. Beschreiben Sie den Einfluss von (Unternehmens-)Steuern auf die Standortattraktivität eines Landes.

Je höher die Steuersätze, desto geringer die Standortattraktivität

2. Im Modell *Standortwettbewerb II a* wird die *Standortattraktivität₁* nicht mehr von außen beziehungsweise durch einen Schieberegler vorgegeben, sondern berechnet sich aus dem Steuersatz. Der entsprechenden Programmierung der Variablen *SAT₁* Steuersatz liegt folgender Zusammenhang zugrunde:



a) Beschreiben Sie den Zusammenhang zwischen Standortattraktivität und Steuersatz.

Mit zunehmendem Steuersatz sinkt die Standortattraktivität.

b) Die Steigung des Graphen ändert sich zweimal, er ist doppelt geknickt. Wie erklären Sie sich diesen Sachverhalt?

Am Rand, also bei sehr niedrigen und sehr hohen Steuersätzen, ist die Steigung des Graphen flacher als im Bereich von circa 20 - 80 %, in dem die Steigung recht hoch ist. Dies wurde so modelliert, weil bei niedrigen Steuersätzen eine kleine Erhöhung keinen wesentlichen Einfluss auf die Standortattraktivität hat. Analog ist die Standortattraktivität bei einem Steuersatz von 80 % bereits dermaßen schlecht, dass sich weitere Steuererhöhungen kaum noch auswirken. Beim mittleren Steuersatzbereich wirken sich Änderungen des Steuersatzes jedoch relativ stark auf die Standortattraktivität aus, hier besteht eine größere Sensibilität auf Änderungen des Steuersatzes.

c) Wenn Sie der Meinung sind, dass der Graph das Verhältnis zwischen Standortattraktivität und Steuersatz nicht gut abbildet, zeichnen Sie einen alternativen Verlauf in das Diagramm ein.

d) Diskutieren Sie unterschiedliche Kurvenverläufe in der Klasse. Wie glauben Sie, sieht der ‚richtige‘ Kurvenverlauf genau aus und wo kann man ihn finden?

Einen solchen Kurvenverlauf gibt es nicht beziehungsweise es wäre extrem aufwändig ihn zu ermitteln, da die zugrunde liegenden Sachverhalte in der Wirklichkeit viel zu komplex sind. Ein wesentliches Ziel der Arbeit mit Modellen besteht gerade in einer bewussten Komplexitätsreduktion, mit der zwingend auch ein gewisser Realitätsverlust einhergeht. Gleichwohl sollte man sich bewusst sein, dass die Modellannahmen in der Regel nicht vollständig der Wirklichkeit entsprechen.

3. Im Modell *Standortwettbewerb II b* hat der Steuersatz nicht nur Einfluss auf die Standortattraktivität, sondern auch auf die Steuereinnahmen und damit indirekt auch auf das Vermögen.

a) Wie berechnen sich die Steuereinnahmen?

*Die Steuereinnahmen hängen ab vom Steuersatz und der Anzahl der Unternehmen. Der Sachverhalt wird recht leicht durch das Produkt dieser beiden Größen errechnet (Steuersatz*Anzahl Unternehmen).*

b) Wie berechnet sich das Vermögen?

Das Vermögen einer Periode ergibt sich aus dem Vermögen der Vorperiode zuzüglich der Steuereinnahmen und abzüglich der Ausgaben. Das Modell ist zu Beginn so eingestellt, dass die Einnahmen den Ausgaben entsprechen.

c) Wie lautet der Fachbegriff, wenn die Ausgaben des Staats größer sind als seine Einnahmen?

Haushaltsdefizit

d) Wie wird ein negatives Vermögen des Staats bezeichnet?

(Staats-)Verschuldung

4. Bei einem Steuersatz von 40 % befindet sich das Modell im Gleichgewicht – die Standortattraktivitäten beider Länder sind gleich, sodass die Unternehmenszahl konstant bleibt. Weiterhin sind Einnahmen und Ausgaben im Gleichgewicht.

a) Beantworten Sie diese Frage, ohne vorher das Modell zu simulieren: Wie wird sich das Vermögen bei einem Steuersatz von 50 % entwickeln? Begründung angeben.

Individuelle Antworten

b) Beantworten Sie diese Frage, ohne vorher das Modell zu simulieren: Wie wird sich das Vermögen bei einem Steuersatz von 30 % entwickeln? Begründung angeben.

Individuelle Antworten

c) Simulieren Sie nun das Modell mit unterschiedlichen Steuersätzen und füllen Sie die Tabelle aus:

Steuersatz	Migrationsfaktor	Vermögen bei Zeit 100
30	4	499.690
40	4	0
50	4	-1.500.000

d) Möglicherweise haben die Simulationsergebnisse Sie überrascht. Erklären Sie die Ergebnisse.

Bei einem niedrigeren Steuersatz sinken die Einnahmen zunächst. Langfristig steigen sie jedoch aufgrund der Zuwanderung von Unternehmen, weswegen auch das Vermögen ansteigt. Umgekehrt stellt sich die Situation bei einem höheren Steuersatz dar.

e) Wie würden Sie den Steuersatz angesichts dieser Rahmenbedingungen festlegen?

Hier sind wieder individuell variierende Antworten möglich. Unter den gegebenen Modellprämissen (die später noch ausdifferenziert werden) und unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit würde sich ein niedrigerer Steuersatz anbieten. Allerdings könnte man auch argumentieren, dass die Situation in der fernen Zukunft für die heutigen Akteure nicht so interessant ist und deswegen höhere Steuersätze festlegen.

f) Angenommen, Sie wären Politiker und müssten sich alle 4 Jahre zu Wahlen stellen – würden Sie genauso entscheiden?

Unterstellt man Politikern, dass sie wesentlich an ihrer Wiederwahl interessiert sind, wäre bei den gegebenen Modellprämissen mit einer Steuererhöhung zu rechnen.

5. Wie sich die Steuerpolitik auf die kurz- und langfristige Vermögenslage auswirkt, hängt auch erheblich vom Migrationsfaktor ab.

a) Überlegen Sie, ohne vorher eine Simulation durchzuführen, wie sich ein hoher und wie ein niedriger Migrationsfaktor auf die Vermögenslage bei unterschiedlichen Steuerstrategien auswirkt. Begründen Sie Ihre Vermutung.

Individuelle Antworten

b) Testen Sie nun Ihre Vermutung, indem Sie die Strategien mit unterschiedlichen Migrationsfaktoren simulieren:

Steuersatz	Migrationsfaktor	Vermögen bei Zeit 100
30	1	-476.000
40	1	0
50	1	128.000
Steuersatz	Migrationsfaktor	Vermögen bei Zeit 100
30	10	1.263.000
40	10	0
50	10	-2.770.000

c) Geben Sie eine ökonomische sinnvolle Erklärung für die Bedeutung des Migrationsfaktors für Steuerstrategien.

Je höher der Migrationsfaktor, desto stärker/schneller wirken sich Änderungen des Steuersatzes aus. Bei niedriger Wanderungsbereitschaft der Unternehmen beziehungsweise hohen Wanderungshürden wären zunächst hohe Steuersätze naheliegend, da damit hohe Steuereinnahmen und nur wenige Verluste von Unternehmen einhergehen. Umgekehrt sollten die Steuersätze bei einem hohen Migrationsfaktor beziehungsweise starken Migrationsbewegungen eher niedrig ausgestaltet werden.

Dies gilt allerdings nur vor dem Hintergrund der Modellprämissen. Bei späteren Modellen oder in der Realität kann sich dies im Einzelfall anders darstellen.

6. Bisher wurden noch keine Zinsen für Guthaben beziehungsweise Schulden berücksichtigt.

a) Wie werden Zinsen berechnet?

Die Zinsen ergeben sich aus dem Produkt von Zinssatz und Vermögen beziehungsweise Schulden.

b) Welchen Einfluss haben Zinsen auf das Vermögen?

Zinsen verstärken den jeweiligen Vermögens- beziehungsweise Schuldenzustand: Im Falle eines Guthabens erhöhen Zinsen die Einnahmen und damit das Guthaben, bei Schulden vergrößern Zinsen die Ausgaben und damit die Verschuldung.

c) Schätzen Sie (analog zur Vorgehensweise beim Migrationsfaktor), wie sich hohe und niedrige Zinsen auf die Steuerstrategien auswirken.

Individuelle Antworten

7. Öffnen Sie nun Modell *Standortwettbewerb II c*, bei dem die Zinsen berücksichtigt werden.

a) Testen Sie Ihre Vermutungen aus Aufgabe 6 und füllen Sie die untenstehende Tabelle aus. Um die Ergebnisse vergleichbar zu halten, lassen Sie den Migrationsfaktor immer auf einem Wert von 4. Achten Sie bei den Simulationen auch auf den Verlauf des Vermögens. Hierüber geben Ihnen die Diagramme Auskunft.

Steuersatz	Zinssatz	Vermögen bei Zeit 100
30	3	-258.000
40	3	0
50	3	-3.620.000
Steuersatz	Zinssatz	Vermögen bei Zeit 100
30	1	519.000
40	1	0
50	1	-2.000.000
Steuersatz	Zinssatz	Vermögen bei Zeit 100
30	10	-808.000.000
40	10	0
50	10	-428.000.000

b) Interpretieren Sie die Ergebnisse und gehen Sie auf die Bedeutung der Zinsen ein.

Bemerkenswert ist insbesondere die umgekehrte Vermögensentwicklung bei niedrigen und hohen Zinssätzen:

- *Bei einem Zinssatz von 1 % kommt es bei niedrigen Steuersätzen zu einem hohen Vermögen und bei hohen Steuersätzen zur Verschuldung; so wie dies bereits bei dem vorigen Modell ohne Verzinsung der Fall war.*

- *Sind die Zinssätze jedoch hoch (10 %), wirkt sich ihr Effekt recht stark aus und sie überlagern die Migration der Unternehmen. Bei Anfangs hohen Steuersätzen wandern zwar Unternehmen ab, gleichzeitig wächst jedoch das Vermögen, womit höhere Zinseinnahmen einhergehen. Am Ende der Simulationszeit bestehen die Einnahmen kaum noch von Unternehmenssteuern und überwiegend aus Kapitaleinkünften.*

8. Die Analyse des Modells dürfte Ihnen verdeutlicht haben, dass Schulden insbesondere bei langfristiger Betrachtung problematisch sind.

a) Ermitteln Sie den aktuellen Schuldenstand und die Neuverschuldung in Deutschland.

vgl. zum Beispiel <http://www.staatsschuldenuhr.de/>

b) Wie hoch sind die jährlichen Zinszahlungen im Moment?

vgl. zum Beispiel <http://www.staatsverschuldung.de/>

c) Wie schätzen Sie die zukünftige Vermögensentwicklung ein? Und die Zinszahlungen?

Individuelle Antworten

d) Welche Altersgruppen sind von (Neu-)Verschuldung stärker betroffen, welche weniger?

Jüngere Menschen sind stärker von Verschuldung betroffen, da Schulden die künftigen Handlungsmöglichkeiten reduzieren.

5.4.3 Konsequenzen der Ausgabenstruktur

1. Analysieren Sie den Ausgabenteil des aktuellen Bundeshaushalts im Hinblick auf folgende Fragen:

a) Welche Ausgabenblöcke erhöhen die Standortattraktivität? Begründen Sie Ihre Einschätzung.

Nachstehende Ausgabenblöcke des Bundeshaushalts sollten die Standortattraktivität wesentlich erhöhen (die Begründung dürfte jeweils recht offensichtlich sein):

- *Bildung und Forschung*
- *Verkehr, Bau, Stadtentwicklung*
- *Wirtschaft und Technologie*

b) Welche Ausgaben haben keinen wesentlich positiven Einfluss auf die Standortattraktivität? Welche Bedeutung haben sie?

- *Arbeit und Soziales – Bis zu einem gewissen Grad erhöhen diese Ausgaben die Standortattraktivität, indem zum Beispiel Qualifizierungsmaßnahmen für Arbeitslose durchgeführt werden. Ein großer Teil dieses Haushaltsblocks dient jedoch der Unterstützung wirtschaftlich Schwächerer und bestimmten Bevölkerungsgruppen (zum Beispiel Kindern).*
- *Bundesschuld*
- *Verteidigung*

2. In den bisherigen Modellen waren die Ausgaben fest vorgegeben beziehungsweise nur abhängig über die Zinszahlungen. Im Modell *Standortwettbewerb III a* kann die Höhe und Zusammensetzung der Ausgaben in Simulationsläufen verändert werden.

a) Untersuchen und beschreiben Sie, welchen Einfluss das Ausgabenverhalten auf die Standortattraktivität hat.

Der Investitionsanteil der Ausgaben erhöht die Standortattraktivität.

b) Der Investitionswirkungsfaktor legt fest, wie stark sich Investitionen auf die Standortattraktivität auswirken. Welcher Sachverhalt der Realität wird hiermit abgebildet?

Hiermit wird berücksichtigt, dass Investitionen unterschiedliche Beiträge zur Standortattraktivität leisten können. So haben Investitionen, die aufgrund von Inkompetenz, Klientelpolitik oder Korruption getätigt werden, in der Regel einen deutlich geringeren Nutzen als solche, die anhand kompetenter sach- und zukunftsorientierter Überlegungen erfolgen.

Weiterhin nimmt der Investitionswirkungsfaktor bei Volkswirtschaften höherer Reife und Kapitalintensität gewöhnlich ab, was auch im Gesetz des abnehmenden Grenznutzens begründet liegt.

c) Untersuchen Sie in verschiedenen Simulationsläufen, wie sich Variationen bei Investitionen und Konsum auf wichtige Modellgrößen auswirken.

Bei diesem Modell hat der Konsum noch gar keinen Einfluss, abgesehen von einer Erhöhung der Ausgaben. Die Investitionen erhöhen hingegen auch die Standortattraktivität und wirken sich somit auch auf die Migration und die Einnahmen aus.

3. Durch Reduzieren der Konsumausgaben können Spielräume zur Erhöhung der Standortattraktivität geschaffen werden. Gleichzeitig sind Kürzungen im konsumtiven Bereich in der Bevölkerung unpopulär und somit politisch nur schwer durchzusetzen. *Standortwettbewerb III b* bildet die Zufriedenheit der Bevölkerung mit der wirtschaftlichen Situation ab.

a) Welche Größen beeinflussen die Zufriedenheit im Modell?

Konsum, Vermögen und Anzahl Unternehmen

b) Wieso haben diese Modellgrößen Einfluss auf die Zufriedenheit der Bevölkerung?

- *Konsum: Höhere Konsumausgaben des Staats wie Sozialtransfers erhöhen offensichtlich die Zufriedenheit der davon profitierenden Bevölkerungsgruppen.*
- *Anzahl Unternehmen: Zunächst gehen mit den Unternehmen auch Arbeitsplätze und individueller Wohlstand einher. Darüber hinaus ist diese aggregierte Größe ein Indikator für die Wirtschaftskraft eines Landes, was ebenfalls zu einer mehrheitlich zufriedenen Bevölkerung führen dürfte.*
- *Positive Vermögensbestände sind nicht nur ein Indikator für eine erfolgreiche Wirtschaftspolitik, sondern zeigen auch Spielräume für künftige Aktivitäten an. Umgekehrt ist eine hohe Verschuldung im Hinblick auf die Zukunftsperspektiven problematisch, was von einem Großteil der Bevölkerung kritisch gesehen werden dürfte.*

c) Testen Sie in Simulationsläufen verschiedene Strategien zur Erhöhung der Zufriedenheit.

Welche Maßnahmen versprechen kurzfristige Erfolge? Wie können Sie langfristige und nachhaltige Zufriedenheit im Modell erreichen?

- *Kurzfristig kann die Zufriedenheit über hohe Konsumausgaben gesteigert werden.*
- *Langfristig empfiehlt sich eher ein Mix aus etwas niedrigeren Steuersätzen und vergleichsweise hohen Investitionen und wenig Konsum. Wenn zahlreiche Unternehmen in das Land eingewandert sind und sich deshalb die Standortattraktivität nur noch schwächer auswirkt, kann der Anteil der Investitionen zugunsten der Konsumausgaben gesenkt werden.*

d) Welche weiteren Faktoren sind in der Realität noch bedeutsam für die Zufriedenheit der Bevölkerung?

Zahlreiche individuelle Antworten möglich, unter anderem: Umweltqualität, politisches Klima, Zukunftsperspektiven, Einkommen, Sicherheit von Arbeitsplätzen, Zukunftsperspektiven generell, Qualität der Infrastruktur, innere Sicherheit, persönliche Freiheiten, ...

e) Welche Aspekte beeinflussen die Abwahl beziehungsweise Wiederwahl einer Regierung? Wie bedeutsam erachten Sie dabei die Zufriedenheit mit der wirtschaftlichen Situation?

Individuelle Antworten möglich, aber die Zufriedenheit mit der wirtschaftlichen Situation dürfte ein wesentliches Element der meisten Wahlentscheidungen sein.

f) Kurzfristige und langfristige Effekte einer Maßnahme sind häufig gegenläufig. So sind für langfristig positive Wirkungen oft kurzfristige Nachteile in Kauf zu nehmen, die sich negativ in der Zufriedenheit auswirken. Was könnten Regierungsmitglieder tun, um trotz kurzfristiger Nachteile erneut gewählt zu werden?

Individuelle Antworten möglich, unter anderem Erklären der Entscheidungen, Abschwächen der Folgen unpopulärer Maßnahmen, unangenehme Entscheidungen kurz nach einer Wahl treffen und Wahlgeschenke vor einer Wahl verteilen, ...

5.4.4 Einfluss des Wirtschaftswachstums

In den bisherigen Modellen konnte ein Land (= die Anzahl der Unternehmen eines Landes) nur auf Kosten des anderen Landes wachsen. In der Wirklichkeit wächst die Wirtschaftskraft eines Landes auch, ohne andere Länder nachteilig zu beeinflussen. Modell *Standortwettbewerb IV* berücksichtigt die Möglichkeit des Wirtschaftswachstums.

a) Untersuchen Sie das Modellverhalten bei unterschiedlichen (auch negativen) Wachstumsraten. Wie wirkt sich Wirtschaftswachstum auf die wichtigsten Modellgrößen aus?

Das Wachstum hat erheblichen Einfluss auf das Modell und sein Verhalten. Unmittelbar wirkt es auf die Anzahl der Unternehmen und damit indirekt auch auf die Einnahmen und das Vermögen. Hieraus ergeben sich wiederum Spielräume sowohl für erhöhte Investitionen und Konsumausgaben als auch für Steuersenkungen.

b) Im Modell wird die Wachstumsrate durch den Regler eingestellt beziehungsweise von außen vorgegeben. In Wirklichkeit hängt das Wirtschaftswachstum von anderen Faktoren ab. Von welchen?

Zahlreiche Faktoren wirken auf das Wachstum, unter anderem die Weltwirtschaft, der Konjunkturzyklus, die Zukunftserwartungen von Unternehmern und Verbrauchern, das Konsum- und Investitionsverhalten, das Zinsniveau, die Staatsnachfrage, Art und Höhe der Besteuerung, das Bildungssystem und Bildungsniveau der Bevölkerung, ...

c) Vertiefungsaufgabe: Ergänzen Sie das Modell, indem Sie Ihre Überlegungen aus der vorangegangenen Aufgabe abbilden.

d) Recherchieren Sie die Wachstumsraten der Bundesrepublik Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten und vergleichen Sie sie mit anderen Ländern, beispielsweise mit denen der USA, Chinas, Japans und Spaniens.

Grundsätzlich gilt, dass die Wachstumsraten in Ländern mit relativ niedrigem BIP pro Kopf höhere Wachstumsraten aufweisen (können), als dies bei bereits wohlhabenden Ländern der Fall ist. So erklärt sich auch, dass die Wachstumsraten in Deutschland im Lauf der Jahrzehnte abgenommen haben. Deutschlands Wachstumsraten lagen in den 1950er-Jahren bei durchschnittlich 8,2 %, wobei das starke Wachstum auch auf

Sondereffekte in Folge des Zweiten Weltkriegs zurückzuführen ist. In den 60er-Jahren lag das Wachstum bei ca. 4,4 % pro Jahr. In den beiden folgenden Jahrzehnten betrug es ca. 2,7 %, in den 90ern nur noch 1,6 % und im ersten Jahrzehnt des neuen Jahrtausends lag es bei 0,9 %. Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich bei Japan. China hingegen hat seit den 1970er-Jahren von einem niedrigen Niveau ausgehend teilweise sehr hohe Wachstumsraten, weswegen es mittlerweile nach den USA das zweitgrößte BIP aufweist. Das BIP/Kopf liegt jedoch noch weit unter dem deutschen Niveau, was auf weiterhin recht großes Wachstumspotenzial hindeutet.

e) Welche Vorteile haben hohe Wachstumsraten? Sehen Sie eventuell auch Probleme bei hohen Wachstumsraten der Wirtschaft?

Sehr stark zusammengefasst: Hohes Wachstum führt zu mehr Steuereinnahmen, hoher Beschäftigung beziehungsweise niedriger Arbeitslosigkeit und insgesamt zu einem hohen Wohlstandsniveau. Negativ können sich der Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung auswirken.

f) Mit welchen Maßnahmen kann die Regierung das Wirtschaftswachstum erhöhen?

Durch Impulse sowohl auf der Nachfrageseite (zum Beispiel erhöhter Staatskonsum, niedrigere Konsum- und Einkommenssteuern) und der Angebotsseite (zum Beispiel niedrigere Steuern für Unternehmer, Bürokratieabbau, investitionsfreundliche Gesetzgebung (zum Beispiel weniger Kündigungsschutz und Mitbestimmung), Sicherung des Wettbewerbs, staatliche Investitionen in Bildung und Infrastruktur, Verringerung der Kostenstrukturen, insbesondere der Lohnnebenkosten). In Ländern mit abhängiger Zentralbank kann die Regierung auf ein niedriges Zinsniveau hinwirken, was wachstumsstimulierend wirkt.

g) Falls Sie Vertiefungsaufgabe c) bearbeitet haben: Testen Sie, wie Ihr Modell kurz- und langfristig auf verschiedene Maßnahmen zur Förderung des Wachstums reagiert.

5.4.5 Planspiel: Zwei miteinander konkurrierende Länder

Sie haben sich bisher mit zahlreichen wirtschaftlichen Zusammenhängen auseinandergesetzt. Ein wichtiger Aspekt war die Migration zwischen Ländern abhängig von deren unterschiedlicher Standortattraktivität. Das zweite Land war dabei jedoch immer passiv, was in echten Konkurrenzsituationen anders ist. Normalerweise beeinflussen die Maßnahmen eines Landes die eines anderen.

Im Modell *Standortwettbewerb V* können zwei Länder aktiv miteinander interagieren. Das zugrunde liegende Modell ist mit den vorangegangenen identisch – allerdings wurde auf die Modellierung des Wirtschaftswachstums verzichtet, um einfachere Vergleiche zwischen beiden Ländern zu ermöglichen.

Die Ausgangssituation ist für beide Länder identisch. Außerdem gelten für beide Länder die gleichen Migrationsfaktoren, Zinssätze und Investitionswirkungsfaktoren, die theoretisch zu Beginn eines Spiels verändert werden können, während des Spielverlaufs jedoch konstant bleiben sollten.

Während jeder Spielrunde, die immer 5 Jahre abdeckt, können Sie die Investitionen, den Konsum und den Steuersatz neu festlegen. Insgesamt ist das Spiel auf 20 Runden (= 100 Jahre) ausgelegt, wobei Sie sich auch auf kürzere Durchgänge einigen können.

1. Bilden Sie Kleingruppen in Ihrer Klasse, von denen jeweils zwei gegeneinander spielen.

2. Spielen Sie das Spiel, wobei jeder Durchgang folgende Schritte beinhaltet:

- Einigen Sie sich in jeder Runde mit Ihrer Gruppe auf eine sinnvolle Strategie und halten Sie Ihre Entscheidungsparameter (Investitionen, Konsum, Steuersatz) schriftlich fest. Schreiben Sie bitte auch Ihre jeweiligen Überlegungen, die zu der Entscheidung geführt haben, kurz nieder. Dies ermöglicht eine bessere Besprechung des Spielverlaufs.
- Geben Sie gleichzeitig mit der anderen Gruppe Ihre Werte in das Modell ein und lassen Sie die Simulation einen Schritt weiterlaufen. Sie können dann mithilfe der Graphen und Tabelle die Konsequenzen Ihrer Entscheidung analysieren und daraus Rückschlüsse für die nächste Runde ziehen.

3. Werten Sie nach dem Spiel Ihre Ergebnisse aus. Waren Sie erfolgreich, haben sich die relevanten Kennziffern positiv entwickelt? Wurden Sie von einigen Entwicklungen und Entscheidungen der anderen Gruppe überrascht? Würden Sie Ihre Strategie ändern, wenn Sie erneut spielen könnten?

4. Entwickeln Sie in der Klasse unterschiedliche Ansätze, mit der wirkliche Länder auf Konkurrenzsituationen reagieren können. Finden Sie nach Möglichkeit Beispiele von Ländern (auch aus der Geschichte), die diese Strategien verfolgen. Welche ungewünschten Konsequenzen können diese Strategien haben?

Entscheidungstabelle für das Planspiel

Spielrunde	Ihr Land			Anderes Land			Kommentare
	Steuersatz	Investitionen	Konsum	Steuersatz	Investitionen	Konsum	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Optionale Abschlussaufgabe

Analysieren Sie die Wahlprogramme der relevanten politischen Parteien im Hinblick auf deren Wirtschaftspolitik.

1. Wie schlüssig werden die kausalen Zusammenhänge und langfristigen Wirkungen berücksichtigt?
2. Welche gesellschaftlichen Gruppen profitieren von den vorgeschlagenen Maßnahmen, welche verlieren?
3. Welches Programm spricht Sie persönlich am meisten an? Was würden Sie an diesem Programm eventuell noch verändern?

Literatur

Arndt, H. (2006): Der Blick über die Unternehmensgrenze hinaus: Förderung ganzheitlichen Denkens im Management der Wertschöpfungskette durch qualitative und quantitative Modellierung und Simulation. In: Berufs- und Wirtschaftspädagogik online (BWP@), 10/2006.

Verfügbar unter: http://bwpat.de/ausgabe10/arndt_bwpat10.pdf [21.07.2015]

Arndt, H. (2007): Langfristige Konsequenzen wirtschaftlicher Aktivität. Methoden zur Förderung systemischen Denkens im Unterricht. In: Seeber, G. (Hrsg.): Nachhaltigkeit und ökonomische Bildung. Bergisch Gladbach, S. 141 – 161.

Arndt, H. (2013): Methodik des Wirtschaftsunterrichts. Opladen.

Arndt, H. (2016): Systemisches Denken im Fachunterricht. Erlangen.

Beardsley, B./Becerra, J./Burgoni, F./Holley, B./Kessler, D./Muxi, F./Naumann, M./ Tang, T./Xavier, A./Zakrzewski, A. (2015): Global Wealth 2015: Winning the Growth Game.

Verfügbar unter:

<https://www.bcgperspectives.com/content/articles/financial-institutions-growth-global-wealth-2015-winning-the-growth-game/> [16.06.2015]

Bossel, H. (2004): Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt.

Dauenhauer, E. (2001): Kategoriale Wirtschaftsdidaktik. Band 2. Münchweiler.

Deutsche Gesellschaft für Ökonomische Bildung (2004): Kompetenzen der ökonomischen Bildung für allgemein bildende Schulen und Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss.

Verfügbar unter:

http://degoeb.de/uploads/degoeb/04_DEGOEB_Sekundarstufe-I.pdf [21.07.2015]

Dörner, D. (1989): Die Logik des Mislingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbek.

Getsch, U./Preiß, P. (2003): Geschäftsprozessorientierter Einsatz integrierter Informationssysteme als Herausforderung für die didaktische Reduktion lernfeldstrukturierter Lehrpläne. In: Berufs- und Wirtschaftspädagogik online (BWP@), 04/2003.

Verfügbar unter:

http://www.bwpat.de/ausgabe4/getsch_preiss_bwpat4.shtml [20.07.2015]

Gomez, P./Probst, G. (2007): Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens: Vernetzt denken – Unternehmerisch handeln – Persönlich überzeugen. Bern.

Hedtke, R. (2011): Konzepte ökonomischer Bildung. Schwalbach/Ts.

Hillen, St. (2004): Systemdynamische Modellbildung und Simulation im kaufmännischen Unterricht. Frankfurt.

Hlawatsch, S./Lücken, M./Hansen, K.-H./Fischer, M./Bayrhuber, H. (2005): Forschungsdialog: System Erde. Schlussbericht. Kiel.

Karpe, J. (2008): Institutionenökonomische Bildung. In: Hedtke, R./Weber, B. (Hrsg.): Wörterbuch Ökonomische Bildung. Schwalbach/Ts., S. 174 – 176.

Klieme, E./ Maichle, U. (1994): Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I. Bonn.

Kruber, K.-P. (2000): Kategoriale Wirtschaftsdidaktik – der Zugang zur ökonomischen Bildung. In: Gegenwartskunde, 03/2000, S. 285 – 295.

Mankiw, N. G. (2004): Grundzüge der Volkswirtschaftslehre. Stuttgart.

May, H. (2001): Didaktik der ökonomischen Bildung. München.

Ossimitz, G. (1996c): Das Projekt „Entwicklung vernetzten Denkens“. Erweiterter Endbericht.

Verfügbar unter:

www.wu.uni-klu.ac.at/gossimit/pap/ossimitz1996c.PDF

[07.05.2005]

Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. München.

Remmele, B. (2012): Mach ökonomische Bildung die Marktwirtschaft sozialer? In: Österreichische Zeitschrift für Soziologie, 37/1/2012, S. 171 – 187.

Retzmann, Th./Seeber, G./Remmele, B./Jongebloed, H.-C. (2010): Ökonomische Bildung an allgemeinbildenden Schulen. Bildungsstandards Standards für die Lehrerbildung. Essen.

Verfügbar unter:

https://www.wida.wiwi.uni-due.de/fileadmin/fileupload/BWL-WIDA/Publicationen/Retzmann_ua2010_Gutachten.pdf

[21.07.2015]

Schecker, H./Klieme, E./Niedderer, H./Gerdes, J./Ebach, J. (1999): Physiklernen mit Modellbildungssystemen. Förderung physikalischer Kompetenz und systemischen Denkens durch computergestützte Modellbildungssysteme. Bremen.

Senge, P. (1990): The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. New York.

Steinmann, B. (1997): Das Konzept ‚Qualifizierung für Lebenssituationen‘ im Rahmen der ökonomischen Bildung heute. In: Kruber, K.-P. (Hrsg.): Konzeptionelle Ansätze ökonomischer Bildung. Bergisch Gladbach, S. 1 – 22.

Ulrich, H./Probst, G. (1995): Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. Ein Brevier für Führungskräfte. Bern.

Vester, F. (1984): Neuland des Denkens. München.

Vester, F. (1988): Leitmotiv vernetztes Denken. München.

Vester, F. (1999): Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Stuttgart.

Waters Foundation: The Impact of the Systems Thinking in Schools Project: 20 years of Research, Development and Dissemination.

Verfügbar unter:

[http://watersfoundation.org/wp-content/uploads/2012/09/STIS_Research.pdf#page=1&view=FitH_\[01.05.2015\]](http://watersfoundation.org/wp-content/uploads/2012/09/STIS_Research.pdf#page=1&view=FitH_[01.05.2015])

Die Fähigkeit, sowohl vernetzt, in Zeitabläufen und in Modellen zu denken als auch systemgerecht zu handeln - kurz: systemisch zu denken - wird in den meisten natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Fächern als wichtiges Lernziel angesehen. Besonders geeignet zur Förderung des systemischen Denkens sind Wirkungsdiagramme und System Dynamics, die im Zentrum des vorliegenden Buchs stehen.

Die ersten Beiträge widmen sich den theoretischen Grundlagen des systemischen Denkens, der Gestaltung von Wirkungsdiagrammen, dem Lernen mit System Dynamics, dem Modelliertool Insight Maker und generischen Strukturen beziehungsweise Systemarchetypen, die sich in vielen unterschiedlichen Situationen finden und somit ein hohes Transferpotenzial aufweisen. Die weiteren Artikel zeigen die Bedeutung des systemischen Denkens und die Unterrichtsgestaltung anhand exemplarischer Beispiele in mehreren Fächern auf:

- Deutsch
- Biologie
- Physik
- Geographie
- Geschichte
- Politik
- Wirtschaft

Auf der Website des Buchs (www.wirtschaft-lernen.de/systemisches_denken) finden sich Materialien wie Aufgabenblätter, Screencasts und die verwendeten Modelle.

Der Autor:

Prof. Dr. Holger Arndt, Didaktik für Wirtschaft und Recht,
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

