

Günther OSSIMITZ, Universität Klagenfurt

Stand und Perspektiven der Forschung zum systemischen Denken

Beitrag zum Tagungsband "Trends und Perspektiven in der Mathematik"

Herausgeber:

G. Kadunz, H. Kautschitsch, G. Ossimitz, E. Schneider

Schriftenreihe "Didaktik der Mathematik"

Band 23

Hölder-Pichler-Tempsky

Wien 1996

Stand und Perspektiven der Forschung zum systemischen Denken

1 Systemisches Modellieren

Grob gesprochen kann man zwischen einem qualitativen und quantitativen Modellierstil unterscheiden (Vgl. Ossimitz 1991). Qualitative Modelle zielen mehr auf ein qualitatives Systemverständnis ab, während es beim quantitativen Ansatz eher die numerische Simulation der zeitlichen Entwicklung eines Systems geht. Bestimmte, mehr erlebnisorientierte Simulationssoftwareprodukte nehmen eine Mittelstellung ein: vom Standpunkt des Benutzers werden sie eher qualitativ erlebt, obwohl im Hintergrund eine quantitative Simulation zugrundeliegt.

1.1 Der Ansatz "Ganzheitliches Problemlösen"

Gomez und Probst diskutieren zunächst sieben grundlegende "Denkfehler im Umgang mit komplexen Unternehmungsproblemen", die jedoch durchaus nicht rein managementspezifisch sind. Diesen Denkfehlern setzen sie sieben Schritte einer "Methodik des ganzheitlichen Problemlösens" gegenüber (Gomez/Probst 1987, vgl. auch Ossimitz 1990, S. 73ff):

- 1) *Abgrenzung des Problems* durch Berücksichtigung verschiedener Sichtweisen
- 2) *Ermittlung der Vernetzung* zwischen den Elementen einer Problemsituation
- 3) *Erfassung der Dynamik* der Beziehungen zwischen den Systemelementen, insbesondere im Hinblick auf eskalierende und stabilisierende Rückkoppelungskreisläufe
- 4) *Interpretation der Verhaltensmöglichkeiten* des Systems: Entwicklungsszenarios
- 5) *Bestimmung der Lenkungsmöglichkeiten*: welche Systemeingriffe sind möglich?
- 6) *Gestaltung der Lenkungseingriffe*: das Richtige zur rechten Zeit im rechten Maß tun
- 7) *Weiterentwicklung der Problemlösung*: Lernfähigkeit und Flexibilität im Lösungsansatz

Zentrales Darstellungswerkzeug der Methodik von Gomez/Probst ist das Ursache-Wirkungsdiagramm. Es dient dazu, die wesentlichen Systemelemente festzuhalten, Zusammenhänge zwischen diesen Elementen darzustellen und eskalierende bzw. stabilisierende Rückkoppelungen zu erkennen. Ergänzend verwenden Gomez/Probst noch das Papiercomputermodell von Vester, um aktive, passive, kritische und träge Systemelemente herauszuarbeiten.

Der Ansatz von Gomez/Probst ist ein überzeugender Versuch, eine pragmatische Form systemischen Denkens zum Management komplexer Unternehmungsprobleme in rein qualitativer Weise zu entwickeln. Er erscheint durchaus auch für komplexe Problemsituationen aus anderen Praxisfeldern anwendbar. Der Ansatz ist insbesondere hinsichtlich der Auswahl und der Gestaltung von System-Lenkungseingriffen völlig offen und damit sehr flexibel.

1.2 Der System-Dynamics-Ansatz

Dieser eher quantitativ orientierte Ansatz des systemischen Modellierens wurde ca. um 1960 von Jay Forrester ursprünglich zur Modellierung und Simulation von Wirtschaftssystemen entwickelt (Forrester 1961). Eine wesentliche Leistung von Forrester bestand in der Weiterentwicklung des Wirkungsdiagrammes zum Flußdiagramm ('flow diagram'). Durch die Unterscheidung von Bestands- und Flußgrößen sind bereits wesentliche Elemente der numerischen Simulation dynamischer Systeme in das Flußdiagramm integriert. Das zweite Fundament der System-Dynamics-Methode ist die Simulationssprache Dynamo, mit der die numerische Simulation der durch Flußdiagramme darstellbaren Systemmodelle relativ einfach möglich ist. Die numerische Simulation läuft in einer diskret getakteten Iteration mit fixem Zeitschritt dt . Im wesentlichen werden die Bestände zum neuen Zeitpunkt $t_{\text{neu}} = t_{\text{alt}} + dt$ nach dem Prinzip

$$\text{Bestand}_{\text{neu}} = \text{Bestand}_{\text{alt}} + dt \cdot (\text{Zuflüsse} - \text{Abflüsse})$$

berechnet, wobei die Zuflüsse bzw. Abflüsse mittlere Änderungsraten der betreffenden Bestandsgröße pro Zeiteinheit im betrachteten Zeitintervall $(t_{\text{alt}}, t_{\text{neu}})$ sind. Mathematisch beruht die System-Dynamics-Methode auf der numerischen Iterieren von Differenzgleichungssystemen.

Der System-Dynamics-Ansatz hat sich als sehr vielfältig einsetzbare und dennoch relativ elementare Methode zur Modellierung und numerischen Simulation von dynamischen Systemen erwiesen, die am ehesten im Schulbereich zum Einsatz kommen wird. Ein systemdynamisches Simulationsmodell läßt sich im wesentlichen auf der Ebene der vier Grundrechnungsarten durchrechnen. "Soll beurteilt werden, auf welcher Schulstufe die Systemdynamik zum Einsatz kommen könnte, so hängt diese Beurteilung demnach nicht vom mathematischen Niveau der betreffenden Schulstufe, sondern von dem dieser Altersstufe zumutbaren Problemverständnis ab" (Bruckmann 1987, S. 48).

Zur praktischen Implementierung des System-Dynamics-Ansatzes gibt es mittlerweile auch für den schulischen Einsatz leistungsfähige Simulationssoftware, mit der Simulationsmodelle bereits auf Flußdiagrammebene graphisch am Bildschirm entwickelt und anschließend numerisch simuliert werden können. Neben professionellen Produkten wie Powersim (Modelldata AS, Bergen, Norwegen) oder Stella (Richmond/Peterson 1992) bietet hier besonders das deutschsprachige Sharewareprodukt Dynasys for Windows (Hupfeld 1994) die für den schulischen Einsatz relevante Funktionalität zu einem ausgezeichneten Preis-Leistungsverhältnis.

1.3 Erlebnisorientierte Simulationsspiele

Systemdynamische Simulationsmodelle erlauben den Benutzer einen vollständigen Einblick in die innere Struktur des Simulationsmodells. Demgegenüber hat man es bei *erlebnisorientierter Simulationssoftware* eher mit einer Black-Box (vgl. Maaß/Schlöglmann 1994) zu tun, deren interne Struktur nicht indirekt erschließbar ist. Eine Vielzahl kommerzieller Computerspiele können zu diesem Softwaretyp gezählt werden: vom klassischen Flight Simulator über Adventure-Games bis hin zu erlebnisorientierten Simulationsspielen wie DosDorf, SimCity oder SimEarth. Viele dieser Spiele sind beschleunigte Real-Time-Simulationen, bei denen der Benutzer den Gang der Dinge durch meist qualitative (ordinalskalierte) Eingaben beeinflussen kann. Typisch für erlebnisorientierte Simulationssoftware ist die meist sehr attraktiv gestaltete Benutzeroberfläche sowie eine sehr komplexe und undurchschaubare innere Modellstruktur, die sich nur anhand bestimmter Parameter (in relativ engen Grenzen) variieren läßt.

2 Was ist systemisches Denken?

Begriffe wie "Systemisches Denken" (Dörner 1989, S. 14), "Systems thinking" (Klir 1991), "Vernetztes Denken" (Vester 1988), "Ganzheitliches Problemlösen" (Gomez / Probst 1987) sind in verschiedensten Wissenschaftsbereichen in Mode gekommen. Sie werden in der Literatur zwar gerne verwendet, aber kaum präzise definiert. Ich möchte daher eine genauere Bestimmung des Begriffes "Systemisches Denken" versuchen. "Systemisches Denken" umfaßt:

- 1) ein Denken in vernetzten, systemischen Strukturen (*Vernetzungs-Komponente*)
- 2) ein Denken in (expliziten) Modellen (*Modell-Komponente*)
- 3) ein Denken in Zeitabläufen, in Zeitgestalten (*dynamische Komponente*)
- 4) die praktische Steuerung von Systemen (*pragmatische Komponente*)

Diese vier Dimensionen sind in den verschiedenen Systemansätzen mehr oder weniger deutlich ausgeprägt zu finden. Die Vernetzungs-Komponente ist vermutlich die bekannteste der vier Dimensionen systemischen Denkens. Sie zielt auf eine Überwindung des einfachen, "linearen" Ursache-Wirkungsdenkens ab und benötigt entsprechende "vernetzte" Darstellungsformen (Wirkungsdiagramme, Flußdiagramme). Daß sich systemisches Denken auch stets an Modellen vollzieht, ist hingegen oft nicht so sehr bewußt. Für ein erfolgreiches Management von Systemen scheint nach den bisherigen empirischen Forschungen (z.B. Klieme/Maichle 1994) die bewußte Reflexion des Modellcharakters von entscheidender Bedeutung zu sein.

Die dynamische Komponente des systemischen Denkens zeigt sich etwa schon im Begriff "Systemdynamik". Typischerweise beschäftigt man sich mit Systemen, die sich im Laufe der Zeit entwickeln und zu deren Verständnis und Steuerung auch bestimmte Zeitgestalten berücksichtigt werden müssen. Solche Zeitgestalten können etwa Wachstumsprozesse, zeitliche Verzögerungen oder Schwingungsprozesse sein. Bereits bei der Steuerung eines einfachen Regelkreises muß man berücksichtigen, wie lange das System braucht, um auf Korrekturingriffe zu reagieren. Der pragmatische Aspekt des systemischen Denkens wurde vor allem im kognitionspsychologischen Forschungszweig "Komplexes Problemlösen" (Dörner 1989) sowie in systemischen Managementansätzen (z.B. "Ganzheitliches Problemlösen" bei Gomez/Probst 1987) betont.

3 Stand der Forschung zum Systemischen Denken

Die Literatur zum systemischen Denken ist zwar thematisch recht vielfältig, aber zumeist auf einem exemplarischen oder pragmatischen Level angesiedelt. Empirische Untersuchungen zum systemischen Denken sind noch recht spärlich gesät, theoretische und didaktische Reflexionen zur Entwicklung vernetzten Denkens fast überhaupt nicht zu finden.

3.1 Komplexes Problemlösen

Dieser Forschungszweig der deutschsprachigen Kognitionspsychologie beschäftigt sich etwa seit 1975 damit, wie sich Versuchspersonen (Vpn) in komplexen, computersimulierten Szenarien verhalten. Die ersten Untersuchungen wurden von Dietrich Dörner mit dem kleinen Simulationsszenario "Tanaland" mit 12 Versuchspersonen gemacht; später folgten umfangreichere Untersuchungen an z.T. sehr großen Simulationsszenarien (z.B. das Bürgermeisterspiel "Lohhausen"; Dörner u.a. 1983). Ein wesentliches Resultat dieser Untersuchungen war, daß die Leistungen der Vpn bei der Bewältigung der komplexen, systemischen Szenarien nicht mit den durch herkömmliche Intelligenztests gemessenen IQ-Werten korrelierten. Hingegen konnte ein Zusammenhang zwischen dem durch Persönlichkeitstests ermittelten Grad an Selbstbewußtsein

und der Leistung beim Steuern der Computerszenarien ermittelt werden. Dörner (1989) faßt zusammen, welche Defizite sich bei den Forschungen zum "Komplexen Problemlösen" bei den Vpn zeigten:

- ! *Mangelnde Zieldefinition:* Den Vpn ist oft nicht bewußt, welchen Systemzustand sie anstreben wollen.
- ! *Wenig Verständnis für Eigendynamik von Systemen:* Wachstumsvorgänge, indirekte Wirkungen, Rückkopplungskreise, Zeitverzögerungen werden oft falsch eingeschätzt.
- ! *Verengung der Wahrnehmung:* Viele Vpn erledigen "eins nach dem anderen" und bleiben oft bei Nebensächlichkeiten hängen.
- ! *Mangelndes Krisenmanagement:* Vpn neigen in Problemsituationen zu panikartigen Überreaktionen oder zur Verdrängung, wenn sich die getroffenen Maßnahmen nicht bewähren.
- ! *Überschätzung des eigenen Verhaltens:* Manche Vpn interpretieren auch katastrophale Steuerungsleistungen etwa in der Weise: "Es sterben ohnehin hauptsächlich die Alten und Schwachen, das ist gut für die Bevölkerungsstruktur" (Dörner 1989, S. 31).

3.2 Untersuchungen zur Entwicklung systemischen Denkens im Unterricht

Für den Schulbereich gibt es bislang im deutschen Sprachraum nur wenige empirische Untersuchungen zur Entwicklung systemischen Denkens (Klieme/Maichle 1991, Klieme/Maichle 1994, Ossimitz 1994). Sie sind durchwegs empirische Begleitforschungen zu Unterrichtseinheiten im System-Dynamics-Ansatz. Hauptzweck der Pilotstudie von Klieme/Maichle (1991) war es, die Simulationssoftware Modus als Modellbildungs- und Simulationswerkzeug zu evaluieren. Ein Teil dieser Erhebung bezog sich auch auf die Entwicklung systemischen Denkens bei den Schülern. Das Untersuchungsdesign bestand im wesentlichen in einem schriftlichen Test aller Schüler jeweils vor und nach einer etwa 15-stündigen Unterrichtseinheit. Insgesamt wurden 165 Schüler in acht Klassen der Jahrgangsstufen 9-12 untersucht. Der Unterricht lief anhand von am Landesinstitut für Schule und Weiterbildung in Soest entwickelten Unterrichtsmaterialien ("Themenheften"), die speziell zum Einsatz von Modus in den Fächern Sozialkunde, Chemie, Biologie und Mathematik konzipiert waren.

Die Studie Klieme/Maichle (1991) brachte folgende Hauptresultate:

- ! Die Schüler zeigten ein überdurchschnittliches Interesse am Unterricht. "Der Computer wurde (von den Lehrern) als das motivationssteigernde Element des Unterrichts beurteilt." (Klieme/Maichle 1991, S. 39)
- ! Die Fähigkeit zum Darstellen vernetzter Zusammenhänge konnte bei den Schülern durch die Unterrichtseinheit deutlich verbessert werden.
- ! Die qualitativen Auswirkungen von Systemeingriffen konnten die Schüler im Nachtest etwas besser vorhersagen als im Vortest.
- ! Die Modus-spezifische Strukturdiagrammlogik, gemäß der auch Abflüsse von Beständen auf den Bestand wirken (und damit als Pfeil zur Zustandsgröße hin und nicht von der Zustandsgröße weg zu zeichnen sind) machte etwa 2/3 aller Schüler Schwierigkeiten.
- ! Eine systematische Reflexion des eigenen Tuns ist ein wesentliches Charakteristikum für erfolgreiche Systemsteuerung.
- ! Die Fähigkeiten zum Systemdenken korrelieren weder mit der Computererfahrung noch mit der Modellbildungskompetenz der Schüler. Auch geschlechtsspezifische Unterschiede waren bei der Fähigkeit zu systemischen Denken kaum feststellbar.

Die Nachfolgeuntersuchung Klieme/Maichle (1994) lieferte bei einem ähnlichen Untersuchungsdesign im wesentlichen dieselben Ergebnisse. Zusätzlich meinen die Autoren, daß systemisches Denken nur kontextspezifisch operationalisierbar ist: "»Systemisches Denken« ist keine inhaltsü-

bergreifende Fähigkeit. Die Dynamik von Modus-Modellen zu verstehen, ist etwas anderes, als Wirkungen in verbal beschriebenen Systemen vorherzusagen." (Klieme/Maichle 1994, S. 76).

In der Pilotstudie Ossimitz (1994) wurden Teile des Fragebogens von Klieme/Maichle (1994) verwendet, um die Entwicklung systemischen Denkens in zwei Klassen der 9. und 11. Schulstufe parallel zu einer systemdynamischen Unterrichtseinheit zu untersuchen. Ergänzend zum Design von Klieme/Maichle wurde ein Teil der Schüler im Anschluß an den schriftlichen Test über Ihre Antworten interviewt. Dabei zeigte sich deutlich, daß die Schüler explizite Informationen über ein verbal vorgegebenes systemisches Szenario ("Die Viehzucht der Hilus" bzw. "Die Fischzucht der Moris") oft durch zusätzliche Annahmen über den Kontext ergänzten, um insbesondere auch nicht-determinierte Fragen eindeutig beantworten zu können. Es ist den interviewten Schülern sowohl beim Vortest wie auch beim Nachtest durchwegs gelungen, ihre (bisweilen sehr divergierenden) Antworten plausibel zu begründen. Es zeigte sich, daß die von Klieme/Maichle (1994) übernommenen Szenarien "Viehzucht der Hilus" bzw. "Fischzucht der Moris" einen zu geringen Komplexitätsgrad aufwiesen, um Schülern im Alter von 14-15 Jahren auch beim Vortest ernsthaft zu fordern. Durch diesen (auch von Klieme/Maichle 1994, S. 55 konstatierten) "Deckeneffekt" ist aus den Beispielen kein wesentlicher Lerngewinn durch die Unterrichtseinheit mehr erkennbar.

Deutlich erkennbar war bei der Untersuchung von Ossimitz (1994) jedoch, daß sich die Fähigkeiten der Schüler zur Darstellung vernetzter Strukturen sehr rasch entwickeln lassen. In einer der beiden untersuchten Klassen verwendeten die Schüler zur Darstellung des Hilu-Szenarios bereits beim Vortest "lupenreine" Wirkungsdiagramme. Es stellte sich heraus, daß der Lehrer bereits zuvor eine Unterrichtsstunde gehalten hatte, in der den Schülern in wenigen Minuten drei ganz einfache Wirkungsdiagramme (mit zwei bzw. drei Knoten) gezeigt worden waren. Bereits durch diese geringe Information waren die Schüler in der Lage, eine wesentlich komplexere Situation korrekt als Wirkungsdiagramm darzustellen.

In einem bis Ende 1995 laufenden Nachfolgeprojekt "Entwicklung vernetzten Denkens" soll anhand etwas komplexerer Varianten der Hilu- bzw. Mori-Szenarios versucht werden, den Lerngewinn bei der Erfassung und Darstellung vernetzter Systeme deutlicher zu messen.

4 Systemisches Denken im Schulbereich

4.1 Wie kann man systemisches Denken im Unterricht lernen?

Auch bei genauerer Durchsicht der Literatur zum systemischen Denken findet man kaum Hinweise darauf, wie systemisches Denken gelernt werden kann - insbesondere in der Schule. Dörner (1989) beschränkt sich im Kapitel "Was tun?" auf eine knappe Empfehlung für das Simulationsspiel, wie er es auch für seine psychologischen Forschungszwecke verwendet hat. F. Vester brachte das Spiel Ökolopoly auf den Markt und stellte eine Wanderausstellung "Unsere Welt - ein vernetztes System" zusammen. Auf der Ebene erlebnisorientierter Software wird mittlerweile eine kaum mehr überschaubare Vielzahl von Spielen angeboten. Für den Managementbereich gibt es zielgruppenspezifische Fortbildungs- und Beratungsangebote zur Entwicklung systemischer Handlungskompetenzen.

Keiner dieser Ansätze scheint jedoch für die schulische Ausbildung geeignet zu sein. Einzig dem System-Dynamics-Ansatz ist es in jüngerer Zeit gelungen, im schulischen Ausbildungsbetrieb Fuß zu fassen. Für Österreich war ein Vortrag von G. Bruckmann am 5. Internationalen Symposium zur Didaktik der Mathematik im Jahr 1986 zum Thema "Didaktik der Systemdynamik" der Auslöser dafür, daß entsprechende didaktische und curriculare Bemühungen gestartet wurden, die 1991 in der Etablierung eines Lehrplankapitels "Untersuchung vernetzter Systeme" im Mathematiklehrplan der 11. Schulstufe des Realgymnasiums mündeten. Mittlerweile gibt es auch in einigen deutschen Bundesländern, in Großbritannien und in den Niederlanden z.T. schon recht weit gediehene Bestrebungen, die systemdynamische Methode im Unterricht zu verankern.

4.2 Entwicklungstrends der Didaktik der Systemdynamik

Es ist abzusehen, daß systemdynamische Modellbildung und Simulation zunehmend in der Sekundarstufe II, z.T. bereits auch in der Sekundarstufe I Fuß fassen wird - und zwar in mehreren Unterrichtsfächern. Neben Mathematik und Informatik sind es vor allem realwissenschaftliche Fächer (Biologie, Physik, Chemie, Sozialkunde, Wirtschaftskunde, Erdkunde), die zunehmend mit systemdynamischen Simulationsmodellen arbeiten. Dazu gibt es eine Reihe von fächerspezifischen oder fächerübergreifenden (integrativen) Initiativen:

- ! An der Universität Bremen erforscht eine Arbeitsgruppe um H. Schecker und J. Bethge seit einigen Jahren intensiv Möglichkeiten, physikalische Inhalte mittels systemdynamische Ansätze zu vermitteln.
- ! Am Landesinstitut für Schule und Weiterbildung in Soest werden für verschiedene Fächer Unterrichtsmaterialien ("Themenhefte") für einen systemorientierten Unterricht mit der Simulationssoftware Modus angeboten.
- ! In Baden-Württemberg wurde der System-Dynamics-Ansatz in das Mathematik-Curriculum an Gymnasien implementiert.
- ! Im österreichischen Mathematik-Lehrplan des Realgymnasiums (11. Schulstufe) gibt es seit 1991 ein Lehrplankapitel "Untersuchung vernetzter Systeme".

Hinsichtlich der Methodik systemischen Modellierens ist es eindeutig abzusehen, daß der quantitativ orientierte System-Dynamics Ansatz das Rennen machen wird. Obwohl sich vermutlich auch ein rein qualitativer Ansatz (vgl. 1.1) zur Entwicklung systemischen Denkens eignen würde, sind mir bisher keinerlei Initiativen bekannt, diese Art des systemischen Modellierens in der Schule zu etablieren. Auch bei Fortbildungsveranstaltungen reagierten Lehrer auf entsprechende Hinweise, daß auch eine rein qualitative Systemmodellierung sinnvoll möglich sei, durchwegs sehr reserviert. Dazu kommt, daß der Computereinsatz (zumindest heute noch) für die Schüler ein ganz wesentlicher Motivationsfaktor ist.

Das Angebot an schultauglicher Simulationssoftware hat sich in den letzten Jahren erstaunlich rasch entwickelt. Der Trend geht dabei eindeutig hin zu Softwareprodukten, bei denen die Modellstruktur als Flußdiagramm graphisch am Bildschirm entwickelt wird. Der rasche Fortschritt am Softwaresektor ist für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien sowie für die didaktische Begleitforschung ein ernstzunehmendes Problem. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der didaktischen Begleitforschung zum Einsatz von Modus durch Klieme/Maichle im Herbst 1994 war die untersuchte Version von Modus im Grunde bereits veraltet und gegenüber den moderneren Produkten unter Windows nicht mehr konkurrenzfähig. Künftige Unterrichtsmaterialien und auch die didaktische Begleitforschung sollten daher nicht allzusehr an ein bestimmtes Softwareprodukt angelehnt sein, damit die Ergebnisse die immer rascheren Software-Innovationszyklen wenigstens einigermaßen "überleben".

Aus demselben Grund erscheint es auch kaum sinnvoll, umfangreichere empirische Untersuchungen zu einzelnen erlebnisorientierten Simulationssoftwareprodukten durchzuführen. Auch hier erscheinen allgemeinere Ansätze, wie etwa das "Black-Box"-Konzept (Maaß/Schlöglmann 1994) wesentlich erfolgversprechender zu sein.

Betrachtet man den gegenwärtigen Stand der Didaktik der Systemdynamik, so dominieren bislang eindeutig stoffdidaktische Materialien (Ossimitz 1990, "Themenhefte" des LSW Soest, Winkelmann 1992). Bei den wenigen empirischen Untersuchungen über Systemdynamikunterricht war das Hauptinteresse durchwegs auf die Tauglichkeit der verwendeten Softwareprodukte gerichtet. Die empirische Forschung zur Entwicklung systemischen Denkens steht noch ganz am Anfang. Dies hat wahrscheinlich auch damit zu tun, daß es für eine derartige didaktische Forschung noch praktisch keinen theoretischen, begrifflichen sowie methodischen Rahmen gibt. Der methodische Rahmen des kognitionspsychologischen Forschungszweiges "Komplexes Problemlösen" eignet sich hierzu nur bedingt, weil dieser Forschungsansatz mehr auf das Erfassen von Denk- und Steuerungsprozessen in komplexen Situationen unter Laborbedingungen ausgerichtet war und weniger auf Fragen der Entwicklung systemischer Denk- und Verhaltenskompetenzen im Rahmen schulischer Lernprozesse.

4.3 Didaktik der Systemdynamik und der Mathematikunterricht

Abschließend möchte ich noch auf die spezifische Rolle des Faches Mathematik im Zusammenhang mit der Vermittlung systemischer Denk- und Handlungskompetenzen im Schulunterricht eingehen. Systemisches Denken kann anhand geeigneter Themen in den verschiedensten Fächern entwickelt und geschult werden. Da man in der Systemdynamik im wesentlichen mit den vier Grundrechnungsarten und mit einfachen Tabellenfunktionen das Auslangen findet, gibt es vom rein mathematischen Anspruchsniveau keinen zwingenden Grund, dazu auch das Fach Mathematik zu bemühen. Eine systemdynamische Ausbildungsschiene läßt sich im Schulunterricht sicherlich auch ohne Mitwirkung des Faches Mathematik etablieren.

Dennoch plädiere ich mit Nachdruck dafür, daß das Fach Mathematik im Rahmen einer künftigen fächerübergreifenden Didaktik der Systemdynamik für sich eine zentrale Rolle beansprucht. Die Mathematik erscheint mir das geeignetste Fach zu sein, in dem grundlegende Aspekte des systemischen Denkens, Modellierens und der systemdynamischen Simulation in einer allgemeinen Weise vermittelt werden können (vgl. Ossimitz 1994a). Solche grundlegenden Elemente eines Systemverständnisses können sein (vgl. Ossimitz 1994b): Grundverständnis des Systembegriffes, verschiedene Arten von Wirkungsbeziehungen und Rückkoppelungskreisläufen in Systemen, grundlegende zeitliche Entwicklungsmuster von Systemen (Verzögerungen, Wachstumsvorgänge, Schwingungen, Chaos, usw.), Darstellungsformen von Systemen, Prinzipien bei der Konstruktion von Systemmodellen sowie grundlegende Kenntnisse der numerischen Simulation von Systemmodellen.

5 Literatur

BRUCKMANN, Gerhart (1987): Zur Didaktik der Systemdynamik. In: DÖRFLER / FISCHER / PESCHEK (Hg): Wirtschaftsmathematik in Beruf und Ausbildung. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik, Bd. 17; S. 41-51. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky. ISBN 3-209-00588-1

DÖRNER, Dietrich (1989): Die Logik des Mißlingens. Problemlösen in komplexen Situationen. Reinbek: Rowohlt

DÖRNER, Dietrich / KREUZIG, Heinz W. / REITHER, Franz / STÄUDEL, Thea (Hg) (1983): Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität. Bern: Huber.

FORRESTER, Jay W. (1961): Industrial Dynamics. Cambridge, Mass.: MIT Press

GOMEZ, Peter / PROBST, Gilbert J. B. (1987): Vernetztes Denken im Management. Die Orientierung Nr. 89. Bern: Schweizerische Volksbank

HUPFELD, Walter (1994): Dynasys. Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme. Hamm: Eigenverlag

KLIR, George J. (1991): Facets of Systems Science. New York: Plenum Press

KLIEME, Eckhard / MAICHLE, Ulla (1991): Erprobung eines Systems zur Modellbildung und Simulation im Unterricht. Bericht über eine Pilotstudie zur Unterrichtsevaluation. Bonn: Institut für Test- und Begabungsforschung

KLIEME, Eckhard / MAICHLE, Ulla (1994): Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I. Auswertung von Unterrichtsversuchen mit dem Modellbildungssystem Modus. Bonn: Institut für Bildungsforschung

MAASS, Jürgen / SCHLÖGLMANN, Wolfgang (1994): Black Boxes im Mathematikunterricht. In: JMD 15 (94) 1/2. S. 123 -147

OSSIMITZ, Günther (1990): Materialien zur Systemdynamik. (Unter Mitarbeit von Franz SCHLÖGLHOFER und Irma BIERBAUMER.) Schriftenreihe Didaktik der Mathematik, Bd. 19. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky. ISBN 3-209-01068-4

OSSIMITZ, Günther (1991): Qualitatives und quantitatives Modellieren. In: WINKELMANN, Bernard (Hrsg.): Systemdynamik und Mathematikunterricht. Occ. Paper Nr. 127; Institut für Didaktik der Mathematik Bielefeld; S. 1-10.

OSSIMITZ, Günther (1994a): Modellierung dynamischer Systeme im Mathematikunterricht - wozu? In: HISCHE, Horst (Hrsg.): Mathematikunterricht und Computer: Neue Ziele oder neue Wege zu alten Zielen? S. 72-78. Hildesheim: Franzbecker

OSSIMITZ, Günther (1994b): Was kann der Mathematikunterricht zum systemischen Denken und Handeln beitragen? ZDM 94/6, S. 196-199.

RICHMOND, Barry / PETERSON, Steve (1992): Stella II. An Introduction to systems thinking. Lyme: High Performance Systems Inc.

VESTER, Frederic (1988): Leitmotiv vernetztes Denken. Für einen besseren Umgang mit der Welt. München: Heyne. ISBN 3-453-04020-1

WINKELMANN, Bernard (1992): Modellbildung im Mathematikunterricht. Dynamische Modellbildung als Mathematisierung. Computer und Unterricht 8/1992, S. 46-50

Anschrift des Autors:

Mag. Dr. Günther Ossimitz
Institut für Mathematik, Statistik und Didaktik der Mathematik
Universität Klagenfurt
A-9020 Klagenfurt, Universitätsstr. 65