

Künstliches Leben im Biologieunterricht

Mikrosimulationen mit Multi-Agenten-Systemen

von Joachim Wedekind und Horst Koschwitz

Für einen Biologen ist der aus dem Amerikanischen stammende Begriff *artificial life* (künstliches Leben) sicher unglücklich gewählt. Allerdings bietet der dahinter stehende Ansatz der Modellierung und Simulation hochinteressante Perspektiven für einen schülerorientierten Zugang zu komplexen Phänomenen. Außerdem stehen mit STARLOGO bzw. NETLOGO Arbeitsumgebungen zur Verfügung, die eine praktische Umsetzung im Fachunterricht bestens unterstützen. Das soll im folgenden Beitrag gezeigt und begründet werden.

- ▷ des Denkens in Modellen und
- ▷ dem systemgerechten Handeln (das heißt die pragmatische Ebene der Steuerung des konkreten Verhaltens von Systemen).

Gerade der Steuerungsaspekt war auch Gegenstand der kognitionspsychologischen Forschung zum komplexen Problemlösen. Zwar finden sich dort Indizien für eine allgemeine systemische Handlungskompetenz. Es blieb aber im Wesentlichen schulischen Anwendungsszenarien überlassen, Modelle dafür zu erproben, wie diese Kompetenz konkret entwickelt werden kann.

Entsprechende schulische Versuche Anfang der Neunzigerjahre waren eng gekoppelt mit der erstmaligen Verfügbarkeit grafischer Modellbildungssysteme. Diese Aktivitäten führten zu einer Reihe von Unterrichtsmaterialien und Nutzungskonzepten, die in den Unterricht der Fächer Mathematik, Naturwissenschaften und Sozialwissenschaften Eingang gefunden haben (vgl. u. a. Koller, 1995; Kohorst/Portscheller/Goldkuhle, 2001). Nach fast einem Jahrzehnt Erfahrungen muss allerdings festgehalten werden, dass die Simulation dynamischer Systeme oder gar die Modellbildung trotz ihrer curricularen Verankerung nur eine randständige Rolle spielt.

Es können vor allem zwei Gründe für die mangelhafte Integration in den Fachunterricht genannt werden.

- ▷ Zum einen darf die Verwendung grafischer Modellbildungssysteme auf der Basis von Fluss- bzw. Wirkungsdiagrammen nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch diese letztlich mathematische Darstellungsmittel sind. Insbesondere in mathematikfernen Fächern (wie den Sozialwissenschaften oder der Biologie) stellt dies eine nicht unerhebliche Hürde dar. Die zugehörigen Simulations- und Modellbildungswerkzeuge sind in der Regel von einer Mächtigkeit, die eine sorgfältige didaktische Reduktion und Anpassung an den unterrichtlichen Einsatz erfordern. Die vorliegenden Unterrichtsmaterialien tragen dieser Tatsache nur unzureichend Rechnung.
- ▷ Ein weiterer Grund für die mangelnde Nutzung ist der Umstand, dass die Behandlung der Systemdynamik praktisch zwingend den Einsatz der bereits er-

Systemisches Denken

Verschiedene international angelegte vergleichende Bildungsuntersuchungen haben gezeigt, dass die naturwissenschaftliche Grundbildung in Deutschland stark verbesserungsbedürftig ist. Insbesondere fehlt es Schülerinnen und Schülern häufig am Verständnis zentraler naturwissenschaftlicher Konzepte und deren Anwendung auf praktische Fragestellungen und damit an Kompetenzen, die für eine *Scientific Literacy* zentral sind: „Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“ (OECD, 1999, S. 60; zitiert nach: *Deutsches PISA-Konsortium*, 2001).

Von großer Erschließungskraft ist das „systemische Denken“ (Ossimitz, 2000) mit den vier zentralen Dimensionen des

- ▷ vernetzten Denkens (das heißt das Denken in Rückkopplungskreisen),
- ▷ dynamischen Denkens (das heißt dem Denken in Zeitabläufen),

wählten Softwarewerkzeuge – der Modellbildungssysteme – voraussetzt. Dies bedeutet bis heute in fast allen Fällen die Verlagerung des entsprechenden Fachunterrichts in die Computerräume der Schule. Dies widerspricht allerdings einer selbstverständlichen Integration der Medientechnik und Informatiksysteme in den normalen Ablauf des Fachunterrichts.

Zu den Kompetenzen, die in der Auseinandersetzung mit dynamischen Systemen erworben werden sollten, zählen z. B. das

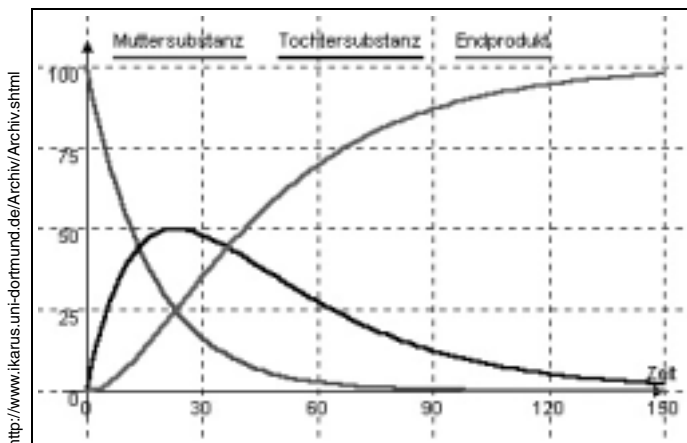
- ▷ Erfassen komplexer Zusammenhänge,
- ▷ Reflektieren über Systeme,
- ▷ modellhafte Beschreiben der betrachteten Systeme,
- ▷ Analysieren und Interpretieren der mittels Simulation gewonnenen Modellergebnisse,
- ▷ Erarbeiten von Prognosen als Entscheidungshilfen bei der Systemsteuerung.

Die Systemmodellierung erfolgte nahezu ausschließlich quantitativ nach dem System-Dynamics-Ansatz (Forrester, 1961). Dabei wird immer das System als Ganzes modelliert, und dementsprechend wird mit den Simulationsergebnissen das globale Verhalten des Systems beschrieben. Als Simulationswerkzeuge für den Schulunterricht dienten zunächst gleichungsorientierte Modellbildungssysteme (z. B. DIFF-MBS: Walser/Wedekind, 1991), dann zunehmend grafische Modellbildungssysteme (z. B. STELLA: Richmond, 1994; DYNASYS: Hupfeld, 2002).

Gekennzeichnet sind solche Makrosimulationen durch die

- ▷ hohe Aggregation (d. h. Anhäufung) der Systemgrößen: Es werden etwa in der Chemie die Konzentration von Stoffen, in der Biologie die Größe von Populationen betrachtet, nicht aber die einzelnen Moleküle bzw. die Individuen einer Population.
- ▷ quantitative Behandlung: Für alle Systemgrößen (bzw. Parameter) und Relationen sind numerische Werte zu bestimmen.

Bild 1:
Ergebnis einer Simulation des radioaktiven Zerfalls.



Ein hier relevantes Ergebnis vorliegender Studien zur Nutzung solcher Werkzeuge im schulischen Kontext (vgl. u. a. Klieme/Maichle, 1994; Ossimitz, 2000) ist der Umstand, dass die meisten Schülerinnen und Schüler gar keinen oder kaum Gebrauch von den Modellrepräsentationen machen – egal ob diese als Strukturdarstellung (wie in grafischen Modellbildungssystemen) oder in Gleichungsform vorliegen. Stattdessen wird versucht, die Zusammenhänge im Modell aus den Zeitdiagrammen und der Veränderung der Zeitkurven bei Variation der Parameter zu erschließen. Bei Aufgaben, die eine Interpretation des Modellverhaltens unter bestimmten Randbedingungen verlangen, greift die Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler auf Spekulationen zurück, die sich auf Alltagserfahrungen und Vorstellungen gründen. Das Modell selbst wird dagegen – da hoch abstrakt formuliert und repräsentiert – meist nur wenig beachtet.

Mikrosimulationen

Damit stellt sich weniger die Frage der Verwendung gleichungs- oder grafikorientierter Simulations- bzw. Modellbildungswerkzeuge, sondern die Nutzung verbaler Beschreibungen zur Operationalisierung systemischen Denkens. Curriculare Integration bedeutet in dieser Sichtweise das Anknüpfen an Alltagsvorstellungen (Phänomenorientierung) und deren Weiterentwicklung zu konzeptionellen Modellen (also konsistenten, richtigen und vollständigen Repräsentationen von Sachverhalten gemäß dem jeweiligen Wissensstand).

Eine solche Zugangsweise steht in Einklang mit einem neuen Forschungsansatz, den so genannten *Multi-Agenten-Systemen* (Weiss, 1999). Solche Systeme bestehen grundsätzlich aus einer Menge virtueller Objekte (den Agenten), die in einer Umwelt agieren, diese (eingeschränkt) wahrnehmen, eigene Ressourcen besitzen und mit anderen Agenten kommunizieren können. Multi-Agenten-Systeme können in *Mikrosimulationen* modelliert werden, und zwar durch die Beschreibung der Objekte, der Relationen zwischen den Objekten bzw. zwischen ihnen und der Umwelt und den möglichen Operationen. Das starke Interesse an diesem Ansatz beruht auf den emergenten Eigenschaften solcher Systeme, d. h. auf globalen Eigenschaften, die auf der Ebene der zugrunde liegenden Komponenten nicht existieren (etwa Musterbildungen), aber durch oft einfachste lokale Regeln erzeugt werden.

Durch das Auftreten dieser neuen, oft nicht vorausagbaren Qualitäten beim Zusammenwirken mehrerer Faktoren ist es vor allem auch möglich, neue Einsichten in ein System zu gewinnen. Ein gern verwendetes Beispiel: Das Gehirn besteht aus einer Vielzahl relativ einfacher, ähnlicher Elemente (Neuronen). Aus dem komplexen Zusammenspiel dieser einfachen Bausteine emergieren Muster, die die eigentliche Gehirnaktivität ausmachen – ein einzelnes Neuron hat keine Gedanken, ein Gehirn (als Gesamtsystem vieler Neuronen)

schon. Oder ein Beispiel für eine andere Interpretation, die ohne ein komplexes System auskommt: Wasser ist nass, ein einzelnes Wassermolekül ist es nicht – die Eigenschaft „Nässe“ ist daher emergent, weil sie sich erst aus dem Zusammenspiel vieler Wassermoleküle ergibt.

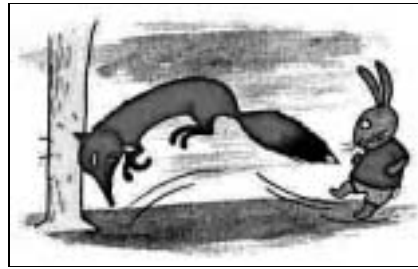


Bild 2:
Hasen und Füchse gehören zu beliebten Simulationsobjekten.

<http://www.artshaw.com/>

Makro- und Mikrosimulationen in der Biologie

Zum Verständnis des phänomenorientierten Ansatzes zur Modellierung dynamischer dezentraler Systeme sollen die Unterschiede zwischen Makro- und Mikrosimulationen an einem bekannten biologischen Beispiel beschrieben werden. Es handelt sich um das klassische Räuber-Beute-Modell nach Lotka und Volterra. Dessen Differentialgleichungen lauten:

$$\begin{aligned} dB/dt &= f \cdot B - s \cdot B \cdot R \\ dR/dt &= g \cdot B \cdot R - d \cdot R \end{aligned}$$

B und R stehen für die Größe der Beute- bzw. Räuberpopulation; f ist der Vermehrungsfaktor, s der Sterbefaktor der Beute, der seinerseits von der Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von B und R abhängig ist. Dasselbe gilt für g, den Wachstumsfaktor des Räubers. Der Sterbefaktor d des Räubers ist dagegen wieder eine Konstante. f, s, g und d sind hoch aggregierte Größen mit schwer interpretierbarer biologischer Bedeutung.

Eine entsprechende Mikrosimulation (nach Eigen/Winkler, 1996) beschreibt dagegen mit drei einfachen Regeln die Interaktion der beteiligten Individuen (hier Hasen als Beute und Füchse als Räuber), die in jedem einzelnen Zeitschritt einer Simulation angewendet werden (und z. B. als Würfelspiel realisiert werden kann):

- ▷ Befindet sich auf einem erwürfelten Feld Gras und auf einem der vier orthogonalen Nachbarfelder ein Hase, so wird auf dem Feld ein Hase gesetzt (Hasenvermehrung).
- ▷ Befindet sich auf einem erwürfelten Feld ein Hase und auf den vier Nachbarfeldern kein Fuchs sowie mindestens ein Grasfeld, so überlebt der Hase. Falls ein Fuchs vorhanden ist, wird auch einer auf das Feld gesetzt (Fuchsvermehrung, Hasentod). Ist kein Gras vorhanden, wird Gras gesetzt (Grasvermehrung).
- ▷ Befindet sich auf einem erwürfelten Feld ein Fuchs und auf einem der vier Nachbarfelder ein Hase, so überlebt der Fuchs, andernfalls wird Gras gesetzt (Grasvermehrung, Fuchstod).

Die sich aus der Summe dieser Einzelereignisse ergebende Populationsentwicklung gleicht der des Lotka-Volterra-Modells, d. h. die Regeln zur Beschreibung der Interaktionen der Individuen reichen aus, das charakteristische Globalverhalten auszulösen.

Genau daraus ergibt sich nun die didaktische Relevanz der Mikrosimulationen. Sie behalten einen wesentlich engeren Bezug zwischen Modell und fachspezifischem Inhalt als Makrosimulationen. Das Regelwerk ist realitätsnah und alltagssprachlich formuliert und nicht mathematisch. Die Beschreibung der Einzelereignisse erfolgt in fachlich (in unserem Beispiel biologisch) sinnvoll interpretierbaren Begriffen. Es ermöglicht damit ein phänomenorientiertes Vorgehen auch für komplexe Systeme. Mikrosimulationen führen zu vergleichbaren Simulationsergebnissen wie Makrosimulationen. Ihre Übereinstimmung mit empirischen Befunden ist vielfach sogar eher gegeben als bei Makrosimulationen. Gleichzeitig erlauben sie die Behandlung weit komplexerer Realitätsausschnitte, die sukzessive durch einsichtige Zusatzfaktoren erreicht werden können. Simulation und Ansätze der Modellbildung werden damit ohne mathematische Einstiegsschwelle ermöglicht. Ihre Integration in eine breite Fächerpalette wird so erheblich erleichtert.

Die Ausrichtung an einzelnen Objekten und Ereignissen erlaubt zudem vielfältigere Visualisierungsformen als die Makrosimulationen. Multiple Repräsentationen verbinden die Einzelereignisse mit dem globalen Systemverhalten: So kann sowohl der Zustand von Objekten (z. B. durch Form und Farbe) visualisiert werden als auch ihre Aktionen (z. B. durch Bewegungen oder Zustandsänderungen). Parallel dazu können Auswertungsdiagramme generiert werden, etwa Zeitdiagramme oder Histogramme zentraler Systemgrößen sowie Zusammenfassungen definierter Zustände bestimmter Systemgrößen über mehrere Simulationsläufe.

Das Werkzeug: NETLOGO

Die Simulation dezentraler Systeme setzt geeignete Softwarewerkzeuge voraus. Es werden Programmierumgebungen benötigt, die die schnelle Implementation unterschiedlicher Systeme durch die Lehrerinnen und Lehrer und gegebenenfalls auch durch die Schülerinnen und Schüler selbst erlaubt. Solche Werkzeuge stellen Multi-Agenten-Systeme dar. Dazu gehören auch Weiterentwicklungen von LOGO (siehe dazu Kasten „Wie alles anfing ...“, Seite 33), die wichtige neue Komponenten bieten.

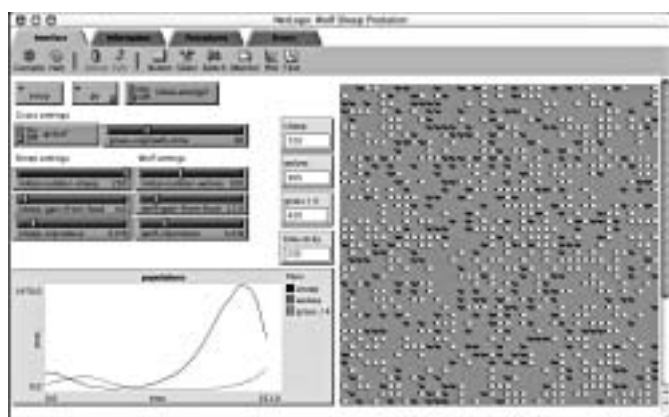
Die Erweiterungen betreffen im Wesentlichen drei Aspekte:

- ▷ Es handelt sich um massiv parallele Sprachen – so können Tausende von Turtles (Schildkröten) zur gleichen Zeit Aktionen ausführen. Dies ist für die Untersuchung komplexer dynamischer Systeme eine Grundvoraussetzung.
- ▷ Die Turtles besitzen „Sensoren“. Sie können z. B. andere Turtles in ihrer Nähe entdecken und unterscheiden, sie können Eigenschaften ihrer Umwelt erkennen, und sie können Gradienten folgen. Solche Turtle-Turtle- und Turtle-Umwelt-Interaktionen sind grundlegend für das Experimentieren mit selbstorganisierenden Phänomenen.
- ▷ Die Turtles bewegen sich in einer definierbaren Umwelt. Diese Umwelt ist in kleine quadratische Felder unterteilt, denen vergleichbare Eigenschaften wie den Turtles zugewiesen werden können, sich allerdings nicht bewegen können. Damit wird u. a. indirekte Kommunikation zwischen den Turtles möglich, wenn diese bestimmte „Marker“ auf den Feldern hinterlassen, die von anderen Turtles ausgewertet werden können.

Für den unten geschilderten Schuleinsatz wurde NETLOGO (derzeit Version 2.0.2) ausgewählt. Diese Version bietet alle benötigten Funktionalitäten, die sich ohne Einstiegsschwelle in abgeschlossenen Anwendungen einsetzen lassen. Dennoch hat NETLOGO kaum Einschränkungen für die Implementation auch sehr komplexer und anspruchsvoller Modelle.

NETLOGO bietet mehrere Möglichkeiten der Visualisierung des Verhaltens der Modellobjekte und des Systemverhaltens. Im unterrichtlichen Kontext ist von besonderer Bedeutung die animierte Darstellung der Modellobjekte (siehe Bild 3) sowie die Möglichkeit, ausgewählte Kenndaten aus mehreren Simulationsläufen zu speichern und in Auswertungsdiagrammen darzustellen (vergleichbar einer Sensitivitätsanalyse). Im linken Bereich von Bild 3 befinden sich Schalter und Regler zur Steuerung des Modells (Eingriffe können auch während eines Simulationslaufs vorgenommen werden, d. h. es sind Echtzeit-Simulationen möglich), im rechten Bereich befindet sich die animierte Darstellung (hier der Entwicklung zweier Populationen) mit (frei

Bild 3: Beispiel einer Anwendung in NETLOGO.



Wie alles anfang ...

Die Blütezeit von LOGO liegt schon so lange zurück, dass es angebracht erscheint, einige Entwicklungslinien zu rekapitulieren. Ihr Erfinder Seymour Papert hatte – bevor er ans MIT ging – fünf Jahre bei Piaget in Genf gearbeitet und sich bei dem Entwicklungspsychologen intensiv damit beschäftigt, wie Kinder lernen. Ein Ergebnis seiner Überlegungen war die erste Version von LOGO, die unter der Leitung von Wallace Feuerzeig bei *Bolt, Beranek and Newman* entwickelt wurde. Als Sprache für Kinder, aber eben keine „Spielzeugsprache“, war LOGO (als Abkömmling der listenorientierten KI-Sprache LISP) modular, erweiterbar und interaktiv konzipiert. Zentrale Komponente von LOGO war von Beginn an die so genannte Turtlegrafik, durch die mit einfachen Grundbefehlen ansprechende und komplexe Grafiken erzeugt werden können. Ihre Charakterisierung mit „no threshold, no ceiling“ (keine Einstiegshürde, keine Begrenzung nach oben) soll andeuten, dass Kinder mit LOGO sehr rasch problemorientiert arbeiten können, dass die Sprache aber mächtig genug ist, Lernende an komplexe Probleme heranzuführen. So schrieb Harald Abelson (1983, S. VII), einer der Mitarbeiter Paperts:

„Die Sprachen der LOGO-Familie sind gezielt so entwickelt, daß sie die Computer zu flexiblen Hilfsmitteln machen, die das Lernen, das Spielen und das Erforschen unterstützen. Wir Wissenschaftler, die wir an LOGO arbeiten, lassen uns von der Vision eines pädagogischen Werkzeugs leiten, das zugleich ohne Einstiegsschwelle und ohne Begrenzung nach oben ist. Wir versuchen also, selbst sehr jungen Schülern eine selbständige und selbstbestimmte Beherrschung des Computers zu ermöglichen [...]. Zugleich meinen wir, daß LOGO ein Allzweckprogrammiersystem sein sollte, das beachtliche Ausdrucksfähigkeit und umfangreiche Formulierungsmöglichkeiten hat. Es ist tatsächlich so, daß wir diese beiden Ziele eher als Ergänzung denn als Widerspruch betrachten.“

Konsequenterweise gab es auch landessprachliche Versionen. Die deutsche Übersetzung wurde von Ziegenbalg und Löthe betreut, die sich auch um die Erprobung in der Primar- und Sekundarstufe I Verdienste erworben haben. Der Name LOGO stand bald nicht nur für die Programmiersprache, sondern auch für prägnante (nicht unumstrittene) pädagogische Vorstellungen von interaktiven Lernumgebungen.

LOGO war in den Siebzigern als eine der für die ITG geeigneten Programmiersprachen in der Diskussion (so auch in LOG IN). Im angelsächsischen und spanischen Raum gab und gibt es eine stabile Gemeinde von LOGO-Anwendern, die die moderneren LOGO-Varianten (z. B. MSW LOGO, MicroWorlds u. a.) für völlig unterschiedliche schulische Projekte einsetzt und darüber berichtet. Entsprechende deutschsprachige Initiativen sind derzeit allerdings nicht bekannt.

Aktuelle Internet-Quellen [Stand: August 2004]:

Paperts Homepage:
<http://papert.www.media.mit.edu/people/papert/>
 Die LOGO Foundation:
<http://el.media.mit.edu/logo-foundation/>
 Die europäische LOGO-Organisation:
<http://www.eurologo.org/>
 Eine deutsche LOGO-Version zum Herunterladen:
<http://www.ph-ludwigsburg.de/mathematik/personal/klaudt/logo/wlogo.html>

definierbaren) Symbolen, links unten ist die resultierende Systemdynamik im Zeitdiagramm zu sehen.

Ein Unterrichtsbeispiel – Schwarmverhalten von Vögeln

Intentionen

Das Verhalten von Lebewesen kann unter verschiedenen Aspekten betrachtet werden. Eines jedoch ist bei allen Eigenschaften von Tieren und Pflanzen gleich: Bei *evolutionärer* Betrachtung sind es als Ergebnis von Mutation und Selektion erfolgreiche Eigenschaften. Bei *energetischer* Betrachtung zeigt sich, dass gerade diejenigen Verhaltensweisen bei Tieren erfolgreich sind, die am wenigsten Energie benötigen. Das wiederum ist eine Betrachtung unter *ökologischen* Gesichtspunkten. Ökologie ist explizit Thema in Klasse 8, Evolution ist Permanentthema. Bei geeigneter Vorbereitung kann dafür das Thema *Vogelschwarm* als Einstieg in Modellbildung und Simulation verwendet werden.

Das Auswerten von Flugbildern (siehe Bilder 4a und 4b) lässt die Vermutung zu, bei Vögeln herrsche Hierarchie. Allerdings, je mehr Tiere beisammen sind, desto „unordentlicher“ wird der Haufen. Im Unterricht ist deswegen die Frage erlaubt, ob die Tiere einen „Chef“ haben (wie z. B. eine Flugstaffel) oder ob andere Prinzipien bzw. Regeln gelten.

Solche Fragen werden hier durch Simulation von Modellen angesprochen, die die Regeln und Beziehungen zwischen einzelnen Objekten beinhalten. Wir gingen davon aus, dass solche Modelle, die die Realität ziemlich „direkt“ abbilden, bereits Schülern der 8. Klasse zugänglich sind.



Bild 4a (oben) und Bild 4b (unten): Verschiedene Flugbilder von Vogelschwärmen – oben großer ungeordneter Schwarm, unten V-förmige Formation.

Werkzeuge

Werkzeuge für zelluläre Automaten (CA) existieren bereits seit längerem und in einiger Vielfalt. CA stellen aber nur eine spezielle Untergruppe der Multi-Agenten-Systeme dar. Allgemeinere Systeme für agentenbasierte Simulationen wie etwa SWARM (<http://www.swarm.org/>) wiederum bieten kein schulgerechtes Interface.

Speziell für unterrichtliche Bedürfnisse sind dagegen die Programmierumgebungen der STARLOGO-Familie entwickelt worden (Resnick, 2001). So wie die klassischen LOGO-Versionen prozedurales Denken und die Rekursion für den schulischen Unterricht erschlossen haben, gilt dies nun für die massive Parallelität agentenbasierter Simulationen. Bereits seit Mitte der Neunzigerjahre des vorigen Jahrhunderts gibt es die Weiterentwicklungen von LOGO, die hochaktuelle Komponenten bieten. Dabei geht es nicht um eine Wiederbelebung von LOGO als Programmiersprache für die Schule, sondern um einen schülergerechteren Zugang zur Modellierung und Simulation dynamischer Systeme.

Wir bevorzugen die NETLOGO-Variante (aktuell: Version 2.0.2), die von der Arbeitsgruppe um Professor Uri Wilensky (Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University Evanston, USA) entwickelt wurde und gut gepflegt wird. Von seiner Arbeitsgruppe wurden bereits Anwendungen für verschiedene Fächer vorgestellt (vgl. z. B. Stieff/Wilensky, 2002; das Paket zum Herunterladen umfasst eine umfangreiche Modellbibliothek für viele Fächer).

NETLOGO ist für alle Plattformen verfügbar (Windows, Mac OS, Mac OSX sowie Unix bzw. Linux), da es vollständig in JAVA programmiert ist. NETLOGO ist Freeware, steht also Schulen kostenfrei zur Verfügung. In NETLOGO entwickelte Anwendungen (Simulationen) können als Applets abgespeichert und – eingebettet in entsprechende Webseiten – anderen unabhängig von der Programmierumgebung zugänglich gemacht werden.

Seite zum Herunterladen von NETLOGO:
<http://ccl.northwestern.edu/>

Seite zum Herunterladen von STARLOGO:
<http://www.media.mit.edu/starlogo/>

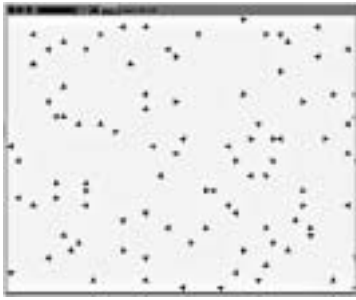
Unterrichtsziel war, durch „Experimentieren“ mit einem „Schwarm-Modell“ herauszufinden, nach welchen Regeln das Modell funktioniert, wie also sich die simulierten „Vögel“ verhalten. Leicht gemacht wird dies durch Bedienelemente, die eine Werteeingabe über die Tastatur vermeiden. (vgl. Kasten „Arbeiten mit NETLOGO“, S. 36). Die durch Parameter gesteuerte Simulation liefert „Flugbilder“, die anhand von Bildschirmkopien in regelmäßigen Zeitabständen ausgewertet und in das Versuchsprotokoll übernommen werden.

Vorgehensweise im Unterricht

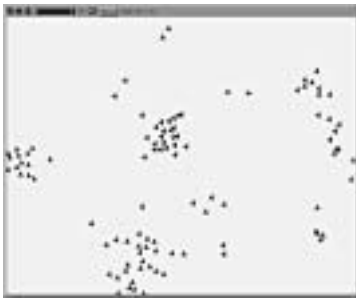
Es würde diesen Beitrag sprengen, die einzelnen Unterrichtsschritte zu dokumentieren. Es kann nur angedeutet werden, wie mithilfe des Werkzeugs NETLOGO zentrale Fragen angesprochen wurden. Unter Zuhilfenahme eines Mobilen Klassenzimmers im Biologie-

<http://www.wattenmeer-nationalpark.de/galerie/vog.htm>

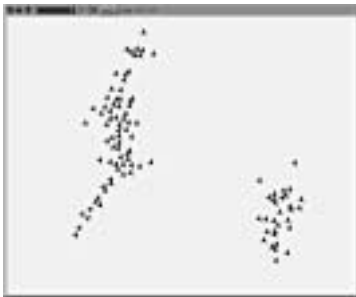
<http://freiesoerikerforum.de/forum/phpBB2/viewtopic.php?t=679>



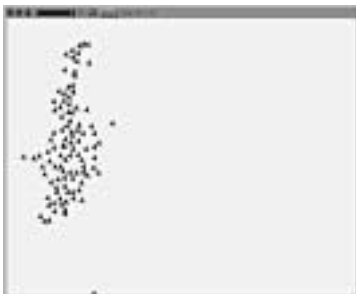
(a) Ausgangssituation:
zufällig verteilte Individuen.



(b) nach 10 Sekunden:
mehrere Kleingruppen, verschiedene Flugrichtungen.



(c) nach 20 Sekunden:
nur noch zwei Gruppen, eine Flugrichtung.



(d) nach 70 Sekunden:
nur noch eine Gruppe, eine Flugrichtung, d. h. ein „Schwarm“.

Bilder 5a bis 5d: Entwicklung eines Schwarms.

Fachraum (10 iBooks mit Internetanschluss für 32 Schüler, vgl. auch LOG IN Heft 125/2003, S. 53 ff.) sollten die Schülerinnen und Schüler nach einem einleitenden fragend-entwickelnden Unterricht das Programm *Schwarm.nlogo* mit unterschiedlichen Parametern testen und das Vorgehens-Ergebnisprotokoll dazu schreiben.

Zuerst wurde der Umgang mit dem Programm *Schwarm.nlogo* demonstriert. Auf die Kernfrage, warum solche „Spielereien“ gemacht würden, wurden Simulation und Modellbildung als wichtige Methoden der modernen naturwissenschaftlichen Forschung – eben auch in der Biologie – angesprochen, d. h. mit altersgerechtem Vokabular Begriffe wie *energiesparende*

Formationen, *Orientierungsmechanismen* usw. eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler konnten dann eigenständig Simulationsläufe durchführen, um durch gezielte Parameteränderungen Antworten auf vorgegebene Fragen zu finden (eine typische Abfolge zeigen die Bilder 5a bis 5d).

Die einzelnen Reaktionen auf Veränderungen der Parameter lassen kausale Zuordnungen zu. In der Diskussion kann sich herausstellen, dass bestimmte „nahe liegende“ Verhaltensweisen im Modell nicht enthalten sind(!). Dieses sind die produktivsten Phasen des Unterrichts, geben sie doch Anlass, das Modell weiterzuentwickeln, z. B. durch das „Bauen“ von Hindernissen und der Definition einer weiteren Regel (bei Hindernis: Umfliegen rechts oder links und Rückkehr zur alten Richtung). Solche Übungen können dann zur Konstruktion neuer Modelle führen, was im geschilderten Fall (Klasse 8) aus Zeitgründen – leider – nicht mehr möglich war.

Biologie und informatische Bildung – ein Fazit

Mit dem Thema *Künstliches Leben* im *Biologieunterricht* besteht die Möglichkeit, einerseits komplexe biologische Systeme durchschaubarer zu machen, aber auch andererseits durch den Einsatz von Informatiksystemen und -werkzeugen genau die Möglichkeiten und Grenzen der computerorientierten Modellbildung und Simulation aufzuzeigen – ein wesentliches Ziel auch der informatischen Bildung. Im Einzelnen:

- ▷ Mit der Einführung dezentraler dynamischer Systeme als Unterrichtsinhalt werden aktuelle Forschungsansätze (zelluläre Automaten, agentenbasierte Simulationen) aufgegriffen und in schülergerechter Form unterrichtlich erschlossen. Deren Relevanz für ein breites Fächerspektrum fördert zugleich fächerübergreifende Ansätze.
- ▷ Es werden neue Zugänge zu Themen mehrerer Fächer erschlossen, einerseits durch (schwach formalisierte) alltagssprachlich formulierte Regeln bei der Systembeschreibung, andererseits durch den Einsatz vielfältiger und animierter Visualisierungen für die Systemdarstellung und Analyse.
- ▷ Die Verwendung geeigneter computergestützter Werkzeuge erlaubt neue Formen der (animierten) Visualisierung zeitlicher Entwicklungen des Verhaltens dynamischer Systeme.
- ▷ Die zugrunde gelegten Modelle sind gleichzeitig völlig transparent und erlauben einen schrittweisen Übergang von der Modellanalyse zur Modellkonstruktion.
- ▷ Die systematische, analytische Behandlung dezentraler dynamischer Systeme im Unterricht lässt sich nur mithilfe des Computers bewerkstelligen (schon die Entstehung der entsprechenden Forschungsrichtun-

gen war nur mit der Verfügbarkeit entsprechender Rechnerkapazitäten möglich). Medien (Computer, Internet) stellen in diesem Fall keine fakultative Ergänzung traditioneller Lehrformen dar, sondern die Nutzung der medien-spezifischen Potenziale ist hier konstitutives Element neuer methodische Ansätze.

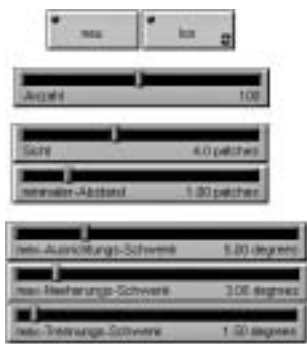
- ▷ Mit NETLOGO (siehe dazu Kasten „Werkzeuge“, S. 34) wird eine Programmierumgebung eingesetzt, die den Schulen kostenfrei zur Verfügung steht und die auf allen relevanten Plattformen lauffähig ist.

Arbeiten mit NETLOGO

NETLOGO bietet vier Fenster, die über Karteireiter zugänglich sind: die Experimentalfäche (*Interface*), den Informationstext (*Information*), den Programmierer (*Procedures*) und die Fehlerliste (*Errors*).



Die Experimentalfäche ist mit einem Inventar von Werkzeugen besetzt, mit denen ein anwendungsspezifisches Interface zusammengestellt werden kann:



Patches, in abgebildeten Fall 47 Reihen und 37 Spalten) können variabel gewählt werden. Die Größe eines *Patches* wird in Pixel eingestellt.

Über Schaltflächen (*Button*) können Aktionen (zumeist als Prozeduraufrufe) ausgelöst werden. Schieberegler (*Slider*) verändern Parameter, Schalter (*Switch*) schalten Parameter bzw. Zusatzoptionen ein und aus. Auswahl (*Choice*) bietet Alternativen, im *Monitor* können Zahlenwerte von Variablen verfolgt werden, im *Plot* werden Variablen grafisch ausgegeben (als Zeit- oder x-y-Diagramm, Histogramm), und über *Tel* werden Beschriftungen angebracht.

Wichtigstes Beobachtungselement ist das Grafikfenster, auf dem sich die Akteure tummeln. Seine Ausmaße (ein Raster von

Dr. Joachim Wedekind
Institut für Wissensmedien
Konrad-Adenauer-Straße 40
72072 Tübingen

E-Mail: j.wedekind@iwm-kmrc.de

Dr. Horst Koschwitz
Isolde-Kurz-Gymnasium
Bismarckstraße 55
72764 Reutlingen

E-Mail: horstfkoschwitz@t-online.de

Literatur und Internetquellen

Abelson, H.: Einführung in Logo. München: IWT-Verlag, 1983.

Eigen, M.; Winkler, R.: Das Spiel – Naturgesetze steuern den Zufall. München: Piper, 1996.

Forrester, J.: Industrial Dynamics. Cambridge (Mass., USA): The MIT Press, 1961.

Hupfeld, W.: DYNASYS 2.0 – Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme (2002): <http://www.hupfeld-software.de/dynasys.php> [Stand: August 2004]

Klieme, E.; Maichle, U.: Modellbildung und Simulation im Unterricht der Sekundarstufe I. Auswertungen von Unterrichtsversuchen mit dem Modellbildungssystem MODUS. Bonn: Institut für Test- und Begabungsforschung, 1994.

Kohorst, H.; Portscheller, P.; Goldkuhle, P.: Beitrag 1 – Modellierung und Simulation dynamischer Systeme (2001): http://php.learnline.de/angebote/blickpunktmatnat/autoren/kohorst_portscheller_goldkuhle/sequenz_modellbildung_simulation/modsim/index.htm [Stand: August 2004]

Koller, D. (Hrsg.): Simulation dynamischer Vorgänge – ein Arbeitsbuch. Stuttgart: Klett, 1995.

OECD (Hrsg.): Measuring student knowledge and skills – A new framework for assessment. Paris: OECD, 1999.

Ossimitz, G.: Entwicklung systemischen Denkens – Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen. München: Profil Verlag, 2000.

Papert, S.: Mindstorms – Kinder, Computer und Neues Lernen. Basel: Birkhäuser, 1982.

Resnick, M.: Turtles, Termites, and Traffic Jams – Explorations in Massively Parallel Microworlds. Cambridge (Mass., USA): The MIT Press, 2001.

Richmond, B.: System Dynamics/Systems Thinking – Let's just get on with it. Lyme: High Performance Systems Inc, 1994.

Stieff, M.; Wilensky, U.: ChemLogo – An emergent modeling environment for teaching and learning chemistry. Proceedings of the 5th biannual International Conference of the Learning Sciences (2002): http://ccl.northwestern.edu/uri/public_html/papers/chemlogo/ [Stand: August 2004]

Walser, W.; Wedekind, J.: Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme. Reihe „Lehren und Lernen mit dem Computer“, 12. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien, 1991.

Weiss, G. (Hrsg.): Multiagent Systems – A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge (Mass., USA): The MIT Press, 1999.