

Simulationen in der Hochschullehre

Dipl.-Päd. Stefan Iske
Fakultät für Pädagogik
Informatik im Bildungs- und Sozialwesen
Universität Bielefeld

November 2003

Arbeitspapier im Rahmen des Projektes
„Evaluation Neuer Medien in den Geistes- und Naturwissenschaften“

gefördert vom
Kompetenznetzwerk Universitätsverbund MultiMedia NRW
„Wirksamkeitsforschung - Neue Medien in der Hochschullehre“

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Exkurs: Experiment	4
Definition.....	5
Ablauf.....	5
Klassifikation.....	7
Begründungen und Ziele.....	7
Einsatzformen von Experimenten im Lehr-Lern-Kontext	8
Voraussetzungen, Aufbau, Anforderungen beim Experimentieren im Lehr-Lern-Kontext.....	10
Modellsimulation RUBIN	10
Struktur und Aufbau.....	11
Ausgangspunkt und Ziel	11
Zielgruppe.....	11
Einsatz.....	12
Einsatz von Computersimulationen im Lehr-Lernkontext	12
Modellkonstruktion – Modellerforschung – Realitätsersatz.....	12
Begründungen und Ziele des Einsatzes von Simulationen.....	14
Kritische Punkte des Einsatzes von Simulationen in Lernprozessen.....	20
Rolle und Aufgaben des Lehrenden.....	21
Simulation als didaktisches Modell	22
Evaluation der Ergebnisse des Simulationseinsatzes	25
Evaluation prozeduralen und dynamischen Wissens.....	25
Literatur	26

Einleitung

Grundlage dieser Ausführungen ist ein Begriff der „Simulation“, der von Meder (1995) aus didaktischer Perspektive und in Anlehnung an den Simulations-Begriff der Informatik definiert wird. In einer ersten Annäherung wird „Simulation“ bestimmt als die „Übertragung eines Bedeutungszusammenhanges aus einer Objektdarstellung in eine andere, die es erlaubt, manipulierend in den Darstellungsverlauf einzugreifen“ (51); und genauer als die Abbildung einer Objektmenge in eine andere, die auch die Funktionen und die Tests in diesen Mengen getreu abbildet.

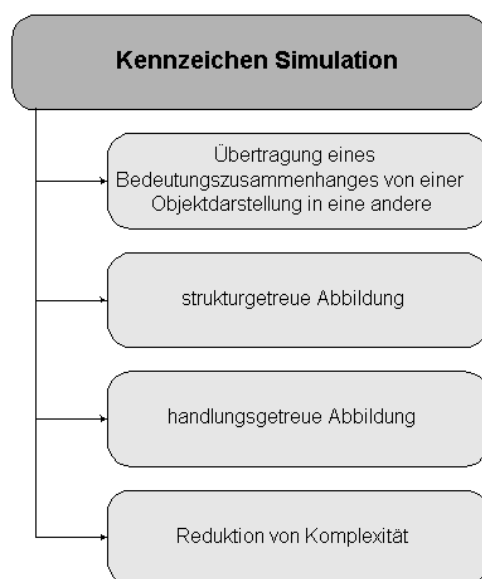


Abbildung 1: Kennzeichen Simulation

Wesentliche Kennzeichen einer Simulation sind demnach

- die Übertragung eines Bedeutungszusammenhanges von einer Objektdarstellung in eine andere: Die Modellsimulation RUBIN als Computersimulation bildet den Bedeutungszusammenhang der Neurobiologie in der digitalen Technologie des Computers ab. Dieses Kriterium der Übertragung unterscheidet die Simulation vom Experiment, bei dem die Abbildung in derselben originalen Objekt- und Funktionsmenge verbleibt.
- die strukturgetreue Abbildung: Die Strukturen und Funktionen der Simulation werden getreu des Bedeutungszusammenhanges abgebildet. Indem auch dynamische Beziehungen abgebildet werden, geht die Simulation über statische Modelle wie Globus oder Landkarte hinaus;
- die handlungsgetreue Abbildung: Neben der Abbildung statischer und dynamischer Funktionen ist vor allem das Moment der Manipulation von Variablen bzw. Parametern im Sinne eines Tests ein

wesentliches Kennzeichen der Simulation: der Lerner interagiert mit der Simulation;

- die Reduktion von Komplexität: Die Simulation bildet den originalen Gegenstandsbereich nicht vollständig ab: Nicht alle Strukturen und Prozesse werden abgebildet, sondern eine reduzierte Auswahl. So werden beispielsweise in einer didaktisch ausgerichteten Simulation nur die Strukturen und Prozesse abgebildet, die Wesentlich für das Lernen im betreffenden Gegenstandsbereich sind, es findet also eine didaktische Reduktion statt. „Dabei kann es Verkürzungen und Reduktionen geben, aber es gilt, dass die Interaktionen, die in der Simulation stattfinden, auch in der Realität stattfinden können. Wegen der Verkürzungen gilt das Umgekehrte –alles, was im Original geht, geht auch in der Simulation – nicht.“ (Meder/Fromme 2001:14). Unter der Perspektive der didaktischen Reduktion von Komplexität versteht Bönsch (2000:265) Simulationen als „Lernarrangements, die in möglichst hoher Verdichtung Elemente von zu erschließenden Lebensweltbereichen so komponieren, dass das Lernen fast wie in der betreffenden Wirklichkeit, aber eben doch in didaktischer Verfügung stattfinden kann. Der schließlich doch simulatorische Charakter der Lernarrangements nimmt soviel an Komplexität oder auch Gefährlichkeit weg, wie es notwendig im Interesse von Lernenden erscheint.“

Aus didaktischer Sicht ist die Simulation die komplexe Einheit von veranschaulichendem Modell und manipulativem Experiment.

Anhand dieser Kennzeichen lässt sich die Simulation von der Animation unterscheiden: Eine Animation kann auch zur Veranschaulichung genutzt werden und modellhaften Charakter besitzen, jedoch fehlt die Möglichkeit des Eingreifens. Gerade dieser Aspekt ist aus didaktischer Perspektive besonders interessant, da er einen aktiven, erkundenden Umgang erlaubt und sich damit von darbietenden, reaktiven Formen wie der Animation unterscheidet.

Im Gegensatz zur Animation liegt der Simulation ein auf Algorithmen basierendes Modell zugrunde. Die Animation hingegen veranschaulicht einen Ablauf, ohne dass ihr „ein funktionales Modell eines Wirklichkeitsausschnittes zugrunde liegt“ (Dick 2000:29).

Exkurs: Experiment

Die Simulation wurde bestimmt als komplexe Einheit aus veranschaulichendem Modell und manipulativem Experiment. Die Arbeit mit und der Einsatz von Simulationen in Lehr-Lernprozessen kann also bezogen werden auf die vielfältigen Erfahrungen mit Experimenten und Modellen. Diese bekommen damit die Rolle von Vorläufern und dienen als Bezugspunkt des Simulations-Einsatzes. Dabei steht die Verwendung von Experimenten im Lehr-Lern-Kontext in einer langen Tradition.

Dieser Exkurs versteht sich nicht als Diskussion der Bedeutung von Experimenten im Lehr-Lern-Kontext, sondern skizziert einige Anknüpfungspunkte. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass Simulationen nicht

mit Realexperimenten und -versuchen gleichgesetzt werden. Auf einen wichtigen Unterschied wurde bei der Definition der Simulation mit dem Kriterium der Übertragung eines Bedeutungszusammenhangs von einer Objektdarstellung in eine andere hingewiesen: Bei der Simulation wird ein Bedeutungszusammenhang im Medium des Computers abgebildet, beim Experiment verbleibt die Abbildung in derselben originalen Objekt- und Funktionsmenge; es findet keine Übertragung statt.

Definition

In einer ersten Annäherung kann das Experiment als eine *wissenschaftlichen Forschungsmethode zur empirischen Erkenntnisgewinnung* definiert werden, die Aussagen mit geeigneten Methoden darauf hin überprüft, ob sie wahr oder falsch sind. Diese Überprüfung ist systematisch angelegt und methodisch kontrolliert. Der grundsätzliche Zweck eines wissenschaftlichen Experiments ist es, eine Hypothese zu bestätigen oder zu widerlegen.

Wesentliche *Bestandteile* des Experimentes sind

- die Beobachtung unter *künstlich hergestellten Bedingungen*,
- die aktive und systematische *Manipulation* der Versuchsbedingungen bzw. Parameter durch den Experimentator,
- die *Beobachtung des Effektes* dieser Manipulation und die darauf aufbauende Möglichkeit der Unterscheidung von *Ursache und Wirkung* und
- die gleichzeitige Kontrolle der Wirkung von *Randbedingungen* und weiteren Variablen (Isolation).

Das Experimentieren erfordert ein planmäßiges, systematisches und methodisches Vorgehen. Dabei versucht der Experimentator, einzelne Faktoren zu isolieren und systematisch zu variieren, um deren Einfluss zu identifizieren.

Da Experimente unter künstlich hergestellten Bedingungen stattfinden, erweitern sie den zugänglichen Erfahrungsraum. Im Gegensatz zu statischen Modellen steht bei Experimenten die Dynamik von Phänomenen und Prozessen, sowie strukturelle und funktionale Zusammenhänge im Vordergrund. Das Kriterium der Künstlichkeit der Experimentalsituation hat das Experiment mit der Simulation gemein und kann daher als dessen Vorläufer bezeichnet werden (vgl. Meder 1995:59).

Ablauf

Die Durchführung von Experimenten im Lehr-Lern-Kontext lässt sich beispielhaft in unterschiedliche Phasen gliedern (Wagner 2002):

- Beobachtung eines Effektes,

- Klären von Zusammenhängen,
- Sammeln von Erkenntnissen zum beobachteten Effekt,
- Formulieren einer Hypothese,
- Planen und Skizzieren eines Experimentes,
- Entwickeln von Protokollbögen,
- Versuch durchführen: Beobachten, Messen, Protokollieren,
- Auswerten der Messergebnisse mit Hilfe von Tabellen, Diagrammen und mathematischen Beziehungen,
- Formulieren von Aussagen,
- Einordnen in theoretischen Erklärungsrahmen,
- Einschätzen von Anwendungsmöglichkeiten,
- Differenzierung der Hypothese.

An der Darstellung der Durchführung wird deutlich, dass das konkrete Experimentieren nur eine Phase im Ablauf eines Experimentes in Lehr-Lern-Prozessen darstellt und in ein umfassenderes Konzept aus Einstieg, Vorbereitung, Planung und Auswertung eingebettet ist.

Spezifische Phasen	Handlungsstruktur	Allgemeine Phasen
• Beobachten eines Effektes	Einstieg, Motivation	Einstiegsphase
• Klären von Zusammenhängen	Handlungsziel festlegen	
• Sammeln von Erkenntnissen zum beobachteten Effekt	Informieren	Vorbereitungsphase
• Formulieren einer Hypothese	Entscheiden	
• Planen und Skizzieren eines Experiments	Handlung planen	Planungsphase
• Entwickeln von Protokollbögen		
• Versuch durchführen: Beobachten, Messen, Protokollieren	Handeln	Ausführungsphase
• Auswerten der Messergebnisse mit Hilfe von Tabellen, Diagrammen und mathematischen Beziehungen	Kontrollieren und Bewerten	Auswertungsphase
• Formulieren von Aussagen		
• Einordnen in theoretischen Erklärungsrahmen	Reflektieren	
• Einschätzen von Anwendungsmöglichkeiten		
• Differenzierung der Hypothese		

Abbildung 2 Handlungsphasen beim Experiment (Wagner 2002)

Bei der Arbeit mit Experimenten lassen sich dabei zwei grundsätzliche Herangehensweisen unterscheiden:

- *induktiv*: Aus einzelnen Experimenten werden zugrunde liegende Gesetzmäßigkeiten abgeleitet; vom Besonderen wird auf das Allgemeine geschlossen;
- *deduktiv*: Von einer allgemein gültigen Gesetzmäßigkeit wird auf einen einzelnen Fall geschlossen; also vom Allgemeinen auf das Besondere.

Klassifikation

Experimente können in Hinsicht auf unterschiedliche Aspekte klassifiziert werden, z.B. Lernziele, Aktionsform, Ordnungsgefüge des Lernprozesses, Sozialform und Denkleistung (vgl. Ott 1995). Diese Klassifikationen geben gleichzeitig einen Hinweis auf mögliche Einsatzszenarien.

Klassifikation von Experimenten nach	
•Lernzielen	<ul style="list-style-type: none"> •erkenntnisorientierte Lernziele •anwendungsorientierte Lernziele •handlungsorientierte Lernziel
•Aktionsform	<ul style="list-style-type: none"> •Lehrerexperiment •Schülerexperiment
•Ordnungsgefüge des Lernprozesses	<ul style="list-style-type: none"> •Erkundungsexperiment •Einstimmungs- oder Überraschungsexperiment •Einzel- oder Reihenexperiment •Anwendung-, Bestätigungs- und Kontrollexperiment
•Sozialform	<ul style="list-style-type: none"> •Schülereinzelexperiment •Schülergruppenexperiment
•Denkleistung (problemorientierte Experimente)	<ul style="list-style-type: none"> •Fehler-, Irrtums- und Kontrollexperimente •konstruktive Experimente •Gedankenexperimente
Klassifikation von Schülerexperimenten nach Ott (1995)	

Zu den gegenwärtig am meisten eingesetzten Arten des Experimentes im Bildungskontext zählt die Hypothesenüberprüfung, das Erkundungsexperiment und das Demonstrationsexperiment (,Lehrerexperiment’).

Begründungen und Ziele

Der Schwerpunkt der bisherigen Ausführungen zum Experiment liegt auf dem wissenschaftlichen Bereich, auf dem Experiment als Mittel zur empirischen Erkenntnisgewinnung. Zusätzlich zu dem Ziel der

Erkenntnisgewinnung verfolgt der Einsatz im Lehr-Lern-Kontext weitere Ziele, die im Folgenden anhand der Darstellungen von Wilksch (2003)¹ skizziert werden. Wilksch nennt folgende allgemeine Begründungen für den Einsatz von Experimenten im Lehr-Lern-Kontext:

- „Ein Experiment verdeutlicht
- Ein Experiment kann Inhalte vermitteln
- Ein Experiment dient der direkten Anschauung
- Ein Experiment verstärkt den Lerneffekt
- [Die Lernenden] werden direkt eingebunden - gleichzeitig wird die Eigentätigkeit gefordert und gefördert [...]
- Schulung der Beobachtungsgabe“

Als weitere Gründe nennt er

- das Erkennen der formalen Struktur einer naturwissenschaftlichen Erkenntnismethode Experiment,
- die Vermittlung der fachtypischen Arbeitsweise des Experimentierens,
- das selbständige Lösen von Problemen,
- das Versetzen der Lernenden in eine reale Forschungssituation und die Steigerung der damit verbundenen Motivation,
- ein Verständnis, das auf konkreter Anschauung und praktischer Erfahrung Umgang mit realen Objekten beruht,
- die Förderung sozialer Verhaltensweisen durch Arbeit in Kleingruppen.

Einsatzformen von Experimenten im Lehr-Lern-Kontext

Auf die Möglichkeit des induktiven und deduktiven Arbeitens mit Experimenten wurde bereits hingewiesen. An dieser Stelle wird zur Verdeutlichung eine Auswahl unterschiedlicher Einsatzformen des Experimentes dargestellt (vgl. Wilksch 2003): das einführende Experiment, das entdeckende Experiment, das bestätigende Experiment und das Schüler- und Lehrerexperiment (Demonstrationsexperiment).

Das einführende Experiment

Das einführende Experiment kann sich auf den *Inhalt* wie auch auf die *Methode* beziehen: *Inhaltlich* wird die Einführung in einen Gegenstandsbereich oder eine Fragestellung in den Vordergrund gestellt. Das Experiment – beispielsweise als entdeckendes Experiment - macht dabei auf bestimmte Aspekte aufmerksam, regt zum weiteren Nachdenken an (z.B. durch Widerspruch mit bestehendem Wissen), macht neugierig usw.

¹ Wilksch 2003, Das Experiment im Schulunterricht, <http://iabserv.biologie.uni-mainz.de/iab/Wild/Schmittv/Fadida/Experiment.html>

Methodisch kann der Schwerpunkt auf das Erkenntnis-Instrument „Experiment“ gelegt und so z.B. die fachliche Erkenntnisgewinnung thematisieren.

Diese Trennung von Inhalt und Methode bezieht sich im konkreten Einsatz auf unterschiedliche Schwerpunktsetzungen. Darüber hinaus kann das einführende Experiment sowohl vom Lernenden als auch vom Lehrenden (als Demonstrations-Experiment) durchgeführt werden.

Das entdeckende Experiment

Das entdeckende Experiment beruht auf einem *induktiven* Vorgehen, wobei aus der Manipulation einzelner Parameter die dem Experiment zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden. Diese Vorgehensweise entspricht weitgehend einem wissenschaftlichen Experiment. Für den Lehr-Lern-Kontext lassen sich dabei unterschiedliche Grade von Vorgaben und Freiheitsgraden unterscheiden, z.B. in der Wahl der Problemstellung und der Bereitstellung von unterstützenden Material. Das entdeckende Experiment bewegt sich also in einem Bereich, in dem einzelne Aspekte eines Gegenstandsbereichs mit Hilfe des Experimentes *entdeckt* werden, bis hin zur Verwendung als zunächst vollkommen unbekannte „black-box“, die es systematisch zu entdecken gilt. Bei dieser Art des Experimentierens handelt es sich um ein *Nachentdecken* und *Nacherforschen* im Sinne von Bönsch: Ein Lernender entdeckt und erforscht durch die Arbeit mit dem Experiment *für ihn* subjektiv neue Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten, die der Fachwelt in der Regel bekannt sind. Das Experiment wird dann nicht in wissenschaftlicher Perspektive aus Gründen der Erkenntnisgewinnung durchgeführt, sondern dieses *Nachentdecken* und *Nacherforschen* wird fachdidaktisch begründet.²

Das bestätigende Experiment

Bei bestätigenden Experimente werden in *deduktiver* Weise bekannte Sachverhalte oder Theorien mit der Durchführung eines spezifischen Experimentes überprüft. Dies kann mit dem Ziel einer Veranschaulichung, Vertiefenden oder Wiederholung verbunden sein.

Schüler- und Lehrenden-Experiment

Legt man die Aktionsform des Experimentes zugrunde, können Schülerexperimente und Lehrendenexperimente unterschieden werden. Vom Lehrenden durchgeführte Demonstrationsexperimente werden im Lehr-Lern-Kontext meist mit dem Ziel durchgeführt, das Interesse der Lernenden zu wecken und sie zu motivieren, Stoffkenntnis zu vermitteln und die Beobachtungsgabe zu schulen. Sie werden vor allem dann durchgeführt, wenn

² Dieses Nachentdecken und Nacherforschen gilt auch für die Arbeit mit Simulationen. Die Übertragung eines Bedeutungszusammenhanges in das Medium des Computers erfordert ja bereits ein Verständnis dieses Zusammenhanges, um ihn auf der Basis eines Algorithmus in der Simulation abzubilden.

- der Aufwand des Experimentes sehr groß ist,
- das Experiment zu gefährlich ist,
- die eingesetzten Apparaturen sehr teuer sind und
- die Arbeitstechniken sehr schwierig sind .

Voraussetzungen, Aufbau, Anforderungen beim Experimentieren im Lehr-Lern-Kontext

Das Experiment im Lehr-Lern-Kontext unterscheidet sich von wissenschaftlichen Experimenten. Dabei unterliegt das Experiment im Lehr-Lern-Kontext besonderen Rahmenbedingungen und Anforderungen. Nach Wilksch (2003) muss ein Experiment „das zeigen, was es zu zeigen gibt, der Altersstufe [...] angemessen sein, auf vorhandene Vorkenntnisse aufbauen, in den zeitlichen Rahmen des Unterrichts passen, einen deutlich erkennbaren Effekt zeigen, eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit des Gelingens aufweisen, den Sicherheitsrichtlinien entsprechen, mit der vorhandenen Ausrüstung durchführbar sein.“

Modellsimulation RUBIN

Die folgenden Ausführungen geben einen kurzen Überblick über die Simulation *Rechnergesteuerter Unterricht zur biologischen Informationsverarbeitung in neuronalen Netzwerken* (RUBIN), basierend auf der Projektbeschreibung (1998-2000) der Fakultät für Biologie der Universität Bielefeld:

„RUBIN ist ein multimediales und interaktives Lern- und Lehrsystem im Bereich der Neurowissenschaften, in dem Lernende in didaktisch aufbereiteten Lehrsimulationen erfahren können, wie Informationen im Gehirn verarbeitet werden.

Um dem stark interdisziplinären Charakter der Thematik gerecht zu werden, ist das Ziel des Projektes, einen gemeinsamen Rahmen für die Lehre in Biologie, Informatik und kognitionswissenschaftlicher Disziplinen vorzuschlagen. Als vollständig in JAVA realisiertes Lern- und Lehrsystem mit einer graphischen Benutzeroberfläche, aus der heraus alle bereitgestellten Module erreichbar sind, ist RUBIN prinzipiell auf jeder Rechner- und Netzwerkarchitektur lauffähig und eignet sich damit für das Selbststudium am Heimrechner, zum netzbasierten Lernen in Gruppen an universitären Servern sowie für die punktuelle Präsentation in mit Multimedialechnik ausgestatteten Veranstaltungsräumen. Die modular angelegte Struktur von RUBIN erlaubt die Anbindung vieler weiterer Funktionseinheiten, die das Lernen und Lehren effektiver und komfortabler machen und RUBIN letztendlich zu einem Lern- und Lehrsystem mit Modellcharakter machen.“ (4)

Auf einer allgemeinen Ebene handelt es sich bei RUBIN um eine didaktisch aufbereitete Lehrsimulationen aus dem Bereich der Neurobiologie. Alle Lehrsimulationen sind in dieselbe Simulationsumgebung integriert, folgen einem einheitlichen Aufbau, enthalten unterschiedliche interaktive Visualisierungsmöglichkeiten und

werden zudem durch den Einsatz multimedialer Technik, sowie Video, Audio und Animationen unterstützt. Entsprechend der dargestellten Kennzeichen der Simulation ist RUBIN die Abbildung der Zusammenhänge der Neurobiologie im Medium des Computers (*Übertragung eines Bedeutungszusammenhanges von einer Objektdarstellung in eine andere*), in der die Strukturen und Funktionen der Neurobiologie getreu den realen Beziehungen und Eigenschaften abgebildet sind (*strukturtreue Abbildung*), und in diese Abbildung manipulativ im Sinne eines Tests eingegriffen werden kann (*handlungstreue Abbildung*). Der komplexe Gegenstandsbereich der Neurobiologie ist dabei in didaktischer Perspektive reduziert.

Struktur und Aufbau

RUBIN ist ein Simulationslehrsystem, das aus zahlreichen einzelnen Lehrsimulationen mit dynamischer Visualisierung besteht. Die Lehrsimulationen sind in einem linearen Lernweg eingebettet, der vom Neuron über Netzwerke bis zu einfachem Verhalten führt. Dabei besitzen die einzelnen Lehrsimulationen eine in sich geschlossene Struktur, sind inhaltlich abgeschlossen und erlauben es somit, sowohl die Lehrsimulationen als ganzes als auch einzelne Simulationen als Lerneinheiten außerhalb des linearen Lernweges modular zu verwenden.

Ausgangspunkt und Ziel

RUBIN verfolgt einen problemorientierten Ansatz, der auf der Unterscheidung des Lernens von Prozesswissen und Faktenwissen beruht. „Wenn Lehrende erklären wollen, wie Informationsverarbeitung im Gehirn funktioniert, stoßen sie unweigerlich auf ein Problem: Informationsverarbeitung ist in erster Linie ein Prozeß. Das Lernen und Vermitteln von Prozessen unterscheidet sich grundsätzlich vom Lernen und Vermitteln von Fakten: Faktenwissen (deklaratives Wissen) lässt sich leicht in Worte fassen, während prozedurales Wissen durch Handlungen und Interaktionen erworben werden kann. Die herkömmlichen Lehrbücher sowie die gängigen universitären Veranstaltungsformen (Vorlesung und Seminare), mit denen Informationsverarbeitung gelehrt und gelernt wird, beruhen jedoch primär auf verbaler Vermittlung, so daß die prozedurale Komponente der Informationsverarbeitung unberührt bleibt.“ Ziel von RUBIN ist es daher, Lernenden und Lehrenden didaktische Werkzeuge in einem Lern- und Lehrsystem an die Hand zu geben, mit deren Hilfe Informationsverarbeitung im Gehirn veranschaulicht werden kann, die Dynamik und Komplexität biologischer Informationsverarbeitung in neuronalen Netzwerken zugänglich und erfahrbar gemacht wird, anhand von Simulationen experimentiert und modelliert werden kann, das Lernen und Lehren effektiver und komfortabler gemacht wird.

Zielgruppe

RUBIN richtet sich an Lernende und Lehrende der Biologie, der Informatik und der Kognitionswissen-

schaften, an Studierende im Grund- und Hauptstudium, sowie an Schüler der gymnasialen Oberstufe.

Einsatz

Der Einsatz bzw. die Verwendungsweise von RUBIN zielt auf drei Ebenen: Auf das Selbststudium, auf das Lernen in Gruppen, sowie auf die punktuelle Präsentation. Die in sich geschlossene Struktur der einzelnen Lehrsimulationen erlaubt es, RUBIN sowohl innerhalb eines linearen Lernweges als auch modular zu einzusetzen. Um den Bezug der abstrakten Materie formaler Modellsimulationen zu real lebenden Systemen sicherzustellen, kann ausgehend von einem (biologischen oder psychologischen) Beispiel aus der alltäglichen Erfahrungswelt die Entwicklung und Motivation eines Modells nachvollzogen werden. Da anspruchsvollere Lehrsimulationen innerhalb von RUBIN jedoch für Lernende ohne Basiswissen nicht nachzuvollziehen sind, setzt dies eine Einbettung in einen umfassenden Lernweg voraus, durch den das Basiswissen vermittelt wird. Das *inhaltliche* Basiswissen (vornehmlich deklarativ) kann so z.B. im Verlauf einer Vorlesung, eines Seminars bzw. über herkömmliche Bücher erworben werden.

Einsatz von Computersimulationen im Lehr-Lernkontext

Modellkonstruktion – Modellerforschung – Realitätsersatz

Mit welchem Ziel können Computersimulationen im universitären Lehr-Lern-Kontext eingesetzt werden? In einer allgemeinen Perspektive nennt Dick (2000) als grundlegende Einsatzmöglichkeiten die Modellkonstruktion, die Modellerforschung und die Verwendung der Computersimulation als Realitätsersatz.

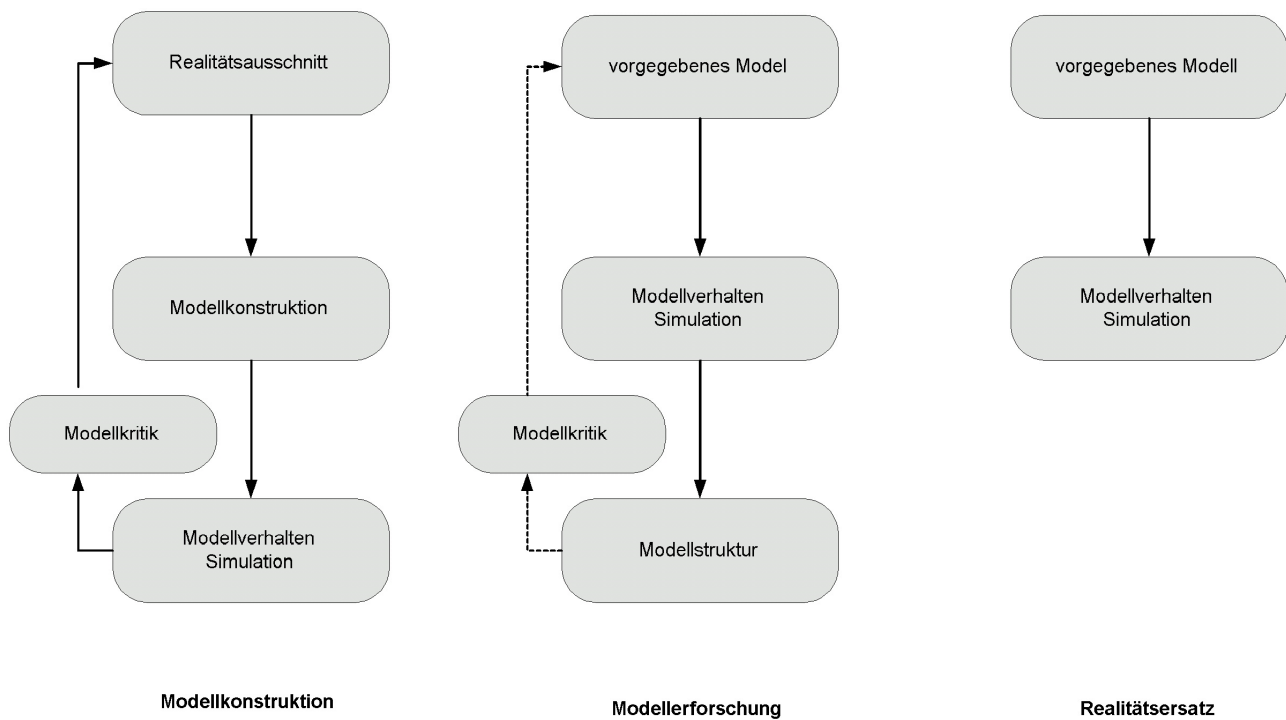


Abbildung 3 Möglichkeiten des Einsatzes von Modellsimulationen in Lernprozessen (nach Dick 2000)

Modellkonstruktion

Wesentliche Schritte der Konstruktion und Entwicklung von Modellen ist die Beobachtung empirischer Phänomene, die Entwicklung eines theoretischen Ansatzes und die Umsetzung in einer Simulation als ein auf Algorithmen basierendes Modells (s.o. Kennzeichen Simulation).

Da es sich bei der Modellsimulation RUBIN nicht um ein Werkzeug zur Modellkonstruktion handelt, kann mit den in RUBIN enthaltenen Modellsimulationen gearbeitet werden, es können jedoch keine Modellsimulation konstruiert werden.

Daher werden im Folgenden vor allem die Einsatzmöglichkeiten der Modellerforschung und der Modellsimulation als Realitätsersatz dargestellt.

Modellerforschung

Die Methode der Modellerforschung gleicht dem Vorgehen bei der Erforschung empirischer Phänomene. Das allgemeine Ziel der Modellerforschung liegt in einem empirisch-induktivem Vorgehen: Parameter der Simulation werden verändert, das Verhalten der Simulation wird beobachtet und interpretiert, um daraus Schlüsse auf die zugrunde liegende Modellstruktur zu ziehen. Darüber hinaus kann das Model als *Entscheidungsmodell* zum Auffinden einer optimalen Verhaltensweise; als *Erklärungsmodell* zum besseren Verständnis für das Verhalten eines Systems und als *Prognosemodell* zur Abschätzung der zukünftigen

Entwicklung eines Systems eingesetzt werden.³ Da die Vielfalt der Bearbeitungsmöglichkeiten aus didaktischer Perspektive eines der wichtigsten Merkmale der Simulation ist, kommt dem Aspekt der Modellerforschung eine zentrale Rolle zu. Die Vielfalt der Bearbeitungsmöglichkeiten zeigt sich u.a. in der Vielfalt der möglichen Einsatzszenarien der Simulation im Lehr-Lern-Kontext.

Modellsimulation als Realitätsersatz

Bei der Verwendung von Modellsimulationen als Realitätsersatz stellt sich zunächst die grundlegende Frage, was durch die Modellsimulationen ersetzt werden soll. Versteht man die Simulation wie oben als die komplexe Einheit von veranschaulichendem Modell und manipulativem Experiment, dann liegt es nahe, mit der Simulationen reale Experimente und Modelle zu ersetzen. Gründe für dieses Ersetzen liegen in der Regel in dem Umstand, dass Phänomene und Prozesse zu langsam oder zu schnell ablaufen, räumlich zu groß oder zu klein sind, zu gefährlich sind, ethisch nicht zu verantworten, technisch nicht realisierbar, zu teuer oder zu komplex sind (vgl. Dick 2000). Wenn diese Einschränkungen zutreffen, ist es sinnvoll, Phänomene und Prozesse als Experimente auf dem Computer abzubilden, d.h. als ein veranschaulichendes Modell und manipulatives Experiment (Simulation), um sie für den Lerner zum Lerngegenstand und Handlungsfeld zu machen. Die oben genannten Gründe für den Einsatz von Simulationen gelten auch für RUBIN. Im Fall RUBINs geht es jedoch weniger um eine Entweder-oder-Entscheidung, d.h. ob eine Simulation oder ein reales Experiment eingesetzt werden soll, sondern ob die Simulation eingesetzt werden soll oder gar kein Versuch bzw. Experiment. Die in RUBIN enthaltenen Modellsimulationen ersetzen daher in der Regel keine anderen, realen Experimente, sondern sind ansonsten gar nicht durchführbar.

Beispielhaft für das Ersetzen von Realität durch Simulationen ist die Pilotenausbildung durch Cockpit-Simulationen. Ziel ist ein Bedienungs- und Anwendungstraining, die Vermittlung von Erfahrungen über das Modellverhalten. Bei dieser Art von Simulation kann der Lerner voraussetzen, dass die Simulation die Wirklichkeit korrekt abbildet (vgl. Reduktion) und sich die Bedienung der Simulation nicht von der Bedienung des Cockpits unterscheidet.

Begründungen und Ziele des Einsatzes von Simulationen

Der Einsatz von Simulationen im universitären Lehr-Lern-Kontext wird auf unterschiedlichen Ebenen begründet. Meist geschieht dies mit dem Hinweis auf spezifische Eigenschaften der Simulation, auf einen „*Mehrwert*“ und „*Zusatznutzen*“ gegenüber bisher in der Hochschullehre eingesetzten Medien. Deren Defizite werden spezifische Eigenschaften der Simulationen gegenübergestellt.

Eine zweite Linie der Begründung baut auf den Eigenschaften auf und leitet daraus ein besonderes Potenzial für das Erreichen hochschulspezifischer Ziele ab, die durch den Einsatz von Simulationen in unterschied-

³ vgl. <http://www.ikarus.uni-dortmund.de/wissenschaft/modellbildung/glossar.htm>

lichen Veranstaltungsformen der Hochschullehre erreicht werden können. Der Einsatz von Simulationen betrifft dabei zentrale Fragen der Lehrveranstaltung: das Was (Inhalt) und auch das Wie (Methodik) und damit verbunden das Wohin (Ziel).

Eigenschaften und Mehrwert

Wie bereits weiter oben skizziert, werden Simulationen als spezifische Ausprägungen neuer Medien verstanden, deren Entwicklung auf dem Einsatz der digitalen Computertechnologie beruht. Die allgemeinen Ziele des Einsatzes *Neuer Medien* in der Hochschullehre wurde unter dem Stichwort der Optimierungs- und Mehrwert-Effekte am Beispiel der „elementaren Lernhoffnungen“ (Brinkmann 2000:49f) skizziert.

Den spezifischen Mehrwert für den Einsatz von Simulationen im Lehr-Lern-Kontext beschreibt Dick (2000:198-200) am Beispiel des Umgangs mit komplexen Gegenstandsbereichen: „Es zeigt sich, dass in vielen Fällen Computersimulation die einzige Möglichkeit ist, im Unterricht wichtige Einsichten zu vermitteln, die bislang nur deshalb nicht vermittelt wurden, weil keine geeignete Methode zur Verfügung stand. Die Vermittlung von Erfahrungen im Umgang mit komplexen Systemen etwa wird durch Simulationsmethoden in sehr vielen Fällen überhaupt erst möglich gemacht“. Und speziell im Hinblick auf komplexe Systeme stellt er fest: „Mit traditionellen Vermittlungsmethoden, die auf Ziele des Verstehens ausgerichtet sind, kann es nicht gelingen, diese Schwierigkeiten erfahrbar zu machen oder gar Entscheiden in komplexen Systemen zu lehren und zu üben. Hier bietet die Simulationsmethode die einzige Möglichkeit zur Vermittlung entsprechender Fähigkeiten und Erfahrungen“ (Dick 2000).

Im Folgenden werden die Mehrwert-Effekte dargestellt und konkretisiert, die sich speziell auf Simulationen beziehen und auf deren spezifischen Eigenschaften basieren. Unter dem *Mehrwert* von Simulationen für den Lehr-Lernkontext werden dabei die Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten und damit verbundene Ziele verstanden, die ohne die Verwendung von Simulationen nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen zu erreichen wären. Der Mehrwert wird dabei als *relationaler Begriff* verwendet, der im Vergleich mit anderen Medien inhaltlich bestimmt wird und immer mit einer konkreten Zielvorstellung verbunden ist: Im Vergleich zu welchen anderen Medien besitzen Simulationen *mehr Wert*? Zur Erreichung welchen Ziels sind Simulationen besser geeignet als andere Medien?

Dick (2000:199) stellt die Eigenschaften von Simulationen den Eigenschaften von *Alternativen* wie Realexperimenten⁴ / Beobachtungen und Film / Video anhand der ausgewählten Eigenschaften der Anwendungsfelder, der Interaktivität, des Aufwandes, der Verfügbarkeit, der Handhabung und der Authentizität und Transparenz gegenüber.

⁴ Dix (2000) spricht in seinen Ausführungen von Realexperimenten und Realversuchen. In dieser Arbeit wird der Begriff Experiment und Versuch verwendet. Falls es sich dabei nicht im reale Experimente handelt, wird ausdrücklich darauf hingewiesen. Die Auseinandersetzung um reale und nicht-reale (virtuelle, usw.) Experimente kann an dieser Stelle nicht geführt werden.

	Simulationen, Modellrechnungen	Realversuche, Beobachtung der Realität	Film, Video
Anwendungsfelder	einfache und komplexe Systeme; auch Prozesse •die extrem schnell / langsam ablaufen •mit extrem großen / kleinen Dimensionen •die gefährlich sind •die mit ethischen Problemen verbunden sind •die sehr kostspielig sind	einfache, ungefährliche Systeme in überschaubaren zeitlichen und räumlichen Bedingungen	einfache und komplexe Systeme; auch Prozesse •die extrem schnell / langsam ablaufen •mit extrem großen / kleinen Dimensionen •die gefährlich sind •die mit ethischen Problemen verbunden sind •die sehr kostspielig sind
Interaktivität	„Quasi-Experiment“: Variation von Versuchsparametern in weitestem Rahmen möglich. Systemverhalten auch unter riskanten Bedingungen erfahrbar	Experimentieren: Variation von Versuchsparametern	nicht gegeben: keine Veränderungen von Parametern möglich
Aufwand	relativ gering	Für Realversuche: hoch Für Beobachtungen: häufig relativ gering	relativ gering
Verfügbarkeit	gute Möglichkeiten, auch beim Selbststudium mit CBT	Möglichkeiten in vielen Fällen, insbesondere beim Selbststudium, nicht gegeben; oftmals nicht beliebig wiederholbar	Möglichkeiten relativ selten gegeben, als Video in multimedialem CBT; beliebig wiederholbar
Handhabung	relativ einfach, hängt aber vom individuellen Programm ab. Sicherer Erfolg	Realversuche: hohe Anforderungen, hängt aber vom jeweiligen Versuch ab. Erfolg ist nicht immer sicher	einfach, einheitlich. Sicherer Erfolg
Authentizität, Transparenz	•Verhältnis Modell / Realität ist häufig unklar •Gefahr von unabsichtlicher oder absichtlicher Verfälschung des Modellansatzes •Zuverlässigkeit der ermittelten Daten wird von den Lernenden möglicherweise unrealistisch eingeschätzt.	Optimal, hängt lediglich vom Versuchsaufbau ab	Gewöhnlich sehr hoch; zugrunde liegende Technik ist allgemein bekannt.

Abbildung in: *Simulation und Alternativen. Vergleich im Hinblick auf ausgewählte Eigenschaften* (Dick 2000,199)

Der Begriff der *Alternative* weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass sich Simulationen in einem Bereich bewegen, der vormals durch Experimente, Beobachtungen, Modelle, Film und Video abgedeckt wurde (vgl. Exkurs Experiment). Im Sinne des Mehrwertes stellt sich die Frage nach den neuartigen

Möglichkeiten der Simulation: Was können Simulationen leisten, was die genannten Medien nicht oder nur schwer leisten konnten und deren Einsatz in Lehrveranstaltungen begründet?

Der Mehrwert von Simulationen kann aus der Darstellung von Dix (2000:199) in einer ersten Annäherung folgendermaßen gelesen werden:

- Das Anwendungsfeld von Simulationen bezieht sich auf einfache wie auch *komplexe Systeme und Prozesse*. Dies hat die Simulation mit Film und Video gemeinsam, unterscheidet sie aber von Experimenten und Beobachtungen. Diese beziehen sich im Rahmen universitärer Lehrveranstaltungen meist auf einfache und ungefährliche Systeme unter überschaubaren räumlichen und zeitlichen Bedingungen.
- Die Unterschiede werden deutlicher, wenn das Kriterium der *Interaktivität* hinzu kommt. Eine Veränderung wesentlicher Parametern ist bei Film / Video nicht⁵, beim Versuch und Experiment meist nur dem Versuchsleiter und bei der Simulation grundsätzlich für jeden einzelnen Lerner möglich.
- Abgesehen von der benötigten Technik in Form von Computer oder Projektor / Videogerät ist der *technische Aufwand* für den Einsatz von Simulationen und Film / Video vergleichsweise gering. Der Aufwand für die Durchführung von Experimenten ist demgegenüber als hoch einzuschätzen.
- Die *Verfügbarkeit* von Experimenten ist in der Regel für den einzelnen Lerner nicht gegeben und die Experimente sind auch nicht beliebig oft wiederholbar. Simulationen und Video / Film sind dahingegen beliebig oft wiederholbar, die Verfügbarkeit von Simulationen - zumal über das Internet - ist gegenüber Film / Video höher.
- Die *Handhabung* von Film / Video ist einfach, einheitlich und garantiert einen sicheren Erfolg. Der Erfolg des Versuchs ist nicht in jedem Fall garantiert und stellt in der Regel hohe Anforderungen an der Versuchsleiter. Die Handhabung der Simulation ist sehr stark von der spezifischen Simulation abhängig.
- Die *Authentizität und Transparenz* ist beim Film / Video gewöhnlich sehr hoch, jedoch an die Abbildbarkeit der Prozesse gebunden. Beim Versuch ist die Authentizität per Definition sehr hoch.

Diese Darstellung enthält einen Mehrwert, der auf einem Medienvergleich beruht und der Richtung der Simulation, wie auch des Experimentes und des Films / Videos gelesen werden kann. Damit wird auch deutlich, dass durch Simulationen die anderen genannten Medien nicht überflüssig oder ersetzt werden, sondern auch sie ein spezifisches Potenzial und einen Mehrwert besitzen. Die Darstellung enthält somit erste Hinweise auf mögliche Einsatzszenarien:

- Wenn komplexe Systeme und Prozesse veranschaulicht werden sollen, bieten sich der Einsatz von Simulation wie auch Film / Video an.
- Soll die Aktivität der Lernenden im Zentrum stehen, bietet sich der Einsatz von Experimenten an. Wenn deren Durchführung bestimmten Einschränkungen unterliegen, bietet sich der Einsatz von Simulationen an.
- Kann nur ein geringer Aufwand betrieben werden, bietet sich der Einsatz von Simulationen an (indem

⁵ Abgesehen von den Parametern des Stop / Go, der Wiederholung und im gewissen Umfang der Geschwindigkeit. Die Manipulationsmöglichkeiten von Simulationen geht weit darüber hinaus.

z.B. der Dozent wichtige Aspekte mit Hilfe der Simulation visualisiert) oder der Einsatz eines Films / Videos. Bei der Simulation kann der Dozent die Parameter aktiv manipulieren, was beim Einsatz von Film / Video in dieser Form nicht möglich ist.

Ein entscheidender Ansatzpunkt von RUBIN liegt darin, dass neben konzeptuellem und deklarativem Wissen vor allem prozedurales Wissen vermittelt wird. Dieses Potential für die Vermittlung prozeduralen Wissens entspricht einem besonderen „Mehrwert“. Als zentrale Ziele der Simulation RUBIN als didaktische Werkzeug stehen im Vordergrund die Veranschaulichung der Informationsverarbeitung im Gehirn, der Zugang zu und das Erfahrbarmachen der Dynamik und der Komplexität biologischer Informationsverarbeitung in neuronalen Netzwerken, das Modellieren und Experimentieren und das Lernen und Lehren effektiver und komfortabler machen.

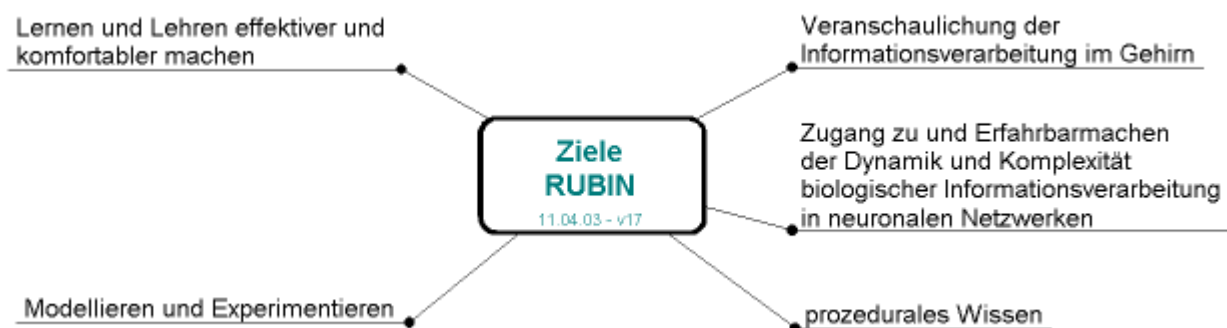


Abbildung 4 Ziele der Simulation RUBIN

Auf allgemeiner Ebene sind mit dem Einsatz von Simulationen im Lehr-Lern-Kontext vor allem *Zielvorstellungen* der inhaltlichen sowie methodisch-didaktischen Qualitätsverbesserung der Hochschullehre verbunden (vgl. Simon 1980).

Vorausgesetzt wird immer ein dem Medium Simulation entsprechender Einsatz, der jedoch in der Regel nicht näher dargestellt wird. Die folgenden Zielvorstellungen sind daher mit den „elementaren Lernhoffnungen“ Brinkmanns (s.o.) vergleichbar: Sie werden generell durch den Einsatz von Simulationen angestrebt, ohne explizit zu beschreiben wie dies genau zu realisieren ist, d.h. ohne Angabe der methodisch-didaktischen Umsetzung als Weg dorthin. Ausgangspunkt der Zielvorstellungen sind die Eigenschaften der *Simulation als komplexer Einheit* aus veranschaulichendem Modell und manipulativem Experiment, basierend auf der Darstellung eines Bedeutungszusammenhangs mit Hilfe der Computertechnologie, auf der struktur- und handlungsgetreuen Abbildung und auf der didaktischen Reduktion von Komplexität. Diese Eigenschaften machen die Simulationen vor allem für den Einsatz im Lehr-Lernkontext interessant (vgl. Simon 1980).

Aufgrund des Charakters des *manipulativen Experimentes* befindet sich der Lerner in einer Situation des Experimentierens, des interaktiven Arbeitens mit der Simulation durch die Eingabe und Manipulation von Parametern wie z.B. von Anfangs- oder Rahmenbedingungen. Die Simulation unterstützt die Aktivität des

Lerners und setzt diese gleichsam voraus, sie ermöglicht die Auseinandersetzung mit Prozessen und zeitlichen Verläufen sowie funktionaler Zusammenhänge und ermöglicht somit Einsicht in die der Simulation zugrunde liegenden Struktur und Prozesse. Aufgrund der Manipulation von Parametern ermöglicht die Simulation eine Vielfalt von Bearbeitungsmöglichkeiten und darauf aufbauend eine Vielfalt von Einsatzmöglichkeiten

Aufgrund des Charakters des *veranschaulichenden Modells* arbeitet der Lerner mit einem von der Realität abstrahierten Modell. Durch eine didaktische Reduktion kann die Simulation speziell auf Lehr-Lern-Prozesse ausgerichtet sein und bildet so als reduziertes Modell einen überschaubaren Realitätsbereich ab. Die struktur- und handlungstreue der Simulation ermöglicht ein Probehandeln in konkret sinnlicher Form.

Durch Veranschaulichung⁶ und Visualisierung kann ein vertieftes Verständnis abstrakter, dynamischer und komplexer Gegenstandsbereiche erreicht werden (vgl. Wedekind 1981:46).

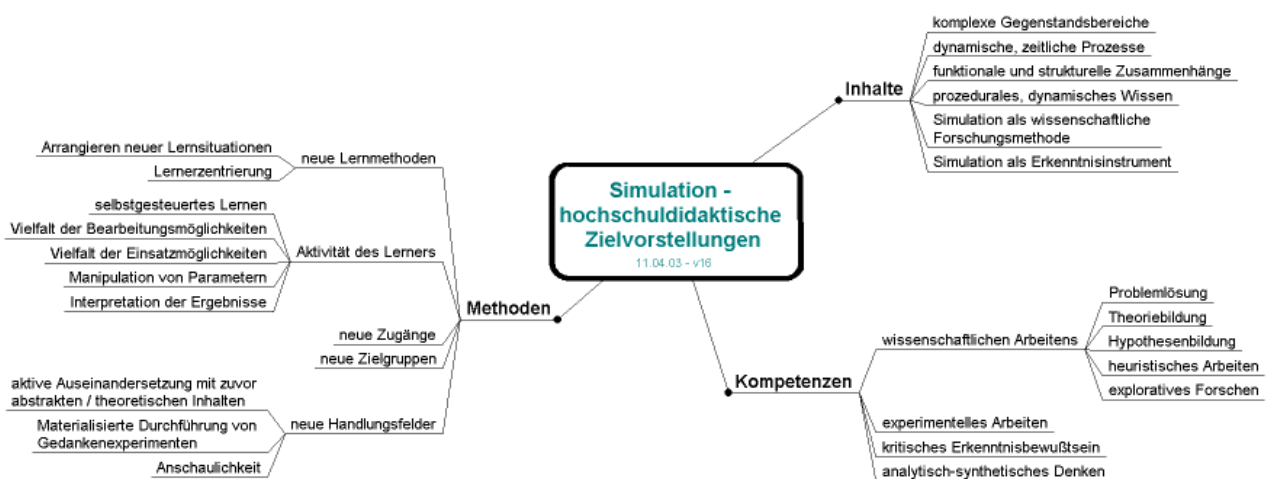


Abbildung 5: Hochschuldidaktische Zielvorstellungen des Einsatzes von Simulationen

Zu den inhaltlichen *Zielvorstellungen* des Einsatzes von Simulationen gehört die Vermittlung neuartiger Inhalte und spezifischer Kompetenzen, die bislang in der Hochschullehre wenig oder nicht berücksichtigt wurden und somit auf Defiziten bisheriger Hochschulpraxis beruhen. Zu diesen Zielvorstellungen gehört

- das *Vermitteln neuartiger Inhalte*, wie z.B. komplexer und vernetzter Gegenstandsbereiche im Gegensatz zu monokausalen Ursache-Wirkungs-Analysen; sowie Stabilitäten, Sensitivitäten und Grenzverhalten von Systemen; dynamische Prozesse und zeitliche Verläufe im Gegensatz zu statischen Momentaufnahmen; funktionale und strukturelle Zusammenhänge. Simulationen zielen auf die Vermittlung von prozeduralem, dynamischem Wissen und gehen dabei über die traditionelle Vermittlung

⁶ Bönsch (2000:100) grenzt Anschaulichkeit scharf von einer reinen „Abbilddidaktik“ ab. Unter anschaulichen Unterricht versteht er das Eröffnen von Zugängen zu Sachverhalten und Problemen, Einsichten, Kategorien und Strukturen. „Anschauen“ wird damit zu einem aktiven Prozess der Aneignung. Simulationen dienen dabei als Anschauungsmittel, als Erschließungsinstrument (101).

deklarativen Wissens hinaus. Das Erkennen und Beurteilen von Prozessen in der Zeit und das Verständnis für das gleichzeitige Ablaufen mehrerer Vorgänge in einem komplexen System stellt ein wesentliches Element dynamischen Denkens dar (vgl. Ossimitz 2000:55).

- Das *Fördern spezifischer Kompetenzen*, wie z.B. des wissenschaftlichen Arbeitens und Forschens (z.B. Methoden wissenschaftlicher Problemlösung, Hypothesenbildung, Modellbildung, Theoriebildung, heuristisches Arbeiten, exploratives Forschen). Einen besonderen Stellenwert des Einsatzes von Simulationen im Lehr-Lern-Kontext kommt der Heuristik⁷ zu, verstanden als methodische Anleitung und Anweisung zur Gewinnung neuer Erkenntnisse, als Verfahren zur Lösung von Problemen. So werden beispielsweise Arbeitshypothesen als vorläufige Annahmen zum Zweck des besseren Verständnisses eines Sachverhaltes gebildet. In traditionellen Lehrformen werden Heuristiken meist vom Lehrenden bereitgestellt. Bei dem Einsatz von Simulationen kann das Entwickeln, Entdecken und Überprüfen von Heuristiken dem Lernenden übertragen werden, um so beispielsweise komplexes Problemlösen zu fördern. So bezeichnet Simon (1978:123) die heuristische Funktion des Aufstellens von Hypothesen als einen wesentlichen Vorzug von Simulationen.
- Zu den *methodischen* Zielvorstellungen gehört allgemein die Verbesserung der Qualität der Durchführung von Lehrveranstaltungen, z.B. durch die Unterstützung neuer Lernmethoden⁸, wie das Arrangieren von Lernsituationen und das Ermöglichen selbstgesteuerten Lernens; das Ermöglichen neuartiger Zugänge zu Wissen und Information; das Erschließen neuer Handlungsfelder, d.h. aktive Auseinandersetzung mit zuvor abstrakten oder theoretischen Gegenstandsbereichen, Bearbeiten von Gegenstandsbereichen auf einer Handlungsebene, für die zuvor keine adäquate Methodik zur Verfügung stand; das Erschließen neuer Zielgruppen. So wird durch die Simulation RUBIN das Gebiet der Neurobiologie neben Studierenden der Biologie auch für Klinische Linguisten, Psychologen, Pädagogen und Schüler geöffnet. Das Arbeiten mit Simulationen beruht auf der Aktivität der Lerner, auf dem aktiven Manipulieren von Parametern und der Interpretation der Wirkungen dieser Manipulationen. Insofern stellt die Simulation ein interaktives Medium dar, das eine Vielfalt von Bearbeitungsmöglichkeiten und damit zusammenhängend eine Vielfalt von Einsatzmöglichkeiten zur Verfügung stellt. Mit der Aktivierung der Lerner wird allgemein eine Steigerung der Motivation verbunden.

Kritische Punkte des Einsatzes von Simulationen in Lernprozessen

Mit dem Einsatz von Simulationen in Lehr-Lernprozessen werden neben dem dargestellten Mehrwert auch Schwierigkeiten und Problemlagen verbunden, die einer besonderen Berücksichtigung bedürfen. Einerseits liegen diese kritischen Punkte im den Eigenschaften des Erkenntnisinstrumentes „Simulation“ begründet und andererseits im Einsatz dieses Erkenntnisinstrumentes im Lehr-Lern-Kontext, z.B. mit dem damit verbundenen wissenschaftlichen Arbeiten.

⁷ Duden, das Fremdwörterbuch: „Heuristik“: Lehre, die Regeln und Theorien entwickelt, welche zum "Auffinden" (vom Griechischen *heureka* = finden) und Entdecken neuer Erkenntnisse geeignet scheinen.

⁸ In dieser Darstellung wird davon ausgegangen, dass die Simulation kein originäres Medium der klassischen Vermittlung von Wissen ist, d.h. kein Medium, das besonders die Lehrfunktion unterstützt, sondern vielmehr das Lernen.

Erste und grundlegende kritische Punkte ergeben sich dabei aus der Definition der Simulation und beziehen sich besonders auf das Verhältnis von Gegenstandsbereich und Simulation:

- Ist die didaktische Reduktion sowohl dem Lernen als auch dem Gegenstand angemessen?
- Werden alle wichtigen Strukturen und Prozesse abgebildet?
- Sind die Interaktionsmöglichkeiten und Manipulationsmöglichkeiten angemessen?
- Für welchen Ausschnitt des Gegenstandsbereiches steht die Simulation?
- In welchem Verhältnis steht die Simulation zum Gegenstandsbereich?

Bei diesen Punkten handelt es sich um grundlegende Fragen, die an jede Simulation zu richten sind und müssen daher bei der Arbeit mit Simulationen ausdrücklich zum Thema werden. So weist Dick (2000:198) auf den besonderen Stellenwert der *Modellkritik* hin, das Hinterfragen der Simulation beispielsweise auf ihre Chancen und Grenzen (z.B. empirische Gewissheit und Modellgewissheit). Die Simulation wird dabei nicht als Lernmittel benutzt, sondern wird auf der Metaebene zum Gegenstand der kritischen Auseinandersetzung. Die Modellkritik dient als *rekursiver Prozess* einerseits der Weiterentwicklung der Simulation und andererseits der Reflexion der Modellmethode.

Bei dem konkreten Einsatz von Simulationen im universitären Lehr-Lern-Kontext bestehen weitere kritische Punkte in Einsatzszenarien, die ein wissenschaftliches Arbeiten implizieren. Betrachtet man die Simulation aus der Perspektive des manipulativen Experimentes, ergeben sich gerade für Anfänger in diesem Bereich Schwierigkeiten, z.B. das Aufstellen einer brauchbaren Untersuchungshypothese, die Gestaltung und Durchführung eines zur Hypothese passenden Experimentes, die sachgerechte Interpretation der experimentellen Ergebnisse, die systematische, zielgerichtete, kognitiv und metakognitiv bewusste Integration der neuen Informationen in das bestehende Wissen (vgl. Urhahne u.a. 2000).

Rolle und Aufgaben des Lehrenden

An dieser Stelle kann nicht die allgemeine Diskussion um die Veränderung der Rolle und der Aufgaben des Lehrenden durch den Einsatz Neuer Medien nachgezeichnet werden. Sie wird zumeist mit veränderten Begriffen gekennzeichnet, die die Veränderung besser zum Ausdruck bringen sollen als der Begriff des Lehrenden. Für diese neuen Rollen und Aufgaben werden Begriffe wie Betreuer, Tutor, Moderator, Arrangeur, Lehrplaner u.a. verwendet. Erste allgemeine Hinweise auf die Aufgaben bei der Integration von Simulationen in Lehrveranstaltungen wurde bereits im Kapitel zum Lernen als Arrangement gegeben. Die Aufgabe des Lehrenden ist dabei, den Lernenden in schöpferische Lernprozesse zu verwickeln (Initiieren von handlungsorientierten Lernen, Provozieren von problemorientierten Lernen, Arrangieren von entdeckenden Lernen, Konstruieren von situativen Lernen und Modellieren von simulativen Lernen). Die folgenden Punkte beziehen sich auf den Einsatz von Simulationen im universitären Kontext (vgl. Simon 1980): Einführung in die Terminalbedienung, Anleitung zum Umgang mit dem Simulationssystem, Anleitung zum systematischen Simulieren und Analysieren, Anregung zur Untersuchung bestimmter

Problemstellungen, Diskussion eventuell überraschender Simulationsergebnisse, Auswertung der Simulationsergebnisse und deren Integration in den Verlauf der gesamten Lehrveranstaltung. Bezogen auf den Einsatz von Simulationen können die Rollen und Aufgaben des *Lehrenden* in einer mehrfachen Hinsicht gekennzeichnet werden: Sie unterstützen die Lernenden bei der Handhabung der Simulation (Technik); bei der Planung des methodischen Vorgehens der Lernenden (z.B. wissenschaftlichen Forschens); bei der Auseinandersetzung mit dem Bereich der Neurobiologie (z.B. inhaltliche Fragen), sowie deren Reflexion und planen den konkreten Einsatz der Simulation (Didaktik) im Rahmen der Lehrveranstaltung.

An dieser kurzen Darstellung der Aufgaben und der Rolle des Dozenten beim Einsatz von Simulationen im universitären Lehr-Lern-Kontext wird deutlich, dass der Einsatz von Simulationen weit über das reine Zur-Verfügung-Stellen hinausgeht. Er erfordert eine intensive Betreuung und Unterstützung der Lernenden durch den Lehrenden, vor allem für Ungeübte in der Arbeit mit Simulationen. „Allerdings kann der Student nach einer Phase intensiver Betreuung und Einarbeitung in das Simulationsprogramm eventuell dahin geführt werden, dass er bestimmte, vorgegebene oder selbstgestellte Fragestellungen eigenständig bearbeiten kann, insbesondere wenn er zu selbständiger Modellbildung angeleitet wurde.“ (Simon 1980:8).

Simulation als didaktisches Modell

Der Begriff des „didaktischen Modells“ wird nach Flechsigs „Göttinger Katalog didaktischer Modelle“ (1996) verwendet und bezeichnet modellhafte Grundformen organisierten Lernens und Lehrens. Diese „didaktischen Modelle“ können in zwei unterschiedlichen Zielrichtungen verwendet werden: einerseits als *Rekonstruktion* zur Beschreibung und Analyse didaktischer Ereignisse und andererseits als *Konstruktionsplan* und Handlungsempfehlung. Das didaktische Modell beinhaltet nicht alle konkreten Einzelheiten sondern Grundmuster der zu gestaltenden Unterrichtseinheit. Setzt man das didaktische Modell in die Praxis um und benutzt es somit als Konstruktionsplan und Handlungsempfehlung, sind nach Flechsig (1996:19f) die Schritte des *didaktischen Designs* von der *Durchführung* zu unterscheiden. Bei dem *didaktischen Design* wird ein Entwurf der geplanten Unterrichtseinheit erstellt. Dabei werden die im didaktischen Modell enthaltenen Variablen bzw. Deskriptoren⁹ genauer spezifiziert und konkretisiert. Ausgangspunkt dafür bilden die Zielgruppenanalyse, die Kulturanalyse, die Organisationsanalyse, die Programmanalyse, die Ressourcenanalyse, die Vorgabenanalyse, die Anforderungsanalyse, die Wissensanalysen und Kompetenz- bzw. Lernzielanalysen.

Den zweiten Schritt stellt die *Durchführung* dar. Mit der Planung (didaktisches Design) der Unterrichtseinheit können nicht alle Ereignisse festgelegt werden, die bei der Durchführung stattfinden. Es treten immer unvorhergesehene Ereignisse auf, die Durchführenden reagieren darauf innerhalb eines gewissen Spielraums und gestalten so die Praxis im einzelnen Fall. Es lassen sich daher im voraus keine allgemeinen Handlungs-

⁹ Lernumgebung, Lernaufgaben, Rollen von Lernern, Rollen von Lernhelfern, Kompetenzen und Phasen.

empfehlungen für eine so verstandene Durchführung geben.¹⁰

Wie sieht nun der Konstruktionsplan und die Handlungsempfehlung des didaktischen Modells Simulation aus? Durch welche Variablen bzw. Parameter ist das didaktische Modell der Simulation gekennzeichnet? Auf welchen Grundstrukturen der Simulation baut das didaktische Design und die Durchführung als Umsetzung in Praxis auf?

Die folgenden Ausführungen beruhen auf der Beschreibung des didaktischen Modells Simulation von Flechsig (1996). Zu einer ersten Orientierung beschreibt Flechsig (1996:211) das didaktische Modell Simulation folgendermaßen: Bei der Simulation „übernehmen Lerner – oft spielerisch – Rollen und / oder betätigen sich in simulierten Umwelten, um vor allem Handlungs- und Entscheidungsfähigkeit in lebensnahen, jedoch entlasteten Situationen zu entwickeln und zu trainieren.“

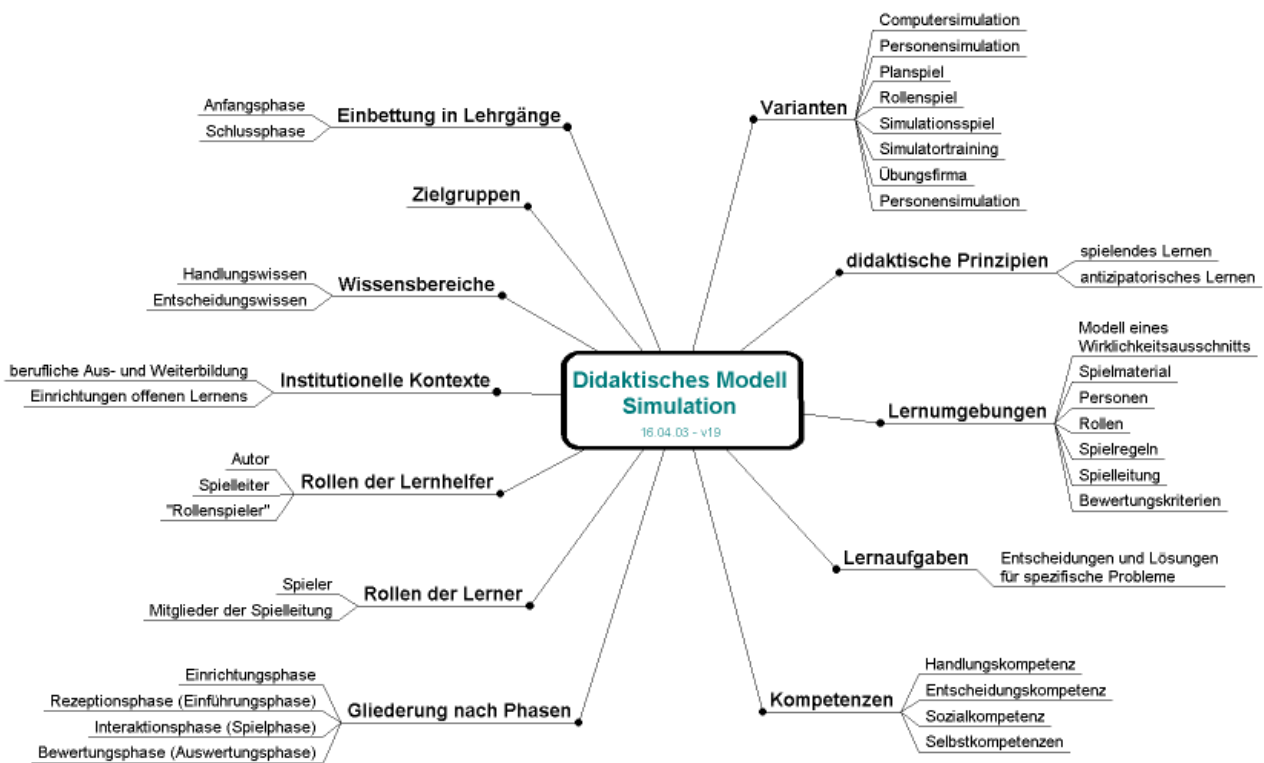


Abbildung 6 Das didaktische Modell Simulation nach Flechsig (1996)

Die Simulation auf der Basis der Computertechnologie (Computersimulation) bezeichnet Flechsig als eine Variante neben „analogen“ Varianten wie dem Lernbüro, der Personensimulation, dem Planspiel, dem Regelspiel, dem Rollenspiel, dem Simulationsspiel, dem Simulatortraining, dem Spiel, dem Stehgreifspiel und der Übungsfirma.

Generell kann bei Simulationen sowohl das Handeln simuliert werden, im Sinne eines „so tun, als ob“, als

¹⁰ Da sich im voraus für die Durchführung keine allgemeinen Handlungsempfehlungen geben lassen, bekommt nach Flechsig die Dokumentation der konkreten Durchführung eine entscheidende Rolle.

simuliertes Handeln in Umgebungen oder an Gegenständen, wie auch die *Umgebung* oder der *Gegenstand*, z.B. als Handeln in einer simulierten Umgebung oder einem simulierten Gegenstand, z.B. bei Verwendung eines Flugsimulators anstelle eines Cockpits.

Historisch betrachtet haben Simulationen eine lange Tradition, z.B. in Patientensimulationen in der medizinischen Ausbildung oder Manövern in der militärischen Ausbildung. Die *Lernumgebung* der Simulation entspricht dabei nicht genau der Wirklichkeit (dem Gegenstandsbereich, auf den sie sich bezieht), sondern ist dieser nur möglichst ähnlich (s.o. Reduktion). Die *Lernumgebung* der Simulation entspricht einem komplexen, aber durchschaubaren Modell eines Wirklichkeitsausschnitts, das auch als Spielmaterial bezeichnet wird und aus Objekten, Geräten, Abbildungen, Symbolen oder aber Software bestehen kann. Darüber hinaus können zur Simulation Mitspieler, Spielregeln, Spielleitung und Beurteilungskriterien für die Bewertung von Erfolg oder Misserfolg gehören. Der Lerner handelt spielerisch und ohne Ernstcharakter in einer simulierten Lernumgebung, mögliche negative Folgen des realen Handelns sind somit ausgeschaltet (s.o. Probehandeln). In der Simulation handelt der Lerner in der *Rolle* eines Spielers: er ist von Verantwortung entlastet und kann seine Fähigkeiten erproben. Er sollte über die Merkmale seiner Rolle informiert sein und sollte außerdem fähig sein, sich von der Simulation zu distanzieren und sie zu reflektieren. Die Simulation beruht auf den *didaktischen Prinzipien des spielenden Lernens*, und unterscheidet sich dadurch vom Lernen in realen Situationen („Ernstsituationen“) und des *antizipatorischen Lernens*, d.h. einem Lernen, das auf der Vorwegnahme künftig möglicher Ereignisse beruht. Zu den typischen *Lernaufgaben* gehören das Finden, Begründen oder Präsentieren von Entscheidungen und Lösungen für spezifische Probleme. Bei komplexen Simulationen kann die Lernaufgabe darin bestehen, sich für die Simulation benötigtes Hintergrundwissen zu beschaffen und anzueignen. Die mit der Simulation angestrebten *Kompetenzen* liegen in dem Bereich von Handlungs- und Entscheidungskompetenz, in einzelnen Varianten auch Sozialkompetenzen und Selbstkompetenzen. Als zu vermittelnder Wissensbereich steht das Handlungs- und Entscheidungswissen im Sinne einer praktischen Kompetenz im Vordergrund. Als einzelne *Phasen* des didaktischen Modells Simulation können unterschieden werden eine Einrichtungsphase, eine Rezeptionsphase (Einführungsphase), eine Interaktionsphase (Spielphase), und eine Bewertungsphase (Auswertungsphase). Besonders in der Anfangs- und Schlussphase von Lehrgängen können Simulationen eingebettet werden, um einen Überblick über komplexe Zusammenhänge zu erleichtern und somit eine Vorstrukturierung für das zu erlernende Wissen zu leisten oder um das gelernte Wissen im Zusammenhang anzuwenden und auf die Praxis zu beziehen.

Die in diesen Ausführungen zentrale Variante der Computersimulation charakterisiert Flechsig (1996:216) folgendermaßen: „Bei der *Computersimulation* interagieren Lerner über einen Computer mit realen oder abgebildeten Objekten oder Systemen. Dabei werden die Interaktionen durch Programme gesteuert. Umfangreiche Datenbestände können genutzt oder erzeugt werden, so daß Systeme und Interaktionen von hohem Komplexitätsgrad und großer Realitätsnähe (z.B. beim Flugsimulator) entstehen.“

Evaluation der Ergebnisse des Simulationseinsatzes

Bei der Evaluation der Ergebnisse des Einsatzes von Simulationen im universitären Lehr-Lern-Kontext ist zuerst nach den Zielvorstellungen zu fragen, die mit dem Einsatz angestrebt werden. Auf unterschiedliche hochschuldidaktische Zielvorstellungen wurde weiter oben bereits hingewiesen. Evaluation wird dann verstanden als Überprüfung und Bewertung, in wie weit die angestrebten Ziele erreicht wurden.

Steht beispielsweise die Aktivierung der Studierenden als Lehrziel des Einsatzes von Simulationen im Vordergrund wird der Simulationseinsatz auf eine andere Weise evaluiert als bei dem Lehrziel der Vermittlung von Kompetenzen des wissenschaftlichen Arbeitens oder dem Erreichen neuer Zielgruppen. In der Regeln wird mit dem Einsatz von Simulationen im universitären Kontext eine Mischung verschiedener Ziele angestrebt, mit dem Schwerpunkt auf einzelnen Punkten.

Evaluation prozeduralen und dynamischen Wissens

Grundsätzliche methodische Schwierigkeiten entstehen bei der Evaluation, wenn die Zielvorstellung der Auseinandersetzung mit komplexen und vernetzten Gegenstandsbereichen und besonders die Vermittlung von prozeduralen und dynamischen Wissen verfolgt wird. Simon (1980:36) beschreibt den dabei entstehenden Konflikt wie folgt: „Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass viele der hier [mit dem Simulationseinsatz, S.I.] intendierten Lehrziele Prozeß-Charakter besitzen. Bis auf sporadische Ansätze sind jedoch noch keine Testverfahren entwickelt, die etwa Problemlösungsprozesse adäquat erfassen und empirisch überprüfbar machen. Wenn der Student im Dialog mit dem Computer Modelle entwickelt, ihr Verhalten in Simulationen analysiert und die Modelle danach modifiziert, so lässt sich die Fähigkeit zur Durchführung solcher Validierungsprozesse mit einem Papier-und-Bleistift-Test nicht zufriedenstellend erfassen.“ Der Konflikt besteht in methodischer Hinsicht zwischen den angestrebten Zielvorstellungen und deren Evaluation. Geht man von der schriftlichen Befragung in Form eines Paper-and-Pencil-Tests als gängiges Instrument der Evaluation von Lehrveranstaltungen aus, sieht der beschriebene Konflikt folgendermaßen aus: Das anhand der Auseinandersetzung mit Simulationen erworbene Wissen liegt auf einer Ebene, die mit einem Paper-and-Pencil-Test nicht evaluiert werden kann. Denn es steht nicht so sehr das deklarative Wissen (Faktenwissen, z.B. vermittelt durch eine Vorlesung) im Vordergrund, sondern prozedurales und dynamisches Wissen. Das in der Auseinandersetzung mit Simulationen erworbene Wissen liegt schwerpunktmäßig auf der Ebene des Handlungswissens und Entscheidungswissens (vgl. Flechsig 1996). Anhand der Auseinandersetzung mit der Simulation wird zwar auch deklaratives Wissen vermittelt – das dann abschließend in einem schriftlichen Test evaluiert werden kann. Der eigentliche Wissensbereich und Schwerpunkt der Auseinandersetzung des Lerners mit der Simulation bleibt durch einen Paper-and-Pencil-Test jedoch unberührt.¹¹ Das generelle methodische Problem liegt also darin, dass bisher keine

¹¹ Dieses *Missverständnis* liegt auch vielen Evaluationsstudien zugrunde, die von einem Medienvergleich ausgehen. Dabei wird z.B. das Medium Buch dem Medium Simulation gegenübergestellt und verglichen. Ein auf das Ziel der Vermittlung von Faktenwissen ausgerichtetes Vorgehen verfehlt dabei den entscheidenden Punkt der Simulation und wird dieser daher nicht gerecht.

geeigneten prozessorientierten Evaluationsinstrumente vorhanden sind.

In dieser Perspektive betont Flechsig (1996:5f) die Bedeutung des gesetzlichen und organisatorischen Kontextes, der die Anwendbarkeit einzelner didaktischer Modelle wie beispielsweise der Simulation einschränken oder auch erweitern kann. Als einen speziellen Fall dieses Kontextes nennt er das Verhältnis von didaktischem Modell und Prüfungssystem: „Besondere Erwähnung verdienen in diesem Zusammenhang die Prüfungssysteme und deren Beziehung zu den jeweiligen Lehr-Lern-Prozessen. Je nachdem, ob sie schriftlich oder mündliche Prüfungen vorschreiben, die Bewertung von Aussagen oder von Produkten bevorzugen, Lehrer zugleich als Prüfer beauftragen oder strenge Rollenteilung vorsehen, Leistungen in differenzierter Weise benoten oder lediglich Minimalstandards für das Bestehen festlegen, beeinflussen sie auch die Anwendbarkeit unterschiedlicher didaktischer Modelle“ (Flechsig 1996:5-6). Aus seinen Ausführungen zieht Flechsig „zwei einander widersprechende Konsequenzen“ (1996:6), die gleichzeitig für das „Verhältnis von Überlieferung und Erneuerung der Bildungssysteme, für Tradition und Innovation“ stehen. Einerseits lassen die gesetzlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen wie z.B. das Prüfungssystem nur wenige didaktische Modelle zu, im Extremfall nur das des Frontalunterrichts. Andererseits müssen aus Gründen der didaktischen Vielfalt „[...] Spielräume innerhalb des vorgegebenen Kontextes erweitert und Kontexte gegebenenfalls verändert und weiterentwickelt werden“ (Flechsig 1996:6).

Literatur

Bönsch, Manfred. Lerngerüste. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren, 1998

Bönsch, Manfred. Variable Lernwege – Ein Lehrbuch der Unterrichtsmethoden. Paderborn u.a.: Schönigh, 2000. (3., erweiterte und aktualisierte Auflage).

Brinkmann, Dieter. Moderne Lernformen und Lerntechniken in der Erwachsenenbildung : Formen selbstgesteuerten Lernens. Bielefeld: IFKA, 2000.

Dick, Egon. Multimediale Lernprogramme und telematische Lernarrangements. Einführung in die didaktische Gestaltung. Nürnberg: Bildung und Wissen, 2000. (Multimediales Lernen in der Berufsbildung)

Flechsig, Karl-Heinz. Der Göttinger Katalog didaktischer Modelle. Theoretische und methodische Grundlagen. Zentrum für didaktische Studien e.V.: Göttingen, 1983.

Flechsig, Karl-Heinz. Kleines Handbuch didaktischer Modelle. Eichenzell: Neuland, 1996.

Meder, Norbert. 1995. Didaktische Überlegungen zu einem veränderten Unterricht durch den Einsatz neuer Technologien. In: Lauffer, Jürgen; Volkmer, Ingrid (Hrsg.): Kommunikative Kompetenz in einer sich verändernden Medienwelt. Leske + Budrich, Opladen, 1995.

Fromme, Johannes & Meder, Norbert (Hrsg.): Bildung und Computerspiele : zum kreativen Umgang mit elektronischen Bildschirmspielen. Opladen : Leske + Budrich, 2001.

Ossimitz, Günther. Entwicklung systemischen Denkens. München, Wien: Profil, 2000.

Ott, Bernd: Ganzheitliche Berufsbildung. Theorie und Praxis handlungsorientierter Techniklehre in Schule und

Betrieb. Stuttgart: Steiner 1995.

Simon, Hartmut. Computer-Simulation und Modellbildung im Unterricht : hochschuldidaktische Konzepte und Einsatzerfahrungen in den naturwissenschaftlichen Fächern. München: Oldenbourg, 1980 .

Simon, Hartmut. Simulation und Modellbildung mit dem Computer im Unterricht. Grafenau / Württemberg: Lexika-Verlag, 1978

Urhahne, Detlef; Prenzel, Manfred; Davier, Matthias von; Senkbeil, Martin; Bleschke, Michael: Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften ZFDN, Jg. 6, 2000, S. 157-186.

Wagener, A.. Biologie unterrichten. Quelle & Meyer, 1992.

Wedekind, Joachim. Unterrichtsmedium Computersimulation. Weil: Lexika-Verlag, 1981.

Wilksch: Das Experiment im Schulunterricht. <<http://iabserv.biologie.uni-mainz.de/iab/Wild/Schmittv/Fadida/Experiment.html>> (08.05.03)