

Simulation – fach- und berufsdidaktische Innovationen in metall- und elektrotechnischen Domänen

vorgelegt von
Diplom-Ingenieurin und Studienassessorin
Tanja Mansfeld
aus Berlin

von der Fakultät I – Geisteswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktorin der Philosophie
- Dr. phil. -
genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzende: Prof. Dr. Helga Marburger
Gutachter: Prof. Dr. habil. Dipl.-Ing. Friedhelm Schütte
Gutachter: Prof. Dr. phil. habil. Alfred Riedl

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 24. Oktober 2013

Berlin 2013
D 83

Inhalt

1.	Einleitung	5
2.	Disposition	9
2.1.	Fragestellungen und Hypothesen	9
2.2.	Methodisches Design	11
2.3.	Aufbau der Arbeit	12
2.4.	Analyse wissenschaftlicher Beiträge über Simulationen als Lehr- und Lernmittel.....	13
	Technische Bedingungen und Lehrerbildung bzgl. Einsatz von Multimedia und Simulationen	22
	Mögliche Bewertungskriterien für Simulationsprogramme.....	24
2.5.	Medien	24
2.6.	Was sind Simulationen?.....	26
2.7.	Was sind Animationen und wodurch unterscheiden sie sich von Simulationen?	30
2.8.	Virtual Reality.....	32
2.9.	Warum Simulationen?	33
2.9.1.	Wandel der industriellen Produktion und industrieller Facharbeit.....	35
2.9.2.	Simulationen und Digitale Lehr- und Lernmittel.....	37
3.	Lern-, Lehr- und Unterrichtstheorie	46
3.1.	Bildungstheoretische Didaktik	47
3.2.	Lerntheorien	49
3.2.1.	Behaviorismus	49
3.2.2.	Kognitivismus	50
3.2.3.	Konstruktivismus.....	52
3.3.	Didaktische Konzepte und Unterrichtsmethodik in der beruflichen Bildung..	61
3.4.	Aspekte mit besonderer Bedeutung für den Einsatz von Simulationen in der beruflichen Bildung der metall- und elektrotechnischen Berufe	68
3.4.1.	Unterrichtstheoretische bzw. fachdidaktische Perspektive	68
	Aspekt der Didaktik.....	69
	Mediendidaktik	72
	Modellfunktionen	73

Unterrichtskonzepte	77
Mediendidaktische Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer	83
3.4.2. Kognitionspsychologischer Aspekt.....	85
Modelle	90
Mentale Modelle.....	92
Vernetztes Denken.....	95
Motivation als Begründung für den Einsatz von Simulationen	96
Lernen erfordert kognitive Anstrengung	98
Interaktivität als Begründung für den Einsatz von Simulationen	98
Sinneskanäle - Wie werden bildliche Informationen verarbeitet?.....	99
Cognitive Load Theory bzw. kognitive Belastungstheorie.....	102
Cognitive Theory of Multimedia Learning	105
Realitätsnähe als Begründung für den Einsatz von Simulationen	106
Simulationen als Ersatz für reale Systeme.....	108
3.4.3. Medientheoretische Perspektive.....	108
4. Übersicht und Analyse im Handel erhältlicher Simulationen.....	121
4.1. Analyse im Handel erhältlicher Simulationen.....	123
4.1.1. CAD / 3D-Konstruktion.....	125
4.1.2. Simulationssoftware für CAD/CAM und CNC.....	127
4.1.3. Simulationssoftware FEM	130
4.1.4. Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren.....	134
4.1.5. Simulationssoftware SPS.....	135
4.1.6. Robotersimulation	137
4.1.7. EDA- / CAD- / Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich	138
4.1.8. Weitere relevante Simulationssoftware	142
4.1.9. Zusammenfassung	146
5. Potenziale und Grenzen von Simulationen.....	147
5.1. Bedingungen für das Lernen mit Computersimulationen	148
5.1.1. Unterrichtsbeispiele mit Simulation	167
Unterrichtsbeispiel für Auszubildende Produktionstechnolog(inn)en.....	168
Unterrichtsbeispiel für Auszubildende Industriemechaniker/innen mit einem didaktisch aufbereiteten Simulationsprogramm.....	172
Skizzen weiterer Unterrichte	176
5.1.2. Medientheoretische Sicht.....	176

	Schulische Infrastruktur	178
6.	Zusammenfassung und Ausblick.....	180
7.	Literatur	189
7.1.	Literaturverzeichnis Kapitel 1	189
7.2.	Literaturverzeichnis Kapitel 2	189
7.3.	Literaturverzeichnis Kapitel 3	202
7.4.	Literaturverzeichnis Kapitel 4	219
7.5.	Literaturverzeichnis Kapitel 5	221
7.6.	Literaturverzeichnis Kapitel 6	223
8.	Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen	225
8.1.	Tabellen.....	225
8.2.	Abbildungen.....	226
9.	Anhang	228
9.1.	Marktübersicht – Auswahl an Simulationssoftware mit Betriebssystem, Zielgruppen, Sprache, Programmumfang, Anbieter etc.....	228
9.1.1.	CAD / 3D-Konstruktion.....	228
9.1.2.	Simulationssoftware für CAD/CAM und CNC.....	233
9.1.3.	Simulationssoftware FEM	243
9.1.4.	Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren.....	247
9.1.5.	Simulationssoftware SPS.....	252
9.1.6.	Robotersimulation	254
9.1.7.	EDA- / CAD- / Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich	257
9.1.8.	Weitere Simulationssoftware	265

"You don't understand anything until you learn it more than one way."

Marvin Minsky (Professor für "Media Arts and Sciences", Elektrotechnik und Informatik, *1927)

1. Einleitung

Zur Klärung vorweg: In dieser Arbeit werden ausschließlich Computersimulationen betrachtet, demnach ein Bereich der digitalen Medien oder konkreter: Multimedia.

Warum sollten Simulationen überhaupt im Unterricht der Berufsschule berücksichtigt werden?

Hier spielen mehrere Aspekte eine Rolle. Zum einen die Lebens- und Arbeitswelt der künftigen Facharbeiter. In der Industrie, bei der Entwicklung von technischen Produkten und auch in der Wissenschaft gewinnen Simulationen immer mehr an Bedeutung. Ein großer Teil unseres Alltags wird inzwischen durch Simulationen mitbestimmt. So werden mit Simulationen zukünftige Sachverhalte bewertet. Ein bekanntes Beispiel ist an dieser Stelle die Wettervorhersage mithilfe von Simulationen. Jeden Abend nach den Nachrichten zeigen Meteorologen mittels einer Simulation erstellte Wolken- und Windvorhersage-Filme. Gefährliche oder ethisch nicht vertretbare Versuche werden unter Zuhilfenahme von Simulationen sicher durchgeführt. Auf diese Weise können z.B. die Konsequenzen eines Störfalls in AKW oder ein Flugzeug-Crash simuliert werden. Auch in der Chirurgie werden schon Operationen virtuell an einem Simulator geübt, bevor der/die Chirurg/in in den Operationssaal geht. Simulationen tragen zur Kostenersparnis bei der Produktentwicklung bei. In der Automobilindustrie werden bspw. Crash-Simulationen statt Versuchen mit Dummies durchgeführt, die Innenräume von Fahrzeugen oder Gebäuden werden zunächst virtuell in VR-Simulationen designt oder die Bauteilfestigkeit wird mithilfe von FEM-Untersuchungen vorhergesagt, noch bevor das jeweilige Produkt hergestellt ist. Darüber hinaus können mit Hilfe von Simulationen auch komplexe Geschehen, wie z.B. die Strömung in Kanälen, Flüssen oder Rohrleitungen analysiert werden. Bei Umlenkungen werden die Strömungsverhältnisse ungleichmäßig. Dadurch können bspw. stark beschleunigte Strömungen entstehen, die in den Rohrleitungen oder Kanälen zu Beschädigungen führen können. Im Vorfeld können diese möglichen Probleme erkannt und durch geeignete Maßnahmen verhindert werden. Auch bei der Planung von exponierten Gebäuden können mit Hilfe von Simulationen u.a. die Strömungsverhältnisse des Windes für die Fußgänger oder die Ausbreitung von Abluft oder Abgasen auf Industriegeländen bestimmt werden und so noch im Planungsstadium evtl. notwendige Abhilfen geschaffen werden.

Simulationsprogramme werden inzwischen aber immer öfter auch dazu verwendet, sogenannte "Soft Skills", wie Teamentwicklung, interkulturelle Zusammenarbeit, zu entwickeln (Euler et al. 2006, S. 440).

Ein weiterer Aspekt für die Berücksichtigung von Simulationen im Berufsschulunterricht ist der Wandel der Arbeitswelt. Die Durchdringung der Gesellschaft mit den Neuen Medien hat auch zu Veränderungen in den metall- und elektrotechnischen Berufen geführt. In vielen metalltechnischen Berufen gehören Simulationen zum alltäglichen Geschäft. So ist z.B. die Simulation des Zerspanprozesses, das Lösen steuerungstechnischer Aufgaben oder auch das fügegerechte Gestalten mithilfe der Simulation State of the Art. Durch die Globalisierung mit ihrer weltweiten Vernetzung der Wirtschaft werden neue Produktions-, Vermarktungs- und Absatzstrategien ermöglicht. Das hat zu einer starken Veränderung der Rahmenbedingungen für produzierende Unternehmen geführt. Schwankende Auftragszahlen und steigende Variantenzahlen durch stärkere Nachfrage nach kundenspezifischen Produkten führen zur Verkürzung von Produktlebenszyklen. Der technologische Fortschritt wächst. Dadurch kann die Gestaltung der Erzeugnisse erst spät festgelegt werden, die Zeiträume für ihre Einführung verkürzen sich. "Time to Market", "Just in Time Manufacturing" und "Lean Manufacturing" sind hier die Schlagwörter. Es brechen zum Teil vollständige Absatzmärkte weg und Konkurrenzprodukte erscheinen schneller als früher auf dem Markt. Zudem besteht durch den demografischen Wandel Fachkräftemangel. Daneben ändern sich Bestimmungen, Gesetze und Übereinkünfte, wodurch sich oft auch die Produkte und ihre Herstellung ändern müssen. Unternehmen müssen wandlungsfähig sein, um auf diese Entwicklungen zu reagieren. Dreh- und Angelpunkt ist hier vor allem die Wandlungsfähigkeit des Produktionsprozesses. Das Unternehmen muss in der Lage sein, seine Organisationsstrukturen und seine Ressourcen kontinuierlich an die sich ändernden Bedingungen anzupassen (vgl. Westkämper 2009a; b). Aus diesen Gründen etabliert sich die "digitale Fabrik" als wegweisendes Produktionskonzept. Die digitale Fabrik ermöglicht "die durchgängige, experimentierfähige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsprozessen und -anlagen mithilfe digitaler Modelle" (Zäh et al. 2003, S. 76). Das bedeutet, dass im gesamten Produktplanungs-, -entwicklungs-, -herstellungs- und -distributionsprozess Simulationen angewendet werden bzw. eine tragende Rolle spielen. Damit sind Simulationen auch für die Facharbeiterausbildung relevant.

Darüber hinaus spielen Medien – und Simulationen sind, wie oben angemerkt, digitale Medien – in unserem Alltag eine große Rolle. Neben dem Fernsehen sind Computer, Mobiltelefone und Spielkonsolen aus dem Leben der meisten Jugendlichen (aber auch vieler Erwachsener) nicht mehr wegzudenken. Aus dieser Entwicklung leitet sich die Idee ab, diese Medien auch als Lehr- und Lernmittel

gezielt einzusetzen und somit die "traditionellen" Medien zu ergänzen oder auch zu ersetzen. Und eventuell mit diesen Medien verbundene positive Haltungen (Motivation) auf Lernvorgänge zu übertragen.

Über dies sind die bereits 1951 in der "Tübinger Resolution" geäußerten Befürchtungen, dass "das geistige Leben" in Gefahr ist, "durch die Fülle des Stoffes zu ersticken" und die Forderung, dass die "Durchdringung des Wesentlichen der Unterrichtsgegenstände" "den unbedingten Vorrang vor jeder Ausweitung des stofflichen Bereiches" (Wagenschein 1951, S. 625) haben sollte, ist heute so aktuell wie damals. Der Vorschlag Wagenscheins und anderer, der Fülle des Stoffs durch exemplarisches Lernen zu begegnen ist immer noch akut. Simulationen bieten die Möglichkeit einer exemplarischen Erschließung des (Fach-)Wissens.

Auch sprechen Erkenntnisse aus den verschiedenen Bereichen der Lehr-Lernforschung für die Anwendung von Simulationen im Unterricht. So haben verschiedene Studien nachgewiesen, dass die Lernmotivation durch Computersimulationen verbessert wird. Die Ursachen könnten einerseits darin liegen, dass Lernende sofort Reaktionen auf ihre Handlungen von den Computerprogrammen bekommen und so ein "Flow" erzeugt wird, bei dem der Lernende vom Handlungsablauf gänzlich beansprucht wird und seine Aufmerksamkeit völlig auf die gestellte Aufgabe konzentriert. Andererseits könnten auch die Animationen, die Interaktivität und die Option, in seinem eigenen Tempo zu lernen, Grund dafür sein (Sacher 1998). So könnten darüber hinaus Simulationen Theorie und Praxis miteinander verbinden, und zum Erwerb von Handlungskompetenzen beitragen. Einige Forscher gehen sogar davon aus, dass Simulationen reale Umgebungen für bestimmte Bereiche ersetzen können (bspw. CNC-Simulationen das Programmieren an realen Werkzeugmaschinen).

Teilweise bildet sich dieser Wandel in den Curricula der Berufsschulen zu den einzelnen Berufen bereits ab. So ist in den Rahmenlehrplänen der KMK z.B. vorgesehen, dass die Schülerinnen und Schüler CNC-Programme entwickeln und sie durch Simulationen überprüfen sollen (vgl. z.B. die Rahmenlehrpläne der Industrie- und der Zerspanungsmechaniker/innen, LF 8 (KMK 2004a; 2004b); Werkzeugmechaniker/innen, LF 10 (KMK 2004a); Produktionstechnolog(inn)en, LF 7 (KMK 2008a)).

Es stellt sich die Frage, ob dies ausreichend ist oder ob Simulationen eine stärkere Berücksichtigung finden sollten, da Simulationen oft anschaulicher sind und auch neue Optionen bieten, sich (inter)aktiv mit Lerninhalten auseinanderzusetzen (Euler et al. 2006).

Bis jetzt gibt es nur wenige methodisch kontrollierte Studien zur Anwendung von Simulationen (Schulmeister 2007). Zur Verwendung von Simulationen in der beruflichen Bildung gibt es kaum Erkenntnisse (Euler et al. 2006; Tenberg 2001).

Insbesondere im metall- und elektrotechnischen Bereich existieren nur sehr wenige Arbeiten. Diese werden im zweiten Kapitel (Disposition) näher betrachtet.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich der schon 2001 von Tenberg bemängelte Stand empirischer Daten zu Unterricht mit Neuen Medien im gewerblich-technischen Bereich nicht wesentlich verändert hat.

Auch im allgemeinbildenden Bereich gibt es nur wenige Studien. Diese werden unter 2.4 (Analyse wissenschaftlicher Beiträge über Simulationen als Lehr- und Lernmittel) und im dritten Kapitel (Lern-, Lehr- und Unterrichtstheorie) ausführlicher beleuchtet.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Potenziale Simulationen im metall- und elektrotechnischen Bereich für den Berufsschulunterricht entfalten können und wo die Grenzen liegen. Das bedeutet darüber hinaus, dass Konzepte erstellt werden müssen, die Simulationen in einen didaktischen Kontext einbetten und es muss überlegt werden, an welcher Stelle Simulationen zweckmäßig eingesetzt werden können. Diese Arbeit soll einen Ansatz dazu liefern, Simulationen sinnvoll in metall- und elektrotechnischen Unterricht zu integrieren.

2. Disposition

Im **zweiten** Kapitel werden zunächst die Fragestellungen und Hypothesen dargestellt und der Aufbau der Arbeit erläutert. Im Anschluss werden die bisherigen Erkenntnisse über Simulationen als Lehr- und Lernmittel im metall- und elektrotechnischen Bereich dargestellt. Es werden Begrifflichkeiten geklärt; dabei wird auf den in diesem Zusammenhang häufig verwendeten Begriff "Medien" eingegangen werden, dann wird erläutert, was unter Simulationen im Kontext dieser Arbeit zu verstehen ist und auf welcher Basis sie im beruflichen Zusammenhang eingesetzt werden. Es wird der Wandel der industriellen Produktion und dessen Einflüsse auf die industrielle Facharbeit kurz dargelegt und es werden Beispiele aus verschiedenen Anwendungsbereichen vorgestellt.

2.1. Fragestellungen und Hypothesen

Studien, wie z. B. Kulik und Kulik (1991), Issing und Schellenberg (1973) und Overing und Travers (1973), weisen darauf hin, dass die Wahl des Lehrkonzeptes wichtiger ist, als mediale Konzepte (vgl. Tulodziecki 2002) und ungenügende Erfolge mit computerunterstütztem Lernen vor allem an fehlender lehr- und lerntheoretischer Fundierung liegen (vgl. Weidenmann 2002; Tulodziecki 2011, Kerres 1999, Issing und Klimsa 2002, Thissen 1998). Simulationen an sich sind zunächst einmal nur ein Medium bzw. Hilfsmittel wie Bücher, der Overhead-Projektor oder die Tafel. Erst wenn die Simulation so in ein Lehr-Lern-Arrangement eingebunden wird oder so aufbereitet wird, dass Lernende die Möglichkeit haben, Erfahrungen zu sammeln und ihr Wissen zu konstruieren, bietet die Simulation neue und andere Optionen (Thissen 1998).

Die zentrale Fragestellung der Arbeit lautet daher:

- Wo liegen Potenziale und Grenzen von Simulationen bei Lehr-Lern-Arrangements in metall- und elektrotechnischen Domänen? D.h., wie sollten berufsfachliche Lehr-Lern-Arrangements mit Simulationen aussehen und wie können sie didaktisch umgesetzt werden?

Ausgehend von dieser Hauptfragestellung leiten sich weitere Fragestellungen ab.

Der Markt bietet eine ganze Reihe von Lehrprogrammen und Simulationen und deren Entwicklung expandiert nach wie vor. Erste Recherchen ergaben, dass, obwohl auch einige Autoren bereits das Ende des Enthusiasmus vorausgesagt haben (vgl. bspw. Padtberg 2005), die Begeisterung keineswegs abgeklungen ist, sondern weiterhin "Neue Medien" für den Unterricht erschlossen werden, wie Virtual Reality (vgl. z.B. Beuting et al. 2010, Blümel et al. 2010), Serious Games (vgl. z.B. Bufe et al. 2009, Dell'Oro-Friedl 2011), Ubiquitous Learning mit dem Mobiltelefon (vgl. z.B.

Park 2011, Sung 2009), Web 2.0 (vgl. z.B. Dittmann und Schäfer 2008, Page und Opper 2000) etc. Die Frage ist hier:

- Welche Simulationen gibt es, die sich als Lehr- und Lernmittel eignen?
- Was kann mit Simulationen gelernt werden? Wie lernhaltig sind die im Handel erhältlichen Simulationen? Wie kann die Lernhaltigkeit von Simulationen ermittelt werden? Führen Simulationen eventuell zu einer "Entsinnlichung"? Wann sind Simulationen eher ungeeignet?

Es wird vermutet, dass die Bedeutung, die Simulationen für den berufsfachlichen Unterricht besitzen, nicht besonders hoch ist. Das könnte an fehlender lerntheoretischer Einbindung und mangelnden Lehr-Lern-Arrangements liegen (vgl. auch Albers et al. 2011, Tulodziecki 2011). Daraus ergeben sich die Fragen:

- Welche Rolle spielt Simulation und wie werden Simulationen eingesetzt? In welchen Berufen sind Simulationen relevant? In welchen Berufsfeldern, Bildungsgängen und Lerngruppen können Simulationen didaktisch Sinn ergeben? In welchen nicht?

Da ein Medium alleine noch keinen guten Unterricht macht, folgen die Fragen:

- Welche unterrichtstheoretischen und methodischen bzw. fachdidaktischen Faktoren spielen dabei eine Rolle?
- Wie können Simulationen in modernen Unterricht integriert werden? Wie können sie in didaktische Konzepte und Lernarrangements eingebettet werden?
- Wie können Simulationen in der Berufsbildung spezifische Wirkungen im Hinblick auf die Förderung von fachlichen und überfachlichen Handlungskompetenzen (insbesondere Selbstlern- und Sozialkompetenzen) realisieren?
- Welche kognitionspsychologischen Aspekte sollten bei der Verwendung von Simulationen der beruflichen Bildung der metall- und elektrotechnischen Berufe berücksichtigt werden?
- Welche medientheoretischen Argumente sind zu bedenken?
- Welche Kriterien bestimmen den Einsatz von Simulationen im Unterricht?
- Sind Lehrerinnen und Lehrer ausreichend für den Einsatz von Multimedia und Simulationen im Unterricht ausgebildet und vorbereitet?
- Welche Infrastruktur muss in Schulen zur Verfügung stehen, um mit Simulationen arbeiten zu können?

2.2. Methodisches Design

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt im Studium und in der Auswertung von Literatur im Kontext von Didaktik beruflicher Bildung; das der Arbeit zugrunde liegende Verfahren ist historisch-hermeneutisch.

Vorliegendes Material zu Simulationen für metall- und elektrotechnische Domänen, zur Anwendung von Simulationen im Unterricht sowie theoretische Erkenntnisse und praktische Erfahrungen in diesbezüglichen Lehr-Lern-Prozessen werden systematisiert und mit Bezug auf das zu untersuchende Thema aufgearbeitet und neu interpretiert. Zur Analyse und Interpretation des derzeitigen Standes der Erkenntnisse werden auch internationale Texte herangezogen. Dabei werden ferner Erkenntnisse aus den - thematisch verwandten - Themenbereichen des E-Learnings, Multimedia-Lernens und des computerunterstützten Lernens berücksichtigt.

Die Systematisierung des vorliegenden Materials aus vielfältigen Kontexten ermöglicht, die Potenziale und Grenzen von Simulationen in Lehr-Lern-Arrangements in metall- und elektrotechnischen Domänen aufzuzeigen. Die Arbeit soll aus analytischer Sicht die Voraussetzungen aufzeigen, die für Lehr-Lern-Arrangements mit Simulationen gegeben sein müssen, damit mit ihnen effektiv gelernt werden kann.

Diese Vorgehensweise ist gegenüber der empirischen zu bevorzugen, da sich die für diese Arbeit relevanten Simulationen teilweise stark voneinander unterscheiden. Es ist für den metall- und elektrotechnischen Bereich kaum möglich, sie zu klassifizieren, von daher steht in den meisten Fällen nicht eine Simulation exemplarisch für die anderen. Darüber hinaus soll auch nicht untersucht werden, ob sich eine bestimmte Simulation für den Einsatz im Unterricht eignet, sondern ob und wie Simulationen im Unterricht eingesetzt werden sollen. Ein und dieselbe Simulation kann im Unterricht sehr unterschiedliche Funktionen übernehmen, dies kann im Rahmen einer Dissertation nicht empirisch erfasst werden.

Des Weiteren gibt es noch Faktoren, die allgemein gegen eine empirische Untersuchung von Unterrichtskonzepten sprechen. Diese generieren sich einerseits aus den Einlassungen von Apel (1973) und Habermas (1965/1974), andererseits auch an dem Grundverständnis der Autorin. Die meisten Lehrenden werden die Erfahrung gemacht haben, dass es meist nicht möglich ist, ein und denselben Unterricht genau gleich in unterschiedlichen Lerngruppen mit denselben Lernerfolgen durchzuführen. Der menschliche Geist ist autonom und frei, dementsprechend ist jede Handlung eines Menschen individuell und einmalig. Aus diesem Grund ist es schwierig, Schlussfolgerungen aus untersuchten Unterrichten auf alle Unterrichte in Berufsschulen zu machen. Es sind in den meisten Fällen jeweils nur Tendenzen zu erkennen. Da aber die Effekte von Simulationen auf die Effektivität und Lernhaltigkeit nach Hattie (2009) – d.h. bspw. Dekkers und Donatti (1981), McKenna (1991), Remmer und Jernsted (1982) – aber auch bspw. nach

Michael (2001) im Vergleich mit konventionellem Unterricht schon allgemein nur als gering anzusehen sind, wären solche Untersuchungen kaum aussagekräftig.

Die Ausarbeitung der Dissertation folgt prinzipiell den Schritten des (qualitativen) Forschungsprozesses (vgl. Mayring 2001), d.h., sie beginnt mit der Explikation und Spezifizierung der Fragestellung, wo die Relevanz und der Problembezug der Fragestellung dargestellt werden. Im Anschluss wird der Theoriehintergrund expliziert und damit der Stand der Forschung aufgezeigt. Hierauf folgen der methodische Ansatz, anschließend die Ergebnisse und die Schlussfolgerungen.

2.3. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit wird somit folgendermaßen aufgebaut sein:

Nach dem **ersten Kapitel** mit der Einleitung folgt die Disposition.

Im **zweiten Kapitel** (Disposition) werden die wissenschaftlichen Beiträge zu Anwendung von Simulationen als Lehr- und Lernmittel beleuchtet. Die technischen Bedingungen und die Lehrerbildung bzgl. Multimedia und Simulationen werden dargelegt und die bereits existierenden möglichen Kriterien zur Bewertung von Simulationsprogrammen. Der Begriff Medien wird expliziert. Es werden die bisherigen Erkenntnisse aus den korrespondierenden Ingenieurwissenschaften zum Thema Computersimulationen im metall- und elektrotechnischen Bereich systematisch dargestellt. Dazu wird erläutert, was unter Simulationen zu verstehen ist, was Animationen sind und wie sie sich von Simulationen unterscheiden. Weiterhin wird dargelegt, aus welchem Grund Simulationen im Unterricht von metall- und elektrotechnischen Domänen eine Rolle spielen sollten. Am Ende des Kapitels werden exemplarisch einige Simulationsprogramme vorgestellt, die für den Bereich der Beruflichen Bildung im metall- und elektrotechnischen Bereich relevant sein könnten.

Das **dritte Kapitel** liefert einen Diskurs zu Lern-, Lehr- und Unterrichtstheorien im Feld der Metall- und Elektrotechnik. Dazu werden kurz die relevanten Lerntheorien und die didaktischen Konzepte und Unterrichtsmethodik in der beruflichen Bildung vorgestellt. Im Anschluss werden die Aspekte, die von besonderer Bedeutung für den Einsatz von Simulationen in der beruflichen Bildung sind, beleuchtet. Hier werden drei unterschiedliche Diskurse betrachtet: die unterrichtstheoretische Perspektive einschließlich unterrichtsmethodischer Argumente, der kognitionspsychologische und der medientheoretischen Aspekt.

Die *unterrichtstheoretische bzw. fachdidaktische Perspektive* geht insbesondere auf den Aspekt von Simulationen als Lehr- bzw. Lernmittel ein.

Unter den *kognitionspsychologischen Aspekt* fallen auch die Analyse der Aspekte von Modellen, mentalen Modellen, dem vernetzten Denken, kognitiver

Anstrengung und der verschiedenen Begründungsansätze, die für das Lernen mit Simulationen häufig genannt werden. Dazu zählen bspw. die Interaktivität, die sog. verschiedenen Sinneskanäle, die durch Simulationen angesprochen werden sollen, die Realitätsnähe von Simulationen etc.

Das Wesen und die Wirkungsweisen von Simulationen sowie ihre Funktion für die Gesellschaft und das Individuum wird durch die *medientheoretische Perspektive* erörtert.

Das **vierte Kapitel** enthält eine Übersicht und Analyse im Handel erhältlicher Simulationen, die im metall- und elektrotechnischen Unterricht verwendet werden (könnten).

Im **fünften Kapitel** werden die Potenziale und Grenzen von Simulationen bei Lehr-Lern-Arrangements in metall- und elektrotechnischen Domänen aufgezeigt.

Hierzu werden die Bedingungen für komplexe Lehr-Lern-Arrangements mit Computersimulationen aus kognitionspsychologischer, unterrichtstheoretischer und aus medientheoretischer aber auch aus technischer Sicht und mit Hinblick auf die Lehrerbildung bzgl. des Einsatzes von Multimedia und Simulationen beleuchtet. Im Anschluss wird exemplarisch ein Skript für die Einbindung von Simulationen im Unterricht entwickelt.

Das **sechste Kapitel** enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und einen Ausblick.

2.4. Analyse wissenschaftlicher Beiträge über Simulationen als Lehr- und Lernmittel

Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Neuen Medien immanente Faktoren besitzen, dass sie bspw. das Lernen erleichtern, neue Lehr- und Lernmethoden (z.B. selbstorganisiertes Lernen) unterstützen, die Motivation, den Lernerfolg, die Effizienz steigern usw. (Kerres 2003; 2012; Euler et al. 2006).

Besonders über Computersimulationen wird postuliert, dass sie das selbstbestimmte Lernen nach Maßgabe konstruktivistischer Lerntheorien fördern und die intrinsische Motivation der Lernenden erhöhen (Urhahne et al. 2000, Tenberg 2001).

Die derzeitige Studienlage zur Anwendung von Simulationen und insbesondere die zur Verwendung von Simulationen in der beruflichen Bildung im metall- und elektrotechnischen Bereich ist unzureichend.

Nickolaus, Gschwendtner und Abele (2009) untersuchten die Validität computerbasierter Simulationen beruflicher Handlungssituationen zur Kompetenzmessung für ein Large-Scale Assessment in der beruflichen Bildung (VET-

LSA).¹ Dafür entwickelten sie eine Simulation, mit deren Hilfe die Kompetenzen zur Fehlerdiagnose in technischen Systemen bei Kfz-Mechatronikerinnen und -Mechatronikern gemessen werden können. Die Simulation bietet die Möglichkeit, verschiedene Messungen mit dem Multimeter oder dem Oszilloskop durchzuführen, verschiedene Elemente des Motorraums können in Augenschein genommen werden, die Zündung kann aktiviert werden und der Motor gestartet werden. Darüber hinaus ist die Simulation mit dem Programm ESI[tronic] von Bosch gekoppelt, einem Expertensystem, das u.a. Fahrzeuginformationen und Wartungspläne liefert, aber auch ein Fahrzeug-Diagnosesystem. Daneben haben sie acht komplexe Aufgaben zu den Themen Motormanagement und Beleuchtungsanlage entwickelt, die mithilfe der Simulation bearbeitet werden sollen. Damit erhoffen sie sich einen Ausweg aus der Praxisferne von standardisierten schriftlichen Tests. Sie testeten zwei Gruppen des dritten und vierten Ausbildungsjahres, wobei die eine Gruppe vier Aufgaben zunächst mithilfe der Simulation und im Anschluss vier in der Realität lösen musste, die andere Gruppe hingegen in umgekehrter Reihenfolge jeweils die entsprechenden Aufgaben zu erledigen hatte. In den meisten Fällen hing die Lösungsquote nicht davon ab, ob sie in der Realität oder an der Simulation gelöst wurde. Sie kommen zu dem Schluss, dass computerbasierte Simulationen grundsätzlich geeignet sind, berufliche Handlungskompetenzen zu erfassen und sehen weiterhin auch Möglichkeiten für den Einsatz von Simulationen in anderen Berufsgruppen (bspw. für Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik) und in Facharbeiter- und Meisterprüfungen. Dennoch weisen sie ebenfalls darauf hin, dass Simulationen für die Erfassung motorischer Kompetenzen weniger geeignet sind (Abele et al. 2009a, b; Abele und Gschwendtner 2010; Gschwendtner et al. 2009; Nickolaus et al. 2010).

Krogoll et al. entwickelten Ende der 1980er Jahre das Projekt CLAUS ("CNC Lernen, Arbeit und Sprache"). Beim CLAUS-Konzept wird der Umgang mit CNC-Maschinen geübt, indem die Lernenden aufeinander aufbauende Lernaufgaben, die im Laufe der Zeit an Komplexität zunehmen, lösen (Krogoll et al. 1988). Auf dieses Projekt wird im folgenden Kapitel (auf S. 77) noch einmal eingegangen.

Roy (1997) untersuchte verschiedene Simulatoren, die in der beruflichen Bildung einsetzbar sind. Sein Fokus lag in der Handhabungstechnik. Unter "Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskordinatensystem" (VDI 1990, S. 2) zu verstehen. Die Handhabungstechnik bzw. -einrichtung bereitet somit Füge- oder Prüftätigkeiten

¹ Vocational Education and Training Large-Scale Assessment. Large-Scale Assessments sind Leistungsmessungen mit einer großen Probandenzahl. Es soll(te) untersucht werden, welche Kompetenzen Schülerinnen und Schüler in Lehr- und Lernprozessen in der Berufsschule erworben haben, mit dem Ziel diese international zu vergleichen (Winther et al. 2009).

vor, indem sie bspw. Werkstücke transportiert oder positioniert. Zu den Handhabungseinrichtungen zählen bspw. Magazine oder Bunker zur Speicherung und Bereitstellung von Werkstücken, Greifwerkzeuge, die die Werkstücke in einer bestimmten Orientierung einspannen. Handhabungssysteme sind beispielsweise Manipulatoren, Einlegegeräte oder Industrieroboter (Hengesbach 2005). Die Handhabungstechnik nimmt in den meisten Lehrplänen nur einen kleinen Teil der Ausbildung ein. Bei den Elektronikern und Elektronikerinnen für Automatisierungstechnik im Lernfeld 8 (Antriebssysteme auswählen und integrieren), bei Industriemechanikern und Industriemechanikerinnen im Lernfeld 13 (Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme) und bei den Produktionstechnologinnen und Produktionstechnologen im Lernfeld 9 (Einrichten von Handhabungs- und Materialflusssystemen) (KMK 2003a; 2004a; 2008a).

Roy hat dazu zusammen mit einem Lehrer ein Unterrichtsprojekt mit 13 Facharbeitern (Absolventen der Fachoberschule) aus den Bereichen Metall- und Elektrotechnik durchgeführt. Nach ausführlichen theoretischen Einführungen (Vorträge, Vorführung zweier Videos und "zielorientierten Diskussionen" (ebd. S. 176 ff) sollten die Lernenden vorbereitete Aufgaben mithilfe des Simulators (Robotik-Profi der Firma Keller) in Gruppen lösen und danach die Ergebnisse präsentieren. Im Anschluss hat er die Lernenden Testaufgaben lösen lassen, um zu überprüfen, welche fachlichen Inhalte erlernt wurden und eine Befragung durchgeführt, wie die Lernenden die Qualität des Simulators einschätzen.

Roys Fazit ist, dass Simulationen einen Beitrag dazu leisten können, handlungsorientiertes Lehren und Lernen in der gewerblich-technischen Berufsausbildung zu unterstützen und Kenntnisse auf dem Gebiet der Handhabungstechnik zu vermitteln. Viele Fragen dazu, welchen konkreten Beitrag Simulationen in der Beruflichen Bildung auf welche Weise und warum liefern können, sind offen geblieben.

Andere Arbeiten beschäftigen sich mit der Konzeption von Simulationen. Fäßler (2000) z.B. konzipierte und realisierte ein simulationsbasiertes Computerlernsystem für den Lerngegenstand "Elektrischer Transformator". Er hat seinen Simulator 30 Studierenden einer Fachhochschule durch einen Dozenten zur Verfügung stellen lassen, der die Studierenden seiner Vorlesung "über die Existenz der Lernsoftware unterrichtet und aufgefordert [hat], sie für Übungen und Vertiefungen im Zusammenhang mit der Vorlesungseinheit Netz und Trafo zu benutzen" (ebd. S. 130). Von diesen Studierenden hat er allerdings keine Rückmeldung erhalten. An verschiedenen Gymnasien bot er sein Konzept Klassen der 12. Jahrgangsstufe zum Selbststudium an. Zwei der Schüler befassten sich mit der Software und gaben schriftliche Rückmeldungen, drei weitere standen zu Diskussionen zur Verfügung. Fäßler schlägt vor, Cognitive Apprenticeship (vgl. S. 57 oder ausführlicher Collins et al. 1989) als Ansatz zur Instruktion zu verwenden. Da Simulationen auf Modellen

basieren, berücksichtigt er in seinem Konzept zur Einbettung der Simulation Elemente der Allgemeinen Modelltheorie. Fäßler stützt sich hier in der Hauptsache auf Stachowiak (1980), der davon ausgeht, dass der Mensch lernt, in dem er sich mit Hilfe von Modellen neue Dinge und Zusammenhänge aneignet und sich so die Realität konstruiert. Fäßler hat untersucht, welchen Beitrag die Allgemeine Modelltheorie von Stachowiak (1973) zur Erstellung von Computersimulationen für Ausbildungszwecke liefert und welche didaktischen Eigenschaften und Funktionen Modelle besitzen. In der von ihm modifizierte Tabelle nach Buddensiek et al. (1980) sind die didaktischen Möglichkeiten, die die Modellfunktionen bieten, dargestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Didaktische Modellfunktionen nach Fäßler (2000), (modif. nach Buddensiek et al. 1980)

Modellfunktion	Beschreibung
Heuristische Funktion	Darstellen und Veranschaulichen von je wesentlichen Strukturen, Funktionen und Verlaufsformen des Originals.
Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion	Beschreibung von Strukturen, Funktionen oder Verlaufsformen, die für Modellbenutzer unbekannt oder schwer durchschaubar sind.
Trainingsfunktion	Übung eines bestimmten Verhaltens am Modell.
Steuerungsfunktion	Steuerung von Lernprozessen.
Ersatzfunktion	Ersatz für ein Original, das für Ausbildungszwecke nicht verfügbar ist, bzw. dessen Verwendung für Ausbildungszwecke zu riskant oder zu aufwendig ist.
Antizipations- bzw. Prognosefunktion	Erprobung alternativer Strategien führt auf der Ebene des Modells zu Realutopien.
Innovationsfunktion	Mittelbare Anregungen zur Veränderung einer vorfindbaren Wirklichkeit.
Kontroll- und Evaluationsfunktion	Bewertung von Original, Modell und Produkten, die auf der Basis des Modells entwickelt wurden, durch Modell-Original bzw. Modell-Produkt-Vergleiche.
Ideologiekritische Funktion	Ideologiekritik gegenüber sich selbst, seinem Original, anderen Modellen und einer vorfindbaren Realität.

Diese Funktionen sind elementar für das Entwickeln von Computersimulationen für den Unterricht, da Modelle das Wesen der didaktischen Aufgabe einer Simulation bestimmen (Fäßler 2000). Darüber hinaus können Modellfunktionen nicht nur für die Entwicklung von Simulationen dienen, sondern auch eine Möglichkeit sein, die

Lernhaltigkeit einer Simulation abzuschätzen. Auf diese Modellfunktionen wird in den folgenden Kapiteln der Arbeit noch Bezug genommen.

Faber (1997) entwickelte einen Motronic-Simulator, lieferte aber keine validen Daten zu dem an einer Berufsschule mit diesem Simulator durchgeführten Modellversuch.

Fletcher und Friese (2008) verfolgten in einem Modellversuch den Ansatz, mithilfe eines PC-simulierten Gießereiprozesses in der Industriemeisterausbildung Metalltechnik, industrielle Produktionsprozesse nachhaltig zu gestalten. Die Autoren sehen in der Verwendung von Computersimulationen des Produktionsprozesses in Verbindung mit Lernaufgaben eine Möglichkeit zur Förderung von Kompetenzen zum nachhaltigen Gestalten.

Ripkens (1999) konzipierte ein simulatives Lernspiel, das zur Implementierung von Total Quality Management (TQM) bei BASF eingesetzt werden sollte. Ziel war es, die Akzeptanz von TQM-Maßnahmen im Unternehmen zu steigern. Er kommt zu dem Schluss, dass auch affektive Lernziele mit Hilfe von Simulationen vermittelt werden können.

Burgmer und Raimer (2004) führten eine Akzeptanz- und Optimierungsstudie zu einem von ihnen konzipierten hypermedialen Informations- und Lernsystem (HILWA-Prototyp) zur Simulation flexibler Produktion durch, valide Daten liegen allerdings (bis jetzt) nicht vor.

Siemon (2005) entwickelte einen Prototypen der Software "VIRTOOL", eine computerbasierte Lernumgebung unter Ausnutzung von VR²- und 3D-Technologie, die Lernprozesse an metallbearbeitenden Werkzeugmaschinen unterstützen soll. "Für das Ziel, Auszubildende zum selbstgesteuerten Lernen zu befähigen, konnte gezeigt werden, dass Simulationen in bestimmten Phasen des Lernprozesses Entscheidungsmöglichkeiten eröffnen, die für die bis dahin übliche Ausbildung der metallzerspanenden Berufe nicht zur Verfügung standen" (Siemon 2006, S. 170).

Tauschek (2006) führte bei angehenden Prozessleitelektronikern eine quasi-experimentelle und explorative Studie durch und wies nach, dass computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) dazu beitragen kann, Handlungs- und Problemlösekompetenz zu komplexem regelungstechnischen Systemverhalten zu fördern.

Blümel, Jenewein und Schenk (2010) beleuchteten theoretisch, welche Möglichkeiten der Einsatz von VR in der beruflichen Bildung bietet. Sie kommen zu dem Schluss, dass VR-Systeme vor allem dort einen Beitrag leisten können, wo die realen Systeme nicht oder nur schlecht zugänglich gemacht werden können. Blümel et al. unterstreichen die Möglichkeit, mit Hilfe von VR berufliche Arbeitsprozesse zu

² VR: Virtual Reality. Näheres dazu S. 34.

erschließen und berufliche Handlungskompetenzen zu entwickeln, indem bei ihrer Verwendung deklaratives und prozedurales Wissen miteinander verbunden werden kann. Gleichwohl schließen sie aus, dass VR-Systeme das Lernen im realen Arbeitsprozess ersetzen können. Weiterhin sehen sie die Notwendigkeit in der Entwicklung von Methoden und deren Erprobung, bevor diese Systeme in der beruflichen Bildung zum Einsatz kommen können.

Es gibt ferner noch einige Arbeiten zu bestehenden Simulationen, die sich vornehmlich mit der Bewertung der Software, aber nicht mit deren Einbindung in Lehr-Lern-Prozesse beschäftigen. So z.B. Bufe et al. (2009), die den Lernerfolg des Simulationsspiels FISS (Fertigungs- und Instandhaltungsstrategie Simulation), ein sog. 'Serious Game', in Bezug auf die vier Lernstile David Kolbs (2001)³ untersuchten und feststellten, dass die Trainingssimulation "FISS alle Teilnehmer unabhängig ihrer Lernstile erreicht und eine starke Leistungsverbesserung erzielt" (ebd. S. 78).

Martens (1999) stellt erste Evaluationsergebnisse zu dem Programm "Der Persönliche Berater" vor, das eine "Gestaltergrundhaltung" (ebd. S. 43) vermitteln soll. "Es handelt sich dabei um eine zentrale innere Einstellung bzw. um ein grundlegendes Selbstkonzept, das die Wahrnehmung und das Verhalten des einzelnen beeinflusst" (ebd. S.43). Martens kommt zu dem Schluss, dass mit Hilfe von Multimedia möglich ist, affektive Lernziele zu erreichen.

Steininger und Zülch (2002) bewerten die Software "Mutil" (Multimediales Trainingstool für Industriemechaniker in der Ausbildung), das die "Arbeitswelt" des Industriemechanikers simulieren soll und die Lehrinhalte Arbeitsplanung, CNC-Programmierung, Qualitätssicherung und Instandhaltung zusammenführen. Das Tool soll die Anwendung bereits erlernter Inhalte ermöglichen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich der schon 2001 von Tenberg bemängelte Stand empirischer Daten zu Unterricht mit Neuen Medien im gewerblich-technischen Bereich nicht wesentlich verändert hat.

Computerunterstütztem Lernen resp. dem Einsatz Neuer Medien ermangelt es vor allem an der Berücksichtigung lehr- und lerntheoretischer Erkenntnisse (Weidenmann 2002; Tulodziecki 2011; Kerres 1999, Issing und Klimsa 2002; Thissen 1998). Oft wird Unterricht mit Computern wieder zu klassischem Frontalunterricht oder die Hersteller, insbesondere die Produzenten von Lehrsoftware, bereiten ihre Programme als virtuellen Frontalunterricht auf (Arnold und Reinmann 2010, S. 288).

³ Kolb (2001) definiert vier grundlegende Lernstile durch Vorlieben der Lernenden (divergierender, assimilierender, konvergierender und akkomodierender Stil (vgl. Bufe 2009 S. 68–69)). Kolb, David A.; Boyatzis, Richard E.; Mainemelis, Charalampos (2001): *Experiential Learning Theory: Previous Research and New Directions*. In: Robert J. Sternberg und Li-fang Zhang (Hg.): *Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles*. Mahwah, NJ: L. Erlbaum Associates.

Da auch Erkenntnisse zu Simulationen als Lehr- und Lernmitteln aus anderen Domänen außerhalb des gewerblich-technischen Bereichs Aufschlüsse zur Wirksamkeit liefern können, sollen sie hier ebenfalls angeführt werden.

Im kaufmännischen Bereich untersuchten Winther und Achtenhagen, ob mithilfe der Simulation ALUSIM berufsfachliche Kompetenzen von Industriekaufleuten gemessen werden können. Bei ALUSIM handelt es sich um eine web-basierte Testumgebung mit drei unterschiedlichen Kategorien von Aufgaben. Aufgaben mit denen die handlungsbasierten Kompetenzen erfasst werden sollen, Aufgaben die die verstehensbasierten Kompetenzen ermitteln sollen und von den Betrieben individuell anpassbare berufstypische Arbeitsproben. Dafür wurden drei Unternehmensprozesse und neun Arbeitssituationen konzipiert. Innerhalb der Unternehmensprozesse wurden die Arbeitssituationen mithilfe eines Videos erläutert, die im Anschluss mit der Simulation bearbeitet und in einem Dokument festgehalten werden mussten. Für die Bearbeitung stellt das Simulationsprogramm zusätzlich benötigte Informationen und Arbeitsmittel zur Verfügung. Winther und Achtenhagen kommen zu dem Schluss, dass mithilfe der Simulation ALUSIM handlungsbasierte und verstehensbasierte Kompetenzen getrennt erfasst werden können und dass diese Simulation die Basis für ein VET-LSA in dieser Domäne liefern kann. Darüber hinaus sind sie der Ansicht, dass mit dieser Methode auch die Leistungsfähigkeit und Defizite von Lehr-Lernprozessen aufzudecken sind (Winther und Achtenhagen 2009; Winther 2010; Achtenhagen und Winther 2011).

Im allgemeinbildenden Bereich untersuchte Grafe (2008), ob die Problemlösefähigkeit mit Hilfe von Computersimulationen gefördert werden kann. Sie entwickelte Unterrichtseinheiten unter Einbeziehung von Simulationen für das Fach Politik in der 10. Jahrgangsstufe und kam zu dem Ergebnis, "dass die handlungs- und entwicklungsorientierte Didaktik in der vorliegenden Anwendung grundsätzlich als geeignet gesehen werden kann, Problemlösefähigkeit beim Lernen mit Computersimulationen zu fördern" (Grafe 2008, S. 273).

Mandl, Gruber et al (1993) beschäftigen sich mit der Frage, ob das im Studium erworbene Wissen im Umgang mit Simulationsmodellen ein- und umsetzbar ist. Sie stellten fest, dass Studenten der Wirtschaftswissenschaften in der Steuerung eines computersimulierten Unternehmens nicht erfolgreicher sind als Pädagogikstudenten. Es ist allerdings fraglich, welche Schlussfolgerungen daraus auf die Methoden der Wissensvermittlung im Studiengang oder auf die Fertigkeiten, die von der Simulation verlangt werden, gezogen werden können. Ähnliche Erkenntnisse gewannen Gräsel, Mandl et al (1992), die die Förderung diagnostischen Denkens durch fallbasierte Computerlernprogramme in der Medizin untersuchten (nach Schulmeister 2007).

Urhahne und Harms (2006) analysierten 30 Artikel zur Effektivität von Maßnahmen der instruktionalen Unterstützung für das Lernen mit Computersimulationen. Die

Computersimulationen decken ein breites Spektrum von Planspielen bis zu naturwissenschaftlichem Lernen ab. Sie legen nahe, dass die ausschließliche Verwendung von Computersimulationen ohne Anleitung und Hilfestellungen kaum zum Erwerb von Wissen beiträgt. Deshalb schlagen sie verschiedene Unterstützungsmethoden vor, die den Lernerfolg steigern. "Dazu gehören Arbeitsaufträge, ausgearbeitete Lösungsbeispiele, permanent verfügbare Hintergrundinformationen, eine Führung durch die Computersimulation, abzugebende Erklärungen und Begründungen, differenzierte Rückmeldungen des Lernsystems sowie Hinweise und Aufgaben, die zur gedanklichen Reflexion anregen" (Urhahne & Harms 2006, S. 370). Diese Hilfen sollen so gestaltet sein, dass sie die Schülerinnen und Schüler während der Arbeit mit den vielschichtigen Simulationsprogrammen "nicht zusätzlich kognitiv belasten" (Urhahne & Harms 2006, S. 371). Zu ähnlichen Schlüssen kommt auch Lee (1999), die mittels einer Metaanalyse 19 Studien (u.a. zu Mathematik in der Grundschule, zu elektrischen Stromkreisen bei Bachelorstudenten, Präparationssimulation im Biologieunterricht bei Oberschülern) bzgl. der Lernwirksamkeit von Simulationen mit und ohne Instruktion untersucht hat. Sie zieht ebenfalls das Fazit, dass spezifische Anleitungen bei Simulationen zu besseren Lernergebnissen führen. Sie weist aber darauf hin, dass die Resultate der Studien sich teilweise widersprechen. Einer der Gründe für diese widersprüchlichen Forschungsergebnisse der Primärstudien sieht sie in der unterschiedlichen Verwendung von Lehrweisen mit Simulationen. Deshalb, so das Ergebnis einiger der untersuchten Studien, sollten Simulationen Ergänzungen zu erklärendem Unterricht sein und sind nicht geeignet, neues Wissen ohne Erklärungen zu unterrichten (weiteres dazu unter dem kognitionspsychologischen Aspekt, S. 85, im folgenden Kapitel).

Dekkers und Donatti (1981) werteten 93 empirische Forschungsstudien, die sich mit Simulationen für die Lehre beschäftigen, in einer Metaanalyse aus. VanSickle (1986) bereitete Studien zu Lerneffekten von Simulationsspielen quantitativ auf. Remmer und Jernsted (1982) analysierten 21 Studien zu Unterricht mit Simulationsspielen, um die relativen Effekte auf studentische Leistungen, Einstellungsänderung bzgl. des Lehrstoffs, mit dem sich befasst wurde, dem Interesse an dem Kurs und die Langzeit-Speicherung von Informationen bei der Verwendung von Simulationen zu untersuchen. Armstrong (1992) hat in einer Metaanalyse 54 Studien zu Lernumgebungen mit computerbasierten Simulationen untersucht. Auf die Ergebnisse dieser Studien wird im folgenden Kapitel (S. 85) unter dem kognitionspsychologischen Aspekt genauer eingegangen.

Hattie (2009) fasst diese Studien so zusammen, dass Simulationen selbst nur geringe Effekte gegenüber anderen Lehrmethoden aufweisen und der Lehrer den größten Beitrag zum Gelingen hat. Dementsprechend ist die Verwendung von Simulationen im Unterricht zwar angemessen und kann sicherlich einen Beitrag

leisten, aber den größten Einfluss hat, wie bei den meisten Unterrichtsformen, der Lehrer bzw. die Lehrerin (vgl. Hattie 2009, S. 230).

Blömeke (2003) stellte dazu in ihrem Überblick über den Stand der Forschung zum Lernen mit Neuen Medien fest, dass bei der empirischen Forschung zum Lernen mit Neuen Medien die quantitativen Studien überwiegen. Sie bemängelt, dass experimentelle Studien zum Lernen mit Neuen Medien aufgrund ihres Designs (oft mit Psychologiestudenten und zu einfachen Lerngegenständen) nicht unbedingt valide Daten liefern, bei Evaluationen wurden oft Varianzkontrollen nicht beachtet. Es gab teilweise keine Kontrollgruppen, keine Tests zu den Vorkenntnissen der Probanden und bei einigen Evaluationen wurden verschiedene Versuchsleiter eingesetzt.

Winn (2002) hat bei der Analyse der gegenwärtigen Trends bei technologiegestütztem Lernen festgestellt, dass komplexe, interaktive Lernumgebungen im Fokus stehen und hat dabei Implikationen für die Praxis und zukünftige Forschungen identifiziert. Er stellt unter anderem fest, dass Unterricht mit Computern grundsätzlich dazu tendiert, Lernende voneinander zu isolieren. Er schlägt daher vor, dass Lehrende, um dies zu vermeiden, einen sozialen Lernkontext schaffen müssen.

Darüber hinaus rät Tenberg (2001) davon ab, mit Lernenden mit "geringer Abstraktionsfähigkeit bzw. -bereitschaft" oder "starken sozialen bzw. emotionalen Bedürfnissen" (ebd. S. 304) überhaupt an Computern zu arbeiten.

Tulodziecki (2011) konstatiert, dass "Computer, Internet und andere Medien" (ebd. S. 57) in Lehr-Lernprozessen lernwirksam eingesetzt werden können, wenn sie "als Mittel zur Präsentation von Aufgaben, als Informationsquelle und Lernhilfe, als Materialpool und Gegenstand von Analysen, als ‚Werkzeug‘ oder Instrument bei Aufgabenlösungen und Rückmeldungen, als ‚Werkzeug‘ bei der Kommunikation und Kooperation sowie bei der Speicherung und Präsentation eigener Arbeitsergebnisse" (ebd. S. 57) dienen. Zur Konzeption von Lernprozessen mit Computern und Medien zur Anregung und Unterstützung hat Tulodziecki unter Einbeziehung sowohl kognitionstheoretischer als auch konstruktivistischer und didaktischer Auffassungen fünf Merkmale beschrieben: Zu Beginn sollte eine bedeutsame Aufgabe mit angemessenem Komplexitätsgrad gestellt werden (1). Lernende und Lehrende sollten sich über die Ziele der Aufgabe einigen und darüber, wie diese erreicht werden können (2). Die Schülerinnen und Schüler sollten sich selbstständig und in Gruppenarbeit mit den Fragestellungen auseinandersetzen (3). Die unterschiedlichen Lösungswege und Ergebnisse sollen miteinander verglichen und im Anschluss systematisiert werden (4). Danach soll das Gelernte angewendet und reflektiert werden (5) (vgl. Tulodziecki 2011, S. 56f). Für den beruflichen handlungsorientierten Unterricht haben Riedl (2004) und Tenberg (2011) ähnliche Merkmale abgefasst, ergänzt jedoch noch um die Punkte des

handlungssystematischen Vorgehens (6), den integrierten Fachunterrichtsraum (7), die unterstützende Lehrerrolle (8) und die integrative und offene Leistungsfeststellung (9). Auf diese Merkmale wird in Kapitel 5 noch einmal genauer eingegangen.

Technische Bedingungen und Lehrerbildung bzgl. Einsatz von Multimedia und Simulationen

In vielen Schulen sind weder ausreichend Rechner vorhanden, noch ist die Softwareausstattung ausreichend. Einige Schulen besitzen Rechner mit veralteten Betriebssystemen und überalterter Software. Im letzten Bericht des BMBF zur IT-Ausstattung der Schulen von 2006⁴ wird die Rechnerausstattung mit dem Verhältnis 9:1 (Relation Schüler/innen pro Computer) und durchschnittlich 107 Computern an jeder Berufsschule zwar gelobt, aber schaut man genauer hin, stellt man fest, dass viele Schulen (fast 10%) mit Rechnern ausgestattet sind, die zu diesem Zeitpunkt schon stark veraltet sind, und auf denen zu dieser Zeit aktuelle Programme schon gar nicht mehr liefen.⁵ Aber auch die anderen in dieser Erhebung erfassten Rechner sind im Verhältnis zum damaligen Stand der Technik nicht besonders aktuell.

Im Dataset-Bericht der KMK zur IT-Ausstattung in Schulen gab es im Schuljahr 2007/2008 in Beruflichen Schulen 126 Computer pro Schule (insgesamt), und das Schüler/innen-Verhältnis pro Computer lag bei 8:1 (insgesamt) (KMK 2008b, S. 2).⁶ In diesem Bericht wurden die Rechner nicht nach Typen aufgeschlüsselt, es kann demnach keine Aussage über die Qualität der Rechner gemacht werden.

Nach aktuellen PISA-Umfragen liegt Deutschland im internationalen Vergleich bei der Ausstattung der Schulen mit Computern nach wie vor zurück (Online-Magazin Digital Lernen 2011).

Laut der PISA-Umfragen von 2006 lag Deutschland im internationalen Vergleich ebenso in der Nutzung der Rechner an Schulen zurück. 31 Prozent nutzen den Computer in der Schule, im Vergleich zu 56 Prozent im OECD-Durchschnitt (Prenzel et al. 2007). Die Computeranwendung in Schulen ist zwar seitdem auf 64,1 Prozent gestiegen, im OECD-Durchschnitt werden aber demgegenüber von 71,4 und in

⁴ Neuere Daten sind dort nicht erhältlich, eine Aktualisierung der Daten ist bis zum heutigen Zeitpunkt nicht vorgesehen.

⁵ In Berufsbildenden Schulen waren 18.366 Computer vom Typ 1: nicht multimediafähiger Pentium-PC: 486er PC oder Pentium bis < 233 MHz oder gleichwertig, und 171.004 Computer vom Typ 2: multimediafähiger PC: Pentium-PC, Prozessor \geq 233 MHz, mindestens 64 MB, mit Soundkarte, CDROM-Laufwerk oder Zugriff auf einen zentralen Speicher (z.B. Server); oder gleichwertig (z.B. Macintosh \geq 68XX oder G3/G4/G5-Prozessor; Thin Client) (vgl. BMBF 2006, S. 9). Der Pentium (mit 60 MHz bis 300 MHz) wurde von 1993 bis 1999 produziert, 2000 wurden Celeron, Pentium 4, eingeführt mit Frequenzen im Gigaherzbereich.

⁶ Eine Aktualisierung und Neuauflage der Datensammlung ist bis auf Weiteres nicht vorgesehen (KMK 2008b).

Finnland schon von 87,4 Prozent der Schüler Computer in der Schule genutzt (Online-Magazin Digital Lernen 2011).

Hüppe, Gesamtvorstandsmitglied der Initiative D21 e.V. konstatiert dazu in der Bildungsstudie 'Digitale Medien in der Schule': "Der Einsatz digitaler Medien im Klassenzimmer ist dagegen nach wie vor marginal. Im Unterricht dominieren weiterhin gedruckte Materialien. Die Schulstunde wird allenfalls medial ergänzt und die Mediennutzung vom Regelunterricht in die Freiarbeit oder Projektarbeit verschoben. Viel zu häufig dienen dabei selbst modernste Geräte nur für Recherchen oder Textarbeiten" (Initiative D21 2011, S. 5).

Dazu kommt, dass an den wenigsten Schulen ein Konzept z.B. bzgl. vorhandener Software vorliegt, welche Programme bspw. bei welchen Unterrichtsgegenständen eingesetzt werden können. So ergab beispielsweise die Bildungsstudie 'Digitale Medien', bei der Lehrerinnen und Lehrer, die mathematisch-naturwissenschaftliche Fächer⁷ an einer Schule unterrichten, die zum Abitur führt befragt wurden, dass nur 13,2 Prozent ein diesbezügliches Konzept an ihrer Schule haben. Dies führt zusammen mit unvollständigen Hard- und Software-Infrastrukturen bei vielen Lehrenden zu Verunsicherungen. Die Medien entsprechen nach Ansicht vieler Lehrerinnen und Lehrer nicht den Anforderungen des Fachunterrichts. Dadurch beschränkt sich die Rechneranwendung oft auf Recherchen im Internet und das Vorführen von Powerpoint-Präsentationen. Auch die in vielen Fällen vorhandene Abgrenzung von Unterrichts- und Computerraum und die "strukturellen Beschaffungsbarrieren und restriktiven Budgetvorgaben" (Initiative D21 2011, S. 5) wirken sich nachteilig aus (vgl. Initiative D21 2011, S. 5, 6 und S. 14).

"Schulen benötigen eine anforderungsgerechte Ausstattung, damit die Schülerinnen und Schüler mit und über Medien lernen und arbeiten können. Dabei kommt es insbesondere darauf an, dass die erforderliche Hard- und Software dort verfügbar ist, wo Unterricht tatsächlich stattfindet – also auch außerhalb der klassischen Computerräume. Ausstattung, Vernetzung und Wartung der IT-Infrastruktur der Schulen ist in Abstimmung mit den Schulträgern im Rahmen von Medienentwicklungsplänen festzulegen" (KMK 2012, S. 7–8).

Neben der Hard- und Softwareausstattung stellt aber auch deren Instandhaltung und Pflege und die regelmäßige Erneuerung eine große Aufgabe für Schulen dar (Albers et al. 2011).

Die KMK stellt ergänzend dazu in ihrem Beschluss zur Medienbildung in der Schule fest, dass "Lehrerinnen und Lehrer" hierfür nicht ohne "Entlastung von der technischen Betreuung" auskommen, "um sich auf die pädagogischen Aufgaben

⁷ Mathematik, Physik, Biologie, Chemie, Informatik

beim Einsatz der digitalen Medien im Unterricht konzentrieren zu können" (KMK 2012, S. 7–8).

Befragungen von Bofinger (2007) und Gysbers (2008) belegen, dass die geringe Computernutzung nicht nur aus ungenügender Motivation oder unzulänglichen Fähigkeiten der Lehrenden herzuleiten ist, sondern auch aus der hohen Zeit- und Arbeitsbelastung (vgl. Kammerl und Ostermann 2010).

Dazu fehlen methodische und fachdidaktische Konzepte, "Lehrkräfte bewegen sich in einem engen Spannungsfeld zwischen bildungspolitischen Vorgaben, kompetenzorientierten Zielen, heterogenen Lernständen und einem straffen Unterrichtsplan" (Initiative D21 2011, S. 5).

Kammerl und Ostermann (2010) fordern daher eine medienpädagogische Grundbildung für Lehramtsstudiengänge, eine "medienpädagogische Weiterbildung als phasenübergreifendes Angebot der Lehrerbildung, das für Funktionsstellen qualifiziert" (ebd. S. 58), den "Ausbau der Medienpädagogik in Forschung und Lehre", die "gezielte Förderung medienpädagogischer Forschung" (ebd. S. 59) und dass der Aufbau von Medienkompetenz in den Curricula der Unterrichtsfächer festgeschrieben werden soll (ebd. S. 57).

Mögliche Bewertungskriterien für Simulationsprogramme

Für die Bewertung von Simulationsprogrammen können u.a. diesbezügliche Normen herangezogen werden. Simulationsprogramme müssen, wie andere Software auch, die Standards der Software-Ergonomie erfüllen. Beurteilungsmaßstäbe liefern die DIN Normen DIN EN ISO 9241 (Ergonomie der Mensch-System-Interaktion) und DIN EN ISO 14915 (Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen). Im Vordergrund steht in diesem Punkt der Teil 110 aus der DIN EN ISO 9241 (Grundsätze der Dialoggestaltung) mit folgenden Anforderungen an die Qualität einer Softwareanwendung: Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit.

Darüber hinaus liefert Jarz (1997) Leitgedanken bezüglich der Gestaltung und Technik multimedialer Anwendungen, auf die im folgenden Kapitel (S. 118) ausführlicher eingegangen wird.

2.5. Medien

In der Umgangssprache bezeichnet der Begriff "Medium" Systeme, die Informationen vermitteln. Gebräuchliche Medien der beruflichen Bildung sind Lehrbücher, Fachbücher, Filme, Bilder, Zeichnungen, Karten, Arbeitsbücher,

Leittexte, Handbücher, Nachschlagewerke, Getriebemodelle, Werkzeugmaschinen, Laborausrüstung, Lernsoftware und Simulationen. Diese Medien wurden entweder speziell für die Berufliche Bildung entwickelt oder sind, obwohl sie für andere Zwecke entwickelt wurden, für die Berufliche Bildung nützlich. Sogar Lehrer können als Medien betrachtet werden und Fachpersonal in ihrer Eigenschaft als Personen, die in einem beruflichen Umfeld agieren, können zu Medien für Auszubildende werden (vgl. Austermann 1989, S. 1036; nach Pabst und Zimmer 2008). Im Bereich der Pädagogik gibt es keine eindeutige Definition für den Begriff Medium. Kerres (2001) weist auf die Problematik der "Doppelbedeutung des Medienbegriffs" (ebd. S. 19) hin. So kann der Begriff einerseits für das Medium als Informationsträger als auch für die Information, die übermittelt wird, gelten. Verschiedene Autoren liefern unterschiedliche Ansätze zur Interpretation des Medienbegriffs und zur Strukturierung von Medien (bspw. Glöckel, 1990; Adl-Amini, 1994; Schöler, 1976; Peterßen 1992; vgl. Kerres 2000). Ihnen gemeinsam ist die Strukturierung nach dem Grad der didaktischen Aufbereitung, also in wieweit das Medium die Voraussetzungen, d.h. bspw. Zielgruppe oder Lernziele des Unterrichts, berücksichtigen (Kerres 2000).

Kerres (2012) illustriert die Debatte um die Interpretation des Medienbegriffs mit dem Diskurs von Richard E. Clark und Robert Kozma. Während für Clark (1983, 1994) Medien nichts anderes als Vehikel, die Inhalte transportieren, sind, haben für Kozma (1994) Medien sehr wohl bestimmte Eigenschaften, die lernförderlich sein können. Auf dem Gebiet der Bildungstechnologie gibt es in den USA eine langjährige Debatte, ob Medien das Lernen beeinflussen können oder nicht. Obwohl nicht alle Wissenschaftler zustimmen, akzeptieren viele Bildungstechnologen Richard Clarks (1994) Behauptung, dass Medien niemals das Lernen beeinflussen werden ("Media will never influence learning"). Auch Kozma stimmt mit Clark überein, dass es bis jetzt keinen Beweis dafür gibt, dass Medien oder Medienattribute das Lernen beeinflussen (Clark 1994). Was jedoch nach Clark das Lernen beeinflusst, ist die dem eingesetzten Medium zugrunde liegende Unterrichtsmethode. Der Erfolg einer jeden Simulation hängt von Kontextfaktoren ab. Ein allgemeingültiger Ansatz wird wirkungslos sein (Artino und Durning 2012).

Zum Begriff "Neue Medien": Hierunter werden meist die digitalen, computerunterstützten Medien verstanden. Auch wenn immer wieder mal die Kritik laut wird, dass dieser Begriff nicht mehr passend ist, da Computer als Medien so neu gar nicht mehr seien (in diesem Zusammenhang wird der Terminus seit ca. den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts gebraucht, davor zählte man meist auch noch Video und Fernsehen dazu), kann dieser Begriff so weiter verwendet werden, da es z.Zt. (noch) keine neueren Medien gibt und er zur Unterscheidung zu nicht-digitalen bzw. nicht-computerunterstützten Medien gut geeignet ist.

2.6. Was sind Simulationen?

Der Begriff der Simulationen ist nicht eindeutig definiert. Es gibt zwar nach VDI 3633 eine Definition von Simulationen, diese umfasst jedoch nur die technische Dimension des Begriffs. Da hier aber auch lehr-lerntheoretische Aspekte betrachtet werden sollen, greift diese Definition für die vorliegende Arbeit zu kurz. Deshalb sollen zunächst verschiedene Begriffsbestimmungen zusammengetragen und im Anschluss daraus eine Definition für diese Arbeit festgelegt werden.

Die VDI-Richtlinie 3633 definiert Simulation als "das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt. [...] Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden" (VDI-Richtlinie 3633, S. 3).

Für die Simulation werden demnach Modelle benötigt. Diese kategorisiert die VDI-Richtlinie 2209 in physikalische, analytische resp. numerische oder grafische Modelle (s.a. Vajna et al. 2009). In Abhängigkeit von diesen und der Frage, ob die Simulation rechnerunterstützt ist, klassifiziert die VDI-Richtlinie 2209 Simulationsarten. So sind bspw. rechnerbasierte Versuche Simulationen, die auf physikalischen Modellen basieren, während die Finite-Elemente-Methode eine Simulation ist, die auf analytischen bzw. numerischen Modellen basiert und CAD-Programme wiederum basieren auf grafischen Modellen (s. Abb. 1).

Vajna weist jedoch darauf hin, dass es in der Praxis selten umsetzbar ist, die unterschiedlichen Simulationsarten genau voneinander abzugrenzen, da für reale Aufgaben meist mehrere Verfahrensweisen angewendet werden, die sich gegenseitig ergänzen (Vajna et al. 2009).

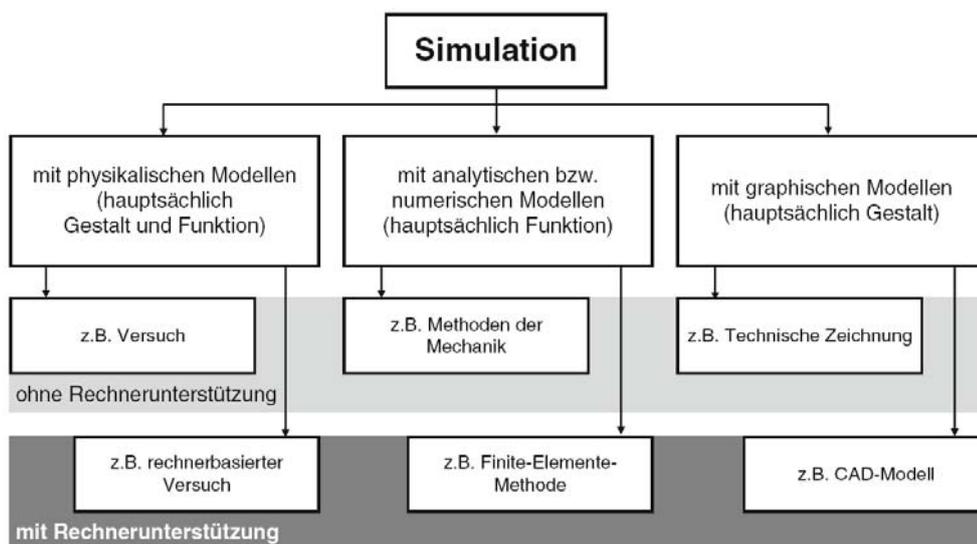


Abbildung 1: Klassifikation von Simulationen nach VDI 2209 (Vajna et al. 2009, S. 153)

In dieser Arbeit sollen ausschließlich rechnerunterstützte Simulationen betrachtet werden. Diese Simulationen, bzw. durch das Zusammenspiel der Simulationswerkzeuge, Bibliotheken, Schnittstellen für Daten-Im- und Export, Ein- und Ausgabewerkzeuge kann man auch von Simulationssystemen sprechen, sind meist folgendermaßen aufgebaut (in Anlehnung an Roddeck 2006, nach Vajna et al. 2009): Sie bestehen aus einem Simulatorekern, der die Modelle gemäß den in der Modelldatenbank hinterlegten Algorithmen ausführt, einer Datenverwaltung, die die Daten von Ein- und Ausgabe und Simulationsergebnissen etc. des Programms abstimmt, die Benutzeroberfläche, mit deren Hilfe der Nutzer/die Nutzerin mit dem Programm interagieren kann und einer Schnittstelle zu weiteren Programmen, wenn bspw. die Simulationsergebnisse in einem weiteren Programm verwendet werden sollen, bzw. Daten aus einem anderen Programm in die Simulation übernommen werden sollen (s. Abbildung 2).

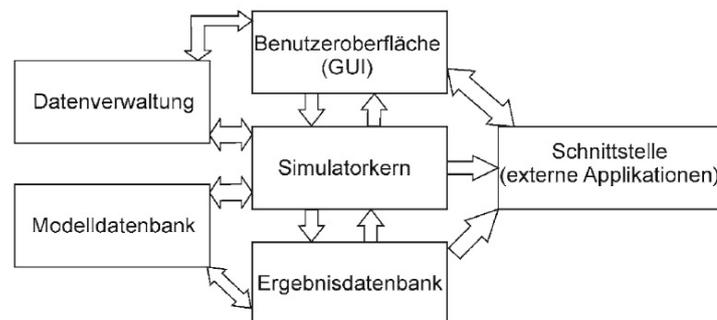


Abbildung 2: Aufbau von Simulationssystemen (Vajna et al. 2009, S. 154)

Zieht man Literatur aus den Anfängen der modernen Computertechnik heran, findet man wie bspw. bei Krampe et al. (1974) Definitionen, die auf den Bereich der Systemtechnik bezogen sind. Sie verstehen unter Simulation "das modellhafte Nachbilden eines kybernetischen⁸ Systems durch andere kybernetische Systeme" (Klaus 1969 nach Krampe et al. 1974) und ergänzen: "Erfolgt die Nachbildung mit Hilfe von Digitalrechnern, dann wird von digitaler Systemsimulation oder Digitalsimulation gesprochen" (Krampe et al. 1974, S. 163).

In der Literatur, die Simulationen unter didaktischen Aspekten betrachtet, wird der Begriff meist weniger explizit und nur vereinzelt unter technischen Gesichtspunkten betrachtet.

⁸ Kybernetik *die*; - <gr.; »Steuermannskunst«>: wissenschaftliche Forschungsrichtung, die Systeme verschiedenster Art (z. B. biologische, technische, soziologische Systeme) auf selbsttätige Regelungs- u. Steuerungsmechanismen hin untersucht. © Duden - Das Fremdwörterbuch. 7. Aufl. Mannheim 2001.

Rey (2009) bspw. charakterisiert Simulationen als Computerprogramme, mit deren Hilfe "der Lernende in kontrollierten Umgebungen virtuell Experimente durchführen kann, um das zugrunde liegende mathematische Modell der Simulation besser verstehen zu können (vgl. de Jong und van Joolingen, 1998; van der Meij, 2007). Das mathematische Modell bestimmt, wie die Simulation auf die Eingaben des Benutzers reagiert (Rieber, 2005). Als Eingabemöglichkeiten zur Erkundung des Modells sind beispielsweise Schieberegler oder Eingabefelder üblich, auf die das Programm Ausgabewerte generiert. Häufig werden diese graphisch visualisiert" (Rey 2009, S. 64).

Szczurek (1982) definiert Simulation als eine Lehrmethode, die auf einem vereinfachten Modell oder einer Repräsentation einer physischen oder sozialen Wirklichkeit beruht, in der Lernende gegeneinander antreten, um nach bestehenden Regeln oder Randbedingungen zu Ergebnissen zu kommen. Der Wettstreit kann einerseits zwischen ihnen als Individuen oder Gruppen stattfinden, oder sie treten allein oder in der Gruppe gegen eine festgelegte Vorgabe an (Szczurek 1982, nach Hattie 2009).

Ähnlich, aber kürzer definiert Rieber (2005) Simulationen als Computerprogramme, die Vorgänge oder Tätigkeiten nachbilden, damit die Anwender durch Interaktionen mit ihnen etwas über diese Vorgänge und Tätigkeiten lernen (nach Niegemann 2008).

Auch Engeler (2003) definiert Simulationen als Computersimulationsprogramme, "die auf der Grundlage eines mathematischen oder formal-logischen Modells realer Gegebenheiten Prozesse oder Systeme" ab- oder nachbilden (ebd., S. 16). Er betont außerdem den hohen Grad an Interaktivität, die Möglichkeiten, die einzelnen Parameter zu variieren und diese Modulationen zu beobachten, als Kennzeichen von Computersimulationen. Dies biete die Option, vielschichtige Beziehungen anschaulich zu machen und gewissermaßen wie ein Experiment zu behandeln.

Bonz (2009) schreibt, dass bei einer "Simulation [...] komplexe Situationen, Strukturen oder Prozesse in einem wirklichkeitsnahen Modell abgebildet" werden. "Diese Abbildung der Realität ermöglicht Lernhandeln" (ebd. S. 129). Die Berufs- und Arbeitssituation der Realität muss transformiert werden, dadurch entsteht eine simulierte Wirklichkeit als Lern-Arrangement, die die Reduktion von Komplexität ermöglicht. In diesem Arrangement vollzieht sich das Handeln der Lernenden mit Zielsetzung, Planung, Ausführung und Bewertung. Das Ergebnis ist ein Handlungsprodukt, das wiederum generalisiert und auf die Realität der Berufs- und Arbeitswelt übertragen werden muss (Abbildung 3). Er unterscheidet einerseits Simulationen durch Medien, wo die Lernenden sich "mit der simulierten beruflichen Situation" (ebd. S. 132) auseinandersetzen sollen und andererseits Simulationsspiele, die konkrete Elemente beruflicher Aktivitäten im Rahmen eines Spiels abbilden, wodurch jeweils Lernhandeln provoziert werde.

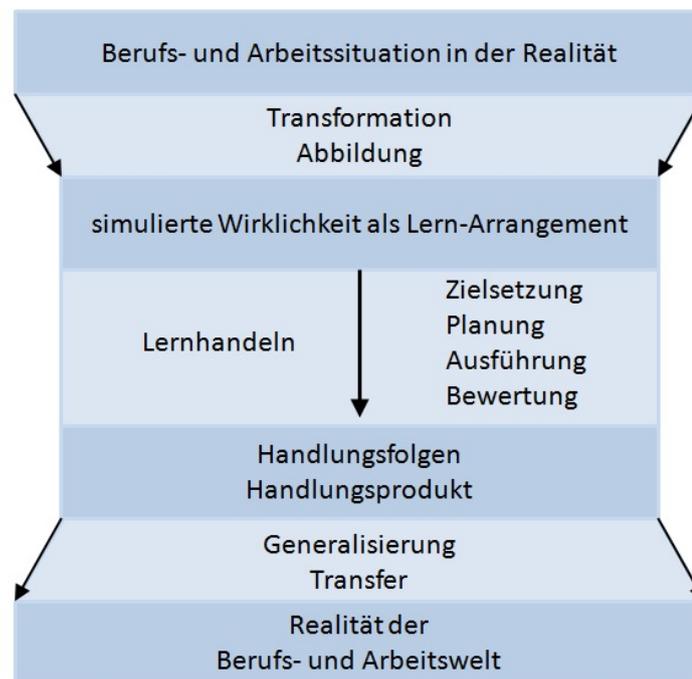


Abbildung 3: Modell der Simulation von Berufs- und Arbeitssituationen (Bonz 2009, S. 129)

Euler (1992) definiert Simulation nicht als Begriff. Er unterscheidet zwischen Verhaltens-, Entscheidungs- und Anwendungssimulationen. Die Verhaltenssimulation soll sozial-kommunikatives Handeln vorbereiten und reflektieren, wobei die zur Auswahl stehenden Möglichkeiten nicht offen sind, "sondern modellhaft verkürzt" (Ott 2007, S. 156). Ott (2007) nennt hier als Beispiel die Simulation eines Bewerbungsgesprächs. Bei Entscheidungssimulation bilden "physikalische Objekte" und "sozial-kommunikative Handlungssysteme" Modellgrundlage (Euler 1992, S. 26). Dabei wird ein Modell eines realen oder hypothetischen Systems reproduziert, das Lernende durch Variation festgelegter Daten beeinflussen können. Beispiele hierfür sind Fahr- oder Flugsimulatoren (Ott 2007). Mithilfe der Anwendungssimulation kann die "Bedienung (informations-) technologischer Systeme" eingeübt werden (Euler 1992, S. 26). Bei der Anwendungssimulation geben die Lernenden ihre Daten genau wie unter den realen Umständen ein, ihre Kompetenzen werden aber in an ihre Fähigkeiten angepasste Übungs- und Transferphasen gefestigt bzw. werden falls notwendig Fehler berichtigt. Beispiele hierfür sind Simulationen zur Programmierung CNC-Maschinen oder Speicherprogrammierbaren Steuerungen (Ott 2007). Für die Anwendungssimulation unterscheidet Euler zwei Formen, die aufgabenorientierte und die darstellungsorientierte. Die aufgabenorientierte Anwendungssimulation zeichnet sich dadurch aus, dass sie auf einer realitätsnahen Anwendungsaufgabe basiert, deren Bearbeitung vom Programm erfasst, evtl. erläutert, ergänzt oder mit einer Erklärung oder Hilfestellung versehen wird. Euler sieht als Zielgruppe solcher

Simulationen Lernende, die Gelerntes üben möchten. Die darstellungsorientierte Anwendungssimulation beruht auf dem Nachempfinden eines vorgegebenen Problemlösungsprozesses. Die Simulation präsentiert zunächst diesen Prozess, im Anschluss sind die Lernenden angehalten, ihn etappenweise nachzuvollziehen, wobei ihnen das Programm Feedback gibt (vgl. Euler 1992, S. 26).

Für Mandl et al. (1997) bezieht sich der Begriff Simulation auf unterschiedliche Programmtypen: Simulationen als Substitute für Experimente, Modellbildungssysteme, Planspiele und Simulationen zum Training psychomotorischer Fertigkeiten.

Als Gemeinsamkeit in der Definition von Simulation genannter und auch weiterer Autoren (bspw. Girwidz 2010, Bungartz et al. 2009, Maria 1997, Banks et al. 1996, Fishwick 1995, Seila 1995, Shannon 1992, Birtwistle 1987, Frank und Lorenz 1979, Krampe et al. 1974) kann gesehen werden, dass eine Simulation mit Hilfe von Modellen Prozesse und deren Systeme nachbildet und dass diese Prozesse und Systeme durch den Anwender vor- bzw. nachempfunden und interaktiv beeinflusst werden können. Diese Interaktivität liefert dem Didaktiker bzw. der Didaktikerin eine Vielzahl von Optionen.

Die meisten o.g. Autoren unterscheiden Simulationsprogramme nur grob. Diese Unterscheidungen leisten gute Dienste zur Systematisierung von Simulationen, stellen aber nicht unbedingt eine Hilfe dar, wenn Simulationen unter didaktischen Aspekten betrachtet werden sollen, da mit dieser Einteilung über den Einsatz im Unterricht nicht viel ausgesagt wird. Viele Definitionen beziehen sich auch vornehmlich auf Simulationsspiele und schließen die meisten Simulationen aus dem industriellen metall- und elektrotechnischen Bereich nicht oder nur teilweise mit ein.

Die Aussagekraft rechnergestützter Simulationen über die vor-/nachempfundenen tatsächlichen Prozesse ist dabei stets bestimmt durch die Qualität der Modellbildung, durch Anzahl und Relevanz der berücksichtigten Parameter sowie durch die Abbildungsgenauigkeit des zugrunde liegenden mathematischen Modells.

2.7. Was sind Animationen und wodurch unterscheiden sie sich von Simulationen?

Simulationen und Animationen werden häufig verwechselt bzw. die Begriffe synonym verwendet. Deshalb erscheint es notwendig, hier die Unterschiede darzulegen.

Der Terminus Animation leitet sich von dem lateinischen Wort "animare", "beleben, in etwas Lebendes verwandeln",⁹ ab. Die VDI-Richtlinie 3633 schreibt: "Die Animation bezeichnet die Erzeugung und Präsentation von Bildfolgen, in denen Änderungen (z.B. Zustandsänderungen und Bewegungen von Modellelementen) einen visuellen Effekt bedingen. Unter visuellen Effekten kann eine über die Zeit variierende Position, die Änderung von Form, Farbe, Transparenz, Struktur und Musterung eines Objektes, die Änderung der Beleuchtung sowie der Position, Orientierung und Brennweite der Kamera verstanden werden" (VDI-Richtlinie 3633, S. 3, Blatt 11).

Die Computeranimation erzeugt also mittels eines Computers und der entsprechenden Software künstliche, bewegte Bilder (VDI-Richtlinie 3633).

Animationen können nach Art ihres Inhalts oder ihrer Komplexität unterschieden werden, eine einheitliche Zuordnung und Untergliederung gibt es jedoch nicht (Niegemann 2008).

Animationen dienen meist ausschließlich zur Visualisierung und bieten keine Möglichkeiten zur Interaktion. Dies wird jedoch nicht von allen Autoren so gesehen. Betrancourt (2005) oder auch Gonzalez (1996) definieren Animationen so, dass sie auch durch die Interaktion mit dem Computer entstehen können, wobei Betrancourt zwei Dimensionen von Interaktion unterscheidet: Kontrolle und interaktives Verhalten. Mit Kontrolle ist gemeint, dass der Lernende Einfluss auf die Geschwindigkeit der Bildabfolge der Animation hat oder auch vor- und zurückspulen oder den Ablauf unterbrechen kann. Interaktivität definiert sie als die Möglichkeit, Einfluss auf die Animation zu nehmen, indem der Lernende die Parameter verändert. Im zweiten Fall wird aus der Animation eine Simulation. In dieser Arbeit soll die Unterscheidung von Animationen und Simulationen ebenfalls dadurch definiert sein, dass bei Animationen keine Option zu Interaktion im Sinne von Veränderung von Einflussgrößen gegeben ist.

Eine Animation kann aber durchaus das Ergebnis einer Simulation sein. Sie dient dort aber meist ebenfalls zur Visualisierung der Ergebnisse.

In der Visualisierung von dynamischen Systemen und Prozessen liegt die hohe Attraktivität für die Verwendung von Animationen für Lehr-Lernprozesse.

Betrancourt (2005) weist jedoch darauf hin, dass Forschungen gezeigt haben, dass Animationen für Lernende nicht zwangsläufig Vorteile beim Einprägen und beim Verstehen von Kausalzusammenhängen und Funktionsmodellen haben.

⁹ Pons Online-Wörterbuch. Online verfügbar unter http://de.pons.eu/dict/search/results/?q=animare&l=de&in=ac_undefined&lf=la, zuletzt geprüft am 04.07.2013.

2.8. Virtual Reality

Im Zusammenhang mit Simulationen taucht oft der Begriff der Virtual Reality auf. Als Erfinder des Begriffs gilt Jaron Lanier, ein Computer-Visionär, der eines der ersten Unternehmen zu Konzeption und Vertrieb von Virtual-Reality-Anwendungen gründete.

Die Technologie Virtual Reality (VR) tauchte in den 1980er Jahren auf mit der Entwicklung und der Vermarktung von Head-Mounted-Displays (HMD) und Datenanzügen (Datasuits) oder Datenhandschuhen (Datagloves), die an Computer angeschlossen werden. Diese Technologien simulierten dreidimensionale Umgebungen, die in stereoskopischer Rundumsicht auf dem HMD angezeigt werden. Der Nutzer konnte mit simulierten Umgebungen über den Datenanzug und den Datenhandschuh und Objekte, die die Positionen und Bewegungen von Körperteilen erfassen und so dem Computer ermöglichen, seinen Output abhängig von den aufgenommenen Positionen zu modifizieren, navigieren und interagieren. Diese ursprüngliche Technologie half zu definieren, was meist mit Virtual Reality gemeint ist: Eine immersive, interaktive, dreidimensionale computergenerierte Umgebung, in der Interaktion über multiple sensorische Kanäle stattfindet und die taktiles Feedback und auch Feedback über die Position gibt. (Brey 2008).

Die Erfindung von Technologien, die teilweise heute noch in der VR angewendet werden, liegt weiter zurück. Bereits 1956 entwarf Morton Heilig ein "Sensorama", eine Art Kabine, in der eine virtuelle Motorradfahrt durch New York simuliert werden sollte. Der Apparat zeigte einen 3D-Film mit Stadtszenen, dazu wurden in Stereo die Motorgeräusche des Motorrads und Stadtgeräusche abgespielt, der Sitz vibrierte, Gerüche von Abgasen und Essen sowie Windeindrücke wurden dem Benutzer geboten. In der Folge entwarfen er und andere (bspw. Ivan Sutherland vom Massachusetts Institute of Technology und Raymond Goertz vom Argonne National Laboratory) Head-Mounted-Displays und Datenhandschuhe.

Nach Sherman und Craig (2003) gibt es vier essenzielle Elemente bei Virtual Reality: Eine virtuelle Welt, Immersion, sensorisches Feedback und Interaktivität. Eine virtuelle Welt ist die Beschreibung einer Zusammenstellung von Objekten in einem Raum mit Regeln und Beziehungen, die diese Objekte beeinflussen und kontrollieren. In Virtual Reality Systemen werden solche virtuellen Welten durch einen Computer generiert. Immersion ist die Empfindung, in einer Umgebung präsent zu sein und sie nicht nur von Außen zu beobachten. Sensorisches Feedback ist die selektive Darbietung von sensorischen Daten über die Umgebung, die auf den Eingaben des Nutzers beruhen. Die Aktionen und Position des Nutzers liefern eine Perspektive der Realität und bestimmen, welches sensorische Feedback gegeben wird. Interaktivität schließlich ist die Reaktionsfähigkeit der virtuellen Welt auf Nutzeraktionen. Interaktivität beinhaltet die Fähigkeit durch virtuelle Welten zu navigieren und mit Objekten, Charakteren und Orten zu interagieren.

Beruhend auf dieser Definition ist ein hoher technischer Aufwand notwendig, um Virtual Reality zu nutzen. Da sind zunächst die Eingabegeräte, wie bspw. Datenhandschuh, Datenanzug oder auch Trackingsysteme, die die Position der Verwender oder bspw. der Hand oder der zu manipulierenden Gerätschaften im Raum erfassen. Dazu kommen Ausgabegeräte, wie z.B. das HMD, die CAVE¹⁰ oder Power Wall, die dem Benutzer den Gefühlseindruck vermitteln, er befände sich in der virtuellen Welt, akustische Ausgabegeräte und evtl. noch haptische Ausgabegeräte (Touch- oder Force-Feedback). Der Vorteil der Virtual Reality liegt hier vor allem darin, dass der Nutzer in die Welt vollständig eintauchen kann. Da diese Technologien in naher Zukunft nicht preisgünstig zu erhalten sein werden, ist es fragwürdig, ob dieser hohe technische Aufwand den Nutzen in der Berufsausbildung rechtfertigt.

Es gibt aber auch breiter gefasste Definitionen von Virtual Reality, die auch sogenannte Desktop Virtual Reality-Umgebungen mit einbeziehen. Hier werden die Umgebungen auf einem normalen Computerbildschirm dargestellt und mit Tastatur, Maus, Joystick oder Touchscreen erforscht. Beispiele hierfür sind webbasierte virtuelle Rundgänge, bspw. Google Earth, virtuelle Rundgänge im Museum of Modern Art (N.Y.). Oft werden auch Programme, die für die Technologie der Virtual Reality entwickelt wurden, auf normalen Desktoprechnern benutzt. Die Unterschiede in der Definition zwischen Virtual Reality und Simulation sind für diesen Bereich marginal. Nach Brey (2008) können virtuelle Umgebungen in diesem weiteren Sinne ebenfalls als Computersimulationen bezeichnet werden, zumindest solche, die darauf abzielen, realitätsnah zu modellieren.

Die meisten Virtual Reality-Programme für die metall- bzw. elektrotechnische Domäne, die sich auf dem Markt befinden, sind für den Ingenieurbereich, d.h. vornehmlich im Gebiet der Konstruktion und Entwicklung, angesiedelt und spielen deshalb in dieser Arbeit keine Rolle.

2.9. Warum Simulationen?

Simulationen sind also immer ein Substitut für ein existierendes System (Dieterich 1994). Die Frage, die sich stellt, ist: Warum sollte ein existierendes System substituiert werden?

Eine Begründung für die Verwendung könnte bspw. die Wissenschaftlichkeit sein, die verlangt, dass Untersuchungen valide sind, indem sie reproduzierbar oder wiederholbar sind. Hier bieten Simulationen die Möglichkeit die Realität zu

¹⁰ CAVE (Cave Automated Virtual Environment) ist ein Raum aus Projektionsflächen, auf die ein Stereobildpaar projiziert wird (Eberhardt und Hahn 2007).

substituieren, wenn es z.B. nicht möglich ist, Experimente beliebig oft zu wiederholen oder Verhältnisse nachzubilden (Dieterich 1994). Beispiele hierfür sind Wetterphänomene oder Katastrophen (El Niño, Tsunamis, Klimaerwärmung).

In der letzten Dekade, mit der raschen Steigerung von Rechnerleistung und dem rasanten Fortschritt in der Grafikdesign-Technologie, haben sich Multimedia-Umgebungen von einfachen Bildschirmhalten mit sequenziellen statischen Texten und Bildern zu immer mehr hoch entwickelten, anspruchsvollen Visualisierungen gewandelt.

Simulationen gewinnen in der Industrie, bei der Entwicklung von technischen Produkten und auch in der Wissenschaft immer mehr an Bedeutung, wie schon die Beispiele in der Einleitung illustrierten.

In dieser Arbeit sollen ausschließlich Computersimulationen betrachtet werden. Somit zählen die Simulationen zu den digitalen Medien, konkreter: zu Multimedia.

"Simulationsprogramme gehören zum Typ der interaktiven Lernprogramme, auch wenn Maschinen-Simulatoren unabhängig von ihrer Machart häufig zu Drill & Practice-Zwecken eingesetzt werden" (Schulmeister 2007, S. 63). Obschon viele Simulationen dem Typus interaktiver Lernprogramme zuzurechnen sind, werden sie gleichwohl oftmals wie Drill & Practice-Programme verwendet.

Simulationen können entsprechend den verwendeten Lehr-Lernstrategien bzw. den zugrunde liegenden lerntheoretischen Modellen dem entdeckenden/explorativen Lernen (Bodendorf 1990), den situierten Lernumgebungen (Mandl et al. 2002) zugeordnet werden. Die "wissenschaftstheoretische Ausrichtung" ist "im Konstruktivismus zu sehen", d.h., das Lernen "kann unter keinen Umständen vom Akt des Lernens und von der Situation, in der gelernt wird, getrennt werden" (Mandl et al. 2002, S. 140).

Viele Autoren unterstellen, dass Simulationen als Ersatz für reale Systeme genutzt werden können bzw. dass an ihnen genau wie an realen Systemen gelernt, mit ihnen Handlungswissen erworben werden kann (vgl. bspw. Tenberg 2001).

Weitere Gründe, das Thema Simulationen aufzugreifen, leiten sich auch aus ihrer Bedeutung für unseren Alltag ab und somit auch dem der Auszubildenden, wie bereits in der Einleitung dargestellt. Medien haben somit eine Gegenwartsbedeutung und sollten aus diesem Grund auch Gegenstand von Unterricht sein. Medien stehen im Interesse von Schülerinnen und Schülern, sie haben meist bereits einen Zugang zu ihnen. Parallel dazu fordert die Gesellschaft seit längerer Zeit von der Schule, dass sie gesellschaftliche, wirtschaftliche und auch politische Notwendigkeiten einbezieht. Dabei soll sie kompetenzorientiert lehren und lernpsychologischen Erkenntnissen Genüge tun und außerdem auch computerunterstützten Unterricht einbeziehen (Albers et al. 2011).

2.9.1. Wandel der industriellen Produktion und industrieller Facharbeit

Wie schon in der Einleitung dargestellt, führen u.a. die Globalisierung, neue Produktionsstrategien und die Verkürzung der Produktlebenszyklen, sowie der demografische Wandel zur Etablierung der "digitalen Fabrik".

Zäh et al. (2003) haben die Definitionen verschiedener Autoren (u.a. Wiendahl et al. 2002; Dombrowski et al. 2001; Linner et al. 1999; Bracht 2002; Bley et al. 2001) zusammengetragen. Demnach gehen die jeweiligen Autoren von zwei Grundgedanken aus. Der eine Ansatz geht davon aus, dass die Digitale Fabrik das Modell der realen Fabrik ist, der andere sieht die Digitale Fabrik als ein Werkzeug für die Erzeugung des Modells. Wie dieses Werkzeug wiederum definiert ist, dazu gibt es divergierende Anschauungen (vgl. Zäh et al. 2003, S. 75–76).

Zäh et al. schlagen daher vor, den Begriff der "Virtuellen Produktion", wie ihn Reinhart (2000) definiert, zu verwenden, um die Begriffe zu präzisieren. Nämlich als "die durchgängige, experimentierfähige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsprozessen und -anlagen mithilfe digitaler Modelle", mit der Virtuellen Produktion als "Zielvision eines experimentierfähigen Modells, das das Produkt in seiner Produktionsumgebung abbildet und über den gesamten Lebenszyklus von Produkt und Produktionssystem genutzt werden kann" (Zäh et al. 2003, S. 76). Und den Begriff "Digitale Fabrik" als "die Gesamtheit der Mitarbeiter, Softwarewerkzeuge (Applikationen) und Prozesse, die zur Erstellung der virtuellen und realen Produktion notwendig sind" (ebd., S. 76). Dadurch ist die Unterscheidung zwischen Werkzeug bzw. Methode und dem Produktmodell eindeutig (ebd.).

Die VDI-Richtlinie 4499 definiert die Digitale Fabrik als "ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen" (VDI-Richtlinie 4499-1, S. 3), namentlich die Simulation und die dreidimensionale Visualisierung, "die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden" (ebd.). Somit steht eine termingemäße und detailliert koordinierte Produktionsplanung unter Einbeziehung aller Unternehmensprozesse und der Organisation der Fabrik im Zentrum des Interesses der Digitalen Fabrik (VDI-Richtlinie 4499-1).

Bereiche, in denen die Digitale Fabrik Anwendung findet, sind die Gestaltung der gesamten Fabrikationsanlage, die Simulation der Fertigungs- und Montagevorgänge, der Automatisierung und Industrieroboter, aber auch der Einsatz des benötigten Personals und der weiteren Produktionsmittel (Hehenberger 2011, S. 191–192).

Im metalltechnischen Bereich sind die Computeranwendungen unter dem Begriff CAx-Technologien zusammengefasst, wobei das x jeweils ersetzt wird durch die entsprechende Technologie bzw. den entsprechenden Produktionsschritt. So z.B. die computerunterstützte Konstruktion (CAD), die Fertigung (CAM) oder auch die

rechnergestützte Qualitätssicherung (CAQ). Zusammengefasst werden die Schritte eines computerunterstützten Produktionsprozesses (einschließlich der Produktionsplanung und -steuerung) eines Unternehmens unter dem Begriff CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Für diesen Zweck ist es notwendig, die rechnerunterstützten Methoden in die virtuelle Produktentwicklung - vom dreidimensionalen CAD-Modell, über digitale Mockups zu virtuellen Prototypen - zu integrieren. Basis dafür bildet das "Virtuelle Produkt". Es kombiniert die physikalischen Eigenschaften des Produktes zu einem Produktmodell (Anderl und Binde 2010, S. 19). Auf diese Weise können Simulationen für jeden Bereich des Unternehmens von der Planung der Fertigung über die Montage bis zur Gestaltung der Fabrikationsanlage durchgeführt werden, wodurch die Wirtschaftlichkeit, die Qualität der Planung verbessert und Planungsprozesse standardisiert werden können, der Informationsaustausch wird nachvollziehbarer, Daten und Informationen werden besser verfügbar und sind mit entsprechenden Programmen übersichtlicher zu verwalten (Hehenberger 2011).

Damit bildet die Simulation das maßgebliche Fundament der Digitalen Fabrik, die in allen Aspekten des Produktionsprozesses angewendet wird. Die Verknüpfung unterschiedlicher Simulationsverfahren kann auch in Zukunft vielfältige Fertigungsprozesse gewährleisten (Zäh et al. 2003).

Nahezu völlig autarke mechatronische Module und selbstadaptierende Steuerungssysteme, die sich den jeweiligen Maschinenkonfigurationen selbstständig anpassen, bieten die Möglichkeit, Bearbeitungssysteme wandelbar zu gestalten. Dadurch wird der Maschinen bedienende Facharbeiter zum Prozessmanager, der für die optimale Einrichtung und Einstellung der Maschinen, ihre Verfügbarkeit und ihre Einbettung in den Produktionsprozess verantwortlich ist. Er muss in der Lage sein, ohne Vorgaben auf Prozessänderungen zu reagieren. Dafür ist mehr als rein tätigkeitsbezogenes Wissen (sog. "Kernwissen") erforderlich, der Facharbeiter muss auch über sog. "Integrationswissen" (Westkämper 2009a, S. 187) verfügen, das es ihm ermöglicht, seine Kenntnisse zu rekombinieren und zu replizieren, um die Wandlungsfähigkeit des Produktionsprozesses zu ermöglichen. Besitzt ein Facharbeiter bspw. für ein bestimmtes Produkt als Kernwissen Kenntnisse zu speziellen Schweißtechniken, so wäre das Wissen, wie diese Kenntnisse bei weiteren Produkten oder Prozessen anzuwenden sind, das Integrationswissen (Westkämper 2009a, S. 187).

Mit der Etablierung der "digitalen Fabrik" als wegweisendes Produktionskonzept gerät die konventionelle Facharbeiterausbildung an eine Grenze. Sowohl die curriculare, d.h. inhaltliche Seite ist davon betroffen als auch die berufs- und fachdidaktische. Integrierte technologische Prozessketten in Form variantenreicher Montagetechnologien konfigurieren berufsfachliches Arbeitsprozesswissen mit Konsequenzen für die berufliche Aus- und Weiterbildung (Schütte 2006, 202ff.).

2.9.2. Simulationen und Digitale Lehr- und Lernmittel

In vielen metalltechnischen Berufen gehören Simulationen zum alltäglichen Geschäft. So ist z.B. die Simulation des Zerspanprozesses, das Lösen steuerungstechnischer Aufgaben oder auch das fügegerechte Gestalten mithilfe der Simulation State of the Art.

Die Finite Elemente Methode (FEM) ist die am weitesten verbreitete Methode zur Festkörpersimulation und Vorhersage des Strukturverhaltens bspw. bei Umformprozessen (Klocke und König 2006). Mit ihrer Hilfe werden partielle Differenzialgleichungen näherungsweise numerisch gelöst. Sie basiert darauf, dass die zu berechnenden Gebiete, wie Bauteile, Werkstücke oder Werkzeuge aber auch Prozesse (bspw. Zerspan-, Umform-, Fließprozesse etc.) und Felder (z.B. Temperatur- oder Akustikfelder) in endlich viele Teile, die finiten Elemente, zerlegt werden. Dadurch werden komplexe Aufgaben in kleine Teilbereiche zergliedert. Die FEM liefert dadurch ein Werkzeug für die Vorhersage von Festigkeiten, Verformungen, Verteilung von Kräften, Spannungen etc. in Konstruktionen (wie z.B. die Ermüdungsprüfung in Abbildung 4), Prozessen (wie bspw. die Zylinderinnenströmung in einem Kfz-Motor in Abbildung 5) usw. So kann beispielsweise bei der Lackierung eines Werkstücks mithilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) die Bahn, die ein Lacktröpfchen zwischen der Düse und dem Werkstück beschreibt, einschließlich der verschiedenen Einflussfaktoren wie Luftströmungen, Kräfte etc. beschrieben werden. Diese Daten werden genutzt, um die Steuerung für den Lackierroboter zu programmieren (vgl. Westkämper 2006, S. 239).

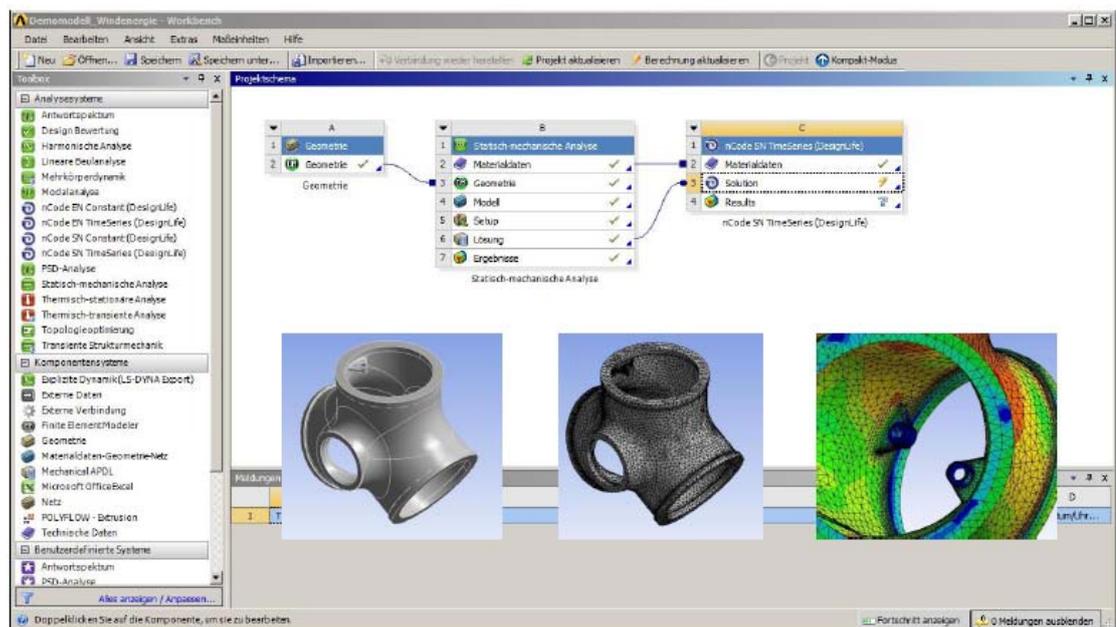


Abbildung 4: Ermüdungsprüfung mit Ansys nCodeDesignLife (Mattwich und Friederici 2011, S. 8)

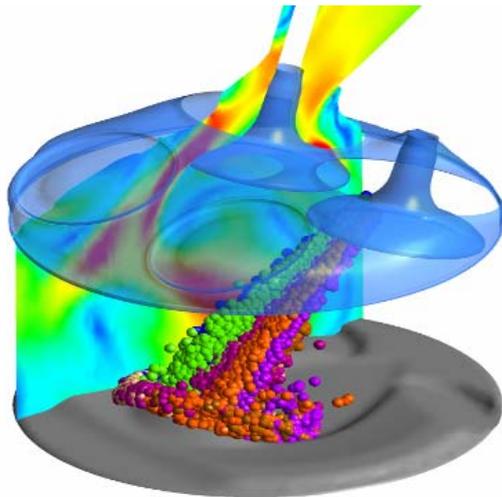


Abbildung 5: Zylinderinnenströmungsmodell eines Kfz-Motors (Ansys CFX, IDAC 2013a)

Gussstücke können mit Erstarrungssimulationen (siehe auch Abbildung 12, S. 44) bzgl. des Erstarrungsverlaufs und der Ausbildung unzulässiger Eigenspannungen und Verformungen simuliert werden (Fritz und Schulze 2008) und zur Ermittlung des Verzugs von Bauteilen beim Schweißen gibt es Schweißsimulationen (DVS 2010).

Komplexe Bewegungssysteme, wie z.B. Werkzeugmaschinen oder Kraftfahrzeuge, werden bei ihrer Entwicklung nicht mehr an Prototypen getestet und optimiert, sondern mit Simulationssystemen. Für Industrieroboter werden die Arbeitszellen, die räumliche Anordnung der zu manipulierenden Gegenstände, deren Bewegungen, die Bewegungen des Roboterarms selbst, simuliert (s. Abbildung 10, S. 42), um so die Arbeitsaufgabe des Roboters programmieren zu können, aber auch Prozesse, in die der Roboter integriert ist, planen zu können (Roddeck 2006).

Einen großen Raum nehmen auch die Steuerungen von Anlagen und damit die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ein. Die Steuergeräte für den Motor (z.B. Motronic) bzw. die Diagnosegeräte zur Fehlersuche im Motormanagementsystem (OBD) stellen ebenfalls ein breites Anwendungsgebiet dar.

Vergleichbare mediendidaktische Innovationen sind im Berufsfeld Elektrotechnik zu beobachten. Schaltungssimulationen (Abbildung 6) bieten die Möglichkeit, elektrotechnische Bauteile kennenzulernen, Schaltungen aufzubauen, zu verstehen, gefahrlos zu testen und gegebenenfalls umzubauen und auf diese Weise den Umgang mit komplexem regelungstechnischen Systemverhalten zu trainieren und so Problemlösekompetenz zu fördern.

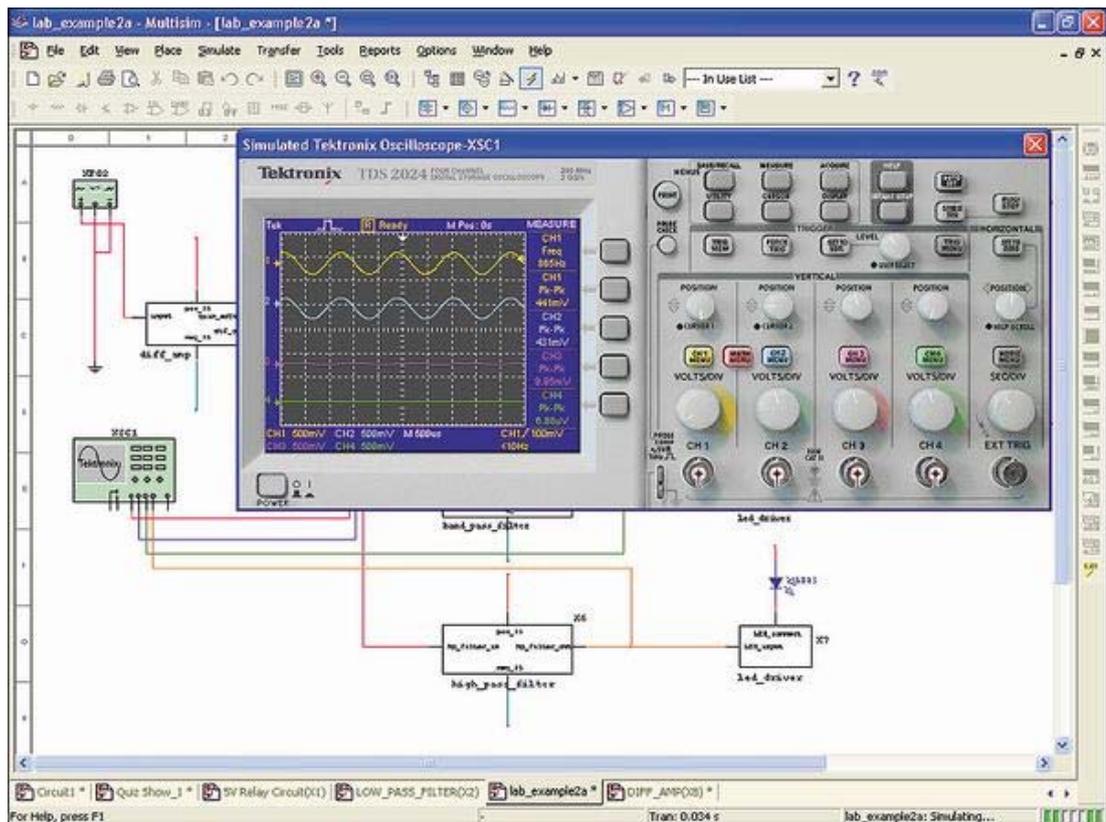


Abbildung 6: Schaltungssimulation mit simulationsgestütztem Messgerät (Multisim, National Instruments 2013)

Oft ist die Analyse mit einem (virtuellen) Oszilloskop möglich, die Wirkung von Schaltungsänderungen wird direkt sichtbar. So sollen bspw. sog. EMV-Probleme (s. Abbildung 7) erkannt und vermieden werden. Die Abkürzung EMV steht für elektromagnetische Verträglichkeit und charakterisiert die fehlerfreie Arbeit zwischen den verschiedenen Komponenten innerhalb des elektrischen Systems. Besonders die Leitungen der Stromversorgung können Störspannungen und somit Versorgungsspannungsschwankungen erzeugen, wodurch bspw. Signaländerungen hervorgerufen werden könnten.

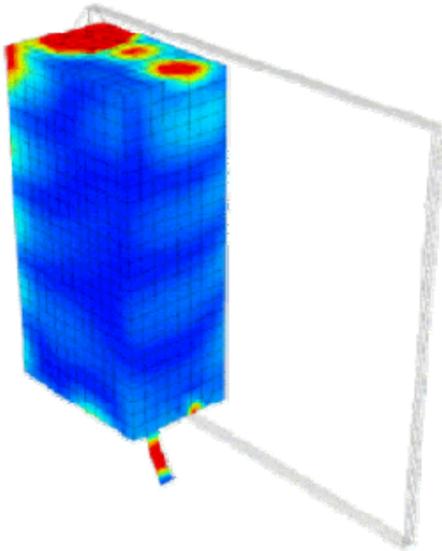


Abbildung 7: Ausbreitungseffekte an einem Telekommunikations-Rack bei einer EMV-Simulation (SGS 2013)

Weitere Anwendungen liefern thermische FEM-Simulationen (Abbildung 8) und Spannungsanalysen von Elektronik-Leiterplatten. Hier sollen bereits vorab thermische Schwachstellen einer Leiterplatte gefunden und durch Layout-Änderungen beseitigt werden.

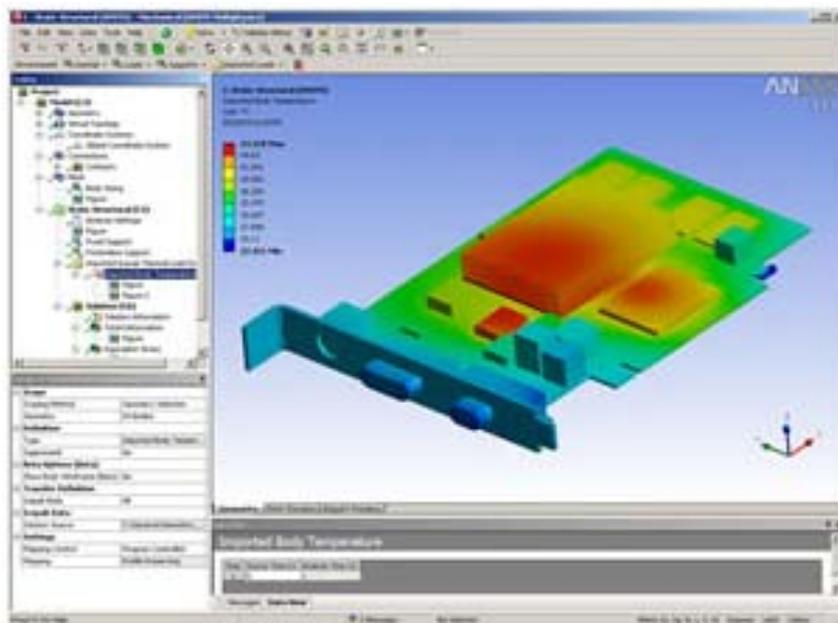


Abbildung 8: Temperaturprofil in einer Computer-Grafikkarte (Ansys Icepak, IDAC 2013a)

Software zur Strömungssimulation (CFD - Computational Fluid Dynamics) ermöglicht die Vorhersage von Luftströmungen, Wärmeübertragung und Temperaturen in elektronischen Geräten (Abbildung 9).

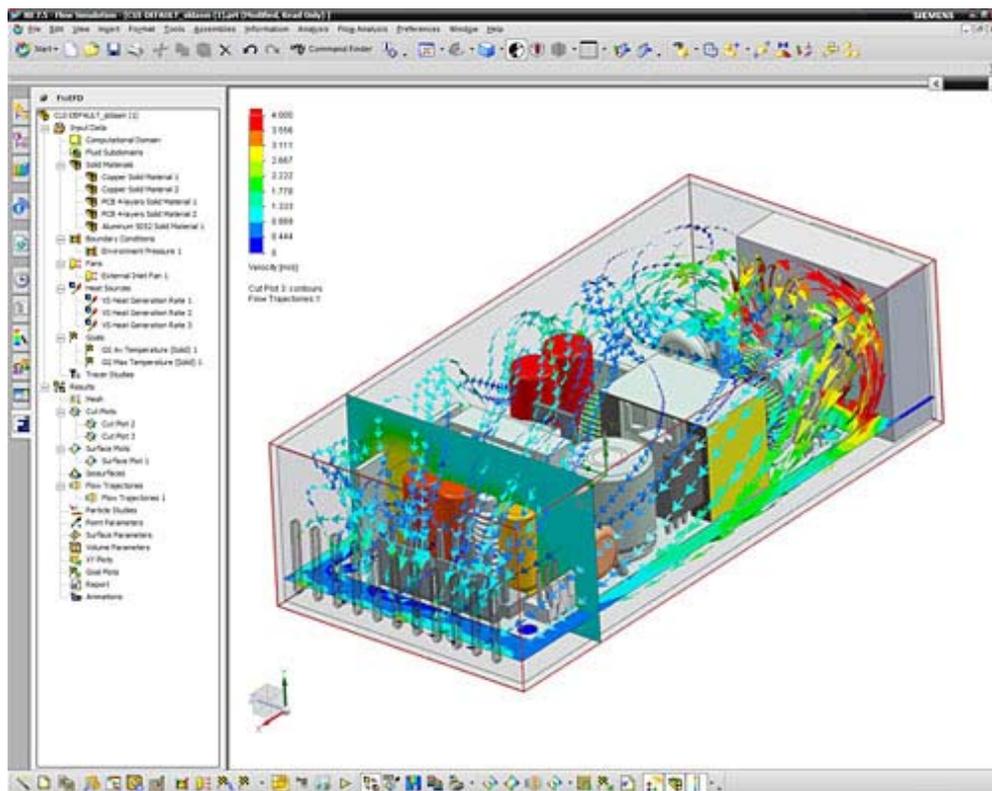


Abbildung 9: Strömungslinien und Darstellung der Temperaturverteilung (FloEFD für NX: CFD, eingebettet in Siemens NX, Mentor Graphics 2013)

Eurocircuits (2013) haben eine Galvano-Simulation entwickelt, mit der die galvanische Kupferabscheidung in der Leiterplattenfertigung simuliert werden kann. So kann die Kupferschichtdicke, die auf den Leiterplatten abgeschieden wird, vorab berücksichtigt, eine gleichmäßige Kupferdicke erreicht und so Produktionsfehler vermieden werden.

Simulationsprogramme werden inzwischen aber immer öfter auch dazu verwendet, sogenannte "Soft Skills", wie Teamentwicklung, interkulturelle Zusammenarbeit, zu entwickeln (Euler et al. 2006, S. 440).

Teilweise bildet sich dieser Wandel in den Curricula der Berufsschulen zu den einzelnen Berufen bereits ab. So ist in den Rahmenlehrplänen der KMK z.B. vorgesehen, dass die Schülerinnen und Schüler CNC-Programme entwickeln und sie durch Simulationen überprüfen sollen (vgl. z.B. die Rahmenlehrpläne der Industrie- und der Zerspanungsmechaniker/innen, LF 8 (KMK 2004a; 2004b); Werkzeugmechaniker/innen, LF 10 (KMK 2004c); Produktionstechnolog(inn)en, LF 7 (KMK 2008a)). Für den Ausbildungsberuf des/der Produktionstechnologen/in gehört bspw. die Einrichtung von Produktionsanlagen, aber auch die Simulation von Produktionsprozessen zum Curriculum (KMK 2008a, LF 11 etc.). Dabei müssen die Auszubildenden mit verschiedenen Handhabungssystemen operieren, deren

Spektrum von einfachen Einlegegeräten und Manipulatoren über Industrie- und Serviceroboter bis hin zur Programmierung von Robotern reicht (Abbildung 10).

Im elektrotechnischen Bereich sollen auszubildende Elektroniker/innen der verschiedenen Fachrichtungen elektrische Antriebssysteme EMV-gerecht installieren bzw. die elektromagnetische Verträglichkeit beurteilen können (KMK 2003a, b, LF 8 etc.). Angehende Elektroniker/innen für Geräte und Systeme sollen bspw. elektronische Baugruppen von Geräten konzipieren, herstellen und prüfen. Zur Optimierung sollen sie Simulationstools einsetzen (KMK 2003a, LF 6 etc.).

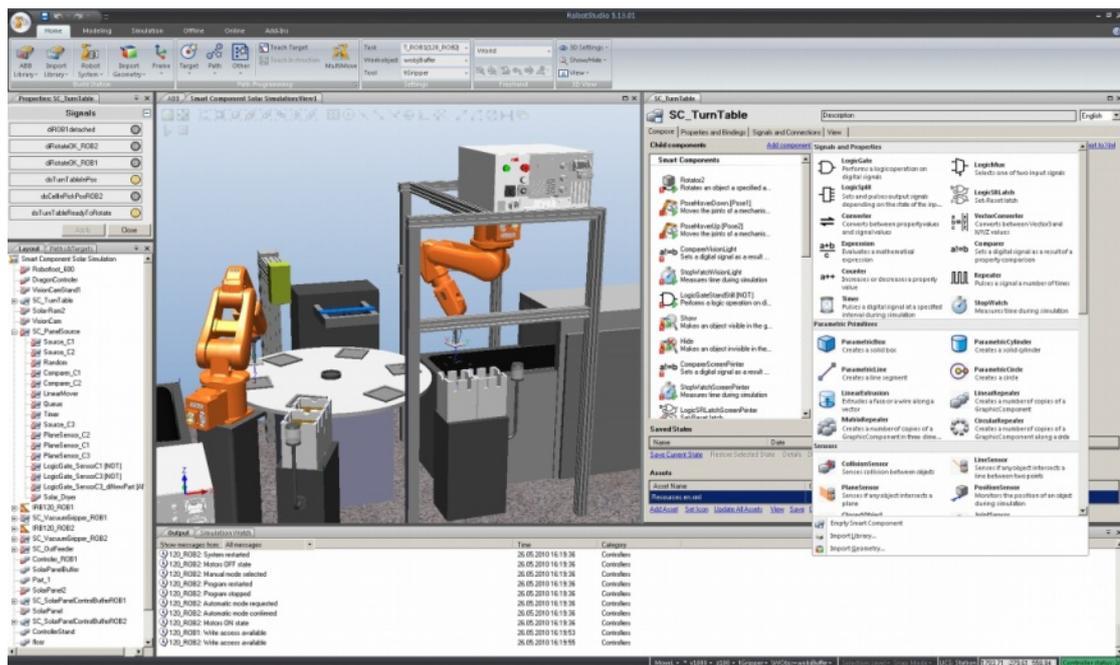


Abbildung 10: Oberfläche einer Robotersimulation (RobotStudio, ABB 2010)

Es stellt sich die Frage, ob dies ausreichend ist oder ob Simulationen eine stärkere Berücksichtigung finden sollten, da Simulationen oft anschaulicher sind und auch neue Optionen bieten, sich (inter)aktiv mit Lerninhalten auseinanderzusetzen (Euler et al. 2006).

Beispielsweise können Simulationen zur Analyse, Auslegung und Optimierung von ebenen, sphärischen und räumlichen Gelenk- oder Kurvengetrieben (Abbildung 11) z.B. in vollzeitschulischen Bildungsgängen, d.h. Fachoberschulen, beruflichen Gymnasien und Technikerschulen, eingesetzt werden. Sie können bei kinetischen und konstruktiven Lern- und Arbeitsaufgaben dazu dienen, mechatronische Bewegungssysteme (für z.B. Scheibenwischergetriebe, Verdeckmechanismen von Cabriolets, Radaufhängungen), parallele und serielle Roboter, Handhabungseinrichtungen, Greifersysteme für Handhabungsgeräte etc. zu analysieren und so zum Gegenstand komplexer Lehr-Lern-Arrangements werden.

Zur Verdeutlichung der Getriebekinematik von Gelenkgetrieben im curricularen Rahmen der Getriebelehre können die Simulationsprogramme in Technikerschulen dienen. Die Simulation bietet die Möglichkeit, Eingangsgrößen zu definieren, Messpunkte festzulegen und für diese die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für den ganzen Bewegungszyklus eines Gelenkgetriebes zu bestimmen.

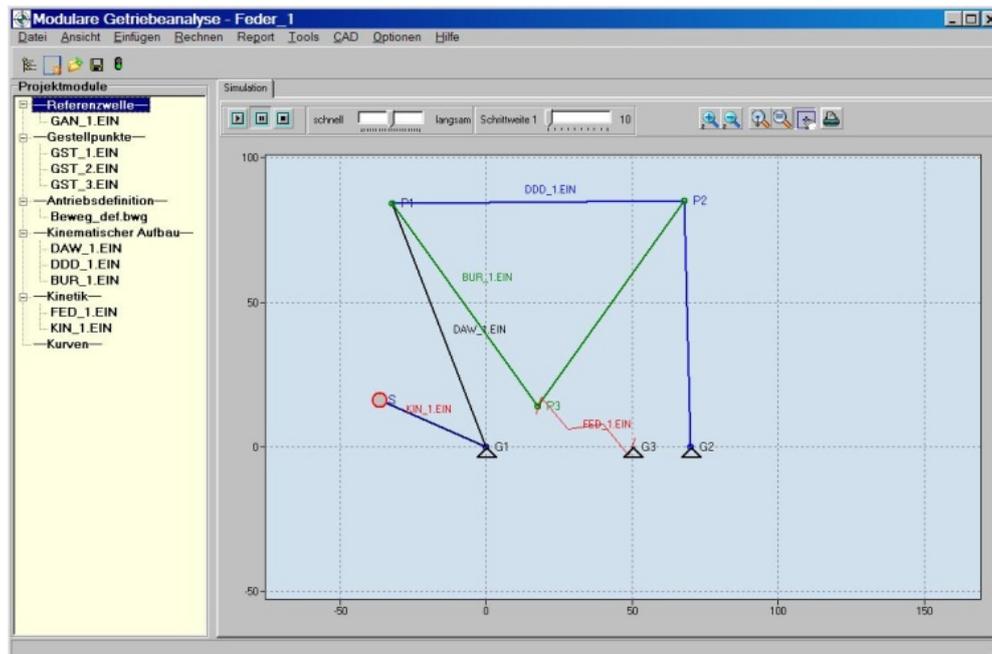


Abbildung 11: Simulation eines Getriebes (Ruf Getriebetechnik 2012)

Die FEM-Module verschiedener CAD-Programme (CATIA, Solid Edge, Solid Works, Autodesk Inventor etc.) bieten ebenfalls umfangreiche didaktische Möglichkeiten.

Die Gießtechnik bietet den digitalen Lehr- und Lernmedien ein weites didaktisches Anwendungsgebiet. Angesprochen sind hiermit sowohl Techniker und Ingenieure mit konstruktiven Tätigkeitsbereichen als auch angehende Gießereimechaniker. Serienfertigung ist ein Qualitätsmerkmal der Gusskonstruktion. Durch die digitale Vorwegnahme können Näherungslösungen für die Strömungs- und Wärmeleitungsgleichungen mit der finiten Elemente- oder der finiten Differenzen-Methode berechnen werden.¹¹ Da die Herstellung von Form und Modell teuer ist, aber viele Parameter wie bspw. die Dimensionierung des Anschnittsystems oder die Speisungsmöglichkeiten eine wichtige Rolle spielen, ist die Überprüfung mithilfe einer Gießsimulation ein probates Mittel. Die Gießsimulation bietet die Möglichkeit

¹¹ Auf die Finite-Elemente-Methode wird in Kap. 4 noch näher eingegangen (vertiefend zu diesem Thema empfehlen sich: Buchmayer 2002; Vajna/Weber, et al. 2009; Klocke/König 2006, 2008; Woyand 2004).

bereits in der Entwicklungsphase eines Produktes die Gießbarkeit, die zu erwartenden Gefüge und Eigenschaften zu prüfen (Buchmayr 2002, S. 295ff). Weiterhin können die Simulationen als Kommunikationsmedium zwischen Entwicklern, Auftraggebern und Gießereien dienen, da sie optisch verdeutlichen können, was durch Sprache nicht immer eindeutig vermittelt werden kann.

Die Abbildung 12 zeigt Momentaufnahmen der Formfüllung und der Erstarrung einer Gießtraube mit sechs Bremscheiben, beginnend kurz nach dem Start der Formfüllung. Die Färbung der Bauteile zeigt, dass in geometrisch gleichen Elementen verschiedene Temperaturen herrschen. Das bedeutet, dass die Position der jeweiligen Bauteile im Gießsystem Einflüsse auf das Gefüge dieses Bauteils hat. Mithilfe einer Erstarrungssimulation können diese Effekte verdeutlicht und eventuelle weitere gießtechnische Maßnahmen überprüft werden (VDG 2005).

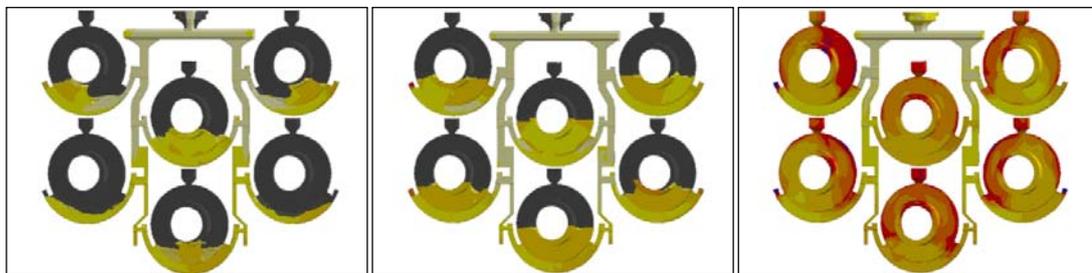


Abbildung 12: Formfüllung einer Gießtraube mit sechs Bremscheiben (MagmaSoft 2011)

Für Industrie- und Zerspanungsmechaniker sowie Fertigungsingenieure bietet die Zerspansimulation eine Reihe technischer Vorteile. Dazu zählen die Möglichkeiten, Aussagen über Werkzeugauslegung – angesprochen sind hiermit Verschleiß, Tribologie, Spannungen, Spanablauf, Geometrie – und Werkstückauslegung im Hinblick auf Rauheit, Temperatur, Eigenspannung, Gratbildung, Maßhaltigkeit sowie ferner Vorhersage von Zerspantemperaturen, Schnittkräften, Spanbildung, oder Oberflächenqualität zu treffen. Mithilfe der Simulationen lassen sich für die Auszubildenden die einzelnen Arbeitsschritte visualisieren (siehe Abbildung 13) und auch wenig anschauliche Vorgänge wie z.B. die Schneidradiuskompensation – die Korrektur der Konturfehler beim Drehen von bspw. Kreisbögen oder Schrägen rücken damit ins inhaltliche Zentrum – können mit Hilfe von Animationen und Simulationsprogrammen verdeutlicht werden.

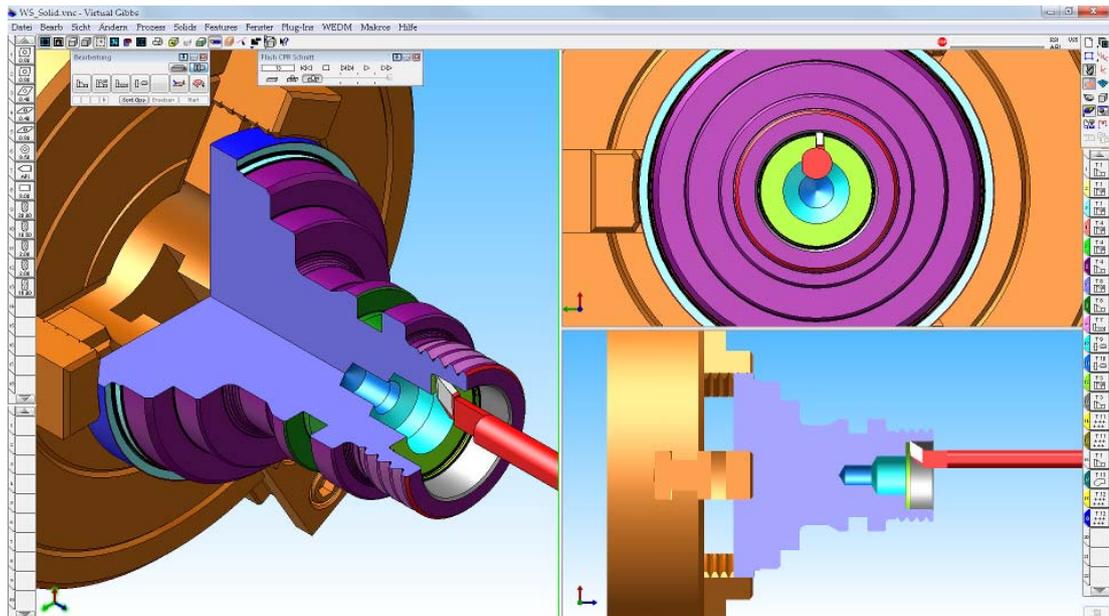


Abbildung 13: Visualisierung der Arbeitsschritte eines CNC-Drehteils in unterschiedlicher Färbung (VirtualGibbs, WupperCAM 2013)

Im nächsten Kapitel sollen in einem lern-, lehr- und unterrichtstheoretischen Diskurs die Ansätze, die für das Lehren und Lernen mit Simulationen von Bedeutung sind, erörtert werden.

3. Lern-, Lehr- und Unterrichtstheorie

Das **dritte** Kapitel liefert einen Diskurs im Feld der Metall- und Elektrotechnik zu den Themen Lernfeldorientierung, fächerübergreifender Unterricht, Handlungsorientierung und zu den Möglichkeiten, die Simulationen in diesen Zusammenhängen eröffnen können. Die Entscheidung für die Verwendung von Simulationen in komplexen Lehr-Lern-Arrangements kann nicht unabhängig von fachdidaktischen Strukturelementen, d.h. Entscheidungsfeldern (Intentionen, Themen, Methoden, Medien) und Bedingungsfeldern (anthropologische und soziokulturelle Voraussetzungen), getroffen werden, wie die Interdependenzthese betont (Adl-Amini 1981) (s. Abbildung 14), bzw. kann nicht ohne die Berücksichtigung des Implikationszusammenhangs, d.h. der Verflechtung von inhaltlichen und methodischen Entscheidungen, sein (Blankertz 1969; 1972; Adl-Amini 1986; 1991). D.h. diese Interdependenzen und der Implikationszusammenhang muss bei der unterrichtlichen Verwendung von Simulationen berücksichtigt werden.

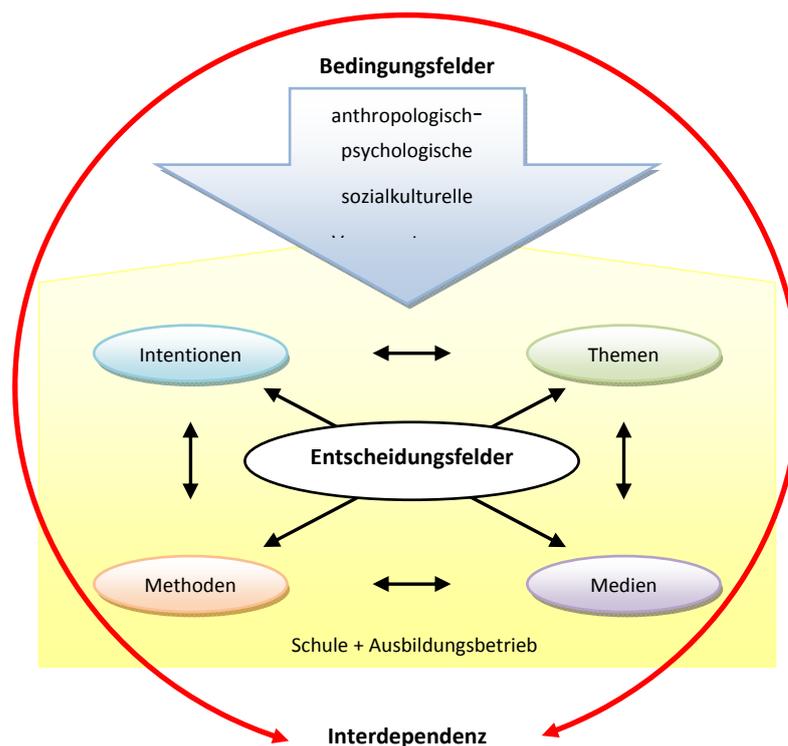


Abbildung 14: Berliner Modell (nach Burkard und Weiss 2008, S. 208)

In diesem Teil soll auch dargelegt werden, in welchem Kontext (didaktisch bzw. mediendidaktisch) die Nutzung und Anwendung von Simulationen eingebettet ist.

Wenn dieses Feld im nachfolgend zur Diskussion steht, muss zunächst das Umfeld dargestellt werden, in das die Themenstellung eingebunden ist.

Unabhängig von Zielgruppen und Lerninhalten befasst sich die allgemeine Didaktik mit dem Lernen und Lehren. Die Theorien der allgemeinen Didaktik können nach Kron (2008) durch drei Leitbegriffe klassifiziert werden: Bildung, Lernen und Interaktion. Bei dem Leitbegriff der Bildung steht der Mensch "in seiner bildenden Tätigkeit" (ebd., S. 119) im Mittelpunkt. Bildung soll dem Menschen die Entwicklung zu einer mündigen Persönlichkeit ermöglichen (ebd.). Dem Leitbegriff Bildung können beispielsweise die Bildungstheoretische Didaktik (Klafki 1959, 1964, 1974, 1980a, 1986, 1991; Beckmann 1972) und die kritisch-konstruktive Didaktik (Klafki 1980b, 1986, 1991) zugeordnet werden. Bei dem Leitbegriff des Lernens stehen die Lernprozesse im Mittelpunkt sowie das Verhältnis von Zielen, Inhalten, Verfahren und Medien zueinander. Hierfür stehen z.B. die kybernetische Didaktik (v. Cube 1965, 1970) oder auch die Lerntheoretische Didaktik (Heimann et al. 1970; Schulz 1980). Bei dem Leitbegriff der Interaktion liegt der Fokus auf der Kommunikation, dem Sinnverstehen und der sozialen Dimension. Die konstruktive Didaktik (Hiller 1973) kann beispielsweise dem Leitbegriff Interaktion zugeordnet werden (vgl. Kron 2008).

3.1. Bildungstheoretische Didaktik

Was im Einzelnen unter Bildung zu verstehen ist, ist Gegenstand von zahlreichen Debatten sowohl von deutschen Philosophen in der Vergangenheit (bspw. Herder, Humboldt, Kant), aber auch in der Gegenwart (z.B. Adorno 1959; Pongratz et al. 2004; Precht 2013). Der Begriff unterliegt sowohl dem Zeitgeist als auch politischen, wirtschaftlichen bzw. unternehmerischen Interessen - d.h., was muss ein künftiger Arbeitnehmer können, um produktiv zu sein.

Das Fundament der Bildungstheoretischen Didaktik sind Bildungsinhalte. Lehrinhalte werden aus ihrer vorgegebenen Situation so in Lernaufgaben transformiert, dass sie der bzw. die Lernende aufnehmen, verarbeiten und bewältigen kann. Die didaktische Theorie soll demnach Handlungsempfehlungen geben, wie Themen zu Bildungsinhalten curricularer Fächer entwickelt und im Unterricht transportiert werden können.

Klafki erarbeitete dazu für Lehrende Orientierungshilfen zur Reflexion, Planung und Durchführung von Unterricht. Ausgangspunkt hierfür ist die These vom "Primat der Didaktik" (Klafki, 1964, 1975), also dem Vorrang von Inhalten vor der Methodik, d.h. Mitteln und Wegen. Lehrende sollen zunächst ziel- und inhaltsbezogene Entscheidungen für ihren Unterricht treffen, die Methoden seien vom Inhalt abhängig und vorbestimmt. Im Kontext der beruflichen Bildung gibt der Beruf die Inhalte vor. Im Mittelpunkt der Bildungstheoretischen Didaktik Klafkis steht die

Didaktische Analyse (erstmalig veröffentlicht 1958¹²). Sie soll Herzstück bei der Planung des Unterrichts durch den Lehrenden bzw. die Lehrende sein und ihn oder sie dabei unterstützen, den Bildungsinhalt des ausgewählten Themas/Inhalts zu reflektieren. Die Didaktische Analyse fragt nach der Gegenwartsbedeutung, der Zukunftsbedeutung, der Sachstruktur, der exemplarischen Bedeutung und der Zugänglichkeit des betreffenden Inhalts (Meyer und Meyer 2007).

Die Didaktische Analyse liefert Begründungen für die Relevanz von Simulationen im Unterricht der metall- und elektrotechnischen Berufe. So haben Simulationen eine Gegenwartsbedeutung, da sie, wie bereits dargestellt, sowohl im täglichen Leben als auch bei vielen metall- und elektrotechnischen Berufen bereits eine Rolle spielen. Ebenso haben Simulationen eine Zukunftsbedeutung, da ihre Relevanz in Zukunft sowohl im Berufsleben als auch im Alltag zunehmen wird. Zugleich können Simulationen eine exemplarische Bedeutung haben, indem sie Sachverhalte und Probleme erschließen können. Darüber hinaus liefert die Simulation einen Beitrag zur Zugänglichkeit von Inhalten, indem sie Inhalte z.B. durch Versuche oder Fallbeispiele anschaulich macht, wie im Verlauf der Arbeit noch dargestellt werden wird.

Später (1985) gewichtet Klafki seine Leitziele in seiner "kritisch-konstruktiven Didaktik" um.¹³ Bildungsziel ist der selbst- und mitbestimmungsfähige Mensch. "Kritisch" nennt Klafki seine Didaktik, weil die den didaktischen Konzepten zugrunde liegenden gesellschaftlichen Kontexte untersucht werden. Mit "konstruktiv" meint er den durchgehenden Praxisbezug, das Interesse an Handlung, Gestaltung und Veränderung, das für diese didaktische Leitidee ausschlaggebend ist. Klafki wandelt seine These vom "Primat der Didaktik" zu einem "Primat der Zielentscheidungen" ab. Dies beinhaltet insbesondere die Entscheidungen über die Thematik und die Perspektive, aus der diese betrachtet werden soll, Entscheidungen über Methoden und Medien, aber auch die Einschätzung der Relevanz "der jeweiligen soziokulturell vermittelten "anthropogene" sowie der institutionellen Bedingungen für Unterricht" (Klafki 2007, S. 259). Auch hier werden wiederum Begründungen für die Relevanz von Simulationen im Unterricht der metall- und elektrotechnischen Berufe geliefert, insbesondere der geforderte Praxisbezug, den die meisten Simulationen aufweisen.

Über diese Betrachtungen hinaus sollte die Erörterung methodischer und didaktischer Überlegungen zu medienbasierten Lehr-Lern-Arrangements ebenso auf Theorien basieren, wie mit digitalen Medien gelernt wird. Dazu ist es sinnvoll, zunächst zu beleuchten, wie menschliches Lernen funktioniert. Lernen ist ein

¹² Klafki, Wolfgang (1958): Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In: *Die deutsche Schule* 50 (10), S. 450–471.

¹³ Klafki, Wolfgang (1985). "Zur Unterrichtsplanung im Sinne kritisch-konstruktiver Didaktik". In W. Klafki, *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik* (S. 194-227), Beltz Weinheim, Basel 1985

komplexer Vorgang. Zur Erklärung dieses Vorgangs existieren eine Reihe von Theorien und Erklärungsmodellen, die sich sowohl in ihren Konzepten, wie Lernen funktioniert unterscheiden, als auch in ihrer Sicht welche Stellung Lehrenden und Lernende im Lernprozess innehaben (vgl. Arnold 2005).

Natürlich können die vorhandenen Sichten auf Lernen oder Lernumgebungen nicht einfach auf das Lernen mit Computern oder Simulationen übertragen werden, aber sie bieten eine Orientierung, um Richtlinien für technologieintensives Lernen, dessen Gestaltung und Methoden zu studieren, auszuarbeiten (Salomon und Perkins, 1996).

Die für das Lernen mit digitalen Medien bedeutsamsten theoretischen Ansätze basieren meist auf den Ansätzen von

- Behaviorismus,
- Kognitivismus und
- Konstruktivismus

(vgl. bspw. Arnold 2005, Baumgartner 2003; de Witt und Czerwionka 2007; Holzinger 2001; Kerres 2001; Kron und Sofos 2003; Rey 2009; Schulmeister 2007).

Zunächst wird ein Überblick über diese lerntheoretischen Ansätze gegeben werden. Im Folgenden sollen einige der beschriebenen Aspekte, die für den Einsatz von Simulationen in der beruflichen Bildung von besonderer Bedeutung sind, näher beleuchtet werden.

3.2. Lerntheorien

Lerntheorien versuchen Aussagen über das menschliche Lernen zu machen, also z.B. die Frage zu beantworten, was sich genau während des Lernprozesses abspielt, wie am besten gelernt wird und wie Lernprozesse gestaltet werden sollten. Hierzu gibt es unterschiedliche wissenschaftliche Ansätze, die historisch gewachsen sind. Die grundlegendsten Lerntheorien sollen nachfolgend kurz umrissen werden:

3.2.1. Behaviorismus

Vertreter des Behaviorismus beschreiben Lernen als eine Änderung des Verhaltens, die als Reaktion auf Reize von außen eintritt (Stimulus-Response- bzw. Reiz-Reaktions-Schema). Dabei wird sich am Beobachtbaren orientiert. Die äußeren Merkmale der Lernumgebung stehen im Vordergrund, Veränderungen, die im Gedächtnis oder in der Empfindung stattfinden, werden nicht berücksichtigt, das Gehirn wird als eine sog. "black box" (Baumgartner 2003, S. 3), ein "passiver Behälter" (Baumgartner und Payr 1999, S. 110) angesehen, in dem Wissen

"abgelagert" (ebd.) wird (Baumgartner und Payr 1999; Burkard und Weiss 2008; Gräsel und Gniewosz 2010).

Im Mittelpunkt des Behaviorismus steht die Idee der Konditionierung. Die Fundamente dafür bilden die Untersuchungen von Pawlow (1849-1936). Bei seinen Versuchen stellte er fest, dass der Speichelfluss, der durch die Darbietung von Futter beim Hund ausgelöst wird, ebenfalls durch das alleinige Läuten einer Glocke ausgelöst werden kann, wenn zuvor während der Futterausgabe die Glocke geläutet wurde. Edward L. Thorndike (1874-1949) hat bei Versuchen mit Tieren herausgefunden, dass beispielsweise Katzen durch Versuch und Irrtum ("trial and error") und positive Verstärkung durch Erfolge lernen. Er sieht den Vorgang des Lernens als die Verknüpfung von Reiz und Reaktion (Burkard und Weiss 2008; Holzinger 2001).

Skinner (1904-90) knüpfte an diese Vorstellung an und entwickelte daraus sein Konzept des operanten Konditionierens (Skinner 1978). Er geht davon aus, dass die Konditionierung durch Belohnung bzw. Bestrafung erfolgt. Dementsprechend wird ein gezeigtes Verhalten bei positiven Konsequenzen oder negativer Verstärkung (d.h. Beendigung eines unangenehmen Zustandes) häufiger, während es seltener wird, wenn das Verhalten bestraft wird (Burkard und Weiss 2008; Holzinger 2001).

Beim behavioristischen Ansatz ist der Lehrende eine Autorität, die vornehmlich Faktenwissen vermittelt.

Die Programmierte Instruktion und das Computerunterstützte Lernen (CUL bzw. CAL) mit der Softwarekategorie der "Drill and Practice"-Lernsoftware (bspw. Sprachlernprogramme, Mathematik- oder Anatomielernprogramme) basieren auf behavioristischen Ansätzen. Der Lernstoff wird in kleine Einheiten zerlegt, auf Antworten wird sofort ein Feedback gegeben.

Kritisiert wird an den behavioristischen Lerntheorien, dass nur äußere Einflüsse und Reaktionen berücksichtigt werden und dass reines Faktenwissen mit wenig Nähe zur Realität und ohne Anpassung an die Lernenden vermittelt wird. Der Lernende arbeitet meist allein, der Lernprozess wird vom Lehrenden gelenkt (Holzinger 2001).

3.2.2. Kognitivismus

Ab dem Ende der 60er Jahre entwickelte sich der Kognitivismus. Es gibt eine Vielfalt unterschiedlicher Erscheinungsformen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann (zur Übersicht: Edelmann und Wittmann 2012; Holzinger 2001). Einige Vertreter des Kognitivismus sind Gagné (Instruktionsmodell, besonders in der Lehrerbildung der USA von Bedeutung), Tolman (kognitiv-neobehavioristische Schule, Wegbereiter des Kognitivismus), Lewin (Gestaltpsychologe, kognitive Feldtheorie), Bruner (Entdeckungstheorie, Entdeckendes Lernen, Problemlösen),

Piaget (Konzeptbildung), Fodor und Pylyshyn (Konnektionismus, [auch neuronale Netze]), Vygotsky (Zone of Proximal Development (ZPD)-Modell) (Holzinger 2001). Ihnen ist gemeinsam, dass Lernen als Informationsverarbeitungsprozess, als Wechselwirkung eines Informationsangebots von außen mit vorhandenen inneren Wissensstrukturen angesehen wird. Im Gegensatz zum Behaviorismus stehen nun Denk- und Verarbeitungsprozesse, d.h. die inneren Vorgänge im Gehirn der Lernenden, im Zentrum. Das Gehirn wird als "Informationsverarbeitendes 'Gerät'" (Baumgartner und Payr 1999, S. 110), als ein "lineares Informationssystem" (Holzinger 2001, S. 111), also als eine Art Computer gesehen (Köhler et al. 2008, Holzinger 2001, Baumgartner und Payr 1997). Damit negieren sie jedoch nicht die Auffassungen der Behavioristen, heben aber hervor, dass Lernen nicht allein durch Reiz-Reaktions-Schemata erklärbar ist. Piaget (1974) sieht den Lernprozess als eine Wechselwirkung zwischen Assimilation und Akkommodation. Diese Wechselwirkung ermöglicht eine Anpassung zwischen der äußeren Welt und ihrer Repräsentation im Inneren des Lernenden. Lernen ist damit ein Erkenntnisprozess (Mienert und Pitcher 2011). Die Verarbeitungsstrategie ist das Rehearsal, die (innerliche) Wiederholung von Informationen, um sie vom Kurzzeitgedächtnis in das Langzeitgedächtnis zu übertragen. Das menschliche Gehirn besitzt die Fähigkeit, sich beim Arbeiten zu beobachten. Diese Reflexivität der Lernprozesse wird Metakognition genannt. Sie versetzt den Lernenden in die Lage, die Verarbeitung der Informationen zu steuern, systematische Strategien für das Lernen zu entwickeln und die Merkfähigkeit zu steigern (Burkard und Weiss 2008). Im Mittelpunkt steht das Problemlösen. Es geht nicht mehr darum, auf einen Reiz hin eine korrekte Lösung zu präsentieren, sondern vor allem um die Vermittlung von Strategien und Methoden zur Lösung von Problemen, die wiederum dabei helfen, Antworten zu produzieren (Baumgartner und Payr 1997). Konsequenzen, die sich aus diesen Erkenntnissen für das Lehren ergeben, sind u.a., dass zu Lernendes an Vorwissen anknüpfen sollte und dass verschiedene Lernwege angeboten werden.

Kognitivistische Lerntheorien stehen meist im Zusammenhang mit dem sog. *Entdeckenden Lernen*, dessen Theorie in den 1960er Jahren von Bruner entwickelt wurde. Beim Entdeckenden Lernen steht das selbstgesteuerte Lernen im Vordergrund. Lernende sollen eigenständig Informationen finden und ihre Wichtigkeit für den jeweiligen Zusammenhang einordnen. Im Anschluss sollen sie daraus Wissen generieren, Regeln und Konzepte entwickeln und diese auf neue Problemstellungen anwenden. Voraussetzung für das Entdeckende Lernen ist ein hoher Grad an intrinsischer Motivation bei den Lernenden (Holzinger 2001).

Hinsichtlich der Gestaltung von Lehr-Lern-Arrangements ist Entdeckendes Lernen auch mit konstruktivistischen Positionen (siehe nächster Abschnitt) in Einklang zu bringen (Holzinger 2001).

Computerprogramme, die auf diesen Ansätzen basieren, sind beispielsweise Intelligente Tutorielle Systeme (ITS) oder Lernumgebungen, wie Computer- oder Web-based Trainings (CBT/WBT). ITS stellen sich auf die kognitiven Prozesse des Lernenden ein, indem sie die Eingaben des Lernenden analysieren und das Lernangebot anpassen. CBT und WBT sind (multimediale) Lernprogramme, die entweder über CD-ROM/DVD oder über das Internet distribuiert werden. Typische Anwendungen sind Programme zum Erlernen von Computer-Anwendungen (bspw. CAD-Programme) oder Sprachen, auch in der betrieblichen Weiterbildung werden häufig CBT eingesetzt. Auch einige Simulationen können zur Realisierung Entdeckenden Lernens herangezogen werden.

An kognitivistischen Ansätzen wird kritisiert, dass das menschliche Handeln auf die kognitive Informationsverarbeitung reduziert wird, das Bewusstsein und zwischenmenschliche Beziehungen nicht berücksichtigt werden und damit die Situiertheit des menschlichen Handelns in seinem Umfeld außer Acht gelassen wird (Kerres 2001; Baumgartner und Payr 1997).

3.2.3. Konstruktivismus

Die konstruktivistische Didaktik, als eine Fortentwicklung kognitivistischer Ansätze entstand in den 1980er Jahren. Begründer und wichtige Vertreter des Konstruktivismus sind unter anderem Vygotsky, Piaget, Dewey und Bruner. Der Begriff Konstruktivismus umfasst unterschiedliche, in ihren Betrachtungsweisen vollkommen verschiedene erkenntnistheoretische *Strömungen*. Dabei wird der Diskurs immer differenzierter und damit unüberschaubarer. Die Grenzen zwischen den einzelnen Strömungen des Konstruktivismus sind nicht immer eindeutig.

Gerstenmaier und Mandl (1995) unterscheiden drei Varianten

- "Konstruktivismus als Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie ("radikaler" Konstruktivismus)
- 'Neuer' Konstruktivismus in der Soziologie, Kognitionswissenschaft und Psychologie" (ebd. S. 868) mit den Ansätzen des sozialen Konstruktivismus, der situierten Kognition und anthropologischen und ethnomethodologischen Ansätzen
- "Konstruktivistische Ansätze in der Instruktionspsychologie und der Empirischen Pädagogik" (ebd. S. 868) mit Instruktionsansätzen zur Gestaltung von Lernumgebungen, wie bspw. der Anchored Instruction-Ansatz, der Cognitive Flexibility-Ansatz oder der Cognitive Apprenticeship-Ansatz.

Dabei steht bei den Vertretern der radikal-konstruktivistischen Betrachtungsweise (Maturana, v. Glasersfeld, v. Foerster) die Ansicht im Zentrum, dass sich die

Außenwelt dem Menschen erkenntnistheoretisch entzieht und Wahrnehmung auf Konstruktion und Interpretation basiert. Das menschliche Gehirn wird als ein "Informationell geschlossenes System" (Baumgartner und Payr 1999, S. 110) gesehen. Maturana und Varela (1980) nennen solche Systeme autopoietisch. Autopoietische Systeme sind selbstreferenziell, steuern ihre Zustände also intern, operativ geschlossen und haben eine strukturelle Kopplung zu ihrer Umgebung, d.h. Kommunikation zur Außenwelt wird vom System ausgesucht. Damit sind Objektivität, subjektunabhängiges Denken und Verstehen ausgeschlossen. Wirklichkeit wird erst dann definitiv, wenn sie von anderen geteilt wird. Grundlage bilden bei diesem Ansatz gehirnphysiologische, kognitionswissenschaftliche und systemtheoretische Annahmen (Gerstenmaier und Mandl 1995; Reich 2009).

Die Ausrichtung des sozialen Konstruktivismus (auch Sozialkonstruktivismus) ist eine soziologische bzw. sozialpsychologische und behandelt die Konstruktion der sozialen Wirklichkeit (Gerstenmaier und Mandl 1995).

Reich (2009) vertritt einen interaktionistischen Konstruktivismus. Der Interaktionistische Konstruktivismus (auch systemisch-konstruktivistische Didaktik bzw. Pädagogik) ist ein Ansatz, der sozial und kulturell orientiert ist. Er stellt die Bedeutung der kulturellen und lebensweltlichen Interaktionen bei der Rekonstruktion (d.h. dem Entdecken), Konstruktion (d.h. dem Erfinden), und Dekonstruktion (d.h. dem Kritisieren) von Wirklichkeiten in den Vordergrund. Diese Re-, De- und Konstruktion ist zu jeder Zeit an die Handlungen der Lernenden geknüpft. Ein Teil dieser Didaktik ist das Situierete Lernen. Der Lehrende soll hierbei nicht nur ein Vermittler von Wissen sein, sondern auch "Lernprozessberater".

Reich schlägt für die konstruktivistische Didaktik und ihre theoretischen Kontexte folgende Einordnung vor (Abbildung 15):

Quellen und Ansätze für die verschiedenen Strömungen des Konstruktivismus stammen demnach aus der Philosophie, der Pädagogik, der Psychologie und der Kommunikationstheorie. Aus der Philosophie sind hier insbesondere die Phänomenologie,¹⁴ die bspw. Berger und Luckmann (1995) geprägt hat, die Kybernetik,¹⁵ an die speziell von den radikalen Konstruktivisten, wie Heinz von

¹⁴ "Phänomenologie ist der methodisch reflektierte Versuch, unser begriffliches und vorbegriffliches Verstehen sowie unsere expliziten und impliziten Geltungsansprüche auf eine ursprüngliche Erfahrung zurückzuführen und darin das Zustandekommen von Objektivierungsleistungen zu erklären." (<http://www.philosophie.uni-wuerzburg.de/forschung/forschungsstellephaenomenologie>, zuletzt geprüft am 27.09.2013.)

¹⁵ "Kybernetik (im weiteren Sinne) sind die Wissenschaften von den allgemeinen wesentlichen Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten der komplexen dynamischen Systeme, der Informationsprozesse, der Steuerung und der Regelung." (Klaus, Georg; Buhr, Manfred (Hg.): Das Philosophische Wörterbuch Band 2, Berlin 1970, S. 640-646.)

Foerster angeknüpft wurde, aber auch die Systemtheorie,¹⁶ die z.B. Maturana, Varela und Luhmann beeinflusst hat. Daneben sind ebenfalls postmoderne Diskurse, die Cultural Studies und auch der Feminismus maßgebend. Als pädagogischen Wegbereiter des Konstruktivismus sieht Reich (2009) den Ansatz des Pragmatismus von John Dewey. Von psychologischer Seite nennt er Piaget und Wygotzky, deren Ansätze für konstruktivistische Lehr-Lerntheorien rezipiert wurden. Des Weiteren haben auch die systemische Familientherapie und mit ihr in Zusammenhang stehende Beratungsansätze eine deutliche Relevanz für konstruktivistische Ansätze im Bereich der Pädagogik und Didaktik. Aus den Kommunikationstheorien sind vor allem die Arbeiten von Watzlawick u.a. bedeutsam, die sich an Bateson anschließen (Reich 2009).

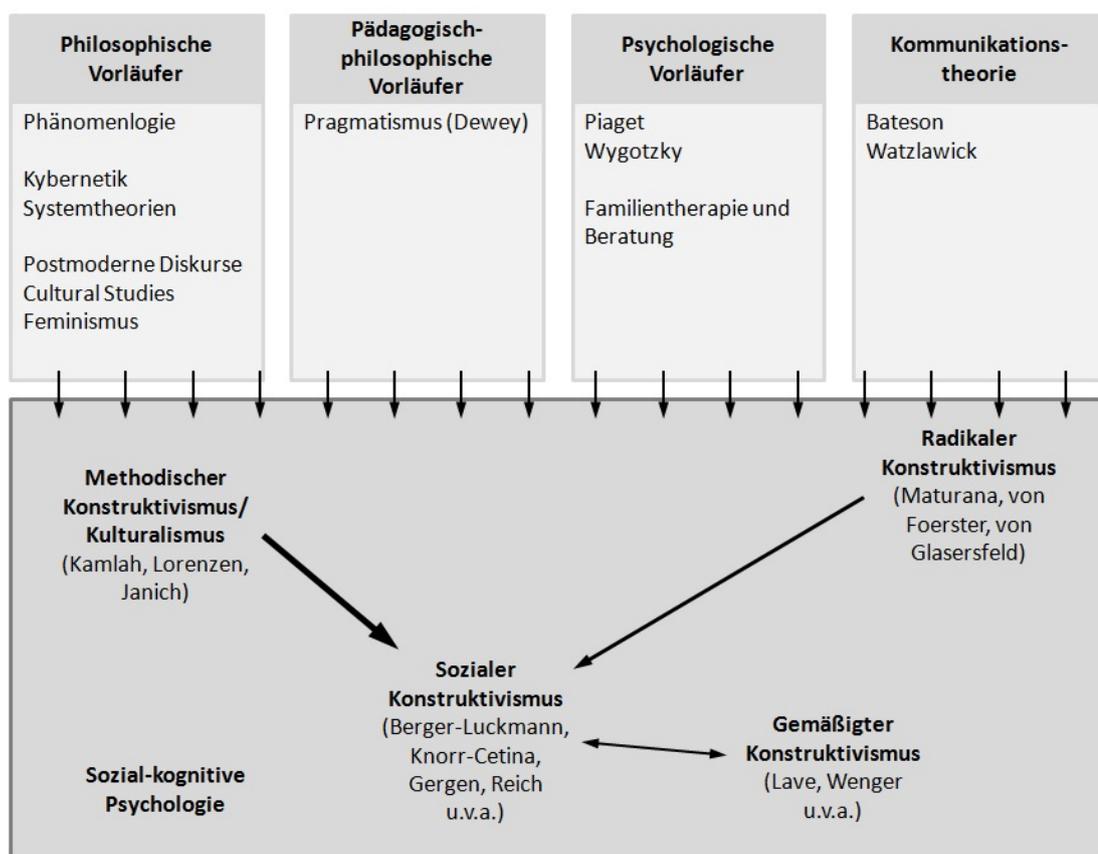


Abbildung 15: Theoretische Kontexte der konstruktivistischen Didaktik (vgl. Reich 2009, S. 30)

¹⁶ Systemtheorie: "[...]die Theorie der allgemeinen Prinzipien, die die verschiedenen, in den einzelnen Wissenschaften untersuchten Systeme gemeinsam haben. [...] die systemtheoretische Betrachtungsweise [hat] das Ganze des jeweiligen Systems und die Beziehungen unter seinen Elementen im Blick; sie untersucht nicht einzelne Objekte und einzelne lineare Kausalreihen, sondern die Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen den Objekten. [...] Wissenschaftsgeschichtlich gesehen und auch in ihrer Terminologie ist die Systemtheorie vor allem von der Biologie und von der Kybernetik geprägt; sie findet jedoch heute Anwendungen in den unterschiedlichsten Gebieten von der Computerforschung bis zur Soziologie und zur Psychologie: Die einzelne Zelle und das Gehirn, die Familie und die Gesellschaft werden gleichermaßen als System verstanden." (Schulz, Matthias: Systemtheorie. <http://www.philosophie-woerterbuch.de/online-woerterbuch/>, zuletzt geprüft am 27.09.2013.)

Quellen und Ansätze für die verschiedenen Strömungen des Konstruktivismus stammen demnach aus der Philosophie, der Pädagogik, der Psychologie und der Kommunikationstheorie. Aus der Philosophie sind hier insbesondere die Phänomenologie,¹⁷ die bspw. Berger und Luckmann (1995) geprägt haben, die Kybernetik, an die speziell von den radikalen Konstruktivisten, wie Heinz von Foerster angeknüpft wurde, aber auch die Systemtheorie,¹⁸ die z.B. Maturana, Varela und Luhmann beeinflusst hat. Daneben sind ebenfalls postmoderne Diskurse, die Cultural Studies und auch der Feminismus maßgebend. Als pädagogischen Wegbereiter des Konstruktivismus sieht Reich (2009) den Ansatz des Pragmatismus von John Dewey. Von psychologischer Seite nennt er Piaget und Wygotzky, deren Ansätze für konstruktivistische Lehr-Lerntheorien rezipiert wurden. Des Weiteren haben auch die systemische Familientherapie und mit ihr in Zusammenhang stehende Beratungsansätze eine deutliche Relevanz für konstruktivistische Ansätze im Bereich der Pädagogik und Didaktik. Aus den Kommunikationstheorien sind vor allem die Arbeiten von Watzlawick u.a. bedeutsam, die sich an Bateson anschließen (Reich 2009).

Die verschiedenen konstruktivistischen Strömungen, die von diesen Quellen und Ansätzen beeinflusst werden und ihre Beziehungen zueinander werden im unteren Teil des Schaubildes dargestellt.

Der von Kamlah und Lorenzen begründete methodische Konstruktivismus,¹⁹ der zum Teil zu einem kulturalistischen Ansatz fortentwickelt wurde, hat die Rekonstruktion rationalen Zweck-Mittel-Denkens zum Kern. Daraus soll - speziell in den Naturwissenschaften - nachvollzogen werden, nach welchen nicht reflektierten

¹⁷ "Phänomenologie ist der methodisch reflektierte Versuch, unser begriffliches und vorbegriffliches Verstehen sowie unsere expliziten und impliziten Geltungsansprüche auf eine ursprüngliche Erfahrung zurückzuführen und darin das Zustandekommen von Objektivierungsleistungen zu erklären." (<http://www.philosophie.uni-wuerzburg.de/forschung/forschungsstellephaenomenologie>, zuletzt geprüft am 27.09.2013.)

¹⁸ Systemtheorie: "[...]die Theorie der allgemeinen Prinzipien, die die verschiedenen, in den einzelnen Wissenschaften untersuchten Systeme gemeinsam haben. [...] die systemtheoretische Betrachtungsweise [hat] das Ganze des jeweiligen Systems und die Beziehungen unter seinen Elementen im Blick; sie untersucht nicht einzelne Objekte und einzelne lineare Kausalreihen, sondern die Gesamtheit der Wechselwirkungen zwischen den Objekten. [...] Wissenschaftsgeschichtlich gesehen und auch in ihrer Terminologie ist die Systemtheorie vor allem von der Biologie und von der Kybernetik geprägt; sie findet jedoch heute Anwendungen in den unterschiedlichsten Gebieten von der Computerforschung bis zur Soziologie und zur Psychologie: Die einzelne Zelle und das Gehirn, die Familie und die Gesellschaft werden gleichermaßen als System verstanden." (Schulz, Matthias: Systemtheorie. <http://www.philosophie-woerterbuch.de/online-woerterbuch/>, zuletzt geprüft am 27.09.2013.)

¹⁹ Die von Wilhelm Kamlah und Paul Lorenzen geschriebene *Logische Propädeutik. Vorschule des vernünftigen Redens* (1967, verbesserte und erweiterte 2. Auflage 1973, 3. Auflage mit unverändertem Nachdruck 1996) gilt neben dem Aufsatz 'Methodisches Denken' von Paul Lorenzen (1968 [1965]) als Programmschrift des Methodischen Konstruktivismus ('Erlanger Konstruktivismus') und wurde zur schulbildenden Monografie der – zuerst von Außenstehenden so genannten – 'Erlanger Schule'. (Wille et al. 2011, S. 160)

Grundlagen dort regelmäßig verfahren wird. Ausschlaggebend ist hier das rekonstruierte Wissen.

Die beiden Pfeile vom radikalen und vom methodischen Konstruktivismus zum sozialen Konstruktivismus in dem Schaubild sollen deutlich machen, dass nach Reichs Ansicht in letzter Zeit die Tendenz zur sozialen Konstruktion von Wirklichkeiten geht, wie sie z.B. von Berger und Luckmann (1995) oder Knorr-Cetina (1981) entwickelt wurden. Dem sozialen Konstruktivismus kann auch der von Reich vertretene interaktionistische Konstruktivismus zugeordnet werden.

Im Gebiet der psychologischen Lehr-Lernforschung wird in Deutschland auf den gemäßigten Konstruktivismus verwiesen. Mit "gemäßigt" ist gemeint, dass die verschiedenen Ansätze der Lehr-Lernforschung zwar verschiedene konstruktivistische Erklärungen für das Lehren und Lernen übernehmen, diese aber mit bestehenden Theorien und Methoden von Instruktionen verbinden (Reich 2009). So wird von vielen Bildungswissenschaftlern empfohlen, dass Lernen idealerweise selbstgesteuert stattfinden sollte, dennoch wird gleichzeitig die Vorgabe von Lernzielen und Überwachung des Lernprozesses nahegelegt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Dreh- und Angelpunkt der konstruktivistischen Ansätze der Vorgang der Wirklichkeitserzeugung ist. Gemeinsam ist den verschiedenen Ansätzen das Misstrauen gegen ontologische Wahrheitsansprüche und die Ansicht, dass die Konstruktion von Wirklichkeit in beträchtlichem Umfang vom Beobachter abhängig ist. Konstruktivisten sehen Lernen als einen aktiven, selbstgesteuerten, konstruktiven, situativen und sozialen Prozess. Lernen ist somit eine aktive und selbst gesteuerte Konstruktion von Wissen, das in Abhängigkeit von zuvor gewonnen Erkenntnissen Wahrnehmungen interpretiert. Menschen konstruieren oder kreieren aktiv ihre eigene subjektive Repräsentation der objektiven Realität. Das Vorhandensein einer objektiven Sicht, der Wahrnehmung einer realen Welt, wird bezweifelt. Vielmehr wird die Realität als ein gedanklicher Entwurf gesehen, zu der die Sinnesorgane nicht nur ein Abbild der Außenwelt liefern, sondern die Sinneseindrücke bei der Verarbeitung bereits strukturieren, bewerten und deuten. Die Konstruktion des Wissens wird durch kollaboratives Lernen in Gruppen unterstützt. Dabei werden Bedeutungen ausgehandelt und durch metakognitive Prozesse gewährleistet, dass die augenblickliche Auffassung von der Welt noch adäquat ist (Gräsel und Gniewosz 2010; Mienert und Pitcher 2011, Baumgartner und Payr 1997, Rey 2009).

Wissen ist somit nicht mehr zu vermitteln, Lehrende sind aus diesem Grund nur noch Trainer oder Coaches, die Anleitungen und Unterstützung zur eigenständigen Konstruktion von Wissen geben. Ihre Aufgaben liegen in der Aktivierung der Lernenden, sie sollen einen individuellen Lernprozess initiieren und die Lernenden dabei unterstützen, Metakognition aufzubauen und Aufgeschlossenheit gegenüber anderen Betrachtungsweisen zu entwickeln. Häufigste Kritik am Wissenserwerb in

der Schule ist die Produktion "trägen Wissens". Renkl (1996) hat aus der Literatur drei Ansätze für die Entstehung trägen Wissens ermittelt: Metaprozesserklärungen, Strukturdefiziterklärungen und Situietheitserklärungen. Metaprozesserklärungen beruhen auf der Annahme, dass das erforderliche Wissen zwar verfügbar ist, aber kein Gebrauch davon gemacht wird. Ursache hierfür sind unzulängliche Metaprozesse, wie bspw. fehlende Kenntnisse zu Voraussetzungen bei der Anwendung. Strukturdefiziterklärungen konstatieren die Mängel im anzuwendenden Wissen selbst, das bedeutet, dass das Wissen nicht angewendet werden kann, weil seine Struktur dies nicht zulässt. Situietheitserklärungen gehen davon aus, dass Wissen grundsätzlich situativ gebunden ist. Den Ursprung sehen viele Autoren (vgl. Gerstenmaier und Mandl 1995, S. 867) in der mangelnden Einbeziehung realistischer Bezugsrahmen. Konstruktivistische Lernumgebungen bieten Informationen praxisbezogen, holistisch und situiert, d.h. in komplexen Kontexten und somit authentisch, sodass sie z.B. auf Problemstellungen aus dem beruflichen Alltag der Lernenden übertragbar sind (Holzinger 2001, Rey 2009, Gerstenmaier und Mandl 1995).

Wichtige konstruktivistische Gestaltungsansätze für Lernumgebungen sind beispielsweise

- *Cognitive Apprenticeship* (Collins et al. 1989), wo die traditionelle Ausbildung von Lehrlingen als Vorbild für die Gestaltung von Lernumgebungen dient. Die Unterstützung durch den Lehrenden nimmt im Laufe des Lernprozesses mit zunehmender Kompetenz der Lernenden immer mehr ab.
- *Anchored Instruction* (Bransford et al. 1990, The Cognition And Technology Group At Vanderbilt (CTGV) 1990, 1992, 1993), wo videobasierte Makrokontexte als Ankerreiz dienen, Interesse bei den Lernenden wecken sollen und dazu anregen, über komplexe Probleme nachzudenken.
- *Cognitive Flexibility Theory* (Spiro et al. 1988), wo flexibles Anwenden von Wissen gefördert werden soll, indem verschiedene Perspektiven durch die Lernenden eingenommen werden (das Problem so von unterschiedlichen Seiten betrachtet wird), um so das Lösen komplexer Probleme zu erlernen (Mandl et al. 2002, Holzinger 2001).

Technologiebasierte Lernumgebungen können nach Mandl, Gruber und Renkl (2002) einen Beitrag dazu leisten, die Kluft zwischen der Lernsituation und der realen Berufssituation zu verringern, wenn die Lernsituation mit der Anwendungssituation vergleichbar gestaltet ist. Dadurch kann Wissen in einem aktiven Konstruktionsprozess vom Lernenden generiert werden (situiertes Lernen). Bei Simulationen ist dies, wie der Name intendiert, weitgehend gegeben.

Weitere Computerprogramme, die die Konstruktion von Wissen ermöglichen, sind hypertextuelle Lernumgebungen, bei denen Informationen (Dokumente, Bilder, Videos) über Links miteinander verbunden sind (Netzwerk) und Mikrowelten. Mikrowelten sind geschlossene künstliche Umgebungen, in denen das zu lernende Wissen "versteckt" (Schulmeister 2007, S. 45) ist und nun durch die Lernenden beim Erforschen der Umgebung entdeckt werden soll. Ein Beispiel ist die von Papert in den 1970er Jahren entwickelte Mathematik-Welt, in der mit der Programmiersprache LOGO und der Schildkröten-Geometrie (Turtle-Geometry) Kindern die Welt der Geometrie näher gebracht werden sollte (Papert 1972).

Kritik am Konstruktivismus gibt es sowohl an der Weltsicht der Konstruktivisten als auch an den daraus abgeleiteten Didaktiken. Nüse (1995) beispielsweise merkt zu den neurophysiologischen Überzeugungen, dass es keine Objektivität gäbe, an: "Wenn man keinen Zugang zur Umgebung hat, dann kann man auch nicht feststellen, daß man ihn nicht hat." (Nüse 1995, S. 251, zit. nach Pongratz 2010, S. 48).

An konstruktivistischen Didaktiken wird u.a. kritisiert, dass durch die hohe Komplexität der konstruktivistischen Lernumgebungen beträchtliche Anforderungen an die Lernenden gestellt werden. Helmke (2010) weist darauf hin, dass insbesondere Lernende mit geringen Lernvoraussetzungen intensiverer Instruktion, Hilfestellung und Struktur bedürfen, als kognitivistische Lernumgebungen bereitstellen. Helmke kritisiert weiter, dass die empirische Absicherung für konstruktivistische Ansätze eher dürftig ist und einige Untersuchungen sogar Verschlechterungen in den Leistungen aufzeigen. Gründe dafür könnten einerseits sein, dass selbstgesteuertes Lernen ein hohes Maß an Motivation bei den Lernenden voraussetzt. Andererseits, schreibt Pongratz (2010), intendieren konstruktivistische Didaktiken oft nur die Etablierung einer anderen Einstellung zu Fachwissen und nicht die Aneignung neuer Fachkompetenzen. Der Lehrende gibt die Verantwortung für die Lernergebnisse an den Lernenden ab. Daneben ist es meist äußerst aufwendig, situierte Lehr-Lern-Arrangements auszuarbeiten (Holzinger 2001, Helmke 2010).

Helmke (2010) schlägt vor, Konstruktion mit Instruktion zu verbinden. Da Lernen zwar grundsätzlich individuell, aktiv und selbstgesteuert geschieht, ist die Aufgabe der Lehrenden, Konstruktionen zu aktivieren und zu arrangieren. Trotzdem brauchen die Lernenden ebenfalls Unterstützung, um sich zurechtzufinden, sowie Anleitung und manchmal auch Hilfestellung. Für gemäßigte Konstruktivisten stehen Konstruktion und Instruktion auch nicht im Widerspruch, vielmehr wird Instruktion als Ergänzung angesehen (Gerstenmaier und Mandl 2009).

Für problemorientierten Unterricht empfehlen Reinmann und Mandl (2006) deshalb, dass situiert und anhand authentischer, gegenwartsnaher Probleme gelernt werden soll, die an das Vorwissen der Lernenden anknüpfen. Den

Lernenden sollen verschiedene Sichtweisen auf die Problemstellung dargelegt werden und sie sollen möglichst zum aktiven Handeln angeregt werden. Der Unterricht sollte wenigstens teilweise in Gruppen- oder Partnerarbeit stattfinden und es sollte mit instruktionaler Hilfestellung gelernt werden (Helmke 2010).

Einen Gesamtüberblick über die drei Hauptströmungen der Lerntheorien und ihre Sichten auf Lernparadigmen, Lehrstrategien, Lehrende, Lernende und Softwaretypen, die diese Ansätze repräsentieren, gibt die folgende Tabelle (Tabelle 2):

Tabelle 2: Gesamtüberblick über die drei Hauptströmungen der Lerntheorien (zit. nach Holzinger (2001), S. 111, ergänzt um Kerres 2012, S.128 mit jeweils kleinen Änderungen)

	Behaviourismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Wichtige Vertreter waren ...	Pawlow, Watson, Guthrie, Hebb, Skinner, Thorndike, Hull, Spence	Tolman, Lewin, Bruner, Piaget, Gagné	Maturana, Varela, von Foerster, Bateson
Lernen geschieht durch ...	Reaktionen der Umwelt	Aufbau kognitiver Strukturen	(Re-)Konstruktion von Wissen, Partizipation an kultureller Praxis
Resultat des Lernens ist ...	Reiz-Reaktions-Verbindung	abstraktes, möglichst generalisierbares Wissen	kontextualisiertes, in Situationen anwendbares Wissen
Die Strategie der Lehrer ist ...	Frontalunterricht (chalk-teaching)	Beobachten und Helfen (helping)	Kooperation (coaching)
Zentral ist..	Reflexion	Kognition	Interaktion
Problemlösen ist ...	aufgabenzentriert	lösungszentriert	prozesszentriert
Die Person des Lehrers ist ...	ein autoritärer Experte	ein Tutor (Mentor, Ratgeber)	ein verantwortlicher Trainer (Coach)
Die Lernziele sind ...	Produzieren korrekter Input-Output-Relationen	Entdecken von Methoden zur Lösungsfindung	Umgehen mit komplexen Problemsituationen
Eine Prüfung ist ...	Reproduzieren von vorgegebenem Lernstoff	aktives Problemlösen	Überprüfen des Verständnisses für das Ganze
Lernende sollen arbeiten ...	allein (Einzelkämpfer)	zusammen mit Kollegen (Paar)	interaktiv in einer Gruppe (Team)
Das menschliche Gehirn ist ...	ein passiver Wissenscontainer	ein lineares Informationssystem	Geschlossenes Informationssystem

(Fortsetzung auf der nächsten Seite)

	Behaviourismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Beurteilung erfolgt über ...	Leistung (klares Abfragen von Fakten)	Wissen (Überprüfung von Konzepten)	Kompetenz (Erkennen des Gesamtproblems)
Präsentation des Lernmaterials in ...	kleinen, dosierten Portionen	komplexen Umgebungen	unstrukturierter Realität
Feedback ...	extern	extern modelliert	intern modelliert
Wissen ist ...	objektiv	objektiv	subjektiv
Wissen wird ...	gespeichert	verarbeitet	konstruiert
Mensch-Maschine-Interaktion	strikt fixiert, vorgegeben	dynamisch, adaptiv	selbstreferenziell und autonom
Idealer Softwaretypus	Tutorielle Systeme, CAI, Drill & Practice-Programme	Adaptive, Intelligente Tutorielle Systeme, CBT, WBT (Lernumgebung)	Hypermedia, Simulationen, Mikrowelten
Maschinenparadigma	kybernetische Lernmaschine	künstliche Intelligenz	komplexe Umgebungen
Rolle des Mediums	Steuerung und Regelung des Lernprozesses	Präsentation von Wissen, Interaktivität und Adaptivität	Angebote für (kollaborative) Konstruktionsaktivitäten

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verschiedenen Ansätze unterschiedliche Sichtweisen auf das Lernen haben, insbesondere in ihrer Sicht auf die Stellung, die die Umwelt einnimmt, die geistigen Vorgänge beim Lernen und die Form der situativen Einbettung (Kerres 2012).

So hat Lernen im Behaviorismus die Bedeutung einer Verhaltensänderung, die sich durch geeignete Reizsituationen und Reaktionen der Umwelt beeinflussen und verändern lässt. Das Lernmaterial wird in kleinen, dosierten Portionen präsentiert mit strikt vorgegebener Mensch-Maschine-Interaktion. Typische Software-Vertreter sind hier die tutoriellen Systeme und Drill & Practice-Programme.

Der Kognitivismus sieht Lernen als einen Prozess, bei dem kognitive Strukturen aufgebaut werden, vergleichbar mit der Informationsverarbeitung in einem Computer. Dabei wird das Lernmaterial in komplexen Umgebungen präsentiert in dynamischer, adaptiver Mensch-Maschine Interaktion. Hier sind typische Programme adaptive, intelligente tutorielle Systeme und Lernumgebungen, Lernsequenzen oder Kurse in Form von Computer oder Web-Based Trainings (CBT oder WBT).

Aus konstruktivistischer Sicht ist Lernen ein aktiver und autopoietischer Vorgang der Wissenskonstruktion. Das Lernmaterial wird in unstrukturierter Form wie in der Realität präsentiert. Die Mensch-Maschine-Interaktion ist selbstreferenziell und autonom. Hypermediale Angebote und sogenannte Mikrowelten, aber auch viele Simulationen sind für diese Lerntheorie typische Programme.

Daraus ergibt sich die Frage, welche der Theorien für das Lernen mit Simulationen die passendste ist. Diese Frage kann so jedoch nicht beantwortet werden. Jede Theorie hat ihre Berechtigung. Die Theorien schließen sich nicht unbedingt gegenseitig aus, sondern bieten Modelle zur Untersuchung des Lernens, die sich durchaus ergänzen. So basieren viele Lernprozesse durchaus auf Konditionierung. Die Neurowissenschaften wiesen mit unterschiedlichen funktionellen bildgebenden Verfahren mentale Prozesse nach, die den Ansätzen der Kognitivisten stark ähneln. Und konstruktivistische Ansätze überzeugen vor allem dadurch, dass sie das "natürliche" Lernen abbilden. Der gemäßigte Konstruktivismus findet sich beispielsweise in den handlungsorientierten Ansätzen wieder. Jede der Theorien rekurriert auf Faktoren des Lernens, die in einem Lehr-Lern-Arrangement vereinigt werden können. Deshalb sollten die jeweiligen Theorien danach beurteilt werden, welchen Anteil sie zur Bewältigung von Aufgaben erzielen können (Kerres 2012).

3.3. Didaktische Konzepte und Unterrichtsmethodik in der beruflichen Bildung

Um die Rahmenbedingungen und das Umfeld in dem die Simulationen zum Einsatz kommen sollen zu klären, wird hier zunächst ein Überblick über didaktische Konzepte und Unterrichtsmethodik in der Beruflichen Bildung mit ihren Begrifflichkeiten gegeben werden. Darüber hinaus sind im Zusammenhang mit der Implementierung von Simulationen auch die Curricula der einzelnen Berufe von Belang, da sie das Umfeld für den Einsatz der Programme charakterisieren.

Seit den 1990er Jahren gewinnt Kompetenzorientierung immer mehr an Bedeutung für die Gestaltung der Rahmenlehrpläne und Ausbildungsordnungen. Seit 1996 erklärt die KMK Handlungskompetenz ausdrücklich als Bildungsauftrag der Berufsschule. Die Novellierung des Berufsbildungsgesetzes 2005 schreibt den Erwerb beruflicher Handlungsfähigkeit als Ausbildungsziel fest. Hierdurch rückt die Vermittlung von Kompetenzen in den Mittelpunkt der Berufsausbildung.

Berufliche Handlungskompetenz umfasst mehrere Dimensionen: Neben der Fachkompetenz, die die Fähigkeit fach- und berufsbezogene Aufgaben selbstständig, eigenverantwortlich und methodengeleitet zu bewältigen beschreibt, beinhaltet sie die Human- oder Personalkompetenz (d.h. Kenntnis der eigenen Stärken und Defizite und die Fähigkeit, die eigene Entwicklung zu reflektieren und zu steuern) und die Sozialkompetenz (d.h. die Fähigkeit zu Dialog, Koordination und Kooperation) (Bader 2004a, S. 21). Berufliche Handlungskompetenz stützt sich

somit nicht auf ein einzelnes Fach, sondern bezieht sich auf bestimmte Handlungssituationen und Problemstellungen, die fächerübergreifend bewältigt werden müssen. Schülerinnen und Schülern soll über die fachliche Ausbildung hinaus Wissen vermittelt werden, das sie in die Lage versetzt, komplexe Aufgaben selbstständig zu lösen, selbstständig zu denken und zu handeln, sodass sich bei ihnen eine "berufliche Mündigkeit" entwickelt (Arnold und Münk 2006, S. 15). Handlungsorientierter Unterricht ist nach Auffassung der meisten Didaktiker das Konzept zur Erreichung dieser Ziele (Bader 2004b).

Auch wenn dieses Konzept neu zu sein scheint, weist Lipsmeier (2000a) darauf hin, "dass das Prinzip "Handlungsorientierung" in der Berufspädagogik eine lange Tradition hat." (ebd. S. 85), denn schon Kerschensteiner identifizierte die Fähigkeit zur Aneignung von Wissen und zum eigenständigen Handeln als "das Wertvollste, was wir einem Schüler geben können" (Kerschensteiner 1906/1954, S. 85, zit. nach Lipsmeier 2000a, S. 64).

Der Begriff Handlungsorientierung besitzt in der Pädagogik unterschiedliche Ausprägungen und Interpretationen (Bader 2004a, b; Riedl und Schelten 2006; Czycholl und Ebner 2006; Schneider 2005b). Auch wenn man sich im Allgemeinen einig ist, dass das Konzept des handlungsorientierten Lernens richtig ist, führen die Ansichten darüber, was darunter konkret zu verstehen ist, zu vielen Missverständnissen (Bader 2004b; Riedl und Schelten 2006). Die verschiedenen Ansätze stammen entweder aus der Schul- oder aus der Berufsbildungspädagogik (Schneider 2005b).

Schütte (1998, S. 91) charakterisiert Handlungsorientierung als "Konzept mittlerer Reichweite", das seinen Ursprung in "einem veränderten Verständnis von systematischem und kasuistischem Lehren und Lernen" hat.

Czycholl und Ebner (2006) identifizieren für die Berufliche Bildung zwei nicht eindeutige Argumentationsstränge: eine curriculare Dimension und eine methodische. Die curriculare Dimension bezieht sich auf die "Begründungen von Lernzielen" (ebd. S. 44) und Faktoren für die Gliederung von Lernziel-Gruppen. Sie zielt auf die berufliche Handlungskompetenz bzw. Handlungsfähigkeit ab, d.h. Lernziele und Strukturierungsgesichtspunkte orientieren sich an den Tätigkeitsfeldern des Berufes, während die methodische Dimension auf die handlungsorientierte Gestaltung von Lehr-Lern-Situationen abzielt.

Bader (2004b) hat folgende Ausprägungen im Verständnis von Handlungsorientierung herausgearbeitet:

1. "Handlungsorientierung der betrieblichen Ausbildung an "vollständigen Handlungen", die selbstständiges Planen, Durchführen und Kontrollieren bzw. Bewerten beruflicher Arbeit einschließen [...]"

2. Handlungsorientierung des Schulunterrichts im Sinne des Lernens an Sachverhalten und Problemen, die eine Entsprechung im Erfahrungsraum der Lernenden haben oder absehbar erhalten werden [...] [in Anlehnung an Klafkis Grundfragen zur didaktischen Analyse von Lerninhalten zur Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung]
3. Handlungsorientierung als psychologisch begründete Strukturierung aller Lernprozesse - meist auf der Basis von kognitionspsychologischen Theorien, von Handlungsregulationstheorien oder von pragmatischen Verbindungen beider Theoriestränge [...]
4. Handlungsorientierung als Gestaltung von Lernprozessen, in denen die Lernenden möglichst durch selbstständiges Handeln lernen, mindestens jedoch durch aktives Tun, jedenfalls nicht allein durch gedankliches Nachvollziehen von Handlungen anderer [...]
5. Handlungsorientierung als Lernen an konkreten Handlungen, deren Ergebnis nicht aufgrund gesicherter Erkenntnisse (zum Beispiel der Naturwissenschaften) feststeht, sondern offen ist [...]
6. Handlungsorientierung als Orientierung der Kommunikation an den Handlungsbedürfnissen der Kommunikationspartner [...]
7. Handlungsorientierung als Planung und Gestaltung von Lernprozessen mit dem Ziel der Fähigkeit, aus gewonnenen Erkenntnissen (im weitesten Sinne) gesellschaftliche Konsequenzen zu ziehen, d.h. der Einsicht die Tat folgen zu lassen, um vorgefundene Situationen in Richtung auf Ziele, die als erstrebenswert erkannt wurden, mit den geplanten Methoden zu verändern [...]
8. Handlungsorientierung als Merkmal unternehmerischer Selbstständigkeit
9. Handlungsorientierung als Entwicklung und Vermittlung impliziten Wissens [...]
10. Handlungsorientierung als vorbereitende Kompetenzentwicklung zur Bewältigung nicht voraussagbarer beruflicher, gesellschaftlicher und individueller Anforderungen [...]
11. Handlungsorientierung als Leitlinie der Curriculumentwicklung" (vgl. Bader 2004b, S. 61–67).

Riedl und Schelten (2006) sehen in allen Erklärungen eine Bedeutsamkeit für die Berufliche Bildung in Bezug auf Handlungskompetenz, halten jedoch in Hinsicht auf Berufsschulunterricht die Aspekte 3, 4, 5, 8, 10 und 11 für wesentlich. Während sie die Erklärungen 3, 4 und 5 für die "Entwicklung von theoretischen Voraussetzungen

für ein Handeln-Können" (ebd. S. 22), also die Arbeitstätigkeit oder das praktische Tun im Beruf, hervorheben.

Die meisten handlungsorientierten Ansätze gehen grundsätzlich auf drei Bezugstheorien zurück: Die *erste* ist die materialistische Tätigkeitstheorie, mit ihren Ausrichtungen der (a) materialistischen Lernpsychologie (Wygotski, Leontjew, Galperin) und (b) der Handlungsregulationstheorie (Hacker, Volpert). Der *zweite* Ansatz ist der systemtheoretische, auch Handlungsstrukturtheorie genannt (Miller, Galanter und Pribram). Die *dritte* ist die kognitive Handlungstheorie (Piaget, Aebli) (Schneider 2005b, S. 120).

Es ist schwierig, diese Ansätze zu trennen, die meisten Ausführungen in der Literatur sind eine Kombination aus diesen. Die Strömung der Schulpädagogik liegt meist eher in der lernpsychologischen und kognitionspsychologischen Argumentation nach Aebli, während in der Berufspädagogik eher die Ausrichtung Handlungsregulationstheorie nach Hacker und Volpert vorherrscht. In der Literatur zur schulischen und betrieblichen Ausbildung sind meist Kombinationen aus den Theorien zu finden (Schneider 2005b, S. 120).

Bei vielen Theoretikern aber auch Praktikern ist die am weitesten verbreitete Sichtweise auf den Begriff Handlungsorientierung eine methodisch-didaktische. Sie verstehen darunter ganzheitliche und schüleraktivierende Lernhandlungen. (Schneider 2005a) Handlungsorientierung kann somit als eine Umsetzung konstruktivistischer Lernauffassungen angesehen werden (Riedl 2010).

Eng mit der Handlungsorientierung verbunden sind arbeitsprozessorientierte Ansätze. Bei diesem Konzept bilden berufliche Handlungen resp. Arbeitsprozesse und Produktkenntnisse die Basis für das Lernen; aus ihnen generiert sich das "Arbeitsprozesswissen". Maßgebend für die Identifizierung und Charakterisierung von Arbeitsprozessen ist der Arbeitszusammenhang und das entsprechende Wissen und Verständnis um diese Zusammenhänge. Arbeitsaufträge werden aus betrieblichen Geschäftsprozessen abgeleitet. Dafür werden berufliche Arbeitsaufgaben in Teilaufgaben unterteilt, die sich erst im Zusammenhang mit den übergeordneten Arbeitsaufträgen erschließen. Teilaufgaben wiederum lassen sich in Arbeitshandlungen (= Tätigkeiten) aufgliedern (Rauner 2002). Für die Übertragung von Arbeitsabläufen in berufliche Curricula gibt es verschiedene in Konkurrenz stehende Konzepte (vgl. hierzu Fischer und Bauer 2007). Einige Bildungswissenschaftler schlagen vor, das Arbeitsprozesswissen "zu einem zentralen Gegenstand der Qualifikations- und Curriculumforschung zu machen" (Fischer 2006, S. 75; vgl. auch Rauner 2002).

Erhoffte Ziele des handlungsorientierten Unterrichts und auch der arbeitsprozessorientierten Ansätze sind eine höhere Motivation der Schülerinnen und Schüler, ein größerer Bezug zu Leben und Beruf und damit gezielte

Vorbereitung auf den Beruf und ein lebenslanges Lernen (Richter 2001). Das lebenslange Lernen soll u.a. ermöglichen, selbstständig auf sich rasch ändernde Berufsinhalte flexibel reagieren zu können. Daneben ist die Entwicklung handlungsorientierter Konzepte eine Reaktion auf kognitionspsychologische Forschungsergebnisse, die den engen Bezug zwischen Denken und Handeln betonen. Aebli (1980) bspw. schreibt, dass sich das Denken "in Kontinuität aus dem praktischen Handeln und dem Wahrnehmen" entwickelt (ebd. S. 13).

Für den Unterricht der Berufsschule führte die Einbeziehung handlungsorientierter bzw. arbeitsprozessorientierter Ansätze zum Lernfeldkonzept. 1996 legte die KMK nach Lernfeldern strukturierte Rahmenlehrpläne fest. Dies basiert auf unterschiedlichen Argumentationen. Es reflektiert die Ansichten, dass sich Facharbeit und Ingenieurwissenschaften unterscheiden, die konstruktivistische Sichtweise, dass Lernen auf der eigenen Konstruktion von Wissen basiert, dass Auszubildende über praktische Handlungen besser und motivierter lernen und dass nur über das berufliche Handeln Kompetenzen erworben werden können (Tenberg 2010, S. 4).

Beim Lernfeldkonzept treten anstelle der traditionellen Fächerstruktur Lernfelder, die aus beruflichen Situationen bzw. Handlungsfeldern abgeleitet werden (Bruchhäuser 2009). Die wesentlichen Bestandteile des Lernfeldkonzeptes sind "Handlungskompetenz, handlungsorientierter Unterricht, Fächerintegration und Teamarbeit" (Schneider 2005a, S. 90). Wie diese Lernfelder im Unterricht umgesetzt werden, obliegt den Lehrerteams der jeweiligen Berufsschule (KMK 2007).

Wie auch bei der Handlungsorientierung herrscht weitgehend Konsens darüber, dass die Abkehr vom klassischen Frontalunterricht zu begrüßen ist. Als problematisch stellt sich die Umsetzung dar. Rauner (2012) sieht die Ursachen unter anderem darin, dass eine "über ein Jahrhundert gewachsene Tradition berufsschulischer Didaktik [...] vom Kopf auf die Füße gestellt werden" sollte (ebd. S. 15).

Tenberg (2010) sieht die Problematik der Umsetzung vor allem in zwei Aspekten. Einerseits in der Entwicklung von Lernsituationen aus den beruflichen Handlungsfeldern, da sich die Lehrpläne "auf ein relativ diffuses Ordnungskonstrukt" beziehen und "an Stelle von Lernzielen überwiegend tätigkeitsbezogene Handlungen" vorgeben und "diesen auswahlartig unverbindliche Inhalte" zuweisen (ebd. S. 4). Er weist weiter darauf hin, dass die Überführung eines Lernfelds in eine Lernsituation und von dort zum Unterricht eine beträchtliche didaktische Leistung erfordert. Andererseits liegt die Problematik in der Komplexität der didaktischen Transformation, die dabei von Lehrenden gestemmt werden muss. "Das, was früher Lehrplankommissionen geleistet haben", "nun an jeder einzelnen Schule stattfinden" soll, nämlich "herausfinden, welches Wissen berufsrelevant ist, und dieses Wissen sequenzieren und operationalisieren." (ebd. S. 5)

Deshalb müssen Didaktikerinnen und Didaktiker zunächst Missverständnisse in den Interpretationen und Definitionen ausräumen, damit im Anschluss angehenden Lehrerinnen und Lehrern Handwerkszeug übergeben werden kann, mit denen sie anwendungsbezogen die Anforderungen in ihrem Unterricht umsetzen können (Tenberg 2010).

Verschiedene Autoren, wie bspw. Dubs, Tenberg, Weinert oder Lipsmeier sehen den Bildungsanspruch der Berufsschule bedroht. So kritisiert Lipsmeier (2000a), dass durch die zu enge Anbindung der schulischen an die betriebliche Ausbildung Berufsschulunterricht zu einem Serviceangebot zur Ergänzung der betrieblichen Ausbildung verkommt. Durch die Arbeitsprozessorientierung gefährden Berufsschulcurricula ihre Unabhängigkeit; die allgemeinbildenden Fächer verlieren ihre Eigenständigkeit und werden zu Dienstleistungsfächern für die beruflichen Inhalte.

Jede Schule, so auch die Berufsschule, hat den Auftrag, Schülerinnen und Schüler auf das lebenslange Lernen vorzubereiten. Wird der Lehrplan jedoch allein auf Lernfelder, die auf Handlungsfeldern beruhen, ausgerichtet und die Gewichtung auf Methoden-, Human- und Sozialkompetenzen gelegt, sehen Dubs (2000) und auch Weinert (2000) ein breites, transferwirksames Orientierungs- bzw. Strukturwissen gefährdet. Und der Unterricht wird "unwissenschaftlich und monomethodisch" (Tenberg 2010, S. 4). Ist dieses Wissen nicht in genügendem Ausmaß vorhanden, so fehlt die Grundlage für das Erkennen von Problemen, die Konstruktion neuen Wissens und auch für das Suchen und Abrufen von Informationen in Systemen wie bspw. Datenbanken oder dem Internet. Auch die Erarbeitung neuer Lösungswege, wie generell alle kognitiven kreativen Arbeiten, sind nur auf Basis begriffener Wissensstrukturen zu erbringen. Hier könnten Simulationen eine didaktische Option sein. Darüber hinaus betont Weinert, dass der Erwerb dieses Wissens auch unterschiedlich begabten Schülern mit unterschiedlichen Verfahrensweisen ermöglicht werden muss. Denn insbesondere bei Lernenden mit geringen Lernvoraussetzungen könnten Defizite in ihren Wissensstrukturen auftreten, wenn ausschließlich handlungsorientiert interdisziplinär unterrichtet wird (Dubs 2000). Diese Lernenden benötigen deshalb intensivere Anleitung, Hilfestellung und Struktur. Dies wurde von weiteren Autoren so ähnlich bereits schon im Zusammenhang mit konstruktivistischen Lerntheorien geäußert (siehe weiter oben).

Daneben sollte nicht vergessen werden, dass es insbesondere der Bildungsanspruch und die Strukturierung von Wissen, das Durchdenken von Handlungen, die differenzierte Beschäftigung und eben auch die kritische Auseinandersetzung mit dem Beruf und seinen Arbeitsprozessen sind, welche die Einrichtung Berufsschule gegenüber der Ausbildung im Betrieb rechtfertigen (Richter 2001).

Weiterhin merkt Dubs (2000) an, dass es Wissensbereiche gibt, die fachsystematisch schneller erarbeitet werden können. Die Auseinandersetzung

Wissenschaftsorientierung kontra Handlungsorientierung wird von vielen weiteren Autoren (Nickolaus, Jenewein und andere) geführt und ist längst nicht geklärt. Auch der Diskurs zum Thema Lernfeldkonzept ist sehr komplex, da zeitgleich sowohl organisatorische als auch didaktische und ordnungspolitische Faktoren debattiert werden.

Bei aller Kritik sind sich doch die meisten Autoren einig, dass es insgesamt zu begrüßen ist, wenn der reine fächerorientierte Frontalunterricht zugunsten eines höheren Lebens- und Berufsbezugs abgeschafft oder wenigstens reduziert und so - durch den Erwerb systematischen, anwendungsfähigen und intelligenten Wissens - ein Beitrag zur Vorbereitung lebenslangen Lernens erbracht wird.

Dennoch sollten nicht alle bislang entwickelten, etablierten und erforschten Methoden, die sich nicht in das handlungsorientierte Leitbild einfügen, aufgegeben werden für eine Methode, für deren Wirksamkeit bisher kein einziger empirischer Befund vorliegt (Tenberg 2010, S. 5; Lipsmeier 2000a, S. 58 und 59).

Vielmehr sollte nach "Kombinationslösungen" gesucht werden (Dubs 2000, S. 31), traditionelle Prinzipien, wie das Wissenschaftsprinzip und die Projektorientierung könnten mit der Lernfeldorientierung kombiniert werden, wie bspw. beim Modell des integrierten Lernens mit der Verknüpfung von Wissenschafts- und Handlungsorientierung (Lipsmeier 2000a, S. 67). Lehrpläne sollten vielfältig gestaltet sein, Lernfeldorientierung kein Dogma. Zumal, wie Tenberg (2010) anmerkt, "Methodenmonismus - egal bei welcher Methode - zu einer Verschlechterung der Lernsituation und -leistungen führt" (ebd. S. 5).

Tulodziecki und Herzig (2010) schlagen folgende Gliederung eines handlungsorientierten Unterrichts vor:

- (1) "Aufgabenstellung, Sammeln und Problematisieren spontaner Lösungsvermutungen" (ebd. S. 228–229), wobei die Aufgabe bedeutsam sein sollte und einen angemessenen Grad der Komplexität besitzen sollte (Tulodziecki 2011),
- (2) "Zielvereinbarung" (Tulodziecki und Herzig 2010, S. 228–229) unter Beteiligung der Lernenden,
- (3) "Verständigung über das Vorgehen" (ebd.) mit den Lernenden,
- (4) "Erarbeitung von Grundlagen für die Aufgabenlösung" (ebd.),
- (5) "Durchführung der Aufgabenlösung" (ebd.),
- (6) "Vergleich von Lösungen und Zusammenfassung des Gelernten" (ebd.), hierbei sollen unterschiedliche Lösungen miteinander verglichen und im Anschluss gesammelt und beurteilt werden (Tulodziecki 2011).

- (7) "Einführen von Anwendungsaufgaben und deren Bearbeitung" (Tulodziecki und Herzig 2010, S. 228–229),
- (8) "Weiterführung und Reflexion des Gelernten und der Lernwege" (ebd.).

Erst wenn diese Voraussetzungen geklärt sind, kann darüber entschieden werden, ob und in welcher Form bzw. Funktion – im Hinblick auf die Zielsetzungen und Inhalte – die Simulation im Unterricht eingesetzt wird. Dafür sollte überprüft werden, welche Inhalte und Darstellungsformen (i.S.v. Sinnesmodalitäten/Codierungsarten und Modellfunktionen) im Einzelnen dargeboten werden und ob die Ziele damit erreicht werden können. Weiterhin muss überlegt werden, in welcher Phase des Unterrichts die Simulation integriert werden sollte und welche Sozialform am geeignetsten ist (Tulodziecki und Herzig 2010).

Im Folgenden sollen einige Aspekte der beschriebenen Konzepte, die für den Einsatz von Simulationen in der beruflichen Bildung der metall- und elektrotechnischen Berufe von besonderer Bedeutung sind, näher vorgestellt werden.

3.4. Aspekte mit besonderer Bedeutung für den Einsatz von Simulationen in der beruflichen Bildung der metall- und elektrotechnischen Berufe

Die zu den verschiedenen Zeiten dominierenden lernpsychologischen Paradigmen haben auch jeweils ihre Spuren bei den Lehr- und Lernformen mit Computerunterstützung hinterlassen. Schlagworte, die zurzeit beim Lernen mit Multimedia von Bedeutung sind, sind selbstorganisiertes Lernen, individuelle Lernumgebungen, virtuelle Lerngemeinschaften (Tulodziecki und Herzig 2010). Gleichwohl müssen in diesem Zusammenhang ebenso die Güte, die didaktische Konzeption und die jeweiligen Grundvoraussetzungen beurteilt und berücksichtigt werden (Härtel et al. 2002).

Das Lehren und Lernen mit Simulationen stützt sich in fach- und berufsdidaktischer Perspektive auf drei unterschiedliche Diskurse: den unterrichtstheoretischen einschließlich unterrichtsmethodischen (1), den kognitionspsychologischen (2) und den medientheoretischen Aspekt (3).

3.4.1. Unterrichtstheoretische bzw. fachdidaktische Perspektive

Es wird in den meisten Fällen nicht genügen, Lernende vor den Computer mit dem entsprechenden Simulationsprogramm zu setzen und sie "einfach mal machen zu lassen". Um Lerninhalte zu transportieren, müssen sie didaktisch aufbereitet werden. Didaktische Methoden sollen helfen, träges, nicht anwendbares Wissen zu

vermeiden und so nachhaltiges Lernen ermöglichen (Kerres 2012). Die unterrichtstheoretische und fachdidaktische Perspektive stellt Simulationen als Lehr- bzw. Lernmittel in den Vordergrund.

Aspekt der Didaktik

Nach Klafki (1994/2007) sollte Unterricht im Sinne folgender vier Unterrichtsprinzipien gestaltet werden: Exemplarisches Lehren und Lernen (1), Methodenorientiertes Lernen (2), Handlungsorientierter Unterricht (3), Verbindung von sachbezogenem und sozialem Lernen (4).

Dabei wird unter dem *Exemplarischen Lernen* ein "Bildendes Lernen, das die Selbständigkeit des Lernenden fördert, also zu weiterwirkenden Erkenntnissen, Fähigkeiten, Einstellungen führt", verstanden (Klafki 2007, S. 143). Die Lernenden sollen keine "Einzelkenntnisse, -fähigkeiten und -fertigkeiten" reproduzieren, sondern an "ausgewählten Beispielen [...] verallgemeinerbare Kenntnisse, Fähigkeiten, Einstellungen" erwerben (ebd.). Intention ist dabei, Lernenden ein selbstständiges Lernen zu ermöglichen, jenseits von reiner Wissensvermittlung. Dies ist jedoch nur dann erreichbar, wenn das Lehr-Lern-Arrangement einerseits an den Voraussetzungen der Lernenden orientiert ist und es andererseits so gestaltet ist, dass von Lernenden die selbstständige Erarbeitung auch gefordert und gefördert wird. Exemplarisches Lernen bedeutet aber nicht, dass die in dieser Arbeitsweise erworbenen Kenntnisse nur an einem Beispiel gelernt werden sollen. Wichtig in diesem Zusammenhang ist: Auch hier sind "Übung, Wiederholung, Anwendung" und "Erprobung" notwendig (ebd. S. 155). Durch die Wiederholung tritt nicht nur eine Verfestigung des Erlernten ein, sondern gleichzeitig erfahren die Lernenden, dass die beispielhaft erworbenen Methoden und Praktiken auch bei der Erarbeitung neuer Fragestellungen hilfreich und sinnvoll sind (Klafki 2007, S. 155).

Dabei betont Klafki, dass für das exemplarische Lernen ein wichtiger Faktor die Auseinandersetzung mit der Realität ist. Für die Auseinandersetzung mit der Realität sieht er in Anlehnung an Bruner (1974) drei Möglichkeiten: durch das Handeln, Forschen und Ausprobieren in der Realität, wobei nach Bruner die *enaktive* (motorische, handelnde) Repräsentation aktiviert wird durch Bilder und anschauliche Darstellungen, wobei nach Bruner die *ikonische* Repräsentation aktiviert wird, die dazu beitragen kann, Zusammenhänge zu erfassen durch abstrakte Begriffe, Sprache, theoretische Ausführungen, Zeichen, nach Bruner die *symbolische* Repräsentation (Klafki 2007, S. 157).

In diesem Zusammenhang können Simulationen zu jeder Ebene einen Beitrag leisten: Sie ermöglichen es, Eigenschaften und Möglichkeiten der jeweils simulierten Gegenstandswelt zu explorieren und zu erproben und können motorische Aktivitäten und Leistungen erfordern und damit die enaktive

Repräsentation aktivieren. Sie liefern Bilder, Animationen, anschauliche Darstellungen und anderes Anschauungsmaterial und aktivieren so die ikonische Repräsentation. Daneben können Simulationen sprachliche Elemente beinhalten oder Schemata und auch symbolische Darstellungen, was zur Aktivierung der symbolischen Repräsentation führt (Kiel 2008).

Methodenorientiertes Lernen meint den Erwerb von auf unterschiedliche Probleme und Aufgaben anwendbare Lern- und Erkenntnisstrategien sowie ihrer Umsetzung bzw. Übertragung in die Praxis.

Mit *Handlungsorientiertem Unterricht* (s. auch 3.3) meint Klafki insbesondere die Verbindung "praktischen Tuns und Herstellens" (Klafki 2007, S. 68) aber auch die reflexive Aufarbeitung und den Einstieg in die "Verallgemeinerung des Erfahrenen" und den "Entwurf weiterführender Perspektiven" (ebd.). Werden dabei für die Lernenden als bedeutsam empfundene Probleme berücksichtigt und "als sinnlich vermittelte Aktivitätsform[en]" (ebd.) genutzt, sieht Klafki gleichzeitig eine Möglichkeit, dem Nachlassen an Motivation etwas entgegenzusetzen. Darüber hinaus nähern sich über handlungsorientierten Unterricht die Lernorte Berufsschule und Ausbildungsbetrieb resp. Berufswelt einander an.

Unter der *Verbindung von sachbezogenem und sozialem Lernen* ist sowohl das kooperierende Lernen in Gruppen- oder Partnerarbeit zu verstehen, als auch das Wissen, wie Mitschüler bei Problemen im Lernprozess unterstützt werden können, das Beherrschen von Strategien zur Bewältigung von Konflikten und die Argumentations- und Diskussionsfähigkeit (Klafki 2007).

Im Unterschied zu den allgemeinen Fachdidaktiken (d.h. den Fachdidaktiken der allgemeinbildenden Fächer), die über einen Bezug zu einem naturwissenschaftlichen Fachgebiet verfügen, stehen die beruflich-technischen Fachdidaktiken im Zusammenhang mit einer ingenieurwissenschaftlichen Disziplin (Tenberg 2011). Für diese Arbeit von Bedeutung ist einerseits die Fachdidaktik der Metall- und Elektrotechnik, die sich auf die Aneignung domänenspezifischer Kenntnisse bezieht. Weiterhin die Berufsdidaktik, die sich mit der Herausbildung beruflicher Kompetenzen in den jeweiligen Ausbildungsberufen beschäftigt, somit insbesondere der Lernfeldunterricht.

Tenberg (2011) formuliert für den Erwerb von fachlich-methodischer Berufskompetenz²⁰ aus den bisherigen Erkenntnissen der (Berufs-)Bildungsforschung folgende Ergebnisse: Der Erwerb fachlich-methodischer Berufskompetenzen

²⁰ Tenberg verwendet hier den Begriff der Berufskompetenz. Damit berücksichtigt er nicht die aus den historischen, soziologischen, systemtheoretischen und bildungstheoretischen Perspektiven geführte Debatte (vgl. Lipsmeier 2000b, Arnold, Gonon 2006, Rauner 2007, Schütte 2013), um die "Entberuflichung" (bspw. Kutscha 1992, Severing 2001) bzw. um die Erosion des Begriffs "Beruf als jene spezifische Verbindung von (Berufs-)Fachlichkeit und sozialer Orientierung und Integration, welche die deutsche Tradition der Berufskategorie ausmacht" (Baethge, Baethge-Kinsky 1998, S. 461).

vollziehe sich durch selbstständige, individuelle Konstruktionsprozesse mit individuellen Ergebnissen, bedingt durch eigene Erfahrungen der Lernenden und bereits vorhandenes Wissen. Da der Konstruktionsprozess auf vorhandenem Wissen und Vorerfahrungen beruht, müssten diese in den Fokus gerückt werden. Defizite, Falschauffassungen und Fehlvorstellungen könnten sonst den Wissenserwerb beeinträchtigen. Vorwissen müsste aktiviert und analysiert werden, da nur so neues Wissen in die Vorkenntnisse integriert werden könne und eventuell vorhandene Fehlvorstellungen korrigiert werden können. Um ein reiches und breites semantisches Wissensnetzwerk aufzubauen, seien mehrdimensionale Lehr-Lern-Arrangements erforderlich, wie beispielsweise Arrangements mit entdeckendem und problemlösendem Lernen, da diese Lernformen den kontextbezogenen Wissenserwerb fördern können. Neu erworbenes Wissen müsse gefestigt, flexibilisiert und in vielfältige Repräsentationen überführt werden. Das Gelernte müsse dekontextualisiert werden und die Lernprozesse sowie die Lösungswege sollten sich vergegenwärtigt werden. Die Entwicklung gezielter Lernstrategien bei den Lernenden, die Vermittlung von Techniken, ihr Lernen zu verstehen und auch bei Bedarf zu korrigieren, d.h. metakognitive Prozesse, sollten gezielt vermittelt und gefördert werden. Für die Aneignung fachlich-methodischer Berufskompetenzen seien vollständige Handlungen, dementsprechend die Einbeziehung aller maßgeblichen kognitiven und psychomotorischen Prozesse, unabdingbar. Aus diesem Grund sieht Tenberg die Trennung in zwei unterschiedliche Lernorte kritisch.

Darüber hinaus sind sowohl Quantität als auch Qualität der Kommunikation, der Wissensdrang und das Engagement der Lernenden, ihre generelle Einstellung zum Lernen und ein positives Selbstbild sowie eine angemessene und ansprechende, freundliche Lernbegleitung für den Lernprozess von erheblicher Bedeutung (Tenberg 2011).

Abhängig von ihrer Gestaltung bieten Simulationen die Möglichkeit, in einem komplexen Handlungsrahmen eingebettet, vollständige Handlungen zu vollführen, Handlungsalternativen zu finden und zu bewerten. Lernende können eigenverantwortlich am Computer arbeiten, nach dem eigenen Lerntempo Strukturen und Sinnzusammenhänge ermitteln und entwickeln und so Lernprozesse gestalten (Urhahne et al. 2000). Lernenden wird ermöglicht, eigene Erkenntnisse in einem Kontext ganzheitlich zu erarbeiten und so eigene Schlüsse zu ziehen und in die eigene Erfahrungswelt einzubauen. Dadurch kann Wissen in einem aktiven Konstruktionsprozess vom Lernenden generiert werden (situiertes Lernen). Zur Flexibilisierung neu erworbenen Wissens und der Überführung in multiple Repräsentationen können Simulationen beitragen, da sie durch multimodale Präsentation eine multicodale Repräsentation des Wissens fördern können. Auf diese Weise können die Forderungen der KMK erfüllt werden und ein Beitrag dazu

geleistet werden, die von Tenberg (2010) festgestellten Probleme der didaktischen und methodischen Umsetzung der Lernfeldlehrpläne zu beheben. Dies ist mit traditionellen (konventionellen) Lehr- und Lernmitteln in der metall- und elektrotechnischen Berufsbildung nicht immer möglich (Siemon 2006).

Positive mediale Beispiele hierfür sind bereits etablierte Simulationsprogramme aus dem Bereich der CNC-Technik, der Elektronik und der Automatisierungstechnik.

Weiterhin spielen auch die im nächsten Abschnitt folgenden Aspekte der Mediendidaktik, die sich mit der Funktion und Relevanz von Medien in Lehr-Lernprozessen befassen, eine Rolle.

Mediendidaktik

Die Mediendidaktik ist ein Teilgebiet der Medienpädagogik. Eine weitere Teildisziplin ist die Medienerziehung.

Während sich die Medienpädagogik vorrangig mit den "erziehlichen und bildenden" (Baacke 2002, S. 2800) Aspekten von Medien jeder Kategorie beschäftigt, behandelt die Mediendidaktik die Relevanz, Implikation und Funktion von Medien in Lehr-Lernprozessen und die Medienerziehung den "Medienkonsum" sowie den "kritischen Umgang mit Medienangeboten" (Kerres 2012, S. 37), dabei werden sowohl analoge Medien, wie Texte und Bücher, als auch digitale Medien einbezogen. Im Rahmen dieser Arbeit spielt die Medienerziehung eine untergeordnete Rolle.

Die Mediendidaktik basiert auf externen Theorien, wie der Kybernetik, Medientaxonomien, dem Behaviorismus, Kognitionstheorien und konstruktivistischen Theorien (Kron und Sofos 2003, S. 53).

Die lerntheoretischen Grundlagen, auf die sich die Mediendidaktik bezieht, sind naturgemäß dieselben, auf die sich auch die allgemeine Didaktik und die Fachdidaktiken beziehen und bereits in früheren Abschnitten behandelt wurden bzw. nachfolgend noch behandelt werden. Die meisten Mediendidaktiker sind sich inzwischen einig, dass sich die Verwendung von Medien an den Leitgedanken für Erziehung und Bildung orientieren muss (vgl. bspw. Tulodziecki 1994; 2002, Kerres 2008; 2012). Dementsprechend sind auch die Gestaltungsempfehlungen für Unterricht mit Medien dieselben und sind unter diesem Abschnitt nur kurz zusammenfassend erwähnt.

Die Rolle von Medien sehen Mediendidaktiker heutzutage genau wie die meisten anderen Bildungswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler vorrangig als ein Baustein einer Vielzahl unterschiedlicher Bausteine in einem Lehr-Lern-Arrangement, für das die Voraussetzungen (das "didaktische Feld" Kerres 2008, S. 120) wie Zielgruppe, Lernziel, Methode etc. geklärt werden müssen (ebd.).

Kerres (1999; 2012) führt im Zusammenhang mit Mediendidaktik den Begriff der Gestaltungsorientierung ein. Sie beschäftigt sich damit, wie mediale Umgebungen lernwirksam konzipiert werden können, d.h., wie Lehr-Lern-Arrangements mit Medien gestaltet werden sollten, damit sie eine lernförderliche Wirkung erzielen. Eng damit verbunden sieht Kerres die Handlungsorientierung mit der Bedeutung, Lernende beim Lernen mit Medien zu unterstützen. Dabei geht es ausschließlich um die pädagogische Sicht, technische oder ästhetische Faktoren spielen keine Rolle. Das Kriterium für den Einsatz von Medien ist deshalb, welchen Beitrag das Medium leistet, Lehr-Lern-Prozesse effektiver zu gestalten und das Lernziel zu erreichen. Als wichtigste Faktoren sieht Kerres daher:

- "Begründung und Funktion des Medieneinsatzes im Bildungskontext: Begründungsmuster für den Einsatz von Bildungsmedien, Abschätzung von Kosten und Nutzen, Prüfung der Machbarkeit
- Analyse der Akteure (einschließlich der Zielgruppe der Lernenden) und Lernsituation: Konstellation der Akteure und Merkmale der Zielgruppe
- Spezifikation der Lehrinhalte sowie der Projekt- und Lehrziele des Lernangebots: Inhalts- und Ergebniskomponente von Lehrzielen, Kommunikations- und Projektziele
- Auswahl der didaktischen Methode: expositorisch und explorativ strukturierte Methoden sowie problembasierte und kooperative Methoden
- Planung der Lernorganisation: zeitlich-räumliche sowie soziale Organisation des Lernens" (Kerres 2012, S. 67–68).

Für die Beurteilung von Erkenntnissen außerhalb des deutschsprachigen Raumes weist Kerres (2012) darauf hin, dass außerhalb des deutschsprachigen Raumes die Begriffe Didaktik und Bildung nicht gebräuchlich sind, sondern der Terminus Instruktionsdesign (instructional design). Die Unterschiede sind nicht nur begrifflicher Natur. Während bei der Didaktik meist eher das schulische Lernen, mit der Betonung curricularer Fragen der Lehrinhalte und -ziele im Zentrum des Interesses stehen - vor dem Hintergrund der Lehrerbildung - ist beim Instruktionsdesign vor allem der Aspekt der Vermittlung von Bedeutung. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Lehrmethodik von der Art des Inhalts abhängig ist. Die Mediendidaktik hat enge Bezüge zum Instruktionsdesign.

Modellfunktionen

Simulationen bedienen (wie schon auf S. 16f erwähnt) unterschiedliche Zielebenen resp. spezifische "Modellfunktionen" (Fäßler 2000; Buddensiek et al. 1980). Nicht

alle Modellfunktionen sind für die Berufliche Bildung von gleicher Bedeutung, sondern korrespondieren mit dem gewählten Unterrichtskonzept sowie der Planung von Lern- und Arbeitsaufgabentypen. Sechs sind in diesem Kontext von curricularer und fachdidaktischer Bedeutung. Modelle und Simulation können demnach eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion (1), eine Trainings- (2), Ersatz- (3), Steuerungs- (4) und Prognosefunktion (5) sowie eine Kontroll-/Evaluationsfunktion (6) übernehmen.

Durch die Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion können unklare Konzeptionen und Funktionen realer Zusammenhänge nachvollziehbar gemacht werden wie z.B. die Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen produktionstechnischer Anlagen. Die Trainingsfunktion erlaubt den Lernenden, mit berufsfachlicher Interaktion bspw. bei der Programmierung von Anlagensteuerungen schrittweise vertraut zu werden. Als Ersatzfunktion kann die Simulation dienen, wenn das Original nicht verfügbar oder seine Verwendung für Ausbildungszwecke zu riskant oder aufwendig ist. Die Kontroll-, Evaluations- und Steuerungsfunktion ermöglicht den Lernenden, Lernfortschritte zu beurteilen und individuell zu steuern, während die Prognosefunktion die Möglichkeit eröffnet, unterschiedliche Szenarien und/oder technische Alternativen auszuprobieren sowie fachliche Werturteile i.S. von Technikfolgenabschätzung zu diskutieren.

So könnte bspw. ein EMV-Simulationsprogramm dafür genutzt werden, angehenden Elektronikerinnen und Elektronikern die EMV-Wirkung der Türsteuerung eines Kraftfahrzeuges zu illustrieren (s. Abbildung 16). Dies ist von Bedeutung, da mit zunehmender Anzahl von elektronischen Geräten in Kraftfahrzeugen die gegenseitige elektromagnetische Beeinflussung eine immer größere Rolle spielt und sicherheitsrelevante Bauteile wie z.B. der Airbag nicht durch Türsteuerung gestört werden sollten. Die Simulation würde in diesem Fall eine Deskriptionsfunktion übernehmen.

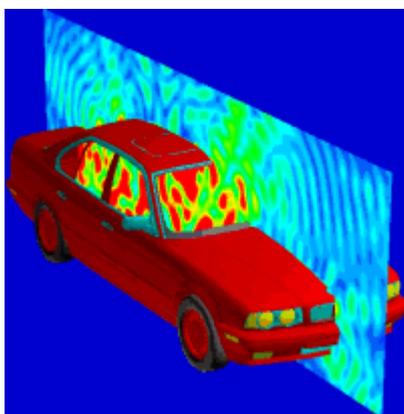


Abbildung 16: EMV Emissionsuntersuchungen für Türsteuergeräte (Industriehansa 2012)

Angehenden Technikerinnen und Technikern kann mit Hilfe von Bildern aus Schmiedesimulationen die Bedeutung der Regeln für schmiedegerechtes Gestalten vermittelt werden (Abbildung 17 und Abbildung 18). Auch hier übernimmt die Simulation eine Deskriptionsfunktion.

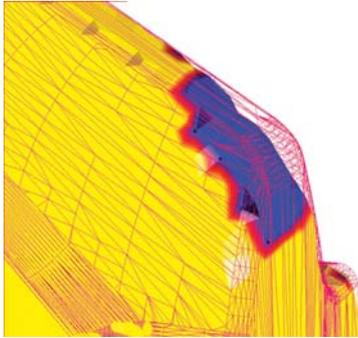


Abbildung 17: Fehler aufgrund fehlenden Materials oder ungünstiger Gesenkform (Bernhardt 2006, S. 28)

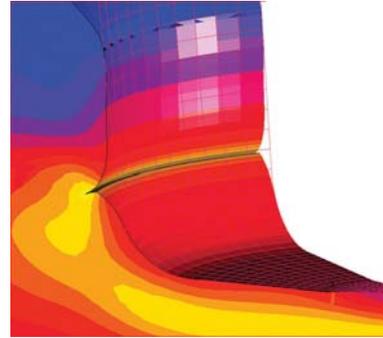


Abbildung 18: Überlappung durch fehlerhafte Form der vorherigen Arbeitsstufe(n) (Bernhardt 2006, S. 28)

Eine Trainingsfunktion übernimmt die Simulation, wenn bspw. Produktionstechnologinnen und -technologe die Programmierung von Industrierobotern oder das Planen und Einrichten von Produktionsanlagen mithilfe der Robotersimulationen erlernen (s. Abbildung 10, S. 42) oder wenn Elektronikerinnen und Elektroniker mithilfe entsprechender Simulationen PCB (Leiterplatten) oder Kabelbäume layouten und die elektromagnetische Verträglichkeit überprüfen (s. Abbildung 19).

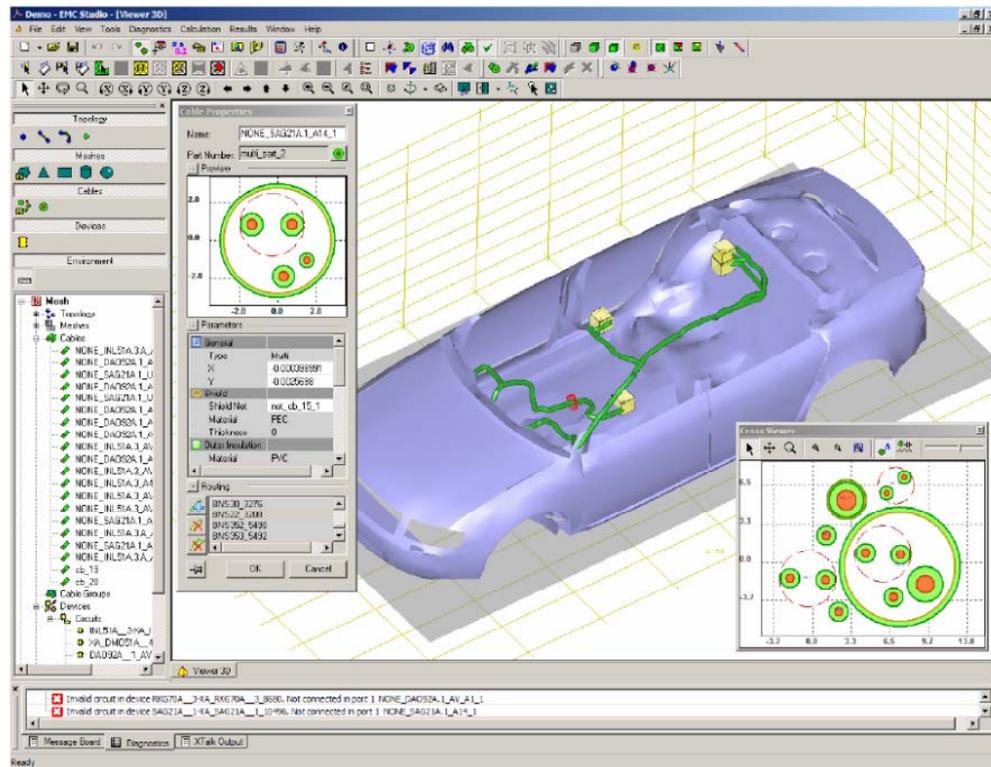


Abbildung 19: Benutzeroberfläche eines EMV-Simulationsprogramms mit Kfz-Modell und Kabelbaum (EMCStudio, Emscos 2012)

Auch die vielfach schon in der beruflichen Bildung verwendete CNC-Simulation übernimmt eine Trainingsfunktion, wenn mit ihrer Hilfe das Programmieren von CNC-Maschinen erlernt bzw. geübt wird.

Kusch (1992) kam für den Bereich der CNC-Ausbildung in seiner Untersuchung zu dem Fazit, dass das Erlernen der Programmierung komplizierter Teile mit Simulationen zu besseren Ergebnissen führt, als die Ausbildung an der Werkzeugmaschine. Die Simulation bietet bei der CNC-Ausbildung den Vorteil, dass das Programm zunächst überprüft werden kann und die Auszubildenden visuelle Rückmeldung über die Qualität ihres Programms bekommen. Kusch stellt weiterhin eine höhere Motivation bezüglich der Weiterbildung an der CNC-Maschine fest (nach Weber 1994).

Die Ersatzfunktion ist vor allem dort von Bedeutung, wo aufwendige oder gefährliche Versuche, die im Rahmen der Berufsschule so nicht durchgeführt werden können. Es ist bspw. (meist) nicht möglich, (mehrere) Gießversuche im Unterricht durchzuführen. Gießsimulationen können als Ersatz dienen. So könnten Animationen, die mithilfe eines Gießsimulationsprogramms erstellt wurden, angehenden Gießereimechanikerinnen und -mechanikern die Einflüsse der Position des Bauteils im Gießsystem auf das Gefüge des Bauteils verdeutlichen, wie bereits in Kapitel 2.4.2 erläutert. Auch die Auswirkungen durch die Abstände bei der

Belegung einer Modellplatte auf die Bauteile wie Temperaturverteilung, Eigenspannungen und Verzug könnten so veranschaulicht werden (Sturm et al. 2004) (s. Abbildung 20).

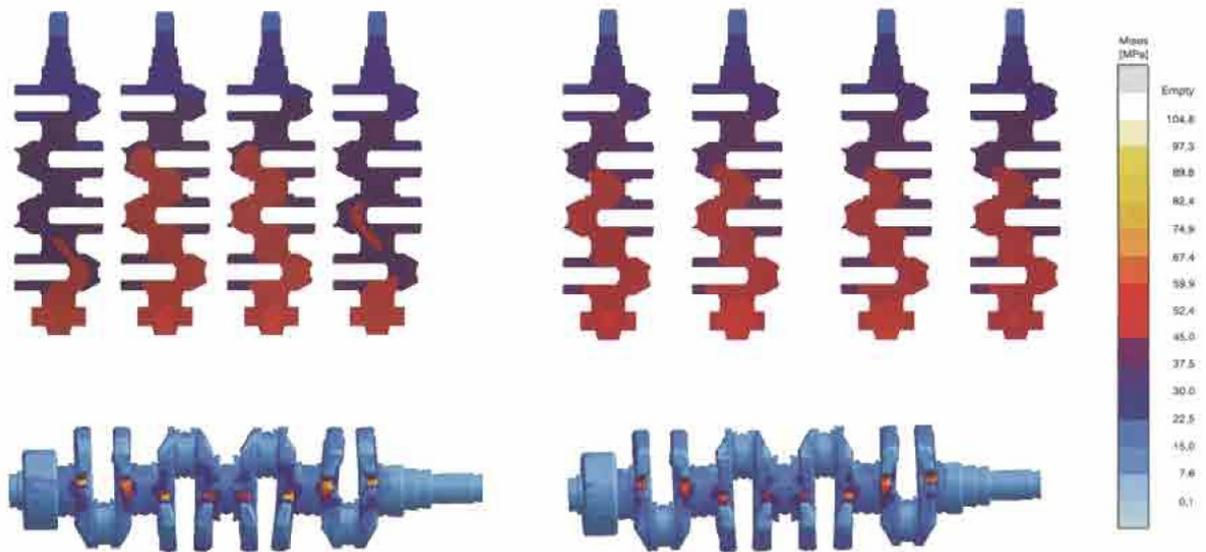


Abbildung 20: Unterschiede in Temperaturverteilung, Eigenspannungskonzentration und Verzug bei enger Plattenbelegung (li.) bzw. weiter Belegung (re.) (Sturm et al. 2004, S. 12)

Die Antizipations- bzw. Prognosefunktion ermöglicht es den Lernenden, alternative Strategien zu erproben und befähigt sie so, Vorhersagen über Auswirkungen - bspw. von Bauteilkonfigurationen - zu treffen. Im Bereich der Elektronik werden die Geräte wie Computer, Steuergeräte oder auch Mobiltelefone stetig kleiner und sollen aber gleichzeitig einen beständig steigenden Funktionsumfang bieten. Das bedeutet, dass die Anzahl der Komponenten steigt, während der Bauraum immer kleiner wird. Die Kühlung dieser Geräte wird kontinuierlich schwieriger. Mithilfe der Simulation können auszubildende Elektronikerinnen und Elektroniker Strömungen und Wärmeübertragung in den Systemen mit unterschiedlichen Konfigurationen analysieren (s. Abbildung 9, S. 41).

Unterrichtskonzepte

Bei der Anwendung von Computerprogrammen greifen Lehrkräfte oft auf die Konzepte und Arbeitsunterlagen zurück, die sie bei ihren Software-Schulungen erhalten haben oder die den Programmen beigelegt sind. Viele Arbeitsunterlagen zu den Programmen sind nach sachlogischen Maßstäben strukturiert, die den Lehrstoff in Teilbereiche aufgliedern, die jeweils gesondert theoretisch vertieft werden. Theorie und Praxis sind getrennt. So werden beispielsweise bei der Einführung in die CNC-Programmierung typischerweise zunächst erst einmal

theoretisch die verschiedenen CNC-Werkzeugmaschinen erarbeitet, im Anschluss die verschiedenen Steuerungen, technologische und geometrische Grundlagen, die NC-Programmierung etc. Der Gesamtzusammenhang wird erst im Anschluss durch die Kombination der Teilbereiche und -tätigkeiten geschaffen (Krogoll et al. 1988).

Simulationen haben in der beruflichen Bildung in einigen Bereichen längst Tradition. Jedoch gibt es kaum didaktische Konzepte. Ebenfalls existieren nur in geringem Maße Befunde zur didaktischen Effektivität von Computersimulationen, die auf unterrichtsbezogenen Fallstudien im berufsbildenden Bereich basieren (Müller und Steenbock 1997). Hervorzuheben ist einzig das Projekt CLAUS ("CNC Lernen, Arbeit und Sprache") von Krogoll et al. (1988), das aber für den Bereich der Weiterbildung und nicht für den berufsbildenden Unterricht konzipiert wurde. Dessen Lernaufgabenkonzept mit seiner tätigkeitsorientierten Aneignungslogik lässt sich dennoch teilweise auf andere Lernsituationen übertragen, bei denen die Simulation eine Trainingsfunktion übernimmt. Es werden nur die theoretischen Kenntnisse vermittelt, die unmittelbar benötigt werden, um das jeweilige Werkstück zu fertigen. Dadurch erhalten die Kenntnisse einen praxisnahen Kontext und das Gelernte kann systematisiert aufgenommen werden.

So beinhaltet bspw. die erste Lernaufgabe (Sticheln von Geraden) das Lesen von Zeichnungen, die Bestimmung von Konturelementen, die Geradendefinition, das Koordinatensystem, Absolutmaße, Achsbewegungen und die G-Funktionen für Gerade und Eilgang. Auf diese Weise kann am ersten Unterrichtstag (oder im darauf folgenden) schon ein einfaches Programm für ein gesticheltes ("eckiges") Fußballpiktogramm geschrieben werden (Krogoll et al. 1988).

Wesentliches Instrument der mentalen Strukturierung ist beim CLAUS-Konzept die Sprache. So sollen Lernende beim Auftreten von Problemen die Tätigkeit verbalisieren. Zusätzlich sollen die Lernenden in "Handlungsbegründungen" ihre Lösungsschritte begründen und erläutern. Weiterhin werden Regeln mit Verfahrensvorschriften formuliert. Einige Sachverhalte oder auch Arbeitstätigkeiten werden anhand von Videofilmen dargestellt (Krogoll et al. 1988; Weber 1994, S. 218).

Es wird deutlich, dass eine solche Herangehensweise verlangt, dass der oder die Lehrende Experte bzw. Expertin auf verschiedenen Gebieten ist, da bei der Erstellung von Aufgaben sowohl die fachlichen Grundlagen bekannt sein müssen als auch eine gewisse Erfahrung in der Entwicklung von Aufgabenstellungen. Er bzw. sie muss einschätzen können, welche Fähigkeiten für die entsprechende Aufgabe benötigt werden, ob diese Fähigkeiten in dem vorgesehenen Zeitrahmen erworben werden können und welche Schwierigkeiten auftreten können. Besonders für die ersten Lernaufgaben ist es schwierig, konkrete Aufgabenstellungen zu finden, die die Lernenden nicht über aber auch nicht unterfordern und trotzdem alle

ausschlaggebenden Eigenschaften eines CNC-Programms enthalten und ein erleb- oder sichtbares Ergebnis liefern.

Dieser Ansatz lässt sich jedoch nicht auf alle Simulationen oder ihre Modellfunktionen übertragen.

Wie jeder andere Unterricht erfordert also auch Unterricht mit Simulationen intensive Vorbereitung. Zunächst sollten die Ziele des Unterrichts geklärt werden, der inhaltliche Kern, auf den der Unterricht abzielt (Tulodziecki und Herzig 2010). Maßgebend sind Kompetenzstand und -profil der Lernenden. Danach sollte überlegt werden, wie die Inhalte lernwirksam aufbereitet werden, welche "Lernaktivitäten" (ebd. S. 225) für die Erreichung der Lernziele erforderlich sind, wie der oder die Lehrende diese Aktivitäten initiieren und fördern kann, also vor allem das methodische Design der Lehr-Lern-Arrangements. Ebenso muss entschieden werden, in welchen Sozialformen sich der Unterricht vollziehen soll (Tulodziecki und Herzig 2010; Siemon 2006).

Im Zusammenhang mit Simulationen ist eins der Hauptprobleme von Lehrern, einen Satz an Strategien zu entwickeln, die den besten Lernerfolg bei allen Schülern haben (Gibson 2009). Dies ist darauf zurückzuführen, dass es verschiedene Typen von Lernern gibt, die nicht gleichermaßen von den verschiedenen didaktischen Elementen angesprochen werden. Honey und Mumford (1982) unterscheiden hierbei die "Aktivisten" (Activists), die am liebsten sofort alles ausprobieren, deren Aufmerksamkeit sich aber nicht lange auf ein Thema richtet, die "Reflexiven" (Reflectors), die Situationen von verschiedenen Perspektiven beleuchten und lieber beobachten, als selbst zu handeln, die "Theoretiker" (Theorists), die zunächst Daten sammeln, um sie dann in komplexe Theorien einzubetten, und die "Pragmatiker" (Pragmatists), die besonders daran interessiert sind, wie das Gelernte praxisbezogen umgesetzt werden kann (nach Badke-Schaub et al. 2008, S. 296-297). Folglich ist es schwierig Unterricht so zu gestalten, dass jeder Lernertyp davon profitieren kann.

Es hat sich gezeigt, dass die Verwendung von Computern effektiver ist, wenn Lernende vorher in die Verwendung des Computers als Lehr-Lern-Werkzeug eingewiesen werden und Lehrende ihnen beratend zur Seite stehen (Hattie 2009). Denn für das Lernen mit "Neuen" Medien werden Kompetenzen benötigt, die im herkömmlichen Unterricht so bisher noch nicht vermittelt wurden. Für effektives Lernen mit Simulationen sind Lernhilfen bzw. "instruktionale Unterstützung" (Urhahne und Harms 2006, S. 358) – entweder im Programm implementiert oder durch Lehrende – erforderlich (Blömeke 2003).

Auch entdeckendes Lernen mit Simulationsprogrammen erzielt meist nicht das angestrebte Lernergebnis (Urhahne und Harms 2006, S. 358).

Urhahne und Harms (2006) unterscheiden in Bezug auf das entdeckende Lernen drei verschiedene Maßnahmen der instruktionalen Unterstützung, die aber sicherlich auch allgemein auf das Lernen mit Simulation bezogen werden können. Sie stützen sich dabei auf eine Arbeit von Zhang et al. (2004). Die Maßnahmen sind nach ihrem Einsatzzeitpunkt, d.h. vor, während oder nach der Interaktion mit der Simulation, differenziert. Vor dem Einsatz können interpretative Maßnahmen wie bspw. konkrete Aufgabenstellungen, Fragen und Beispiele mit ausgearbeiteten Lösungen bei der Einarbeitung in die jeweiligen Simulationsprogramme helfen. Während der Benutzung der Simulation können dauerhaft bereitgestellte Hintergrundinformationen, unabhängig vom Computer, hilfreich sein. Urhahne und Harms weisen jedoch auch darauf hin, dass ein Übermaß an Unterstützung eine kognitive Überlastung der Lernenden zur Folge haben könnte. Diese Überlastung kann verhindert werden, wenn das Programm schrittweise eingeführt wird, bzw. die Lernenden durch das Programm geführt werden. Nach der Interaktion mit der Simulation können ein gezieltes Feedback des Programms, reflektierende Informationen und Arbeitsaufträge als Unterstützung zur Verbesserung des Lernerfolgs beitragen (Urhahne und Harms 2006).

Welche weiteren instruktionalen Maßnahmen können das Lernen mit Multimedia unterstützen? Gagné (1985) hat neun Ereignisse zusammengestellt, die zum Lernerfolg beitragen können (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Modell zur Sequenzierung von Lernangeboten: Instruktionale Ereignisse nach Gagné (zit. nach Kerres 1999, S. 14)

	Aktivität des Lehrenden	Aktivität des Lernenden
1	Aufmerksamkeit erzielen	Konzentration mobilisieren
2	Lehrziele mitteilen	Realistische Erwartung über Lernergebnis aufbauen
3	An Vorwissen anknüpfen	Langzeitgedächtnis aktivieren
4	Lernmaterial präsentieren	Lernmaterial wahrnehmen
5	Lernhilfen anbieten	Übernahme in Langzeitgedächtnis durch semantische Encodierung fördern
6	Gelerntes anwenden	Rückschlüsse auf Lernergebnis ermöglichen
7	Rückmeldung geben	Diagnostische Information und Verstärkung geben
8	Leistung testen	Hinweise zur Verfügung haben, die bei der Erinnerung benötigt werden
9	Behaltensleistung und Lerntransfer fördern	Leistung in neuen Situationen erproben

Zu bemängeln ist hier jedoch einerseits die Häufigkeit der Tests und andererseits, dass die Abfolge, unabhängig vom didaktischen Rahmen, vom Kompetenzstand und -profil der Lernenden und den Unterrichtsvorhaben, immer gleich ist (Kerres 2012). Dennoch, so Kerres (1999), kann es für bestimmte Lernende und Lerngruppen und auch Ziele und Unterrichtsinhalte durchaus sinnvoll sein, ein stärker sequenziertes Lehr-Lern-Arrangement zu planen.

Der neunte Schritt (Behaltensleistung und Lerntransfer fördern) hat eine besondere Bedeutung für die Berufliche Bildung, da mit diesem Schritt gewährleistet werden soll, dass das erlernte Wissen auch auf berufliche Situationen anwendbar wird. Dennoch kann kritisiert werden, dass hierfür ein gesonderter Vorgang notwendig ist. Aus der Perspektive situierter Ansätze sollte die Anwendung Teil der Aneignungsphase sein (Kerres 2001).

Vorteile bringt die Arbeit mit dem Computer besonders dann, wenn er als Ergänzung zum Unterricht verwendet wird und nicht als Ersatz für Unterricht durch eine Lehrperson. Ebenfalls steigert die Vielfalt von Lehrstrategien die Effektivität von Computerlernen. Überhaupt sollte die Rolle des Lehrers für den Lernprozess nicht unterschätzt werden (Hattie 2009).

Es profitieren nämlich nicht alle in gleicher Weise von computergestütztem Lernen. Besonders Lernende mit schlechten Lernvoraussetzungen leiden unter der sozialen Isolation und benötigen instruktionale Unterstützung. Deshalb schlagen z.B. Mandl et al. (2002) vor, dass der Lernende nicht allein vor dem Computer lernen sollte, sondern sich sein Wissen in Gruppen unter Nutzung von Hilfsmitteln und unter Berücksichtigung der Anwendungsbedingungen von Wissen erarbeitet.

Andererseits legt Blömeke dar, dass es beim Lernen mit Simulationen in Gruppen "zu kognitiver Überlastung kommen" kann (Blömeke 2003, S. 73), da zu dem Umgang mit komplexen Simulationen auch noch die Abstimmung der eigenen Lernanstrengungen mit denen der anderen Gruppenmitglieder hinzu kommt (vgl. Schnotz et al. 1998). Hier zeigt sich im Umgang mit "Neuen" Lehr- und Lernmitteln ein ernstes Problem: Die Lernenden müssen sich die soziale Interaktion, Teamarbeit und die selbst gesteuerte Erarbeitung von Unterrichtsinhalten erst schrittweise aneignen. Gleichzeitig müssen sie sich mit den Medien und den entsprechenden Programmen vertraut machen.

Kopp et al (2008) schlagen deshalb vor, dass sich kollaborative Phasen, in denen die Lernenden instruktionale Unterstützung erhalten, mit Phasen des Selbstlernens abwechseln.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für Simulationen wie auch für das Lernen mit Multimedia dieselben Aussagen gültig sind, die auch für die didaktische Forschung vorliegen, "nämlich dass aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge allein im Dreieck Lernziel, Lehrmethode und Lernvoraussetzungen und der damit verbundenen Begrenztheit in der Kontrolle der intervenierenden Variablen 'nur' Orientierungsaussagen möglich erscheinen" (Euler et al. 2006, S. 443). Weiterhin berücksichtigen Simulationen weder die institutionellen Rahmenbedingungen der Berufsbildung noch deren pädagogische Zielsetzungen hinsichtlich des Erwerbs von Sozial-, Methoden-, Personal- und Fachkompetenzen. Ein letzter Punkt zielt auf die Lehrenden und deren Bereitschaft zu Veränderungen hinsichtlich des Umgangs mit neuen Lehr-Lern-Arrangements bzw. Neuen Medien (Euler et al. 2006).

Krogoll et al. (1988) weisen darauf hin, dass die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für rechnergestützten Unterricht generell problematisch ist, da Software-Updates, die teilweise innerhalb von sehr kurzen Zeiträumen auftreten, dazu führen können, dass sich Bildschirmmasken ändern und dadurch evtl. auch Kommunikationsalgorithmen, aber teilweise sogar Verarbeitungsalgorithmen ändern. Dadurch ist das Unterrichtsmaterial, das sich auf die Bedienung des Programms bezieht, oft unbrauchbar. Sie schlagen deshalb vor, den Fokus auf die Vermittlung grundsätzlicher Fähigkeiten zu setzen.

Dazu kommt noch die Schwierigkeit für die Schulen, geeignete Rechner zur Verfügung zu stellen, die instand gehalten und deren Software regelmäßig upgedatet werden muss. Dafür steht an vielen Schulen keine ausreichende Infrastruktur – räumlich und auch personell – zur Verfügung. Weiterhin weisen Albers et al. (2011) darauf hin, dass sehr viele Lehrkräfte wenige oder gar keine mediendidaktische Kompetenz aufweisen (s. folgenden Abschnitt).

Ein weiterer Punkt, der Berücksichtigung finden muss, ist, dass bei den Lehrenden die Bereitschaft und auch die Fähigkeit zu Veränderungen hinsichtlich neuer Lehr-Lern-Arrangements sehr unterschiedlich ist und viele Lehrende an ihren bestehenden Lehrformen festhalten (Euler et al. 2006).

Mediendidaktische Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer

Von großer Bedeutung für Unterricht mit Simulationen und anderen digitalen Medien ist mediendidaktische Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer an den Schulen. Gerade Lehrkräfte, die nicht mit den Neuen Medien sozialisiert wurden, aber auch jene mit geringer Technikaffinität haben oft nur geringe mediendidaktische Kompetenzen. (Albers et al. 2011).

Die Bildungsstudie Digitale Medien in der Schule (Initiative D21 2011) stellt fest, dass die konventionelle Aus- und Weiterbildung Lehrende nicht hinreichend auf die Anwendung digitaler Medien vorbereitet. Inhaltlich didaktische Fragen werden meist (88,5 %) informell im Kreis der Kollegen geklärt. Spezielle Fortbildungskurse oder Weiterbildungsangebote der Schule bzw. des Schulträgers nutzen 44 %. Daneben wünschen sich 57 % Seminare oder Weiterbildungsangebote. Im Hinblick auf individuelle Fortbildungskurse zu technischen Fragestellungen bei der Anwendung digitaler Hilfsmittel ist das Missverhältnis erheblich: 51,2 Prozent der befragten Lehrerinnen und Lehrer würden solche Kursen gerne nutzen, doch nur 17,7 Prozent stehen diese Möglichkeiten zur Verfügung (vgl. Initiative D21 2011, S. 20).

In Berlin existiert ein eEducation Masterplan, der ein Modulares Fortbildungskonzept beinhaltet, bei denen in einem sog. "eEducation Pass Berlin" vier Qualifikationsstufen (s. Tabelle 4) zertifiziert werden sollen. Jedes Modul soll zertifiziert werden, für den Abschluss einer Stufe müssen alle vorgesehenen Module absolviert sein (Senatsverwaltung für Bildung 2005).

Tabelle 4: Qualifikationsstufen und Ziele des "eEducation Pass Berlin" (vgl. Senatsverwaltung für Bildung 2005, S. 19)

Stufe	Bezeichnung	Handlungsziele
1	Multimedia-Teacher	Unterrichtspraktische Nutzung von Multimedia und Internet
2	Advanced-Multimedia-Teacher	Vertiefte Anwendung von Multimedia und Internet im Unterricht
3	E-Learning-Tutor	Gestaltung von Blended Learning
4	Multimedia-Master-Teacher	Entwicklung von Medienkonzepten

Bis 2010 sollten alle Lehrenden der Schulen in Berlin mindestens die Stufe des Multimedia-Teachers erlangt haben (Senatsverwaltung für Bildung 2005, S. 21).

Um die Stufe des Multimedia-Teachers zu erlangen, sind 7 Pflichtmodule zu absolvieren: die Module Einführung in die IT, Textverarbeitung, Internetrecherche, Präsentation, Anwendung von Lernsoftware im Unterricht, Recht und Digitale Bildbearbeitung I als Pflichtmodule sowie Lernen mit Edutainment und Tabellenkalkulation und grafische Darstellung I als Wahlmodule (Senatsverwaltung für Bildung 2005, S. 20).

Jedoch gibt es kaum Veranstaltungen, die zu einer der Qualifikationsstufen oder -ziele führen. Der Veranstaltungskatalog vom Bildungsserver Berlin Brandenburg (bbb)²¹ enthielt eine Veranstaltung namens "Masterplan-Leitprojekt "Intel® Lehren - Interaktiv", es gibt vereinzelte Veranstaltungen zur Einführung in die neue Version von Moodle, Geogebra, CAS, Gestaltung digitaler Medien für den Mathematikunterricht, zu Präsentationen mit Powerpoint und einige zu Unterricht mit dem SMART-Board.

Auch in der universitären Ausbildung der Lehrer für Berufliche Schulen ist Medienpädagogik kein Pflichtfach. Das bedeutet, dass die Ausbildung von Schülerinnen und Schülern davon abhängt, dass interessierte Lehrkräfte sich aus eigenem Antrieb individuell weiterbilden.

Auch wenn der Trend vom Computer-Hype sich gerade teilweise in sein Gegenteil verkehrt (vgl. dazu Tulodziecki 2011) und die Begeisterung für Multimedia einer Ernüchterung oder gar Ablehnung weicht (z.B. Spitzer 2012), ist die Durchdringung unserer Lebens- und Arbeitswelt mit Computern und digitalen Werkzeugen nicht zu übersehen und wird auch (zumindest in naher Zukunft) nicht umkehrbar sein. Demzufolge ist es notwendig, dass wir in der Lage sind, kompetent mit den Medien

²¹ <https://tisonline.brandenburg.de/web/guest/catalog>, zuletzt geprüft am 29.01.2013

umzugehen. Dafür müssen Lehrer und Lehrerinnen entsprechend aus- und weitergebildet werden. Besonders im Bereich der Beruflichen Bildung ist Medienkompetenz für Lehrende wichtig, da heutzutage kaum ein Beruf – insbesondere im metall- und elektrotechnischen Bereich – ohne Computer und digitale Werkzeuge auskommt.

Zusammengefasst sollte es das Ziel sein, dass Lehrende versiert mit den elektronischen Medien umgehen können (Medienkompetenz), fähig sind, Medien in Lehr-Lernprozesse einzubinden und in der Lage sind, Medien hinsichtlich der Anforderungen, die diese bezüglich der Organisation, Ausstattung etc. in den jeweiligen Schulen erfordern, zu beurteilen (Tulodziecki 2012).

Dafür sollten während des Lehramtsstudiums vor allem eher Aspekte der allgemeinen Medienkompetenz und der Einbindung von Medien in Unterricht berücksichtigt werden, während bspw. im Referendariat in den Schulpraktischen Seminaren die Einbindung in konkrete berufliche Situationen erprobt werden sollte. Die Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern sollte bei Bedarf sowohl die Grundbildung, d.h. den Umgang mit Medien sowie deren Einbindung in Lehr-Lernprozesse beinhalten, aber auch die (software-) technische Weiterentwicklung umfassen (Tulodziecki 2012).

3.4.2. Kognitionspsychologischer Aspekt

Unter diesem Aspekt sollen auf den folgenden Seiten die mentalen Prozesse eines Menschen (wie bspw. Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Denken, Erinnern, Verstehen und Problemlösen) beim Lernen mit Simulationen beleuchtet werden und welche Auswirkungen Simulationen diesbezüglich haben.

Die von vielen Autoren angenommenen immanenten Faktoren, die die Neuen Medien besitzen sollen, dass sie bspw. das Lernen erleichtern, neue Lehr- und Lernmethoden (z.B. selbstorganisiertes Lernen) unterstützen, die Motivation, den Lernerfolg, die Effizienz steigern usw. (Kerres 2003; 2012; Euler et al. 2006) und auch die Aussagen, dass Computersimulationen das selbstbestimmte Lernen nach Maßgabe konstruktivistischer Lerntheorien fördern und die intrinsische Motivation der Lernenden erhöhen (Urhahne et al. 2000, Tenberg 2001) sowie weitere Faktoren, Erwartungen und Begründungen für den Einsatz von Simulationen sollen in diesem Teil des Diskurses beleuchtet werden.

Die Erwartung, dass Simulationen das Lernen erleichtern und selbstbestimmtes Lernen fördern, basiert darauf, dass mit Simulationen oft wirklich Aktivitäten, die gelernt werden sollen in einem Kontext, der der echten Welt sehr ähnlich ist, ausgeführt werden können. Lernende können dort Hypothesen generieren und testen, indem sie Änderungen in der Umgebung vornehmen und untersuchen. Im Gegensatz zur traditionellen Unterrichtung, in der die Rolle der Lernenden meist

passiv ist, erfordert dieser spezielle Typ von Lehre von den Schülerinnen und Schülern, sich aktiv in ihr Lernen einzubringen (Lee 1999). Dennoch belegen bereits Studien aus den 1970er Jahren, dass der Wissenserwerb mit simulationsgestützten Lehrmethoden nicht zwangsläufig besser gelingt als bei traditionellem Unterricht (Inbar und Stoll 1976, Cherryholmes 1976, Portele 1976, nach Dieterich 1994).

Lee (1999) hat in einer Metaanalyse 19 Studien zur Effektivität von Computersimulationen in Hinblick auf Lernprozesse untersucht (siehe auch S. 20). In den meisten Studien verwendeten Forscher instruktionale Lehrmethoden, wie traditionelle Vorlesungen oder computerbasierte Tutorials für Vergleichsgruppen. Die Forschungsergebnisse dieser Studien waren widersprüchlich. Selten wurden diese Studien systematisiert, um die Quelle der widersprüchlichen Ergebnisse zu erforschen. Lee sieht einen der Gründe für diese widersprüchlichen Forschungsergebnisse der Primärstudien in den unterschiedlichen Lehrweisen mit Simulationen. Bei Simulationen gibt es einen Präsentations- und einen Praxismodus. Einige Forscher vermuten, dass Simulationen nur dann effektiv sind, wenn sie als Praxisübung (im Praxismodus) verwendet werden, d.h. Lernende sollten zunächst ein Anleitungsmodul mit erklärender Einweisung absolvieren, um im Anschluss mithilfe der Simulation zu üben und so das Wissen auf sinnvolle Art zu speichern. Diese Forscher behaupten, dass, wenn Simulationen in der Form von Präsentationen, wie bei der Einführung neuen Wissens, verwendet werden, die Studenten während des Unterrichts nicht mitkommen, weil sie keine Anleitungen und Erklärungen zum Lehrinhalt bekommen. Weil Simulationen oft die Möglichkeit bieten, als eine Methode des entdeckenden Lernens zu fungieren, ermöglichen sie den Lernenden die Freiheit, Erkundungen in vorgegebenen Lernumgebungen ohne spezifische Anweisungen und Erklärungen vorzunehmen. Deshalb, nach Ansicht dieser Forscher, sollten Simulationen Ergänzungen zu erklärendem Unterricht sein und sind nicht geeignet, neues Wissen ohne Erklärungen zu unterrichten (Lee 1999, S. 72).

Demgegenüber behaupten andere Forscher, dass Simulationen eigenständig als Unterrichtsmethode einsetzbar seien, wenn sie sowohl einen Präsentations- als auch einen Praxismodus enthalten. In diesem Zusammenhang ist mit Präsentationsmodus gemeint, dass die Simulation einen Modus mit einer Vielzahl an Beispielen und Anleitungen enthält. Diese Art von Simulation könnte nach Lee Hybridsimulation genannt werden, da sie die reine Simulation mit erklärender Instruktion verbindet. Die Effektivität solcher Hybridsimulationen haben bis jetzt nur wenige Studien untersucht (Lee 1999, S. 71).

Lee schlussfolgert aus ihrer Metaanalyse, dass die Hybridsimulation anscheinend effektiver als die einfache Simulation ist und dass spezifische Instruktion bei Simulationen den Lernenden hilft, bessere Ergebnisse zu erzielen. Sie weist aber

auch gleichzeitig darauf hin, dass diese Aussagen aufgrund der zu geringen Anzahl von Studien unsicher und weitere Studien notwendig sind.

VanSickle (1986) hat bei seiner quantitativen Aufbereitung von Studien zu Lerneffekten von Simulationsspielen im Vergleich mit anderen Lehrmethoden ebenfalls den Schluss gezogen, dass Simulationen einen – wenn auch geringen – positiven Effekt gegenüber Vorlesungen haben.

Armstrong (1992) hat in ihrer Metaanalyse drei Bereiche untersucht: die Effektivität von Unterricht mit computerbasierter Simulation im Vergleich zu traditionellem Unterricht, den Einfluss der unterrichtlichen Einbindung und Charakteristika von Studierenden/Schülern auf die Resultate und Gebiete, in denen weitere Forschung notwendig ist. Es wurde kein Unterschied bei den Effektgrößen weder bei kognitiv hohem noch bei niedrigem Niveau oder für die Merkfähigkeit gefunden. Einen geringen Effekt konnte sie bei kognitiven Behaltensleistungen bei Lehrumgebungen mit computerbasierten Simulationen nachweisen. Sie stellte weiterhin fest, dass es einen Mangel bzgl. der Forschung zu der Haltung von Studenten gibt, ebenso fehlen ihrer Ansicht nach Forschungen zu kooperativem Lernen und dynamischen Simulationen. Darüber hinaus bemängelt sie, dass die meisten Studien keine Aussagen zu Reliabilität und Validität der Daten, die verwendet wurden, um zu den Ergebnissen zu kommen, machen.

Dekkers und Donatti (1981) kommen bei ihrer Metaanalyse zu dem Schluss, dass Behauptungen über die Wirksamkeit von Simulationen als eine förderliche Strategie sowohl jeder Grundlage entbehren und auch wenig überzeugend sind. Sie werteten 93 empirische Forschungsstudien, die sich mit Simulationen für Lehrzwecke, genauer: mit der kognitiven Entwicklung, Merkfähigkeit und der Entwicklung der inneren Einstellung bei der Verwendung von Simulationen, beschäftigen, in einer Metaanalyse aus. Sie fanden nur einen leicht höheren Effekt bei der Leistung und ähnliche Effekte bei der Merkfähigkeit. Effektiver sei der Unterricht mit Simulation nur im Vergleich mit Vorlesungen. Ihre Ergebnisse implizieren weiterhin, dass die Charakteristik, Dauer und Stichprobengröße der Simulationsgruppe wichtige Variablen sind (Dekkers und Donatti 1981).

Remmer und Jernsted (1982) schlussfolgern aus ihren Untersuchungen, dass trotz weitverbreiteter Behauptungen von Vor- und Nachteilen, die Ergebnisse der Forschungen bei denen Simulationsspiele mit konventionellen Lehrmethoden verglichen werden, oft nicht beweiskräftig bzw. ergebnislos sind. Sie analysierten 21 Studien, um die relativen Effekte auf studentische Leistungen, Einstellungsänderung bzgl. des Lehrstoffs, mit dem sich befasst wurde, dem Interesse an dem Kurs und die Langzeit-Speicherung von Informationen bei der Verwendung von Simulationen zu untersuchen. Im Gegensatz zu Dekker und Donattis Metaanalyse, die Daten aller Altersgruppen und aller Simulationstypen berücksichtigten, haben Remmer und Jernstedt sich auf Ober- und Collegeschüler und in erster Linie auf Spiele mit

sozialen, politischen und ökonomischen Themen fokussiert. Die Ergebnisse dieser Studie erweitern die Ergebnisse von Dekker und Donatti, die Verwendung von Simulationsspielen in Verbindung konventionellem Unterricht zu unterstützen, um die Einstellungen und das Interesse von Highschool- und Collegestudenten zu verbessern. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die höchste Verbesserung mit sozialen und politischen Spielen erreicht werden kann.

Am effektivsten sind Computersimulationen bei College- und Highschool-Studenten im Abschlussjahr hat McKenna (1989) in seiner Metaanalyse festgestellt. Er hat keine Unterschiede bei unterschiedlichen Altersgruppen finden können, aber festgestellt, dass bei Studenten mit höheren Auffassungsgaben Simulationen bessere Effekte liefern.

Bei der Bewertung dieser Studien und auch der Studien des vorigen Kapitels sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen:

1. Viele Studien stammen aus den 1980er Jahren. Die Computertechnik hat seit dem große Fortschritte sowohl in grafischer Hinsicht als auch hinsichtlich der Rechnerkapazität und -geschwindigkeit gemacht. In den 1980ern waren die Bildschirme oft noch monochrom (grün-schwarz bzw. bernstein-schwarz oder schwarz-weiß). Die Simulationen waren häufig eher textbasiert, aber auch die Computergrafik war von eher minderer Qualität (Beispiele Abbildung 21 und Abbildung 22: Die Grafik eines Flugsimulators für den PC bzw. für den Apple II). Dies könnte Bedeutung für die Anwendung haben. Auf die Einflüsse der Realitätsnähe und Authentizität wird weiter unten näher eingegangen.

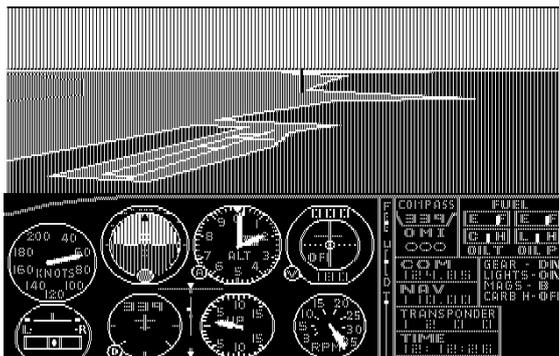


Abbildung 21: Microsoft Flugsimulator 1.05 für den PC (1982)²²



Abbildung 22: SubLOGIC flight simulator FS1 für Apple II & TRS-80²³

2. Außerdem war die Anwendung von Computern im Alltag weder im Beruf noch privat besonders verbreitet. Das lag einerseits daran, dass die

²² Bildquelle: <http://fshistory.simflight.com/fsvault/msfs1-pc.htm>, letzter Zugriff am 12.04.2013

²³ Bildquelle: <http://fshistory.simflight.com/fsh/fs1.htm>, letzter Zugriff am 12.04.2013

Anschaffungskosten bis zum Ende der 1970er Jahre relativ hoch waren.²⁴ In den 1980er Jahren kamen die ersten Heimcomputer (Personal Computer) auf den Markt. Andererseits gab es kaum Anwendungsbereiche - insbesondere im Privatbereich. Dadurch könnte dann der "Neuigkeitseffekt" (Kerres 1999, S. 15; siehe weiter unten im Kapitel unter Motivation) eine noch größere Rolle gespielt haben, als in vergleichbaren aktuellen Studien, da die Probanden teilweise zum ersten Mal am Computer gearbeitet bzw. gelernt haben.

3. Die Studien stammen ausnahmslos aus den USA. Das dortige Bildungssystem unterscheidet sich erheblich, insbesondere im Bereich der Beruflichen Bildung, vom deutschen System. Dadurch könnten sich evtl. Unterschiede bei der Berufsausbildung beim Verhältnis von Theorie und Praxis ergeben.
4. Auch die Begrifflichkeiten sind im englischsprachigen Raum nicht gleich (Kerres 2012). Die Begriffe Bildung und Didaktik sind nicht gebräuchlich, die Hypothesen und Ansatzpunkte unterscheiden sich ebenfalls (s.u.).
5. Die Studien vergleichen meist computergestützten Unterricht mit Frontalunterricht oder sogar Vorlesungen, moderne Lehr- und Lernformen finden keine Berücksichtigung (vgl. hierzu auch Schulmeister 2007, S. 363ff).
6. Henrich et al. (2010a, b) gehen bei ihrer Kritik an in Studien erhobenen Daten noch weiter als Blömeke (2003) (vgl. S. 21). Sie behaupten, dass US-amerikanische Psychologen und Verhaltensforscher und die meisten Forscher aus den westlichen Industriestaaten (gemeint sind Nordamerika, Europa, Australien, Neuseeland und Israel) ihre Erkenntnisse aus nichtrepräsentativen Gruppen beziehen. Sie beziehen sich dabei auf eine Analyse von Artikeln aus sechs der bedeutendsten Fachzeitschriften der American Psychological Association (APA) von Arnett (2008) zwischen 2003-2007. Nach Henrich et al. stammen somit die psychologischen Erkenntnisse in der Mehrzahl der Fälle von Probanden, die sie mit dem Akronym WEIRD²⁵ (white, educated, industrialized, rich, democratic) bezeichnen. Menschen also, die weiß und gebildet sind und aus industrialisierten, reichen, demokratischen Gesellschaften stammen. Darüber hinaus weisen Henrich et al. darauf hin, dass 67% der amerikanischen Stichproben und 80% der Stichproben anderer Länder einzig und allein aus Studienanfängern aus Psychologiekursen stammen. Anders ausgedrückt: Die

²⁴ In den 1970er Jahren kostete bspw. der eher durchschnittliche Bürocomputer Nixdorf 820/35 100.000 DM, 1985 konnte man den 8810/25 CPC von Nixdorf bereits für 7.500 DM erwerben (Quelle: <http://www.cc-computerarchiv.de/> letzter Zugriff am 09.04.13), in den USA kostete in den 1980er Jahren ein IBM-PC \$899, eine Maus \$ 89,99, Amiga 500 und C64 hatten bereits Farbmonitore und kosteten \$ 849 (Amiga) bzw. \$ 400 (C-64 mit 64 Kb RAM) (Quelle: <http://www.thepeoplehistory.com/80scomputers.html>). 1980 war der Dollar mit 1,82 DM bewertet, sein Wert stieg in der Folge bis 1988 auf 2,94 DM (Cezanne, W.(2005): Allgemeine Volkswirtschaftslehre. Oldenbourg Vlg. München, S. 616)

²⁵ Überdies bedeutet der Ausdruck "weird" im Englischen "sonderbar".

meisten Studien beziehen sich auf Probanden, die nicht einmal für die Bevölkerung des Landes aus dem sie stammen, repräsentativ sind (Henrich et al. 2010a, b).

7. Die Studien betrachten in Bezug auf Simulationen oft Simulationsspiele aus dem Bereich der Wirtschaft, es kann zu den technischen Bereichen große Unterschiede geben (einerseits, weil technische Berufe eine höhere Technikaffinität besitzen und weil die Simulationen evtl. einen stärkeren Bezug zur Arbeitswirklichkeit der Auszubildenden besitzen und andererseits, weil Simulationsspiele doch noch eine andere Qualität besitzen, als Simulationen aus dem metall- und elektrotechnischen Bereich, die in dieser Arbeit eine Rolle spielen). Außerdem ist es oft nicht mehr nachvollziehbar, welche Simulationen untersucht wurden (wie auch schon VanSickle (1986) bemängelt).
8. Schulmeister (2007) hält darüber hinaus Evaluationen zu Multimedia für problematisch, da die meisten Anwendungen nicht typisiert werden können (was auch für Simulationen zutrifft) und die Folgerungen aus der Evaluation deshalb nicht generalisierbar sind. Zumal die Zahl der "real intervenierenden Variablen [...] gegen unendlich" geht (ebd. S. 386) und auch Einflüsse, wie die Fähigkeiten und die Beteiligung der Lehrkraft oder der Lernenden werden nicht berücksichtigt.
9. Oft sind die Fragestellungen schon nach Auswertung einer Studie überholt, sei es, weil die Technik sich verändert hat (z.B. Bildschirmqualität und -darstellung (s.o.) oder Rechengeschwindigkeit) oder die getesteten Programme veraltet sind (Schulmeister 2007).

Im Folgenden werden verschiedene weitere Aspekte betrachtet, wie die Bedeutung von Modellen, die motivationssteigernde Wirkung, Interaktivität und Realitätsnähe etc., die aus kognitionspsychologischer Sicht für die Anwendung von Computersimulationen relevant sind, oder deren Bedeutsamkeit in der Literatur angenommen wird. Weiterhin werden verschiedene kognitionspsychologische Theorien, die die Verarbeitung multimedialer Inhalte erklären sollen, beleuchtet.

Modelle

In vielen technischen und naturwissenschaftlichen Bereichen ist die Kommunikation ohne Modelle kaum vorstellbar. So ist es nicht möglich, beispielsweise Proteinstrukturen, räumliche Darstellungen von Molekülen, Gitterfehler und Versetzungen in der Werkstoffwissenschaft etc. ohne Modelle – seien es nun reale Modelle, wie z.B. Kalottenmodelle zur Veranschaulichung von Molekülstrukturen in der Chemie oder das Funktionsmodell einer Flügelzellenpumpe für den Overhead-

Projektor oder auch virtuelle Modelle am Computer – darzustellen. Modelle stellen damit ein unverzichtbares Hilfsmittel für das Lehren und Lernen dar.

Animationen und Simulationen sind spezielle Arten von virtuellen Modellen. Sie sind meist dynamisch und können dadurch zusätzliche Informationen liefern, die ein statisches Modell so nicht generieren könnte.

Nach Popp (1970) bilden Modelle nicht die Realität ab oder nach, sondern sind "grundrisshafte Verdeutlichungen", "selektierende und approximierende Schemata" (ebd., S. 50). Mit Hilfe von Modellen bildet sich eine charakteristische, nachvollziehbar gegliederte und auf diese Weise fassbare Realität heraus, in der gehandelt werden kann. Ein Modell ist dabei ein vorläufiges Gebilde, das auf einem konsistenten System von Hypothesen, Axiomen, Deduktionen und/oder Prognosen basiert, das jedoch generell immer wieder der Überprüfung bedarf. Modelle sind deshalb oft auch nur als vorläufig zu betrachten. Es kann sich durchaus herausstellen, dass ein Modell bspw. durch neue fachwissenschaftliche Erkenntnisse überholt oder nicht mehr geeignet ist. Oder dass der Grad der Vereinfachung nicht mehr an den Kenntnisstand der Lernenden angepasst ist, das Modell zu stark reduziert, zu einfach ist. Jedes Modell rückt einen anderen Gesichtspunkt in den Mittelpunkt der Betrachtung. Das Modell bietet die Möglichkeit, bestimmte Gesichtspunkte fassbarer zu inszenieren und sich mit ihren möglichen Folgen für das Erkennen und Handeln methodisch auseinanderzusetzen und zu reflektieren (Popp 1970). Folglich sind Modelle subjektiv. Die eindeutige Zuordnung zwischen Original und Modell ist nicht möglich (Salzmann 1974).

Didaktische Merkmale von Modellen sind nach Popp (1970) Reduktion, Akzentuierung, Transparenz, Perspektivität und Produktivität. Das Modell *reduziert* komplexe Zusammenhänge auf wenige sinnvolle Charakteristika und Basisstrukturen und *akzentuiert* damit bestimmte Zusammenhänge, Aspekte, Funktionen und Gesetzmäßigkeiten. Aufgrund der Reduktion und der Akzentuierung sind Modelle *transparent*, sie ermöglichen damit einen hohen Grad an Prägnanz, Anschaulichkeit und dadurch auch bessere Anwendbarkeit. Weiterhin liefert es dadurch eine spezifische *Perspektive*, eine spezifische, subjektive Sichtweise auf ein Problem oder einen Zusammenhang. Durch seine Vorläufigkeit und Abstraktion fordert es zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Modell oder auch zur Überarbeitung oder gar Neuentwicklung auf und ist dadurch *produktiv* (vgl. auch Salzmann 1974).

Buddensiek et al. (1980) unterscheiden Modelle darüber hinaus noch hinsichtlich des Verwendungszwecks. Neben den Modellen für Ausbildungszwecke gibt es Modelle für Theoriebildungs-, Prognose- oder Planungszwecke. Der Unterschied besteht in dem Grad der qualitativen bzw. quantitativen Übereinstimmung mit der Realität. Um Prognosen oder Planungen durchzuführen oder Theorien zu entwickeln, müssen die Modelle einen erheblichen Grad an Übereinstimmung mit

den realen Vorbildern und ihren für den jeweiligen Einsatzzweck signifikanten Eigenschaften besitzen. Modelle, die für Ausbildungszwecke konzipiert wurden, berücksichtigen primär Kriterien, die für die Wissensvermittlung oder das Erlernen von Fähigkeiten und Fertigkeiten notwendig sind.

Die Funktionen, die Modelle im Unterricht übernehmen können, wurden im Abschnitt 3.4.1 (*unterrichtstheoretische bzw. fachdidaktische Perspektive*, S 73) behandelt.

Mentale Modelle

Unter einem mentalen Modell wird "eine ganzheitliche und anschauliche Repräsentation komplexer Realitätsbereiche, mit denen sich Abläufe und Entwicklungen geistig simulieren lassen", verstanden (Ballstaedt 2004, S. 631). Das bedeutet, dass komplexe Sachverhalte aus der Lebenswirklichkeit, wie bspw. die Struktur und Funktion einer Maschine, durch den Aufbau modellhafter Vorstellungen repräsentiert werden, um sie so zu veranschaulichen und mental simulieren zu können (Wenninger 2002).

Bedeutend ist darüber hinaus der Sachverhalt des mentalen Modells an sich. Wenn Menschen also nach von ihnen selbst konstruierten Modellen handeln, ist die Qualität des Modells und auch die Fähigkeit Modelle zu bilden ein Gradmesser für Fähigkeiten in der Handlung (Jarz 1997).

Es wird angenommen, dass der Wissenserwerb die Aufnahme von verarbeiteter Information im Langzeitgedächtnis bedeutet. Anderson erklärt den Wissenserwerb mit seiner 1983 entwickelten und stetig weiterentwickelten ACT-Theorie (zunächst die ACT*-Theorie (Anderson 1983), inzwischen die ACT-R-Theorie (Anderson 1993)). Die ACT (*Adaptive Control of Thoughts*)-Theorie von Anderson unterscheidet hierbei zwei Arten von Wissen: das *deklarative* und das *prozedurale* Wissen.²⁶ Das deklarative Wissen ist das Wissen über Sachverhalte, sog. Faktenwissen. Deklaratives Wissen ist eindeutig codiert, bewusst und kann sprachlich kommuniziert werden, ist demnach sog. explizites Wissen. Für die Kompetenzen des Facharbeiters, der Facharbeiterin ergibt sich daraus nach Tenberg (2011) (er verweist dabei auf Renkl (1994)) als elementare Anforderung: "Das deklarative Wissen muss ausreichen, um die Handlungen sinnvoll planen und deren Ergebnisse überprüfen zu können" (ebd. S. 78).

Der Erwerb deklarativen Wissens ist nach Anderson et al. (1995) relativ problemlos, es wird erworben, indem es mitgeteilt wird. Problematischer ist der Erwerb prozeduralen Wissens. Das prozedurale Wissen ist das Wissen über

²⁶ Die Unterscheidung zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen geht zurück auf das ACTE-System von Anderson (1976) und blieb während aller Modifikationen erhalten (Anderson 1993).

Handlungsabläufe, praktisches Können und beinhaltet auch die Fähigkeiten zur Problemlösung, ist also Arbeitsprozesswissen. Hierbei handelt es sich um implizites Wissen, das sprachlich nicht oder teilweise nur mit hohem Erklärungsaufwand kommuniziert werden kann (Anderson 1983; Mienert und Pitcher 2011). Tenberg (2011) empfiehlt in diesem Zusammenhang die Begriffe "Geschick, Fertigkeit oder Gewandtheit", um die Verwechslung des Begriffs mit Prozesswissen, was explizites Wissen wäre, auszuschließen. Das bedeutet in Bezug auf zu erwerbende Kompetenzen des Facharbeiters, der Facharbeiterin: "Das prozedurale Wissen [des Facharbeiters, der Facharbeiterin] muss ausreichen, um die Handlungen sinnvoll durchführen zu können" (Tenberg 2011, S. 78).

Im Bereich der Beruflichen Bildung spielt naturgemäß nicht nur der Erwerb deklarativen Wissens eine Rolle, sondern auch der Erwerb prozeduralen Wissens. Nach Tennyson und Breuer (2002) können Computersimulationen dazu beitragen, prozedurales Wissen in Form strategischer Lern- und Handlungsweisen zu verbessern (vgl. auch Urhahne und Harms 2006). Die gedankliche Hilfskonstruktion des mentalen Modells bietet eine Möglichkeit, den Erwerb prozeduralen Wissens zu begreifen und ist dementsprechend für berufsfachliche Tätigkeitsdomänen bedeutsam.

Handlungswissen kann nur durch Übung erlangt werden und beinhaltet nicht nur das Wissen über die Funktionsweise, sondern auch die Umsetzung des Wissens in eine Handlung. Praktisches Können ist durch automatische Handlungsabläufe charakterisiert (Jarz 1997).

Wie wird nun prozedurales Wissen erworben? Anderson et al. (1995) gehen davon aus, dass die Prozeduralisierung deklarativen Wissens in drei Stufen vor sich geht: Zunächst wird der Ablauf der Handlung als Beschreibung erlernt, das Wissen liegt in deklarativer Form vor. Grundlegende konzeptuelle Wissensbestände werden aufgebaut und in einem semantischen Netz integriert (kognitive Stufe). Im nächsten Schritt (assoziative Stufe) werden Assoziationen zwischen Bedingungen und spezifischen Operationen konstruiert, die als Wenn-Dann-Regeln das domänenspezifische prozedurale Wissen ausbauen. Handlungen werden zunehmend automatisiert, häufige Wiederholungen führen dazu, dass Wissen prozedural repräsentiert wird. Erst nach mehrmaliger, fortgesetzter Wiederholung kann das Wissen automatisch, ohne kognitive Kontrolle verarbeitet werden. Die Erfahrungen sind in vielfach verzweigte Regeln eingebettet, die eine Anpassung des Handelns an unterschiedliche Teilaspekte ermöglichen (autonome Stufe) (Andersson et al. 1995, Kerres 2001). Als Beispiel kann das Erlernen des Autofahrens dienen. Zunächst wird bspw. der Vorgang des Schaltens vom Fahrschüler als Abfolge von einzelnen Schritten antizipiert. Im nächsten Schritt, nach längerem Üben, sind Fahrschüler meist schon in der Lage, während der Fahrt relativ automatisch zu schalten. Treten jedoch unerwartete Probleme auf, wie z.B. eine Notfallbremsung,

ist das automatische Treten der Kupplung noch nicht prozedural repräsentiert. Erst nach langjähriger Übung wird "ohne nachzudenken" gefahren und geschaltet.

Renkl (1994) unterteilt das prozedurale Wissen noch in eine situationsunspezifische und eine situationsspezifische Komponente. Die situationsunspezifische Komponente meint die Geschicklichkeit, während die situationsspezifische sich auf die Einsatzfähigkeit bezieht. Dadurch kann auch die Kompetenz detaillierter definiert werden: "Sie bemisst sich nicht in einer unspezifischen Menge an Geschick oder Einsatzfähigkeit, sondern wiederum in der Qualität beider Komponenten und deren Zusammenhang" (Tenberg 2011, S. 77).

Paris et al. (1983) ergänzen die Wissensarten um eine dritte Komponente, das konditionale Wissen, das "die Anwendungsbedingungen von deklarativem Wissen und von Handlungs- bzw. Strategiewissen" (Renkl 1996, S. 80) einschließt. Konditionales Wissen ist implizites Wissen. Bezogen auf die Kompetenzen des Facharbeiters bzw. der Facharbeiterin muss "das [...] konditionale Wissen ausreichen, um die Handlungen situativ steuern und kontrollieren zu können" (Tenberg 2011, S. 79).

Um Handlungsflexibilität in Bezug auf Wissen kategorisieren zu können, ergänzt Renkl die Wissensarten Andersons um das konzeptuelle Wissen, Verständniswissen (Renkl 1996; Tenberg 2011). "Erst konzeptuelle mentale Modelle erlauben einen Wissenstransfer" (Renkl 1996, S. 82). Das konzeptuelle Wissen wiederum kann in "sach- bzw. handlungsbegründendes Wissen" und in "handlungsübergreifendes bzw. handlungsunabhängiges Grundlagenwissen." unterteilt werden (Tenberg 2011, S. 79). Dieses Wissen ist charakteristisch für Expertise, hierdurch hebt sich der Experte vom Laien ab (Tenberg 2011).

Tenberg modifiziert das Wissensmodell Renkls, um es für die Beschreibung technikdidaktischer Kompetenzen anwendbar zu machen und ungenaue Begrifflichkeiten zu präzisieren. Im Zusammenhang mit Facharbeit schlägt er vor, das deklarative Wissen als "Professionswissen" zu bezeichnen, den "sach- bzw. handlungsbegründende[n] Anteil des konzeptuellen Wissens" als "Begründungswissen" und den "handlungsübergreifende[n] Anteil als allgemeines 'Bezugswissen'" (ebd. S. 80). Das prozedurale und das konditionale Wissen werden nicht in das Wissensschema eingegliedert, da sie implizit und aus diesem Grund nicht eindeutig zu beschreiben sind. Diese Wissensart soll in der Bedeutung von als "Fähigkeiten und Fertigkeiten" aufgefasst werden. Wobei das prozedurale mit dem "motorischen Geschick" korrespondiert und das konditionale Wissen dabei mit den "Steuerungs- bzw. Regulationsfähigkeiten" (Tenberg 2011, S. 80-81).

Die Voraussetzung für fachlich-methodische Berufskompetenzen²⁷ sieht Tenberg in "Professionswissen, Begründungswissen und allgemeinem Bezugswissen". Sie stellen zusammen mit "Steuerungs- bzw. Regulationsfähigkeiten und motorischem Geschick" "die selbständige Gestaltung, Lösung und Weiterentwicklung beruflicher Tätigkeiten und Aufgaben" sicher (Tenberg 2011, S. 85).

Aus diesen Betrachtungen kann der Schluss gezogen werden, dass das bloße Darstellen bzw. Vorführen einer Handlung am Computer kein prozedurales Wissen erzeugen kann. Handlungen müssen selbst durchgeführt und vor allem auch geübt werden, damit sie zu prozeduralem Wissen werden. Darüber hinaus muss Wissen in einem Kontext stehen, vernetzt werden, um im Langzeitgedächtnis gespeichert zu werden, aber auch wieder abrufbar zu sein.

Vernetztes Denken

Etwas zu verstehen beinhaltet den Aufbau eines reichen und breiten semantischen Netzwerks von Beziehungen, in denen das Zielwissen sitzt, mit den entsprechenden Verbindungen, um dieses Wissen abzurufen. Konventionelle Wissensvermittlung zielt meist nicht auf die Vernetzung von Wissen ab, sondern vermittelt Wissen isoliert von seinem Kontext in der entsprechenden Disziplin oder seinen Anwendungen außerhalb des Klassenraums und trägt auch darüber hinaus oft nicht dazu bei, eigenständiges Lernen zu vermitteln (Salomon und Perkins 1996).

Vernetztes Denken ermöglicht es dem/der Lernenden sein/ihr Wissen bei der Lösung unbekannter Probleme umstrukturieren zu können. Insbesondere komplexe Problemstellungen können nicht mit einfachen Ursache-Wirkungs-Verknüpfungen gelöst werden, sondern benötigen zu ihrer Lösung oder Bewältigung ein Gefüge von Variablen. Solche Wissensstrukturen können bspw. mit Hilfe von sog. Mindmaps oder Concept Maps²⁸ sichtbar gemacht und überprüft und, wenn notwendig, auch verändert, verbessert oder angepasst werden (Ballstaedt 2004). Hattie (2009) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die Anwendung solcher Begriffsnetze einen größeren Effekt hat, wenn sie nach der Bearbeitung des Unterrichtsthemas von den Lernenden angefertigt wird, nicht davor oder währenddessen.

Multimedia bietet hier die Möglichkeit, abstrakte Sachverhalte in einem konkreten situativen Kontext - also vernetzt - darzubieten (Kerres 1999). An dieser Stelle sollte jedoch darauf hingewiesen werden, dass die vernetzte Präsentation von Wissen in Form von Hypertexten oder Hypermedia nicht automatisch vom Gehirn

²⁷ zum Begriff "Berufskompetenz" siehe Anmerkung in der Fußnote auf S. 71

²⁸ Der Unterschied zwischen einer Concept Map und einer Mindmap liegt hauptsächlich darin, dass bei einer Mindmap von einem zentralen Thema ausgegangen wird, während eine Concept Map die Einbettung eines Begriffs in ein Begriffsnetz darstellt. Bei Concept Maps sind im Gegensatz zu Mindmaps bei Unterbegriffen auch Querverbindungen und Richtungen möglich.

übernommen wird. Die Strukturen von Hypermedia unterscheiden sich stark von der Art der Wissensrepräsentation im Gehirn. Während bei Hypertexten starre, kleinste Informationseinheiten durch Links miteinander verknüpft sind, sind Informationen im Gehirn Konzepte, die "neben der reinen Information auch affektive Qualitäten und Eigendynamik haben (Aktivierungsausbreitung!), z.B. spontane Verknüpfungen entwickeln, auf andere Gedächtnisinhalte einwirken, sie verändern usw." (Sacher 1998, S. 454).

Die Aneignung von Wissen gehorcht, egal welche raffinierten Computerprogramme auch jeweils angewendet werden, immer den Bedingungen der Verarbeitung von Informationen im Gehirn. Dementsprechend ist vor allem der Inhalt und die Einbindung des Inhalts in den jeweiligen Kontext wichtiger für erfolgreiches Lernen als die angenommene Medienwirkung. Um beim Lernen mit Multimedia ein vernetztes Wissen aufzubauen, müssen Lernende die Fähigkeit erwerben, gesprochene oder geschriebene Texte in Verbindung mit Abbildungen in Form von Bildern und Diagrammen angemessen zu beurteilen und miteinander in Beziehung zu setzen (Schnotz 2001).

Multimedien an sich sind demnach nicht lernförderlich, ihre Einbindung in einen Kontext und Anpassung an die (individuellen) Fähigkeiten der Lernenden macht erst die Lernförderlichkeit aus.

Ein Vorteil, den Simulationen in dieser Hinsicht haben (natürlich abhängig von der jeweiligen Gestaltung der Simulation), ist die inhaltliche Verzahnung mittels Texten, Bildern oder Videos, die dadurch die Einbettung und Vernetzung von Lerninhalten im Gedächtnis unterstützen können (Kerres 1999).

Motivation als Begründung für den Einsatz von Simulationen

Neben der Lernförderlichkeit von Multimedia ist oft auch die Förderung der Motivation ein Argument für den Einsatz digitaler Medien. Dies begründet sich auf der Annahme, dass das Lernen mit Simulationen, Animationen und Bildern mehr Spaß macht und mehr Anwendungsnähe herstellt. Simulationen tragen einen Aufforderungscharakter ("affordance" oder "Affordanz"²⁹) (Kozma 1991, nach Winn

²⁹ "Affordanz, affordance (Angebot), ein von Gibson geprägter Begriff, den er von "afford" (anbieten, gewähren) ableitet und selbst geprägt hat [...]. Nach Gibson handelt es sich [...] um eine Handlungsanregung aufgrund der Informationen über funktionell relevante Eigenschaften von Dingen und Bestandteilen der Umwelt, die ein bestimmtes Verhalten möglich machen. Die Dinge sagen uns, was wir mit ihnen tun sollen; sie haben nach dem Gestaltpsychologen Koffka einen Forderungscharakter, nach Lewin einen Aufforderungscharakter. So ist z.B. ein Sessel eine Affordanz für das Sitzen, die Schere für das Schneiden. Der Unterschied von Affordanz zu Forderungs- und Aufforderungscharakter liegt darin, daß sich das Angebot von etwas nicht ändert, wenn sich das Bedürfnis des Beobachters ändert. Die verschiedenen Objekte der Umwelt haben verschiedene

2002 S. 334)) in sich. Die Lernenden werden von passiven Konsumenten zu aktiv Handelnden, die die Ereignisse in einer Simulation kontrollieren. Die Verbesserung der eigenen Fähigkeiten, die einem einige Programme zurückmelden, befriedigen die Bedürfnisse nach Selbststeigerung ("Self-Enhancement"), die den meisten Menschen innewohnt. Aber auch kognitive Motive gehören dazu. Simulationsprogramme bieten die Möglichkeit, komplexe technische Zusammenhänge zu verstehen und zu beherrschen (Dieterich 1994).

Die motivationssteigernde Wirkung von Multimedia für den Wissenserwerb wird jedoch meist überbewertet. Zunächst werden mit einem neuen Programm zwar Interesse und Neugierde geweckt ("Neuigkeitseffekt" Kerres 1999, S. 15), und auch die realitätsnahe Präsentation des Lerngegenstandes motiviert zur Beschäftigung damit. Prinzipiell ist jedoch davon auszugehen, dass fast jede Neuerung, jede Abweichung vom Gewohnten, im Unterricht erst einmal motivierend oder Interesse weckend wirkt. Dieser Effekt wird, wie weiter oben angemerkt, bei Studien oft nicht berücksichtigt, obwohl er sicherlich in Bezug auf die Motivation der Lernenden eine große Rolle spielt. In der Regel reicht der Motivationsschub, der durch den Neuigkeitseffekt ausgelöst wird aber nicht aus, um einen Lernerfolg zu bewirken. Der Neuigkeitseffekt - und damit das Interesse - lässt schnell nach (Kerres 1999, 2000).

Daneben soll vor allem die Interaktivität eine motivationssteigernde Wirkung haben. Darauf wird weiter unten (*Interaktivität als Begründung für den Einsatz von Simulationen*, s.u.) noch genauer eingegangen.

Ein weiterer Effekt ist, dass bei Multimediaprogrammen die Darstellungen und Möglichkeiten der eingesetzten Programme teilweise auch von den Lernzielen ablenken. So berichtet Rieber (2005), dass die Lernenden, die sich mit einer Simulation, die die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung vermitteln sollten, schlechter beim nachfolgenden Test abschlossen, als diejenigen, die nicht dieses Programm zur Verfügung hatten. Das lag daran, dass die Simulation ein Spiel, das die physikalischen Zusammenhänge verdeutlichen sollte, enthielt und die Schülerinnen und Schüler mehr damit beschäftigt waren, ihre Punktzahl in diesem Spiel zu verbessern, als sich mit dem Inhalt auseinanderzusetzen. Ähnliches kann man sich auch für Simulationen ohne integriertes Spiel vorstellen (Stichwort "Self-Enhancement"). Dementsprechend müssen die Lernenden doch wieder ein hohes Maß an Eigenmotivation und Fähigkeiten zur Selbstregulation besitzen, um Lernwirksamkeit zu erreichen (Meister 2008).

Affordanzen (Angebote) für das Hantieren mit ihnen." (<http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/psycho/320>, zuletzt geprüft am 22.08.2012)

Lernen erfordert kognitive Anstrengung

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass Lernen kognitive Anstrengung erfordert. Lernende müssen sich mit dem Lerngegenstand geistig auseinandersetzen (vgl. Kerres 1999; Spitzer 2012). Nach Salomon (1981, 1984) gibt es einen Zusammenhang zwischen der Höhe der geistigen Anstrengung, die investiert wird (AIME - Amount of Invested Mental Effort), bzw. der Tiefe der Verarbeitung und der Menge an Wissen, das gewonnen und behalten werden kann. Wichtige Faktoren sind auch die Art der Präsentation und die Einschätzung der Schwierigkeit der Aufgabe oder des Mediums (pdc - perceived demand characteristic) und die vom Lernenden erfahrene Selbstwirksamkeit (pse - perceived self efficacy) der Investition geistiger Anstrengung bei der Verarbeitung der Inhalte. Erhält nämlich der Lernende den Eindruck, dass das Lernen mit dem Programm einfach ist, oder verspricht er sich nur einen geringen persönlichen Gewinn, investiert er eine geringere mentale Anstrengung, was zur Folge hat, dass er weniger lernt und behält.

Interaktivität als Begründung für den Einsatz von Simulationen

Computersimulationen besitzen durch die Interaktivität eine Eigenschaft, die sie von anderen Computerprogrammen abhebt. Die jeweiligen Parameter des Simulationsmodells können verändert werden und die sich daraus ergebende neue Situation wird von dem Programm berechnet. Die Lernenden interagieren so mit dem Lernstoff, das System reagiert auf Eingaben, oft sogar in Echtzeit. Sie erhalten so ein unmittelbares Feedback (Tenberg 2001; Jolie et al. 2011; Urhahne und Harms 2006). Azevedo und Bernard (1995) wiesen nach, dass insbesondere das Feedback für das computergestützte Lernen lernförderlich ist. Es steigert sowohl die Lernleistung als auch die Lernmotivation. Für Sacher (1998) ist die Interaktivität von zentraler Bedeutung für den Lernprozess. Er betont jedoch, dass die Interaktivität nicht nur aus dem trivialen Klicken auf einen Knopf und der anschließenden Darstellung von Informationen bestehen darf. Er unterscheidet hierbei:

- Reaktivität (Menge der Programmaktivitäten und Bedienungsfunktionen, die der Nutzer wählen kann)
- Navigabilität (Auffindbarkeit der Informationen)
- Adaptivität (Anpassung an den Benutzer)
- Kommunikabilität (unterschiedliche Möglichkeiten der Kommunikation mit dem System (Tastatur, Maus, Touchscreen, Spracheingabe)
- didaktische Portabilität (Einsatzfähigkeit in unterschiedlichen Lernumgebungen (Gruppen-/Einzelarbeit etc.)) (Sacher 1998, S. 453).

Der maßgebende Faktor bzgl. der Interaktivität ist seiner Ansicht nach, dass das Lerntempo an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden kann.

Für Winn (2002) und Kinzie et al. (1992) liegt die Begründung für die Steigerung der Lernmotivation und die daraus resultierende positive Wirkung auf den Wissenserwerb vor allem darin, dass die Lernenden innerhalb der Simulation Kontrolle ausüben und die Lernumgebung beherrschen können (vgl. auch Urhahne und Harms 2006).

Weiterhin weist Sacher (1998) darauf hin, dass auch die Erfahrung und Fertigkeiten des Lehrenden als auch die Qualität des Unterrichtskontextes, in das die Simulation eingebettet ist, von erheblicher Bedeutung für den Lernprozess sind.

Sinneskanäle - Wie werden bildliche Informationen verarbeitet?

Ein häufiges Argument, das für die Benutzung von Multimedia und Simulationen im Unterricht herangezogen wird, ist, dass verschiedene Sinneskanäle angesprochen werden und dadurch Lernprozesse verbessert werden könnten. Zum Beleg wird wiederholt auf Treichler (1967) bzw. die in anglo-amerikanischer Literatur oft zu findende Fehlinterpretation von "Dale's Cone of Experience" (vgl. hierzu Betrus et al. 2002)³⁰ verwiesen, wo postuliert wird, dass Menschen 10% von dem was sie lesen, 20 % von dem was sie hören, 30 % von dem was sie sehen und 50 % von dem was sie hören und sehen etc., behalten. Das soll also heißen, dass umso mehr behalten wird, je mehr Sinneskanäle an der Vermittlung beteiligt sind. Diese Werte sind jedoch durch keine Studie gesichert (vgl. Sacher (1998), Schnotz (2001), Tulodziecki (2002), Weidenmann (2002), Rey (2009) und andere). Weidenmann (2002) merkt an, dass bei dieser Darstellung Sinnesmodalität - nämlich Sehen und Hören - und Codierung - Lesen und Nacherzählen - miteinander vermengt werden. Die bessere Behaltensleistung durch multimediale Anwendungen erklärt Klimsa mit dem "Bildüberlegenheitseffekt" von Paivio (1971), d.h., Bilder können besser gemerkt werden als Wörter (Klimsa 2002, S. 8–9).

Die Dual-Coding Theory Paivios geht davon aus, dass es zwei kognitive Subsysteme gibt. Eines, das auf die Repräsentation und Verarbeitung von nonverbalen Objekten und Ereignissen (d.h. bspw. Bilder) spezialisiert ist und das andere, das auf den Umgang mit Sprache spezialisiert ist. Paivio postuliert ebenso zwei unterschiedliche Typen von Repräsentationseinheiten: "Imagens" für mentale Bilder und "Logogens" für verbale Entitäten. "Logogens" sind in Form von Assoziationen und Hierarchien organisiert, während "Imagens" in Form von Teil-Ganzes-Beziehungen³¹ organisiert sind. So werden Texte in erster Linie im verbalen System verarbeitet und abgelegt,

³⁰ <http://www.similima.com/ppt/cone-experience.pdf>

³¹ Wörter, Begriffe, die jeweils Teil eines anderen Wortes oder Begriffs ("Ganzen") sind.

gleichzeitig aber werden die bildhaften, anschaulichen Teile des Textes visualisiert und im nonverbalen System abgelegt (Abbildung 23). Umgekehrt werden Bilder in das nonverbale System integriert, ihre verbalisierte Entsprechung oft aber auch im verbalen System abgelegt und verarbeitet. Das Wissen ist also in zwei Formen (Codes) im Gehirn vorhanden. Trotz ihrer wesentlichen Verschiedenheit in Struktur und Funktion tauschen die beiden Codierungssysteme Informationen untereinander aus und es bestehen referentielle Verknüpfungen. Zwischen den Systemen entwickeln sich Beziehungen. Diese Doppelcodierung soll dazu führen, dass die Erinnerungsleistung verbessert wird.

Von Multimedia-Entwicklern wird dieser Zusammenhang oft so interpretiert, dass ein gleichzeitiges Bereitstellen von Bildern und Sprache einen lern- und behaltensleistungssteigernden Effekt hat. Dies stellt jedoch eine nur vereinfachte Interpretation der Doppelcodierungstheorie (Dual Coding) von Paivio (1990) dar. Weidenmann korrigierte diese vereinfachte Interpretation folgendermaßen: "Multicodierte und multimodale Präsentation kann in besonderer Weise eine mentale Multicodierung des Lerngegenstandes durch den Lerner stimulieren. Dies verbessert die Verfügbarkeit des Wissens" (Weidenmann 2002, S. 61). Insbesondere bei Simulationen und Spielen findet sich Multicodierung wieder (Kiel 2008). Die Gestaltung von Multimedia - und dementsprechend auch von Simulationen - ist entscheidend dafür, dass mit ihrer Hilfe Lern- und Behaltensleistung gesteigert werden können.

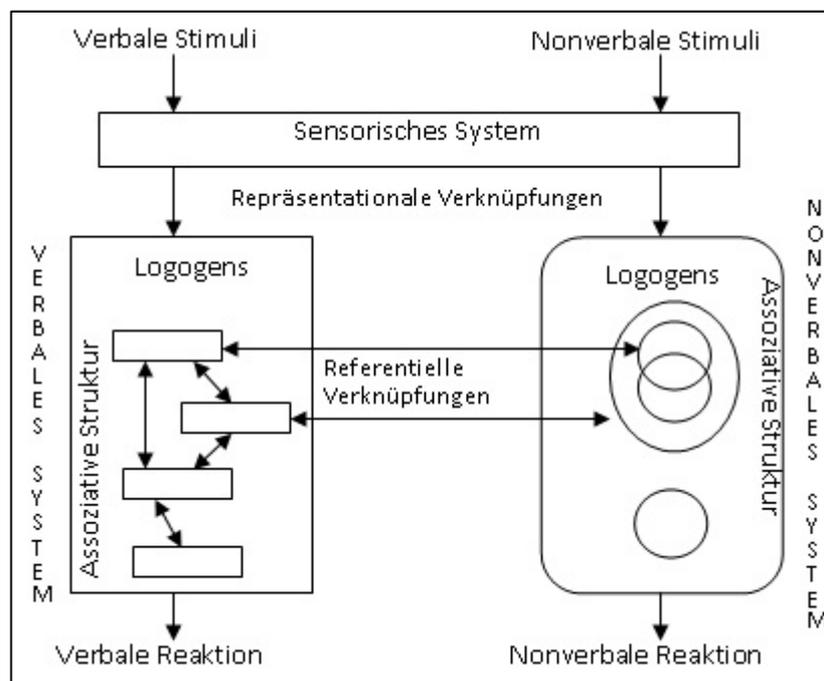


Abbildung 23: Verbale und nonverbale Systeme in der Dual Coding Theorie nach Paivio (1990)

Sacks (2011) weist darauf hin, dass es nicht leicht ist, rein visuelle oder rein auditive Stimuli zu differenzieren. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, wie komplex die Verknüpfungen der sensorischen Areale des Gehirns und ihre Interaktion sind. Seiner Meinung nach existieren auch "Zwischenzustände [...] in den (intersensorischen, metamodalen) Zuständen" (ebd. 256). Um diese Aussage zu illustrieren, verweist er auf einen Brief von John Hull,³² der 1980 erblindete, an seinen ehemaligen Doktoranden und Kollegen Simon Hayhoe.³³ In diesem Brief schreibt Hull, dass er manchmal erstaunt feststellt, dass sein Bild, das er von der Form eines Autos hat, wenn er bspw. nach dem Türgriff tastet, nicht mit dem realen Bild des Autos, das er durch Ertasten entwickelt, übereinstimmt. In seiner Erinnerung und seiner Vorstellung haben Autos immer noch die Form von vor 25 Jahren. Darüber hinaus hat er festgestellt: "Da ein Wissensinhalt so tief in die Sinneswahrnehmung oder die Sinneswahrnehmungen eingebettet ist, die ihn ursprünglich empfangen haben, kann ich nicht immer mit Sicherheit entscheiden, ob meine Vorstellung visuell ist oder nicht. Das Problem liegt darin, dass die taktilen Vorstellungen von Form und Beschaffenheit der Dinge oft auch einen visuellen Inhalt anzunehmen scheinen beziehungsweise dass sich nicht entscheiden lässt, ob die dreidimensionale Erinnerungsform durch ein mentales Bild visueller oder taktiler Art repräsentiert wird. Also selbst nach all diesen Jahren kann das Gehirn nicht auseinanderhalten, woher es sein Material bezieht" (Sacks 2011, S. 257).

Welche kognitiven Prozesse genau ablaufen, wenn Bilder wahrgenommen und verarbeitet werden, wird in den Kognitionswissenschaften kontrovers diskutiert (Stichwort "Imagery Debate" oder "Debatte um bildliche Vorstellung" mit den Akteuren Pylyshyn und Kosslyn). Kosslyn (1980; 1981), wie auch Paivio gehen von einer bildhaften, piktoralen Repräsentation aus. So behauptet Kosslyn (2005), dass die visuelle Wahrnehmung von der visuellen Vorstellung abhängt. Die Informationen, die das Gehirn von der Netzhaut bekommt, werden mit den Bildern, die im Gedächtnis vorhanden sind, synchronisiert, nur so könne die visuelle Erkennung funktionieren. Diese Bilder aus der Vorstellung sind seiner Ansicht nach notwendig, um zu denken, Probleme zu lösen, zu planen, zu entwerfen und Theorien zu entwickeln. Kosslyn nennt dies "Duplizität in der Denkweise der Menschen" (nach Sacks 2011, S. 245–246).

Pylyshyn (1973) hingegen geht davon aus, dass Informationen in propositionaler³⁴ Form gespeichert werden, d.h. nur der Sinn der Information wird abstrakt durch Propositionen repräsentiert. Bspw. werden Konzepte von Personen, Objekten oder

³² em. Prof. für Religious Education an der University of Birmingham, England

³³ Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Centre for Philosophy of Natural and Social Science (CPNSS) der London School of Economics and Political Science

³⁴ propositional ist als Lehnwort aus der Sprachwissenschaft zu sehen. Nach dem Duden Fremdwörterbuch bedeutet Proposition "Satz als Informationseinheit (nicht im Hinblick auf seine grammatische Form)".

Situationen mit Relationen wie Verben verbunden. Verbale und non-verbale Informationen werden dabei gleichartig gespeichert.

Gleichwohl beruht die Dual Coding Theorie nicht auf der Vorstellung, dass Bilder im Gehirn im wahrsten Sinne des Wortes vorhanden sind, "sondern nur, dass es mentale Repräsentationen gibt, die in einer Art und Weise repräsentieren, wie dies auch Bilder tun, z.B. dass diese Repräsentationen selbst räumliche Eigenschaften aufweisen" (Rickheit, Herrmann et al. 2003, S. 7).

Die verschiedenen Anschauungen haben sich im Laufe der Zeit einander angenähert, da beide "Lager" anerkennen müssen, dass die jeweiligen Forschungsergebnisse durchaus plausibel sind. Man hat sich für ein Mischmodell entschieden, das sowohl duale als auch abstrakt-propositionale Elemente besitzt (Wippich 1984).

Die Diskussion hat sich in den Bereich der Neurophysiologie verschoben, man erhofft sich Informationen durch bildgebende Verfahren (bspw. PET- und fMRT-Scans), die die Vorgänge im Gehirn bei der Verarbeitung von Bildern und Multimedia sichtbar machen können. Ob die Ergebnisse allerdings deutlicher werden, ist fraglich, da die Bilder, die solche Scans liefern, ebenfalls interpretiert werden müssen.

Cognitive Load Theory bzw. kognitive Belastungstheorie

Eine Erklärung für die divergierende Effektivität von instruktionalen Methoden beim Wissenserwerb mit Simulationen kann nach Urhahne und Harms (2006) in der Cognitive Load Theory bzw. kognitiven Belastungstheorie gesehen werden.

Die Cognitive Load Theory (CLT) (Sweller 1988; 1994; Chandler und Sweller 1991; 1996) oder kognitive Belastungstheorie (auch kognitive Beanspruchung (Kerres 2012)) beschreibt die kognitiven Strukturen des Gehirns als Informationsverarbeitungssystem mit einem Langzeitgedächtnis, das gewissermaßen das gesamte Wissen und die Fähigkeiten mehr oder weniger dauerhaft speichert, und einem Arbeitsgedächtnis, das Informationen zusammen mit dem Bewusstsein verarbeitet. Information kann nur im Langzeitgedächtnis gespeichert werden, wenn sie zunächst unter Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses verarbeitet wurde. Das Arbeitsgedächtnis ist in seiner Kapazität und Speicherdauer limitiert. Durch diese Begrenzung wird in einigen Fällen das Lernen behindert. Die Grundannahme der Cognitive Load Theory ist, dass die Qualität des Lehr-Lern-Arrangements erhöht wird, wenn die Funktion des Arbeitsgedächtnisses stärker berücksichtigt wird. Seit ihrer Konzeption in den frühen 1980er Jahren wurden auf Basis der CLT verschiedene Konzepte entwickelt, die - empirisch nachgewiesen - besser sind, als konventionelle Lehrmethoden (Cooper 1998).

Cognitive load (kognitive Belastung) bezieht sich auf die Gesamtmenge mentaler Aktivität während eines Vorgangs zu einer Zeit. Der Hauptfaktor, der bei der

kognitiven Belastung mitwirkt, ist die Anzahl der Elemente, mit denen sich befasst werden muss. Die Menge an Informationen, die abgespeichert werden kann, variiert nach dem Grad der Erfahrung und Expertise. Dabei werden drei Arten von Belastungen unterschieden: intrinsische kognitive Belastung (intrinsic cognitive load), extrinsische kognitive Belastung (extraneous cognitive load) und lernbezogene oder lernrelevante kognitive Belastung (germane cognitive load), d.h. die "Beanspruchung durch den eigentlichen Lernprozess" (Kerres 2012, S. 147). Intrinsische, extrinsische und lernbezogene kognitive Belastung sind additiv, die Gesamtbelastung kann jedoch nicht die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses während des Lernvorganges überschreiten (Paas et al. 2003).

Die intrinsische kognitive Belastung beruht auf der intrinsischen Natur, d.h. der Schwierigkeit bzw. Komplexität des zu lernenden Inhalts und kann nicht durch die Gestaltung des Lehr-Lern-Arrangements verändert werden (Cooper 1998, Rasch und Schnotz 2006).

Die extrinsische kognitive Belastung beruht auf dem didaktischen Design der Lehrmaterialien bzw. den Instruktionsbedingungen. Der Austausch dargebotener Lehrmaterialien kann den Grad der extrinsischen kognitiven Belastung verändern (Cooper 1998; Rasch und Schnotz 2006).

Die lernbezogene kognitive Belastung wird den kognitiven Prozessen zugeordnet, die zum Aufbau und die Anpassung kognitiver Schemata und somit zum Lernergebnis beitragen (Rasch und Schnotz 2006). Diese Belastungsart kann, ebenso wie die extrinsische kognitive Belastung, durch die Gestaltung des Lehr-Lern-Arrangements beeinflusst werden. Während die extrinsische kognitive Belastung den Lernprozess stören kann, kann die lernbezogene extrinsische Belastung das Lernen verbessern (Paas et al. 2003).

Modifiziert man die Lehrmaterialien so, dass ein niedrigerer Grad extrinsischer kognitiver Belastung entsteht, wird das Lernen erleichtert, wenn dadurch die kognitive Gesamtbelastung sinkt. Durch die Reduktion der extrinsischen kognitiven Belastung wird zusätzliche Arbeitsgedächtniskapazität freigesetzt, die dann für die lernbezogene kognitive Belastung verwendet werden kann. Dadurch wird nun wiederum die intrinsische kognitive Belastung reduziert, was zu einer Reduktion der Gesamtbelastung führt und so Arbeitsgedächtniskapazität freisetzt. Die freigesetzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses erlaubt den Lernenden, das neu gelernte Material zur Aneignung besserer Schemata zu verwenden. Es beginnt ein neuer Zyklus; nach vielen Zyklen können Wissen und Fähigkeiten auf höherem Niveau erlangt werden (Cooper 1998; Paas et al. 2003).

Die Beziehungen zwischen den drei Belastungsformen sind asymmetrisch. Intrinsische kognitive Belastung liefert eine Grundbelastung, die nicht anders reduzierbar ist, als durch die Konstruktion zusätzlicher Schemata und die

Automatisierung vorher erworbener Schemata. Jede zur Verfügung stehende Arbeitsgedächtniskapazität, die übrig bleibt, nachdem Ressourcen zugewiesen wurden, sie mit intrinsischer kognitiver Belastung zu befassen, können extrinsischer Belastung oder lernbezogener Belastung zugewiesen werden. Diese können im Tandem arbeiten, sodass bspw. eine Reduktion extrinsischer kognitiver Belastung durch ein effektiveres Instruktionsdesign Kapazität für eine Erhöhung der lernbezogenen kognitiven Belastung freisetzt (Paas et al. 2003, S. 2).

Anzumerken ist bei dieser Betrachtung auch, dass die Erhöhung der Effektivität oder der Motivation die kognitiven Ressourcen erhöhen kann. Die Verwendung vielfältiger Beispiele und (meta)kognitiver Hinweisreize (Prompts) - sog. Promptingmaßnahmen - sind weitere Methoden, um die extrinsische kognitive Belastung von Lehr-Lern-Arrangements zu substituieren (Paas et al. 2003, S. 3).

Kritisiert wird an der Cognitive Load Theory, dass sie Faktoren wie Motivation und auch soziale und emotionale Aspekte nur wenig in Betracht zieht. Weiterhin wird moniert, dass die unterschiedlichen kognitiven Belastungsarten nicht separat gemessen werden können. Gleichwohl wird die Cognitive Load Theorie als theoretisch differenziert ausgearbeitet angesehen (Rey 2009).

Dennoch sollte die Cognitive Load Theory nicht als die alleinige Erklärung angesehen werden. Die Planung von Lehr-Lern-Arrangements sollte auch die Fähigkeiten und Eigenheiten der Lernenden und die Charakteristika des Lerngegenstands mit einbeziehen und nicht nur an den kognitiven Belastungen ausgerichtet werden (Urhahne und Harms 2006).

Für das Lernen mit Simulationen liegt die Bedeutung der Cognitive Load Theory darin, dass überlegt werden muss, wie viel kognitive Kapazität für die Bedienung des Programms benötigt wird, die dann nicht mehr für die Auseinandersetzung mit dem zu lernenden Stoff verfügbar ist. Ebenso wird für die Verarbeitung interaktiver und animierter Bilder mehr kognitive Kapazität benötigt, als für die Verarbeitung statischer Bilder. Und auch das Arbeiten in Gruppen belegt einen Teil des Arbeitsgedächtnisses, weil die Lernenden ihre Lerntätigkeiten und Arbeitsabläufe aufeinander abstimmen müssen. Deshalb müssen Lehrende bei der Verwendung von Simulationen, wie auch bei anderen computerbasierten Lernumgebungen, ausführlich klären, welche Erfahrungen und fachspezifische Kenntnisse bereits vorhanden sind, um das Lehr-Lern-Arrangement mit den jeweiligen Gegebenheiten in Einklang zu bringen. Für das Lernen in Gruppen kann es darüber hinaus notwendig sein, Lehr-Lern-Arrangements so zu strukturieren, dass die Zusammenarbeit der Lernenden organisiert und der Fokus auf den zu lernenden Stoff gerichtet ist (Schnotz et al. 1998).

Cognitive Theory of Multimedia Learning

Ein weiterer kognitionspsychologischer Ansatz mit dem Fokus auf computerunterstütztem Lernen ist die kognitive oder generative Theorie multimedialen Lernens von Richard E. Mayer (1997; 2005; zus. mit Moreno 1998). Ihre Wirksamkeit ist nach Blömeke (2003) empirisch am besten abgesichert. Sie basiert auf drei Hauptannahmen: Es gibt erstens einen verbalen und einen nonverbalen, visuellen Kanal mit zwei unterschiedlichen kognitiven Codierungen für verbale und nicht-verbale Informationen, (basierend auf Paivios (1990) Dual-Coding Theory); zweitens geht Lernen mit kognitiver Belastung einher, jeder Kanal hat eine begrenzte Kapazität und Lernen gelingt um so besser, je geringer die Belastung ist (basierend auf der Cognitive Load Theory von Sweller (1988)); und drittens ist Lernen ein aktiver Prozess des Filterns, Auswählens, Organisierens und Integrierens von Informationen auf Basis zuvor erlangten Wissens (basierend auf dem Konstruktivismus) (Mayer 2005; vgl. auch Blömeke 2003).

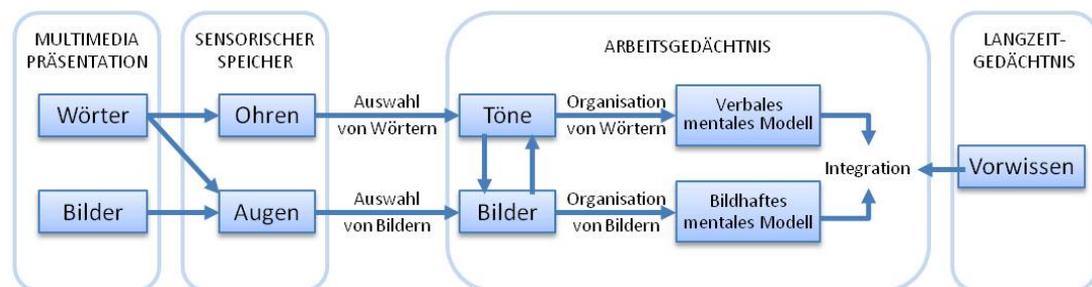


Abbildung 24: Kognitive Theorie multimedialen Lernens (angelehnt an Rey 2009, S. 34 und Mayer 2005, S. 37)

Nach Mayer (2005) kann wirksamer gelernt werden, wenn Texte und Bilder gemeinsam präsentiert werden. Dadurch werden das visuelle und das verbale mentale Modell miteinander verknüpft. Wörter können gedruckte Wörter sein, aber auch gesprochene. Bilder können statische Grafiken, wie bspw. Illustrationen oder Fotos, oder dynamische Grafiken, wie Animationen oder Videoclips sein. Die Definition ist breit genug, um Lehrbuchkapitel, Online-Lektionen, die Animationen und Erzählung einzuschließen und auch Simulationen. Nach der kognitiven Theorie multimedialen Lernens durchlaufen Lernende fünf kognitive Prozesse: (1) sie wählen relevante Wörter aus, um sie im verbalen Arbeitsgedächtnis zu verarbeiten, (2) sie wählen relevante Bilder aus, um sie im visuellen Arbeitsgedächtnis zu verarbeiten, (3) sie organisieren die ausgewählten Wörter in einem verbalen Modell, (4) sie organisieren die ausgewählten Bilder in einem piktoralen Modell, und (5) sie verknüpfen die verbalen und piktoralen Repräsentationen miteinander und mit dem Vorwissen (Abbildung 24). Diese Prozesse ereignen sich nicht notwendigerweise in linearer Reihenfolge. Und auch von Prozess zu Prozess können sich die Vorgehensweisen unterscheiden. Erfolgreiches Multimedialernen erfordert,

dass der Lernende diese fünf Prozesse koordiniert und überwacht. Dafür müssen die Lehrinformationen so gestaltet werden, dass sie diese Prozesse fördern, nicht alle Multimediarepräsentationen sind gleich effektiv. Oder anders formuliert: Das einfache Hinzufügen von Bildern zu Wörtern führt nicht automatisch zu einer Verbesserung beim Lernen. Eine fundamentale Hypothese, auf der Multimedialernen basiert, ist, dass Multimedia-Lehrbotschaften, die so konstruiert wurden, wie das menschliche Gehirn arbeitet, stärker zu bedeutsamen Lernen führen, als jene, die es nicht sind. Eine Multimedia-Lehrbotschaft ist eine Botschaft, die Wörter und Bilder enthält, die das Lernen fördern sollen. Die Botschaft kann durch jedes beliebige Medium geliefert werden, auch Papier. Multimedia-Botschaften können nach Mayer auch auf Büchern basieren oder eben auch auf dem Medium Computer (Mayer 2005).

Schnotz (1993, 2001) wies nach, dass dies auch für Animationen gilt und somit z.T. auch auf Simulationen übertragbar ist (vgl. auch Blömeke 2003). Bei Simulationen können diese Erkenntnisse insofern genutzt werden, als bei ihnen Text und Bild als Informationsquelle lernpsychologisch kombiniert und dadurch visuelle und mentale Modelle in komplexen Lehr-Lern-Arrangements zum Einsatz gebracht werden.

Realitätsnähe als Begründung für den Einsatz von Simulationen

Die Realitätsnähe von Simulationen ist ein weiteres Argument, das für ihre Verwendung herangezogen wird. Wenn eine Simulation so nahe an der Realität ist – so die Annahme –, dann könnte man doch mit ihr wie in der Realität arbeiten. Dadurch entsteht die Möglichkeit, alle Erfahrungen zu machen, die auch in der Realität gemacht werden können, aber ohne die Gefahren und negativen Auswirkungen, wie bspw. Maschinenschäden bei fehlerhaften CNC-Programmen etc. Während frühere Simulationsprogramme noch eine geringe physische und physikalische Wiedergabetreue (-genauigkeit) (physical fidelity) – d.h. Realitätsnähe – aufwiesen, haben neue Simulationen die Möglichkeit, immer näher an die Realität heranzukommen (Coultas et al. 2012). Das Interesse an sehr realitätsnahen (high-fidelity) Simulationen wächst stetig. In einigen Bereichen, wie bspw. militärischen oder auch bei der Ausbildung im klinischen Bereich, ist man inzwischen bereit, Kosten in sechsstelliger Höhe in Kauf zu nehmen (Norman et al. 2012). Es ist jedoch sehr fraglich, ob eine hohe Realitätsnähe auch wirklich bessere Lernergebnisse erzielt. Norman et al. (2012) überprüften 24 Studien, die das Lernen mit realitätsnahen (high-fidelity) Simulationen mit solchen mit geringer Realitätsnähe (low-fidelity) verglichen. Diese Studien bezogen sich auf das Lernen von klinischen Fähigkeiten wie dem diagnostischen Abhören von Organen (Auskultation), chirurgischen Techniken und komplexen Managementfähigkeiten wie z.B. der Herzwiederbelebung. Sie kamen zu dem überraschenden Ergebnis, dass es keinen

signifikanten Unterschied bei den Fähigkeiten zwischen Gruppen gibt, die mit realitätsnahen Simulationen oder solchen mit geringer Realitätsnähe gelernt haben.

Norman et al. (2012) halten vor allem die Authentizität, d.h. die Ähnlichkeit der Simulation zu einem Szenario aus dem "wahren Leben" (real-life), für den entscheidenden Faktor für den Transfer. Wobei sie Nähe zum "wahren Leben", einem Vorschlag von Maran und Glavin (2003) folgend, als mehrdimensionalen Begriff sehen. Einerseits ist hiermit die Authentizität aus Ingenieurssicht (engineering fidelity) gemeint, d.h., ob die Simulation realistisch aussieht. Andererseits die Authentizität aus psychischer Sicht (psychological fidelity), d.h., ob der Simulator die kritischen Elemente, die das spezifische Verhalten exakt simulieren, enthält, die notwendig sind, um die Aufgabe zu erfüllen. Je nach Art des Lerngegenstandes kann das eine oder das andere wichtiger für den Lernprozess sein.

So kann es durchaus sinnvoll sein, Simulationen mit geringerer Realitätsnähe (low-fidelity) zu verwenden, wenn bspw. psychologische Prozesse in Gang gesetzt werden sollen, Konstrukte oder Prozesse vermittelt werden sollen. Je nachdem, wie reichhaltig die Informationen oder Erfahrungen sind, die vermittelt werden sollen, aber auch abhängig davon, wie groß die Vorkenntnisse des Lerners sind, sollte auch die Realitätsnähe angepasst werden (Bell et al. 2008; Reimann 2001). Besonders Anfänger haben von hoher Realitätsnähe nur wenig Nutzen, da sehr realitätsnahe Simulationen auch die vielschichtigsten sind. Hier können Reduzierungen der Komplexität, Verallgemeinerungen und Objektivierungen den Lernprozess unterstützen und verbessern (Reimann 2001; Müller und Steenbock 1997). Insgesamt kann auch festgestellt werden, dass je präziser und eingeschränkter die Repräsentationen und Interaktionsmodi der Simulation sind, die Leistung des Lernenden - motorisch und kognitiv - präziser aber auch unflexibler wird (Winn 2002). Winn (2002) unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen Simulation und Reifikation. Für ihn ist die Simulation eine so exakt wie möglich gestaltete Nachbildung realer Objekte oder Ereignisse, während die Reifikation eher für Phänomene steht, die so in der Realität nicht wahrgenommen oder erfahren werden können. Beispiele hierfür sind sehr kleine Phänomene oder Objekte wie bspw. atomare Strukturen oder aber auch sehr große wie bspw. das Sonnensystem. Da aber diese Reifikationen auf Metaphern bzw. Modellen beruhen (Kugeln, die Atome repräsentieren, Pfeile, die für Kräfte oder Geschwindigkeiten stehen), die sich Programmentwickler oder Designer "ausgedacht" haben, besteht immer die Gefahr von Missverständnissen. Deshalb müssen hier Lehrende den Lernprozess genau beobachten und begleiten und darauf vorbereitet sein, Schwierigkeiten zu erkennen und zu beseitigen.

Ebenso muss gefragt werden, ob trotz aller Realitätsnähe durch Simulationen Lernende nicht eventuell unempfindlicher gegenüber Gefährdungssituationen

gemacht werden, da bspw. Unfälle in Flugsimulatoren oder auch in CNC-Simulatoren folgenlos bleiben und somit Lernende zu risikoreicherem Handeln verleitet werden (Dieterich 1994).

Simulationen als Ersatz für reale Systeme

Dabei kann natürlich immer die Frage gestellt werden: Warum sollte jemand in künstlichen Umgebungen lernen, wenn es so viel in der natürlichen Umgebung zu lernen gibt? (Winn 2002)

Die Annahme, dass Simulationen als Ersatz für reale Systeme genutzt werden können bzw. dass an ihnen genau wie an realen Systemen gelernt, mit ihnen Handlungswissen erworben werden kann, ist pauschal nicht gültig. Spitzer (2012) weist darauf hin, dass Klicken nicht gleich Handeln ist, und bezieht sich dabei auf eine Studie von Kiefer et al. (2007b). Diese Studie wies nach, dass unbekannte Objekte, die erstmalig zu lernen sind, nur bei Ausführung einer zum Objekt adäquaten Bewegung eine frühe Aktivierung in den frontalen motorischen Regionen und spätere Aktivierung occipitoparietalen Regionen des Gehirns, die an der visuellen Handlungssteuerung beteiligt sind, stattfindet. Beim bloßen Zeigen gab es diese Effekte nicht. Demnach kann gesagt werden, dass durch das Klicken mit der Maus, das einer Zeigebewegung gleichkommt, nur wenige Nervenzellen aktiviert werden und demnach nicht nachhaltig gelernt wird. Nur beim konkreten Handeln können im Gehirn Handlungsaktivierungsmuster abgelegt werden (Spitzer 2010, 2012).

3.4.3. Medientheoretische Perspektive

Das Wesen und die Wirkungsweisen von Simulationen sowie ihre Funktion für die Gesellschaft und das Individuum wird durch die medientheoretische Perspektive erörtert.

Bei der Wahl der Medien und ihrer Verwendung im Unterricht sollte immer im Vordergrund stehen, dass sie nur dann zweckmäßig und Erfolg versprechend sind, wenn mit ihnen Einsichten, Fertigkeiten oder Kenntnisse erlangt werden können, die ohne sie nicht erreichbar wären (Arnold und Müller 1992).

Dementsprechend müssen zunächst die angestrebten Ziele des didaktischen Gebietes ergründet werden, um die Funktion des Mediums zu bestimmen. Nur wenn das Medium auf die Gegebenheiten abgestimmt ist, kann mit ihm ein Lernerfolg erreicht werden. Bei der Entwicklung von Lehr-Lern-Arrangements mit Simulationen ist daher die Gesamtsituation des Lernumfeldes einzubeziehen, wobei auch soziale Faktoren zu berücksichtigen sind (Kerres 2005).

Wie bereits im vorigen Abschnitt erörtert, bedienen Simulationen in den Berufsfeldern der Metall- und Elektrotechnik unterschiedliche Zielebenen bzw. "Modellfunktionen" (vgl. S. 73). Die Bewertung einer Simulation hängt von ihrer Funktion, die sie im Unterricht einnimmt bzw. der Kompetenz, die erlangt, resp. dem Lernziel, das mit ihrer Hilfe erreicht werden soll, ab. So wie jedes andere Medium liefert auch die Simulation ihren eigenen - beschränkten - Anteil bei der Aneignung von Kenntnissen. Die o.g. Modellfunktionen können Lehrenden als Unterstützung bei der Einschätzung von Potenzial, Aussagekraft und Grenzen der jeweiligen Simulationen dienen.

Zusätzlich müssen sich Lehrende überlegen, welche Informationen ergänzend beizutragen sind, die durch die Simulation selbst nicht vermittelt werden. So z.B. Bezeichnungen und Beziehungen bei gegenstandsnahen Präsentationen, prägnante anschauliche Fallbeispiele bei abstrakten Präsentationen. Denn die Simulation ist ja nur ein Abbild, ein Modell der Realität und z.T. stark vereinfacht (Glöckel 2003). Diese Vereinfachung ist entweder aus didaktischen Gründen notwendig, um die Komplexität zu reduzieren und damit einer Überforderung der Lernenden vorzubeugen oder aber auch aus technischen Gründen, d.h. bspw. Begrenzungen durch Rechnerkapazität (Arbeitsspeicher, Rechnerleistung, Grafikkarten etc.). Infolgedessen ist eine Erklärung bzw. Ergänzung erforderlich.

Neben diesen Erwägungen sollte bei der Auswahl der Simulation auch darauf geachtet werden, dass fachwissenschaftliche Zusammenhänge korrekt dargestellt werden und dass das Programm auch in gestalterischer Hinsicht die Bedingungen erfüllt (Engeler 2003).

Die auf dem Markt befindlichen Simulationsprogramme unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer bildlichen Darstellungen, ihres Programmumfangs und ihrer Bedienerfreundlichkeit. Dies resultiert einerseits aus den o.a. technischen Möglichkeiten, andererseits daraus, was durch die Simulation dargestellt werden soll und weiterhin aus der Berücksichtigung von softwareergonomischen Aspekten und den Fähigkeiten der jeweiligen Programmhersteller.

Bei Robotersimulationen und Programmen zur Simulation von CNC-Steuerungen bspw. wird versucht, den technischen Prozess realitätsnah abzubilden, dadurch kann die Einbindung der Arbeitszelle des Roboters in sein Umfeld vom Anwender eingeschätzt und nachvollzogen werden. Durch die realitätsnahe Darstellung und die Nachvollziehbarkeit der Auswirkungen der Programmierfähigkeit des Anwenders sind sie gut geeignet, um mit ihrer Hilfe die Programmierung von Robotern oder CNC-Maschinen zu erlernen. Ähnliches gilt für Programme, die zur Simulation von elektrischen und elektronischen Schaltungen dienen (Abbildung 6, S 39), bei denen die Bauteile realitätsnah oder als Schaltzeichen abgebildet werden. Sie ermöglichen es dem Lernenden, mit verschiedenen elektrischen und elektronischen Komponenten zu experimentieren. Werden Simulationen dazu verwendet, den

Umgang mit den Systemen und/oder ihrer Programmierung zu erlernen und zu üben, wenn also die Simulation eine Trainingsfunktion einnimmt, sind die meisten auf dem Markt erhältlichen Programme gut geeignet.

Wichtig ist hierbei wie in jedem Unterricht, dass die Schülerinnen und Schüler klar verstehen, welche Aufgabe sie zu lösen haben. Sie benötigen dazu aufmerksame, dennoch nicht aufdringliche, Unterstützung. Da Computerarbeit dazu tendiert, Lernende voneinander zu isolieren, sollte ein Lehr-Lern-Arrangement mit sozialem Kontext gestaltet werden. Darüber hinaus sollten Lehrende Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den Schülerinnen und Schülern fördern (Winn 2002).

Problematischer sind manchmal Programme, die didaktisch aufbereitet wurden. Bei ihnen sind die Aneignungswege meist determiniert, Lernende müssen diese einhalten, eine Abweichung bzw. Anpassung an individuelle Lernwege ist oft nicht vorgesehen. Grundsätzlich ist bei allen Computeranwendungen zu bedenken, dass immer nur solche Aktionen möglich sind, die von den Programmentwicklern vorgesehen und umgesetzt wurden (Ross 1994). Hier ist darauf zu achten, dass die didaktisch aufbereiteten Programme anpassbar an die jeweilige Lernsituation sind und in ihrem Programmablauf auch unterbrochen werden können, wenn bspw. Fragen auftreten.

Lernen mit computergestützten Umgebungen, die auf einer Simulation basieren, funktionieren am besten mit einem problemlösenden oder konstruktivistischen Ansatz. Lehrende sollten Lernenden erlauben, in ihnen zu experimentieren und vor allem durch Fehler lernen zu können. Zum Erlernen von Basiswissen sind virtuelle Welten oft nicht so gut geeignet (Winn 2002).

Ein positives Beispiel didaktisch aufbereiteter Simulationsprogramme liefert FESTO mit der CIROS Automation Suite. Die verschiedenen Produkte bieten die Möglichkeit zu lernen, wie Industrieroboter oder SPS programmiert werden, Fertigungsanlagen geplant, gesteuert und verwaltet werden aber auch die Option, individuelle mechatronische Systeme aufzubauen und Modelle und deren Simulation zu erstellen. Die Produkte liefern Modelle, Assistenten, mit Hilfen und multimedialen Erläuterungen, die auch um eigene Dokumente erweitert werden können. Die vorbereiteten Aufgabenstellungen ermöglichen es Lernenden, selbstständig zu arbeiten und individuelle Unterstützung durch die Hilfefunktionen zu bekommen. So kann der Unterricht reich an Abwechslung und projektorientiert gestaltet werden, die Lernenden können selbstständig und differenziert arbeiten und experimentieren. Die Programme sind anpassbar. Für eine Wartungsaufgabe können Lehrende bspw. unterschiedliche Störungen in simulierte Anlagen einbauen (z.B. Kabelbrüche, Druckluftverluste oder Ausfälle von Ventilen oder Lichtschranken), die von den Lernenden gefunden und behoben werden müssen (Abbildung 25).

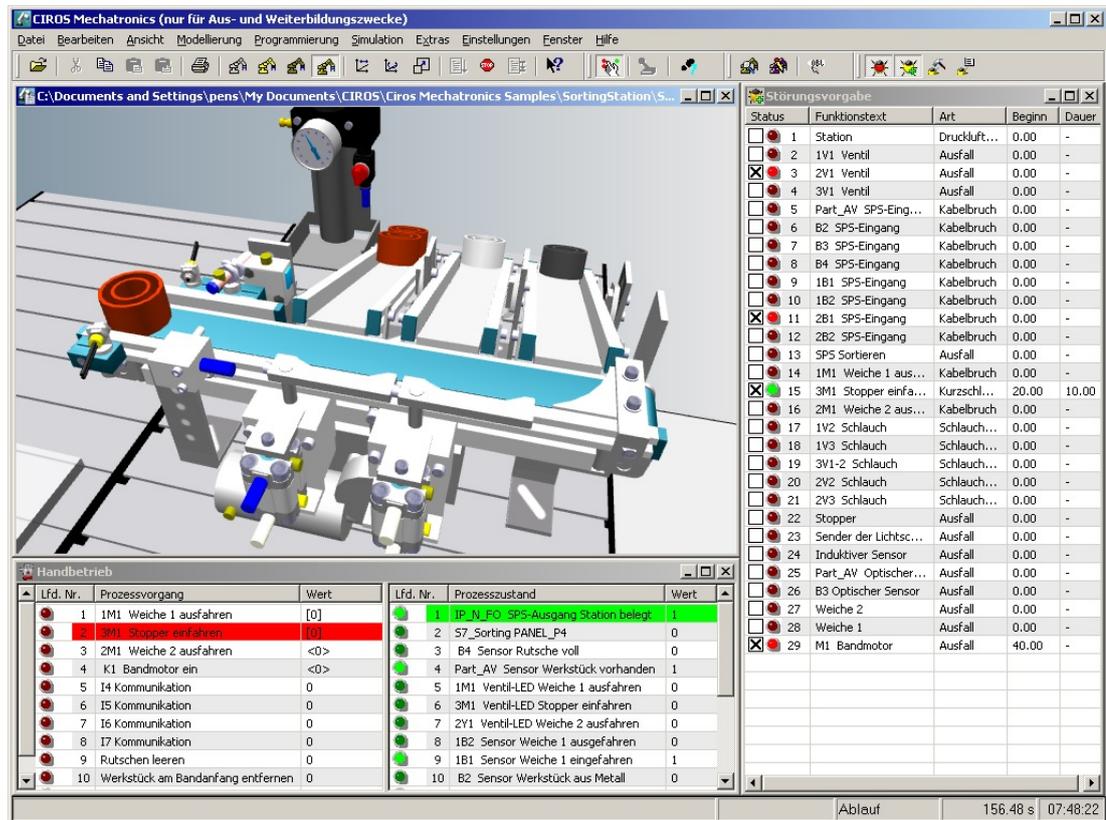


Abbildung 25: Fenster des Programms CIROS für die Vorgabe von Störungen durch die Lehrkraft (vgl. Pensky 2012)

Die Lehrkraft wählt in ihrem Programmbereich geeignete Störungen aus (Abbildung 25), verteilt sie an die Arbeitsplätze der Schülerinnen und Schüler, die diese nach Aktivierung methodisch suchen und beheben. Dazu können sich die Schülerinnen und Schüler bspw. Sensorwerte oder Ventilzustände anzeigen lassen oder verschiedene weitere Werkzeuge bzw. Dokumente, wie z.B. pneumatische oder elektrische Schaltpläne verwenden (Abbildung 26). Die gefundenen Fehler können die Lernenden mithilfe eines Störungsfensters kompensieren.

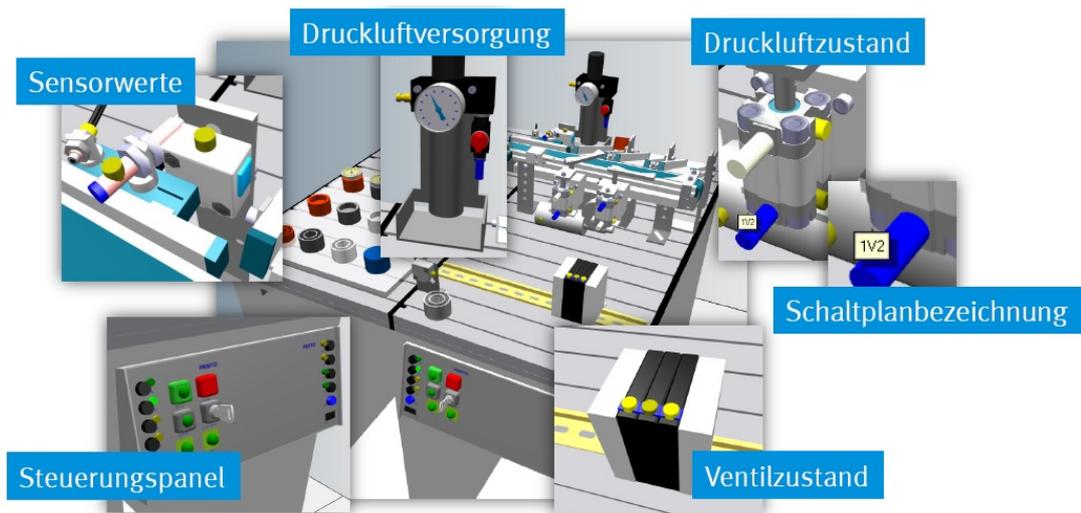


Abbildung 26: Werkzeuge für die Störungssuche (vgl. Pensky 2012)

Im sog. "Lehrermodus" (Abbildung 27) kann die Lehrkraft im Anschluss überprüfen, welche Störungen von den Lernenden gefunden wurden und die Problemlösungsstrategie der Schülerinnen und Schüler analysieren (Pensky 2012).

Störungsprotokoll					
Lfd. Nr.	Datum	Uhrzeit	Funktionstext	Kompensation	
1	09.12.2010	15:30:49	2V2 Schlauch	Schlauch defekt	
2	09.12.2010	15:30:56	2V2 Schlauch	Keine Störung	
3	09.12.2010	15:31:22	2V2 Schlauch	Schlauch defekt	
4	09.12.2010	15:31:48	1B1 SPS-Eingang	Kabelbruch	
5	09.12.2010	15:31:50	1B1 SPS-Eingang	Keine Störung	
6	19.04.2011	12:37:44	Stopper	Ausfall	
7	19.04.2011	12:37:56	1M1 Weiche 1 ausfahren	Kabelbruch	
8	21.04.2011	14:53:30	Station	Druckluftversorgung gestört	
9	21.04.2011	14:54:16	Stopper	Ausfall	
10	21.04.2011	15:01:54	Induktiver Sensor	Ausfall	
11	21.04.2011	15:02:51	Induktiver Sensor	Keine Störung	
12	21.04.2011	15:09:43	1M1 Weiche 1 ausfahren	Kabelbruch	
13	21.04.2011	15:12:18	Weiche 1	Ausfall	

Abbildung 27: Störungsprotokoll für die Auswertung der virtuellen Wartung durch den Lehrenden (vgl. Pensky 2012)

Viele andere didaktisch aufbereitete Programme haben den Leitgedanken der Handlungsorientierung jedoch nicht mit einbezogen, sondern das Hauptaugenmerk auf optische Reize wie ausgefeilte Grafiken und Animationen gelegt. Den Urhebern multimedialer Lehrprogramme fehlt es oft an überzeugenden und Erfolg versprechenden Strategien und Systematiken, die die Möglichkeiten der Medien nutzen. Den Programmen scheint die Vorstellung zugrunde zu liegen, dass Lehren

ein "Akt der Übertragung von Wissen" (Thissen 1998, S. 31) ist und "Lernen [...] Wissensaufnahme" (ebd., S. 31). Häufig ist zu beobachten, dass schon nach kurzer Zeit die Programme von Schülerinnen und Schüler als einförmig, spannungslos und ermüdend beurteilt werden, weil sie nicht an eigene Bedürfnisse angepasst werden können. Dadurch sind Lehrende in der Pflicht, bei derartigen Programmen zu überlegen, ob sie sie wirklich einsetzen und sich dadurch ihr "didaktisches Heft" aus der Hand nehmen lassen wollen (Schneider und Wittenbröcker 2010, S. 271; Thissen 1998).

Ein Beispiel hierfür sind die "Visualisierten Arbeitsaufträge" zu "Metalltechnik – Grundwissen" vom Westermann Verlag. Arbeitsaufträge, die mit diesem Programm visualisiert werden, sind z.B. die manuelle Fertigung eines Haltebügels (Abbildung 28) und die maschinelle Fertigung eines Klemmhalters (Abbildung 29).

Der Verlag wirbt mit der Aussage, dass "Gegenstände und technische Vorgänge in einer zwei- und dreidimensionalen Simulation 'begreifbar' " gemacht werden können, und möchte dazu beitragen, "einen Teil des praktischen Könnens zu vermitteln" (Kaese und Rund 2006). Dem Verwender des Programms bleibt aber bei jedem Arbeitsauftrag nur die Auswahl, sich die einzelnen Arbeitsschritte in Textform anzusehen (Abbildung 28) oder sich die Arbeitsabläufe als Animation anzeigen zu lassen. Die einzige mögliche Interaktion ist das Drücken auf den Vorwärts- bzw. Zurück-Button (Abbildung 29). Damit erfüllt das Programm nicht unbedingt die Kriterien einer Simulation. Weiterhin bleibt fraglich, welches Wissen mit diesem Programm erworben werden soll. Sowohl für Lerner als auch Lehrende ergibt sich keinerlei Handlungsspielraum.

Startseite : Visualisierte Arbeitsaufträge : Hilfe : Impressum

Mischbehälter
Fertigen des Haltebügels

Die Aufgabe besteht darin, einen Haltebügel für einen Mischbehälter zu fertigen. Der Haltebügel soll aus dem Werkstoff S 235 JR gefertigt werden. Dazu wird aus einer 2 mm dicken Blechtafel ein Blechstreifen mit den Maßen 25 mm x 198 mm geschnitten.

1. Im ersten Arbeitsschritt werden auf dem Blech nach den Vorgaben der Zuschnittszeichnung die Bohr- und Biegelinien angerissen.
2. Anschließend wird das Blech in einem Maschinenschraubstock eingespannt. Um das Blech richtig einzuspannen, sind ggf. Parallelstücke zu verwenden.
3. Nun kann die erste Bohrung durchgeführt werden. Dazu ist ein Spiralbohrer Ø 6,6 mm (H5) zu verwenden.
4. Die Fertigung der zweiten Bohrung erfolgt nach derselben Vorgehensweise.
5. Der folgende Arbeitsschritt sieht das Biegen des Bleches vor. Dazu wird das Blech zusammen mit dem Biegeklotz in den Schraubstock eingespannt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Biegelinien mit den Markierungen am Biegeklotz übereinstimmen.
6. Mit einem Gummihammer ist das Blech nun vorsichtig so umzuschlagen, dass eine gleichmäßige Rundung entsteht.
7. Anschließend wird das vorgebogene Blech mit einer Schraubzwinde fixiert. Unter Zuhilfenahme einer Rundstange sowie des Gummihammers, erfolgt nun die restliche Biegung, so dass eine 180°-Biegung entsteht.
8. Danach wird das Blech erneut im Schraubstock eingespannt, um die erste 90°-Biegung an den Endstücken durchzuführen. Dabei ist erneut auf die angetrisenen Biegelinien zu achten.
9. Nun kann die Biegung erfolgen. Hierbei ist darauf zu achten, dass an der abgewinkelten Stelle tatsächlich ein 90°-Winkel entsteht. Gegebenenfalls ist mit einem Hammer nachzuarbeiten.
10. Analog zur ersten Biegung wird auch die zweite 90°-Biegung durchgeführt. Damit ist die Fertigung des Haltebügels abgeschlossen.

zurück



Szenario abspielen:

Start

Abbildung 28: Arbeitsschritte für das Fertigen eines Haltebügels für einen Mischbehälter (Kaese und Rund 2006)

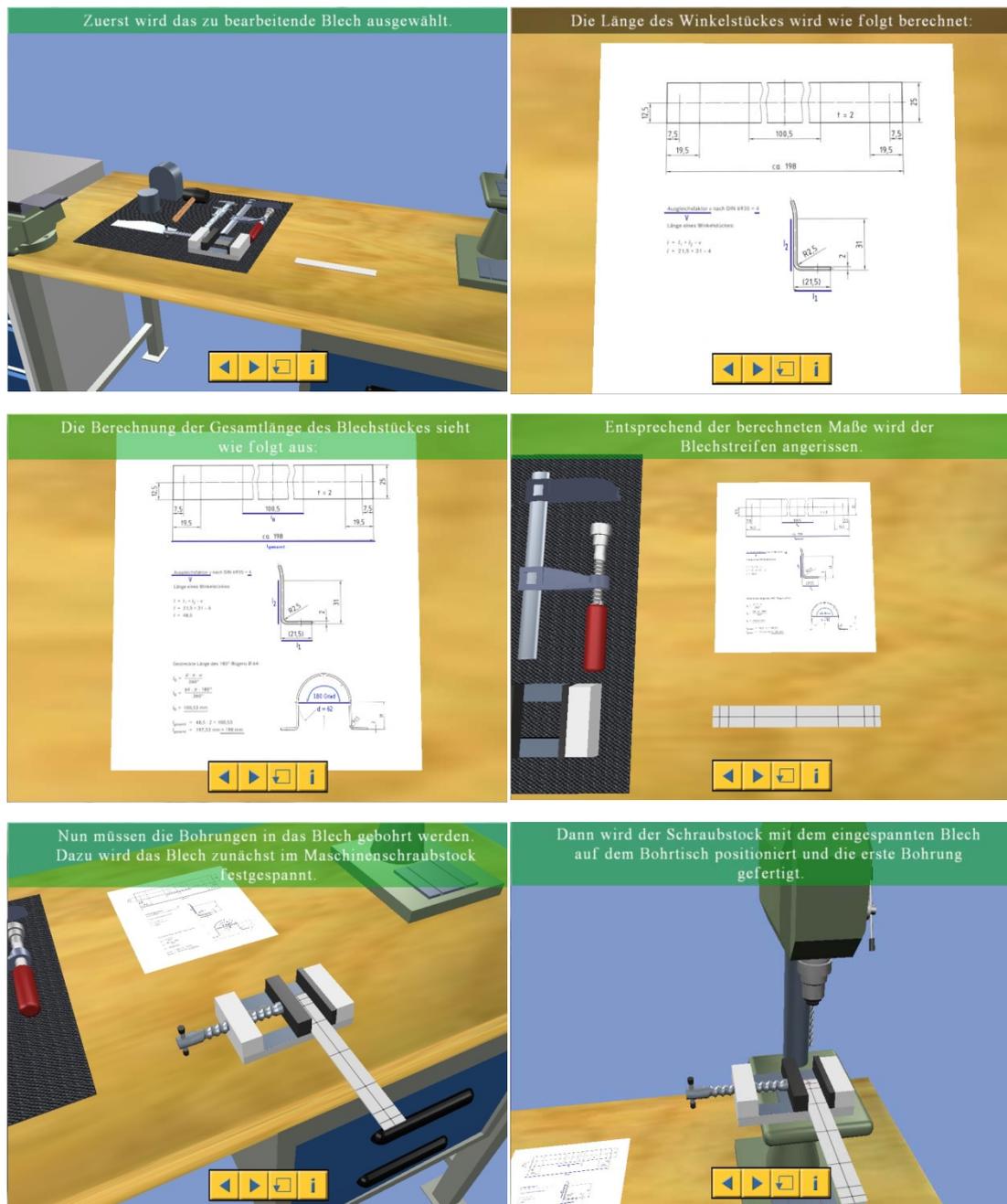


Abbildung 29: Screenshots - Fertigen eines Haltebügels für einen Mischbehälter (Kaese und Rund 2006)

Beispiele für weitere Typen von Programmen, die in der Industrie Verwendung finden, sind FEM-Simulationen. Diese berechnen Prozesse und bilden sie ab bzw. visualisieren Prozesse, die so in der Realität nicht sichtbar sind (Deformationen, Spannungen in Bauteilen, Abkühlungs- und Strömungsprozesse). Um die Analyseergebnisse darzustellen, verwenden die Hersteller verschiedene Farben. Die Darstellungen der Bauteile können meist relativ schnell intuitiv verstanden werden, da bspw. die Farbe Rot für Stellen mit hoher Spannung oder hoher Temperatur verwendet werden, während Blau für Bereiche ohne Spannung bzw. mit niedriger Temperatur steht. Diese Programme können sehr gut unterstützend angewendet

werden, wenn in der Fachoberschule oder Berufsoberschule Technische Mechanik unterrichtet wird, die vielen Schülern aufgrund ihrer abstrakten Darstellungen (Balkentheorie, Schnittlasten etc.) Schwierigkeiten bereiten. Bei diesen Programmen, d.h. der Verwendung der Simulationen zur Strukturierung, Deskription, Steuerung, Prognose, Kontrolle, Evaluation oder auch als Ersatz für reale Versuche, ist intensive Vorbereitung und meist auch begleitende Unterstützung und Instruktion notwendig. Das begründet sich einerseits darin, dass die verwendeten Modelle nun nicht mehr realitätsnah sind, sondern sich sowohl in Farbgebung als auch im Verhalten unterscheiden. Beispielsweise werden Bauteilverformungen in den Analyseprogrammen übertrieben dargestellt, um sie deutlich sichtbar zu machen. Je nach Vorkenntnissen, Ausbildungsstand und Bildungsgang sollte insbesondere bei FEM-Simulationen auf die zugrunde liegenden Differentialgleichungen, die finiten Elemente, die Auswirkung der Anzahl der Elemente, der Knoten, der Geometrie der Netze etc., die die Basis einer jeden FEM-Simulation bilden, eingegangen werden. Dies kann bei Berufsschulklassen einfach gehalten sein, sollte aber bei Lernenden in Berufsoberschul- oder Technikerschulklassen durchaus auch intensiver diskutiert werden. Die Anwendung dieser Programme bedarf u.a. aufgrund vieler einstellbarer Parameter (Randbedingungen etc.) zusätzlich einiger Übung.

Programme zur Gießsimulation können z.B. Lernenden an Technikerschulen oder künftigen Gießereimechanikern oder Modellbauern die Notwendigkeit gießgerechter Gestaltung illustrieren. Bei diesen Programmen ist jedoch zu berücksichtigen, dass viele in ihrer Anwendung recht komplex sind und eine hohe Rechnerleistung benötigen und einige sehr teuer in der Anschaffung sind.³⁵ Hier ist abzuwägen, ob das jeweilige Programm von den Lernenden genutzt wird oder ob es vielleicht sinnvoller ist, wenn der/die Lehrende diese Programme nutzt, um für die jeweilige Unterrichtssituation Animationen zur Visualisierung zu erstellen, die Simulation hier also eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion hat.

Simulationsprogramme mit abstrakten Visualisierungen, wie bspw. das oben erwähnte Programm zur Simulation von Getriebekinematiken (Abbildung 11, S. 43), dienen sicherlich nicht in erster Linie der technischen Erklärung der Getriebekinematik, können aber durchaus ihre Berechtigung darin haben, dass die teilweise sehr komplexen und langwierigen Berechnungen in diesem Bereich erleichtert und verkürzt werden. Die Bedeutung von Eingangsgrößen, Randbedingungen und Funktionen von Getrieben lassen sich damit - bspw. für den Bereich der Konstruktionslehre oder der Getriebetechnik - anschaulich darstellen. Sie bedürfen dann jedoch wiederum Zusatzinformationen und intensiverer Auseinandersetzung mit den jeweiligen Darstellungsformen.

³⁵ Preise/Anschaffungskosten in Höhe von teilweise 10 - 20.000 Euro und mehr pro Arbeitsplatz

In Kapitel 5 werden beispielhaft Unterrichte mit Simulationen vorgestellt.

Bei der Auswahl der Simulation steht zunächst das Ziel des Unterrichts im Vordergrund und ob die Simulation grundsätzlich geeignet ist, dieses zu erreichen. Weiterhin ist zu prüfen, ob das Programm fachwissenschaftlich fehlerfrei ist und die Gestaltung den Anforderungen entspricht, d.h. der Grad der Komplexität des Modells bzw. der Simulation angemessen ist, ob der zentrale Unterrichtsgegenstand in auf die Fähigkeiten der Lernenden abgestimmter Weise dargestellt wird. Das Modell sollte nach Möglichkeit nachvollziehbar gestaltet sein, ohne dabei durch Ungenauigkeiten Fehler zu produzieren (Engeler 2003). Dabei ist es wiederum bedeutsamer, wie die Simulation in den Unterricht eingebunden ist, als ihre technische Beschaffenheit (Sacher 1998; Weidenmann 2002).

Zur Beurteilung der Qualität der Mensch-Computer-Interaktion schlägt Karwowski (2012) u.a. folgende Fragen vor:

1. Ist der Mensch-Computer-Dialog passend für die vorgesehene Aufgabe?
2. Ist der Dialog selbsterklärend und einfach vom Benutzer zu kontrollieren?
3. Stimmt der Dialog mit den Erwartungen des Benutzers an diesen Teil überein?
4. Ist der Dialog fehlertolerant und für das Lernen des Benutzers geeignet?
5. Ist die Kommandosprache auf erfahrene Benutzer beschränkt?
6. Werden detaillierte Menüs für Benutzer mit geringen Kenntnissen und Erfahrungen verwendet?
7. Ist die Art des Hilfe-Menüs an die Fähigkeiten des Benutzers angepasst? [...]
8. Ist die Anzahl der Funktionstasten limitiert?
9. Wurde die Beschränkung der Sprache für den Mensch-Computer-Dialog berücksichtigt? [...] (ebd., S. 10)

Schulmeister (2000, S. 40) hat zur Beurteilung didaktischer Aspekte hypermedialer Lernsysteme Gegensatzpaare aufgelistet (Tabelle 5 auf der folgenden Seite), die auch für die Verwendung von Simulationen im Unterricht von Bedeutung sind. So ist es zunächst positiv zu bewerten, wenn sich das Simulationsprogramm an die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler anpassen lässt oder es ihnen erlaubt, den Startpunkt ihren Voraussetzungen entsprechend selbst zu wählen. Sehr gute Programme zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie unterschiedliche Lernstrategien zulassen. Die Gegensatzpaare illustrieren gleichzeitig die Spannweite didaktischer Entscheidungen, die Lehrende bei der Konzeption eines Lehr-Lern-Arrangements zu treffen haben. Im Unterricht in der Beruflichen Bildung sollten

bevorzugt berufsbezogene Aufgabenstellungen und berufliche Probleme gelöst werden (Praxisbezug). Im Gegensatz dazu stehen themenbezogene Aufgabenstellungen und die Lösung fachlicher Probleme (Disziplinentorientierung). Einige Aspekte, wie beispielsweise leichte und komplizierte Bedienbarkeit, schließen sich gegenseitig aus.

Tabelle 5: Didaktische Aspekte hypermedialer Lernsysteme (vgl. Schulmeister 2000, S. 40)

Adaption an Lernvoraussetzungen	versus	Reproduktion von Fachstandards
Orientierung an Lernzielen	versus	Orientierung am Fach
Motivation	versus	Kognition
Abstraktion	versus	Kontextualität
Lernerzentriertheit	versus	Fachzentriertheit
Disziplinentorientierung	versus	Praxisbezug
Sequentieller Aufbau	versus	Hierarchischer Aufbau
Leichte Bedienbarkeit	versus	Komplizierte Bedienbarkeit
Monomodalität	versus	Multimodalität
Instruktion	versus	Lernen

Für den Einsatz von Simulationen gilt grundsätzlich, dass nur ausgewählte Unterrichtskonzepte mit speziellen Lern- und Arbeitsaufgaben, die Zusatzinformationen sowie Anleitungen bereitstellen und Erläuterungen sowie ein Feedback ermöglichen, nachweisliche Lernerfolge erwarten lassen.

Der Aufwand der Benutzung von Simulationen im Unterricht (sowohl bzgl. der Vorbereitung als auch finanziell) muss durch den Lernertrag gerechtfertigt sein. Die Begründung, dass eine Simulation verwendet wird, weil sie existiert oder weil sie schöne Animationen produziert, ist nicht ausreichend. Nicht alles, was möglich ist, ist notwendigerweise wünschenswert (Salomon und Perkins 1996). Aber zu bedenken ist, dass Simulationen für Lernende eine weitere und auch andere Möglichkeit darstellen, sich Wissen anzueignen und dadurch ihr "Spektrum [an] Lernstrategien und Lernerfahrungen" bereichern (Weidenmann 2002, S. 61).

Eventuell müssen die jeweiligen Programme sukzessive erarbeitet werden. Auch hier sollten Schülerinnen und Schüler bei Bedarf Unterstützung bekommen. Sie sollten animiert werden, Resultate und Modelle zu prüfen und zu beurteilen (Engeler 2003).

Für die Beurteilung von Simulationsprogrammen für Lehr-Lern-Arrangements können aber auch gestalterische und technische Grundsätze einbezogen werden.

Diese spielen besonders bei der Akzeptanz der Anwendungen eine Rolle. Grundsätzlich müssen Simulationsprogramme Grundsätzen human gestalteter Arbeit genügen, aber auch Standards der Software-Ergonomie erfüllen. Richtungsweisend sind hier, wie bereits auf S. 24 angedeutet, die DIN Normen DIN EN ISO 9241 (Ergonomie der Mensch-System-Interaktion) und DIN EN ISO 14915 (Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen). Hervorzuheben ist hier vor allem aus der DIN EN ISO 9241 der Teil 110 (Grundsätze der Dialoggestaltung) mit folgenden Anforderungen an die Qualität einer Softwareanwendung: Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit.

Jarz (1997) sieht insbesondere folgende Grundsätze bezüglich der Gestaltung und Technik als wesentlich an (Tabelle 6):

Tabelle 6: Überblick über die Grundsätze der Gestaltung multimedialer Anwendungen (Jarz 1997, S. 293)

Gestaltungsgrundsätze	Technische Grundsätze
• Mehrfachcodierung	• Benutzerkontrolle
• Interaktionstransparenz	• Akzeptable Qualität der Informationsdarstellungen
• Metaphernkonsistenz	• Systemfeedback in akzeptablen Antwortzeiten
• Interaktionskonsistenz/ Funktionskohärenz	
• Erwartungsmapping	
• Aktive Orientierungsunterstützung	
• Weniger ist mehr	
• Transparenz	
• Interaktionsminimierung	

Auf den Gesichtspunkt *Mehrfachcodierung* ist in diesem Kapitel unter dem kognitionspsychologischen Aspekt bereits ausführlich eingegangen worden und er soll deshalb nicht noch einmal aufgegriffen werden (vgl. S. 99ff und S. 105ff).

Unter der *Interaktionstransparenz* ist zu verstehen, dass das Programm so gestaltet sein sollte, dass der/die Anwender/in immer erkennen kann, welche Möglichkeiten zur Interaktion er/sie hat und welche Effekte die Interaktion hat. So soll bspw. die

Verwandlung des pfeilförmigen Cursors in eine zeigende Hand bei Anwendungen im Internet dem/der Nutzer/in symbolisieren, dass der Klick auf diesen Bereich dem Folgen des Hyperlinks entspricht und eine neue Seite geöffnet wird. Ebenso signalisieren bspw. die Unterstreichung und die blaue Farbe des Textes einen Hyperlink. Der/die Anwender/in kann die Interaktionsmöglichkeiten dadurch identifizieren und seine Auswirkungen nachvollziehen (Jarz 1997).

Unter *Metaphernkonsistenz* ist die Übereinstimmung von Bildern und Vorstellungen, die im Programm verwendet werden, mit den Bildern und Vorstellungen aus dem alltäglichen Leben der Nutzer. So steht bspw. ein stilisierter Einkaufswagen in vielen Online-Stores für das virtuelle "in den Einkaufswagen legen" eines gewünschten Produkts (Jarz 1997). Aber auch das virtuelle Verschlussgeräusch der Blende bei der Handykamera ist ein Beispiel für Metaphernkonsistenz.

Interaktionskonsistenz und *Funktionskohärenz* meinen die Nachvollziehbarkeit, Widerspruchslosigkeit und Stringenz bei der Bedienung von Programmen (Jarz 1997). So erwarten die meisten Nutzer oben rechts bei ihren Programmen ein Kreuzsymbol zum Schließen des Fensters bzw. Programms und wären irritiert, wenn innerhalb des Programms diese Funktion unten links auftauchen würde. Ein weiteres Beispiel sind Tastenkombinationen, die sich bei vielen Anwendern durchgesetzt haben. Bei der Betätigung von Ctrl (bzw. Strg) und C (bei Apple-Computern Apfel und C) wird z.B. erwartet, dass der zuvor markierte Text in die Zwischenablage kopiert wird und man ihn mit Ctrl (bzw. Strg) und V (bei Apple-Computern Apfel und V) an zuvor ausgewählter Stelle einfügen kann.

Erwartungsmapping bedeutet, dass die Wirkung den Erwartungen der Anwender entspricht. Der/die Nutzer/in erwartet etwa bei der Betätigung eines Schalters eine Wirkung, eine Reaktion des Systems (Jarz 1997).

Insbesondere bei komplexen Programmen ist eine *aktive Orientierungsunterstützung* – Navigationshilfen wie bspw. Sitemaps oder Suchmöglichkeiten - angebracht, die die Anwender beim Zugriff auf die jeweils gewünschten Informationen unterstützen, ihnen einen Überblick über die Struktur des Programms geben oder durch die Angabe des Navigationspfades über die aktuelle Position im Programm orientieren. Darüber hinaus können solche Pfade auch genutzt werden, um zu vorhergehenden Programmschritten zu springen (Jarz 1997).

Der Grundsatz "*weniger ist mehr*" bedarf sicherlich keiner ausführlichen Erläuterung. Programme sollten eher nur jene Funktionsmöglichkeiten offen zur Verfügung stellen, die der/die Nutzer/in in dem jeweiligen Zusammenhang voraussichtlich benötigen wird (Jarz 1997).

Transparenz bezieht sich darauf, dass Benutzeroberflächen selbsterklärend und sofort bedienbar sind (Jarz 1997).

Interaktionsminimierung meint, dass die wichtigsten und am häufigsten verwendeten Funktionen und Informationen nicht mehr als drei Interaktionen (bspw. Mausclicks) benötigen (Jarz 1997).

Benutzerkontrolle zielt auf die Kontrolle über die Anwendung ab. Anwender müssen bspw. jederzeit Programme bzw. die Ausführung einzelner Programmschritte abbrechen können (Jarz 1997).

Akzeptable Qualität der Informationsdarstellungen hat vor allem Einfluss auf die Akzeptanz des Programms bei den Nutzern (Jarz 1997). So erwarten insbesondere Jugendliche mit Computerspielerfahrung meist hochwertige Grafiken und flüssige Animationen.

Bei Interaktionen erwarten Anwender ein *Systemfeedback in akzeptablen Antwortzeiten*. Ergebnisse bzw. Reaktionen müssen möglichst unmittelbar oder zumindest so zeitnah geschehen, dass Anwender den Zusammenhang zwischen Interaktion und Feedback noch erkennen können (Jarz 1997).

Diese gestalterischen und technischen Grundsätze sind jedoch nur Qualitätskriterien, die vor allem auf die Akzeptanz, Zufriedenheit und Motivation beim Lerner abzielen. Über die didaktische Qualität von Simulationsprogrammen können kaum Aussagen gemacht werden. Einige Aspekte, wie bspw. die Antwortzeit und auch die Aspekte, die sich auf die Nachvollziehbarkeit beziehen, haben jedoch indirekt auch Einflüsse auf den Lernprozess. Wird der/die Lernende in seinem/ihrer Lernprozess unterbrochen, z.B. beim Warten auf ein Systemfeedback oder weil er/sie benötigte Funktionen nicht finden kann, ist das Lernen naturgemäß ebenfalls gestört.

Im nächsten Kapitel wird eine Analyse im Handel erhältlicher Simulationen, die im metall- und elektrotechnischen Unterricht verwendet werden (könnten), vorgenommen, die Simulationen werden bezüglich ihrer Eignung für die unterschiedlichen Bildungsgänge bewertet und es werden Vorschläge gemacht, welche Modellfunktion sie dort einnehmen könnten.

4. Übersicht und Analyse im Handel erhältlicher Simulationen

Im **vierten** Kapitel wird eine Analyse von Simulationen aus dem Feld Metall- und elektrotechnischen Berufe, die im Unterricht verwendet werden (könnten), vorgenommen.

Die nachfolgenden Abschnitte beinhalten eine Marktübersicht der Simulationen (Stand Dezember 2012). Dabei wurden hauptsächlich Quellen aus dem Internet berücksichtigt, aber auch mündliche Informationen von Experten aus den verschiedenen Bereichen auf einschlägigen Messen (bspw. Didacta, Hannover Messe), in Betrieben, im Umfeld der Schulen und auch bei Ausbildern eingeholt. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Anhand der ausgewählten und bewerteten Software können aber meist Rückschlüsse auf ähnliche Programme gemacht werden.

Die Simulationen werden in einer Tabelle bezüglich der Eignung für die unterschiedlichen Bildungsgänge bewertet und es wird vorgeschlagen, welche Modellfunktion sie dort einnehmen könnten.

In den Tabellen steht BS für Berufsschule der einschlägigen Ausbildungsberufe, FOS für Fachoberschule, BOS für Berufsoberschule und FS für Fach- bzw. Technikerschule, dabei sind die Grenzen von Ingenieuren zu Fachschulen nicht immer eindeutig.

Die Symbole ☺ ☹ ☹ stehen für ☺ gut, ☹ weniger gut, ☹ eher nicht geeignet. Dies bezieht sich vor allem auf die Verwendung durch die Lernenden. Das bedeutet, dass ein Programm, obwohl es für Lernende nicht geeignet ist, durchaus eine Modellfunktion – insbesondere eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion – haben kann.

Die Abkürzungen der sechs Modellfunktionen, die für die Berufliche Bildung von curricularer und fachdidaktischer Bedeutung sind (vgl. Kap. 3.4.1, S. 73), finden sich in nachstehender Tabelle (Tabelle 7).

Tabelle 7: Abkürzungen der Modellfunktionen

Modellfunktion	Abkürzung
Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion	SuD
Trainingsfunktion	T
Ersatzfunktion	E
Steuerungsfunktion	S
Prognosefunktion	P
Kontroll- und Evaluationsfunktion	KuE

Die Einschätzung über die Eignung für Bildungsgänge beruht, falls nicht anders gekennzeichnet, oft auf den Informationen, die über das Programm im Internet erhältlich sind, d.h. meist die Eigenwerbung der Hersteller/Anbieter, und einer Beurteilung durch die Autorin, aber nicht den eigenen Erfahrungen oder Tests der Autorin.

Darüber hinaus werden im Anhang weitere Informationen zu den Programmen zusammengestellt, wie bspw. die Zielgruppen, d.h. Berufe bzw. Anwendungen, für die die jeweilige Software geeignet ist, die Dialogsprachen, welche Dokumentationen es zu dem entsprechenden Programm gibt und welche Leistungen (z.B. Wartung, Hotline etc.) evtl. beim Kauf der Software inkludiert sind, für welches Betriebssystem sie sich eignen und beispielhaft ist ein Anbieter des Programms angegeben. Die angegebenen Preise sind oft tagesaktuelle Preise. Beim Kauf lohnt es sich, Angebote verschiedener Anbieter einzuholen. Oft gibt es spezielle Educational-Versionen, Demo-Versionen, kostenlose Testprogramme, wobei genau geprüft werden muss, welchen Programmumfang diese Versionen beinhalten. Einige Anbieter stellen den vollen Umfang bereit, andere schränken ihn stark ein. So unterscheidet sich bspw. beim Autodesk Inventor 2013 die LT-Version von der Professional-Version dadurch, dass mit der LT-Version u.a. keine großen Baugruppen konstruiert werden können, keine regelbasierten Konstruktionen (d.h. Automatisierung von Konstruktionsvorgängen) möglich sind, eine eingeschränkte Funktionalität für die Blechkonstruktion enthalten ist, keine Konstruktion von Kunststoffteilen, vollständige Formteil- und Werkzeugkonstruktion, Rohrleitungskonstruktion, Kabel- und Kabelbaum-Konstruktion, Dynamische Simulation und auch keine FEM-Analyse möglich ist (Weyer 2013).

Die Angaben zu den Programmen stammen unter anderem von dem Softwareführer SoftGuide,³⁶ dem Heise Software-Verzeichnis³⁷ und den verschiedenen Anbietern der jeweiligen Software.

Für die verschiedenen Betriebssysteme (OS) stehen die Symbole

-  (für Windows),
-  (für Mac) und
-  (für Linux bzw. Unix).

³⁶ SoftGuide Softwareführer. Online verfügbar unter <http://www.softguide.de/>, zuletzt geprüft am 04.07.2013.

³⁷ heise Software-Verzeichnis. Online verfügbar unter <http://www.heise.de/download/>, zuletzt geprüft am 05.07.2013.

4.1. Analyse im Handel erhältlicher Simulationen

Viele Phasen des Produktionsprozesses und auch andere betriebliche Prozesse werden computergestützt realisiert. Die CA-Systeme oder auch CAX-Systeme nehmen einen großen Teilbereich ein und sollen deshalb in diesem Zusammenhang überblicksweise dargestellt werden.

Der Begriff CA-Systeme oder auch CAX-Systeme bezeichnet rechnerunterstützte Systeme, die im Rahmen des Produktentstehungsprozesses verwendet werden. CA steht dabei für Computer Aided (computerunterstützt). Zu ihnen gehören unter anderem Werkzeuge zur Konstruktion (CAD), zur Berechnung und Simulation (CAE), zur technischen Steuerung und Überwachung von Fertigungs-, Montage- und Prüfprozessen (CAM), zur Überwachung von Arbeitsvorgängen (CAP) oder auch zur Qualitätssicherung (CAQ). Ebenfalls können Programme zur Untersuchung von Verformungen und Spannungen auf Grundlage der Finite Elemente Methode (FEM), Programme zur Analyse von Mehrkörpersystemen (MKS), mit denen bspw. das dynamische Verhalten von Maschinen untersucht werden können oder Programme zur numerischen Strömungssimulation (CFD - Computational Fluid Dynamics) mit der auch Wärmeübertragungsprozesse analysiert werden können, dazugerechnet werden (Vajna et al. 2009).

Die Informationen über das Erzeugnis und seine Herstellung werden zu einem (virtuellen) Produktmodell kombiniert, das für weitere Untersuchungen und eben auch für Simulationen verwendet werden kann (Westkämper 2006). Dadurch können die Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts im Vorhinein geklärt werden (Vajna et al. 2009). Der Einsatz von 3D-CAD- und –Simulationssystemen und mit ihr die virtuelle Produktentwicklung hat - nicht zuletzt durch die großen Fortschritte im Bereich der Computertechnik - immens an Bedeutsamkeit zugenommen. Dementsprechend sollten diese Technologien auch im Bereich der beruflichen Bildung berücksichtigt werden (Anderl und Binde 2010).

In Tabelle 8 sind die entscheidenden funktionalen Faktoren von CAD-Systemen und ihre Einbettung in ERP³⁸-Konzepte dargestellt (Fandel et al. 2002, S. 1-3).

Tabelle 8: CAX-Techniken: Computergestützte technische Module zur Ergänzung von PPS, CIM und ERP nach Fandel et al. (2002, S. 3), leicht modifiziert

CAD-System	dient der ... bzw. liefert ...
	Konstruktion und Entwicklung
	Dimensionen und geometrische Modelle
	Konstruktionsdatenverarbeitung

³⁸ ERP: Enterprise-Resource-Planning bzw. Unternehmensressourcenplanung

	Berechnungsfunktionen
	Benutzerführung
	Schnittstellen
	Neukonstruktion: hoher Beschleunigungsfaktor
	Variantenkonstruktion: hoher Beschleunigungsfaktor
	Schnelle Änderungs- und Anpassungsmöglichkeit
	Stücklisten-erstellung und -verwaltung (Baukasten-, Konstruktions-, Strukturstückliste und Mengenübersichten)
	Zeichnungsarchivierung
	Bibliothekskonzepte zur schnelleren Zeichnungserstellung (Normteil-, Symbol-, Werksnormbibliotheken)
Schnittstellen zu den anderen CAx- Funktionen	sind ...
	CAE (Computer Aided Engineering, rechnergestützte Berechnungs- und Versuchsaktivitäten bei der Produktentwicklung und Projektierung von Anlagen)
	CAP (Computer Aided Planning bzw. rechnergestützte Arbeitsplanerstellung)
	CAM (Computer Aided Manufacturing bzw. automatisierte Fertigung)
	CAQ (Computer Aided Quality Assurance bzw. rechnergestützte Qualitätssicherung)
Systemressourcen der EDV	sind ...
	Hardware-Plattform
	Betriebssystem
	Datenbank-Software
Schnittstellen zum PPS	sind ...
	Primärbedarfsplanung
	Materialbedarfsplanung
	Durchlaufterminierung
	Kapazitätsabgleich
	Auftragsfreigabe
	Reihenfolgeplanung
	Betriebsdatenerfassung

Schnittstellen zu den betriebswirtschaftlichen Funktionen	sind ...
	Logistik
	Investition
	Personal
	Finanzbuchhaltung
	Kostenrechnung

4.1.1. CAD / 3D-Konstruktion

CAD-Programme (CAD: Computer Aided Design, also computerunterstützte Konstruktion) werden für die Konstruktion und teilweise auch Berechnung von Produkten verwendet. Da 2D-Konstruktionsprogramme eine geringere Bedeutung haben, wurden sie hier nicht berücksichtigt. CAD-Programme sind keine Simulationsprogramme, liefern aber für viele Simulationen die Basisdaten. Einige beinhalten verschiedene Module, die bspw. FEM-Simulationen zur Bestimmung von Festigkeit, Spannung etc. ermöglichen.

Fandel et al. (2002) haben eine ausführliche Marktstudie zu CAD-Systemen veröffentlicht. Die Daten sind nicht mehr ganz aktuell, viele Aspekte sind aber durchaus immer noch relevant.

Die Bewertungen zur Eignung in den einzelnen Bildungsgängen (Tabelle 9) beruhen z.T. auf eigenen Erfahrungen im Unterricht der Fachoberschule, Berufsoberschule, an der Technikerschule und im Bereich Konstruktionslehre an der Technischen Universität. Mächtige Programmpakete, wie bspw. CATIA, schneiden einerseits wegen ihrer hohen Anschaffungs- und Wartungs-/Lizenzkosten schlechter ab, aber auch wegen der hohen Komplexität der Programme, die für den Anfänger nicht leicht zu durchschauen ist. In der beruflichen Bildung sollten einfach zu erlernende CAD-Programme verwendet werden, die den Schülerinnen und Schülern einerseits die Aneignung der technischen Kommunikation ermöglichen und ein Grundverständnis für den Aufbau solcher Programme vermitteln. Sonst wird wertvolle Unterrichtszeit für das Erlernen von Programm-Eigenheiten verschwendet. In den Betrieben werden die unterschiedlichsten Programme eingesetzt, sodass die Verbreitung eines Programmes kein Argument für die Verwendung in der Schule ist. Die Erfahrung bestätigt, dass die gründliche Erarbeitung eines leichter zu erlernenden Programms ausreicht, um sich schnell in andere CAD-Programme einzuarbeiten. Die Modellfunktion, die CAD-Programme einnehmen, ist meist die Trainingsfunktion.

Bei der Auswahl der Programme sollten diejenigen bevorzugt werden, die für Studierende bzw. Schülerinnen und Schüler Ausbildungssoftware kostenlos oder zu einem geringen Entgelt zur Verfügung stellen, da so den Lernenden ermöglicht wird, zu Hause weiter zu üben (was meist dringend erforderlich ist).

Anregungen für handlungsorientierte Aufgaben finden sich oft auch in den verschiedenen Büchern, die zu den unterschiedlichen Programmen erhältlich sind (bspw. Koehldorfer 2009/2010; Schabacker und Vajna 2007; Vogel 2007 u.a.).

Tabelle 9: CAD-Software, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

		Eignung für Bildungsgänge					
Software	OS	BS		FOS/BOS		FS	
Autodesk (AutoCAD) Inventor Software für 3D-Konstruktion, Simulation	 	☺	T	☺	T	☺	T
CATIA Software für 3D-Konstruktion, Simulation, Daten-Management und Dokumentation, PLM	 	☹	T	☹	T	☺	T
Creo (bisher Pro/ENGINEER) 3D-CAD-Software auf Basis von Dynamic-Modeling-Technologie	 	☹	T	☹	T	☺	T
Solid Edge Software für 3D-Konstruktion, Simulation, Daten-Management und Dokumentation		☺	T	☺	T	☺	T
SolidWorks Software für 3D-Konstruktion, Simulation, Daten-Management und Dokumentation		☺	T	☺	T	☺	T
Rhinoceros 3D CAD-System auf der Basis von NURBS ³⁹ für Konstrukteure, Industrie-, Grafikdesigner		☹	T	☹	T	☺	T
IronCAD Design Modulares 3D CAD-System für alle Branchen mit ACIS-, Parasolid- sowie Granite One Kernel ⁴⁰		☹	T	☹	T	☺	T

³⁹ Non-uniform rational B-Splines (nicht-uniforme rationale B-Splines) "mathematische Kurven, die beliebige Formen von 3D-Geometrie darstellen können, von einfachen 2D-Linien, Kreisen, Bogen oder Kurven bis zu komplexen organischen 3D-Freiformflächen und -Volumenkörpern darstellen können. Aufgrund ihrer Flexibilität und Genauigkeit können NURBS-Modelle in allen Prozessen von Illustration und Animation bis hin zur Fertigung verwendet werden." (Quelle: <http://www.rhino3d.com/nurbs/> letzter Zugriff am 12.04.2013)

4.1.2. Simulationssoftware für CAD/CAM und CNC

Der Begriff CAD/CAM ist die Kurzform von Computer Aided Design (computerunterstützte Konstruktion) und Computer-Aided Manufacturing (computerunterstützte Fertigung). CNC-Maschinen (CNC: Computerized Numerical Control, also computerüberwacht und zahlenwertgesteuert) sind Fertigungsmaschinen, die mit einer computergeführten Steuerung ausgerüstet sind. CAD/CAM Software verwendet CAD-Zeichentools, um Geometrien zu beschreiben, die von der CAM-Seite des Programms verwendet werden, CNC-Programme zu generieren. Diese CNC-Programme leiten die Bewegungen der Werkzeugmaschine, um dadurch genau die Form herzustellen, die zuvor gezeichnet wurde (Harvard 2011).

Simulationssoftware für CAD/CAM und CNC dient der Simulation von Fertigungsprozessen. Inzwischen gehört die Simulation spanender Verfahren zum Standard. In vielen berufsbildenden Schulen wird die Programmierung von CNC-Maschinen ausschließlich mit Hilfe von Simulatoren erlernt und geübt, damit belegen diese Simulationen also eine Ersatzfunktion.

Mittlerweile sind fünfachsiges CNC-Maschinen State of the Art (Hehenberger 2011). Gerade das Verständnis für CNC-Maschinen mit fünf Achsen mit ihren hochkomplexen Geometrien kann mit einigen Simulationsprogrammen gut vermittelt werden, da hier Prozesse transparent gemacht werden können. Die Modellfunktion, die hier die Simulation übernimmt, ist demnach eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion.

Didaktisch aufbereitete Programme wie die von Keller und MTS sind für den Bereich der Berufsbildung gut geeignet und schneiden aus diesen Gründen in der Beurteilung (Tabelle 10) besser ab als die kommerzielle bzw. industrielle Standardsoftware. Hier sind jedoch die Einschränkungen aus den vorigen Kapiteln zu berücksichtigen, d.h. Lehrende sollten sich immer überlegen, was das Ziel des Unterrichts ist und ob die von den Herstellern vorgegebene Vermittlungsart die richtige ist, um dieses Unterrichtsziel zu erreichen. Gerade die didaktisch aufbereiteten Programme mit ihren vielen vorbereiteten Unterlagen können auch dazu verführen, diese unreflektiert zu verwenden. Es bietet sich oft auch an, eigene Unterrichtssequenzen auszuarbeiten und das jeweilige Programm als Hilfsmittel zu verwenden.

Bei den kommerziellen Programmen muss überlegt werden, ob sie für das jeweilige Unterrichtsziel geeignet sind. Bei speziellen Zielgruppen, wenn z.B. Berufsschulklassen aus Schülerinnen und Schülern aus nur einem Betrieb bestehen, in dem eine bestimmte Software verwendet wird, kann es durchaus begründet sein,

⁴⁰ Der Kernel ist der Teil der CAD Software der die Geometriedaten enthält. ACIS ist von Dassault, Parasolid von Siemens PLM, Granite One von PTC.

dieses Programm zu verwenden, die Simulation übernimmt dann eine Trainingsfunktion. Bei der Überprüfung der von den Lernenden geschriebenen NC-Programme übernimmt die Simulation eine Prognose- oder auch eine Kontroll- und Evaluationsfunktion.

Einen genaueren Überblick über Simulationssoftware mit ihren Spezifikationen im Bereich der NC-Technik liefert neben den entsprechenden Herstellern bspw. Hehenberger (2011).

Tabelle 10: CNC-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
CAMConcept / WinTutorial Software für die vollständige CAD/CAM- und CNC-Ausbildung – von der Konstruktion bis zur Produktion. CAMConcept besteht aus einem CAD-Teil, CAM-Teil und einem CNC-Teil.	 EMCO	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE
CIMCO EDIT Editieren von CNC-Programmen		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
Edgecam CAM System im Anwendungsbereich 2 – 5-Achsfräsen, Drehen und Fräs-/Drehstrategien		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
ESPRIT 2D/3D-CAM für Fräsen, Drehen, Drehfräsen und Erodieren		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
KELLERplus (CAMplus, SYMplus, TECHNICplus) CNC-Software für Qualifizierung und Produktion CAMplus: Programmiersystem für eine kostenreduzierende Fertigung, SYMplus Programm für die CNC-Aus- und Weiterbildung, TECHNICplus soll die Lücke zwischen allgemeiner und beruflicher Bildung schließen		☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE

(Fortsetzung nächste Seite)

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
NC-OPT-S / NC-OPT-L CAD/CAM System zur Programmierung von CNC-Maschinen in der Blechbearbeitung. Automatische und interaktive Programmerstellung für Stanzen / Nibbeln und Strahlschneiden, Tafelbelegungen, bis hin zur Auftragsverschachtelung und Anbindung an vorhandenes PPS-System, Manipulations- und Optimierungsfunktionen, NC-Programme für beliebige Maschinen und Steuerungen bis hin zur neuesten Generation, inkl. aller Zusatzeinrichtungen	 	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
NCSIMUL Maschinen-Simulations-Software für das Testen, Optimieren und Ausführen von Maschinenprogrammen für NC-Maschinen		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
NC-Trainer / EXSL-WIN dialoggeführte Software für den Einstieg in die CNC-Programmierung von NC-Drehmaschinen und NC-Fräsmaschinen; EXSL-WIN ist ein multifunktionales Programmiersystem mit zwei Programmierarten und drei CNC-Editoren.		☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE
NX CAM Express MultiCAD CAM für Fräsen, Drehen, Drahten, Drehfräsen & High-End Multifunktionsmaschinen	 	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
NX Unigraphics Prozessorientierte, interaktive CAD / CAM PLM Software von Siemens	  	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
PALmill & PALturn Freeware-Programme, zum üben der CNC-Programmierung nach DIN 66025. Simuliert wird, wie die Senkrechtfräsmaschine bzw. die Schrägbett-Drehmaschine das mittels Editor geschriebene CNC-Programm ausführt	 	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE

		Eignung für Bildungsgänge					
Software	OS	BS		FOS/BOS		FS	
proLAS3D offline-NC-Programmiersystem für 3D Laser- und Wasserstrahlanlagen		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
TopMill / TopTurn / TopCAM (MTS) CNC- und CAM-Software-System für die Komplett-Bearbeitung mit 3D- Simulation auf virtuellen Dreh- und Fräs-Bearbeitungszentren		☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE	☺	T; E; P; KuE
TopSolidCam CAD/CAM-Programmiersystem für die Erzeugung und Berechnung von Werkzeugwegen auf CNC- Werkzeugmaschinen, wie Fräs- oder Drehbearbeitungszentren		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
VERICUT simuliert die CNC-Fertigung (unabhängig von Maschine, Steuerung & CAM Systemen) und überprüft das NC-Programm auf Kollisionen und Fehler vor dem echten Maschinenlauf.	 	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
Virtual Gibbs GibbsCAM (in Deutschland als Virtual Gibbs vertrieben) ist eine CAD-/CAM- Software zur Programmierung von CNC-Maschinen		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE
WinTool für CNC Fertigungsprozesse und Fertigungsdaten Werkzeug- und NC- Datenbank für CAM, Voreinstellung, Werkzeugausgabe und Einkauf		☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE	☹	T; E; P; KuE

4.1.3. Simulationssoftware FEM

Die Finite Elemente Methode (FEM) bzw. Finite Elemente Analyse (FEA) in Verbindung mit CAD kann als eines der potentesten Verfahren zur Simulation im Metall- und Elektrobereich gewertet werden und wird standardmäßig zur Berechnung und Optimierung eingesetzt (Klein 2012; Steinke 2012). Sie bildet die Basis für die meisten Simulationsverfahren, wie beispielsweise auch für Schmiede- oder Gießsimulationen, aber auch verschiedene Programme zur Untersuchung auf elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).

Mithilfe der FEM können bereits im Entwicklungsstadium die Beschaffenheiten des Produktes festgestellt und eventuell optimiert oder angepasst werden. So kann der

Prozess der Produktentwicklung verkürzt, und damit Kosten eingespart werden (Klein 2012).

Die finite Elemente Methode ist ein numerisches Werkzeug, um approximiert Lösungen für nichtlineare partielle Differentialgleichungssysteme zu finden, die die Basis einer großen Gruppe von Ingenieurproblemen bilden (Lewis 2004). Die wichtigsten Anwendungen sind die Berechnung von Spannung und Biegung von Bauteilen unter Last, akustische, thermische elektromagnetische, elektrostatische Probleme, Fluidmechanik etc. Logische Grundlage für die FEM ist die Diskretisierung, d.h. Zerlegung eines Bauteils, Feldraums etc. in endlich viele Teile, die sog. finiten Elemente. Dafür muss das Bauteil, das Feld etc. zunächst idealisiert werden. Im nächsten Schritt wird es diskretisiert, also in finite Elemente mit einer bestimmten Geometrie zergliedert. Die finite Elemente Diskretisierung erlaubt eine Vielfalt von Elementengeometrien, bspw. Dreiecke, Vierecke. Die einzelnen Elemente sind über Knotenpunkte miteinander verbunden, so entsteht das sog. FE-Netz. Die Anzahl der Knoten hängt vom Elementtyp oder der Interpolationsfunktion ab. Im nächsten Schritt werden die Randbedingungen, wie z.B. Lagerung des Bauteils (Fest-/Loslager etc.), festgelegt. Das Simulationsprogramm errechnet aus den entsprechenden Vorgaben dann bspw. das Verformungsverhalten des Bauteils oder die Spannungen im Innern des Bauteils, die dann grafisch interpretiert vom Programm ausgegeben werden (Steinke 2012; Lewis 2004). Die Übertragbarkeit auf die Realität ist allerdings jedes Mal kritisch zu überprüfen (Klein 2012). Einen Überblick über die einzelnen Schritte gibt die von Steinke (2012) erstellte Grafik (Abbildung 30).

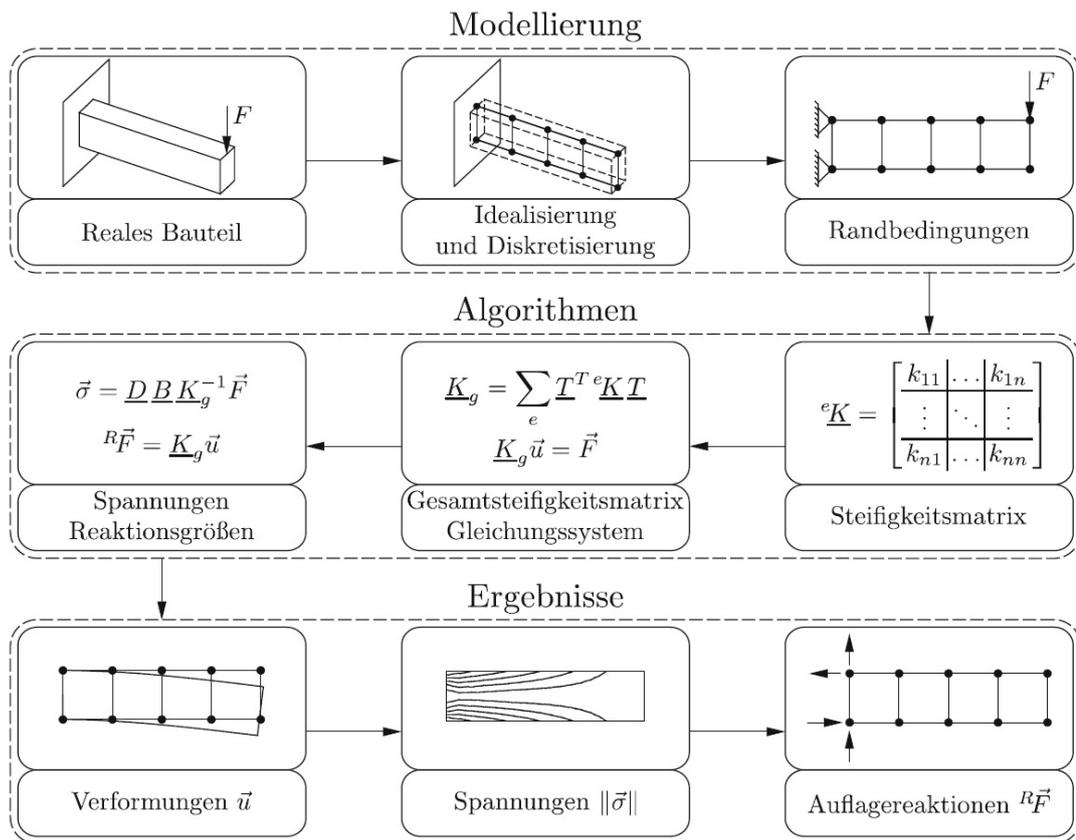


Abbildung 30: die einzelnen Schritte bei der Anwendung der FEM (Steinke 2012, S. 4)

Auf dem Markt befinden sich einerseits universell anwendbare FEM-Programme, die nur in wenigen Einzelheiten voneinander abweichen. Dazu zählen beispielsweise die Programme ANSYS, Abaqus Unified FEA oder NASTRAN. Andererseits gibt es auf dem Markt eigenständige Programme, die für bestimmte Probleme (dynamische oder Mehrkörpersysteme, Strömungen etc.) konzipiert wurden oder sie bilden die Basis für Programme zur Gieß-, Schweiß- oder Schmiedesimulation oder auch als in CAD-Programme integrierte Pakete wie bspw. die Arbeitsumgebungen zur FEM-Berechnung von CATIA (Klein 2012).

Aufgrund dieser großen Verbreitung sollten diese Programme auch in der beruflichen Bildung Erwähnung finden. Je nach Programm bzw. Anwendung und Bildungsgang können sie die verschiedensten Modellfunktionen haben, in einigen Fällen auch die auf die Anwendung spezialisierten Programme wie bspw. MAGMA⁵ für die Simulation von Gießprozessen oder Microwave Studio zur Simulation elektromagnetischer Felder. Diese Programme werden im Abschnitt über die Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren behandelt (S. 134). Die Universalprogramme (Tabelle 11) sind eher nicht für die Berufsschule, Fach- bzw. Berufsoberschule geeignet. Allenfalls könnten sie hier eine Deskriptionsfunktion übernehmen, wenn der oder die Lehrende mithilfe des jeweiligen Programms eine Animation oder einen Film erstellt. Für Techniker- bzw. Fachschulen sollte überlegt

werden, ob die meist aufwendige Einarbeitungszeit für diese Programme angemessen für das Lernziel bzw. die zu erwerbende Kompetenz ist. Hier könnten die verschiedenen Programme je nach Zielstellung und Einsatz auch eine Ersatz-, eine Prognose- oder auch eine Kontroll- und Evaluationsfunktion übernehmen.

Tabelle 11: FEM-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

		Eignung für Bildungsgänge					
Software	OS	BS		FOS/BOS		FS	
ABAQUS FEM-Programm von Simulia (Tochter von Dassault Systemes) zur Analyse von strukturmechanischen, thermischen und akustischen Problemen und besonders geeignet für geometrisch und physikalisch nichtlineare Probleme	 	☹	SuD	☹	SuD	☺	SuD; E; P; KuE
ANSYS Software für numerische Berechnungen der Strukturmechanik, Multiphysik und Elektronik	 	☹	SuD	☹	SuD	☺	SuD; E; P; KuE
eccon-ipp Grafisch interaktiver Finite Elemente Pre- und Postprozessor, Tragwerksmodellierung, Darstellung und Auswertung von Rechenergebnissen, erstellt die Eingabe und liest die Berechnungsergebnisse von FENAS	 	☹	SuD	☹	SuD	☺	SuD; E; P; KuE
Marc / Mentat Marc: Software für numerische Berechnungen der Struktur-Kontinuumsmechanik; Mentat: zugehörige interaktive Benutzeroberfläche zum Konstruieren der MARC Eingabedatensätze sowie zur Analyse der Berechnungsergebnisse	 	☹	SuD	☹	SuD	☺	SuD; E; P; KuE
MEANS FEM Software für Statik, Dynamik, Temperatur und Formoptimierung		☹	SuD	☹	SuD	☺	SuD; E; P; KuE

(Fortsetzung nächste Seite)

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
PERMAS FEM Software für Statik, Dynamik, Temperatur und Formoptimierung	   ⁴¹	☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD; E; P; KuE

4.1.4. Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren

Einige NC-Simulationsprogramme beinhalten neben den Umgebungen zum Drehen und Fräsen auch die Möglichkeit, Fertigungsverfahren wie Bohren, Drahterodieren oder Schleifen zu simulieren. Hierzu zählen bspw. die Programme VERICUT (Fräsen, Drehen, Bohren, Drehfräsen und Drahterodieren) oder NCSIMUL (fünfschichtiges Drehen, Drehfräskombinationen und bis zu sechsachsigem Schleifen). (vgl. Hehenberger 2011, S. 169)

Gießsimulationen ermöglichen es, den Ablauf der Erstarrung zu simulieren und Eigenspannungen und Verformungen vorherzusagen (Fritz und Schulze 2008). Schmiedesimulationen stellen ein bedeutsames Instrument zur fehlerfreien Planung und Auslegung Schmiedeteilen dar (Bernhardt 2006).

Insgesamt sind diese Programme für die betrachteten Bildungsgänge eher ungeeignet (Tabelle 12), da sie oft vertiefte Kenntnisse über das jeweilige Fertigungsverfahren bei den Benutzern voraussetzen. Darüber hinaus ist ihre Bedienung nicht immer leicht zu erlernen. Bei speziellen Zielgruppen, wenn z.B. Berufsschulklassen aus Schülerinnen und Schülern aus nur einem Betrieb bestehen, in dem eine bestimmte Software verwendet wird, kann es durchaus begründet sein, dieses Programm zu verwenden. Damit würde es eine Trainingsfunktion übernehmen. Oft könnte die Software aber auch eine Deskriptionsfunktion übernehmen, wenn der oder die Lehrende mithilfe des jeweiligen Programms eine Animation oder einen Film erstellt. Das Programm ModGEt könnte aber durchaus für den Unterricht in Fach-/Berufsoberschulklassen oder Fach-/Technikerschulen dafür verwendet werden, die teilweise sehr komplexen und langwierigen Getrieberechnungen zu erleichtern (vgl. Kap. 3.4.3, S. 108). Ebenso lassen sich damit - bspw. für den Bereich der Konstruktionslehre oder der Getriebetechnik - die Bedeutung von Eingangsgrößen, Randbedingungen und Funktionen von Getrieben anschaulich darstellen. Da das Programm jedoch mit abstrakten Darstellungen arbeitet (vgl. Kap. 2, Abbildung 11, S. 43), bedarf es Zusatzinformationen und intensiverer Auseinandersetzung mit den jeweiligen Darstellungsformen.

⁴¹ Mainframe – basierend (Open/VMS)

Tabelle 12: Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
CADMOULD Spritzgießsimulationssoftware für Kunststoffe, Formenbau, Formteilgeometrie, Spritzguss		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
Simpoe-Mold Spritzgießsimulationssoftware für Kunststoffe, Formfüllanalyse		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
Sysweld Schweißstruktursimulationssoftware		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
MAGMA⁵ Gießprozess-Simulationssoftware, Einsetzbar für alle Werkstoffe und Gießverfahren	 	☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
SolidCast Gießprozess-Simulationssoftware, Einsetzbar für alle Werkstoffe und Gießverfahren		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
FORGE2/3 Schmiedesimulationssoftware	 	☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
DeForm Simulation von Fertigungsprozessen in der Metallverarbeitung (Umformung, Wärmebehandlung, Bearbeitung: z.B. Fließpressen, Gesenkschmieden etc.)		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
QForm Schmiedesimulationssoftware		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
simufact.forming (vorher MSC.Superforge und Superform) Umformsimulationssoftware, unabhängig von Prozesstemperatur, eingesetztem Aggregat oder Material	 	☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
ModGet Getrieberechnungs-/-simulationssoftware für Kurven-, Gelenkgetrieben und elektr. Kurvenscheiben		☹	SuD	☺	SuD	☺	SuD

4.1.5. Simulationssoftware SPS

Die Abkürzung SPS steht für Speicherprogrammierbare Steuerungen. Mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen können Maschinen oder technische Anlagen gesteuert werden (Wellenreuther und Zastrow 2007). Einige Programme wie beispielsweise CIROS Mechatronics von Festo Didactic oder WinSPS von MHJ

bieten passende Unterrichtsmaterialien zu ihrer Software an. Die Programme können in einigen Editionen mit realer Hardware-SPS verwendet werden, mit der simulierte Anlagen gesteuert werden können, oder mit einer internen simulierten SPS. Die verschiedenen Softwareanwendungen werden von einigen Schulen schon seit längerer Zeit mit guten Erfolgen verwendet und schneiden deshalb bezüglich ihrer Eignung für die verschiedenen Bildungsgänge gut ab (Tabelle 13). Weitere Anregungen für Aufgaben finden sich bspw. in Wellenreuther und Zastrow (2007). Auch hier gilt dasselbe wie für alle didaktisch aufbereiteten Kursmaterialien: Lehrende sollten immer den Fokus auf das Unterrichtsziel setzen und prüfen, ob die von den Herstellern bzw. Autoren vorgegebene Vermittlungsart die richtige ist, um dieses Unterrichtsziel zu erreichen. Die Programme können somit sowohl eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion, eine Trainingsfunktion als auch eine Ersatz-, eine Prognose- oder auch eine Kontroll- und Evaluationsfunktion übernehmen. Das Programm SimVA IMS schneidet schlechter ab, da es nicht didaktisch aufbereitet ist. Dennoch ist es relativ leicht zu erlernen.

Tabelle 13: SPS-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS	FOS/BOS	FS			
WinSPS (MHJ) Programmier- und Simulations-Software für S7-Steuerungen		☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE		
SPS-VISU SPS-Simulator für S7- und S5-Programme; Simuliert gesamte Anlagen mit Endschaltern, Bändern, Zylindern oder Messstreifen		☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE		
CIROS Mechatronics virtuelle Lernumgebung für die Mechatronik; Schwerpunkt SPS; Arbeitsumgebung für die SPS-Programmierung (Siemens S7)		☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE		
SimVA IMS Steuerungstechnische Simulation für Maschinen-Steuerungen auf SPS-Basis		☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE	☺ SuD; T; E; S; KuE		

4.1.6. Robotersimulation

Es existieren einerseits Simulationssysteme der Anbieter und Hersteller von Industrierobotern wie bspw. RobotStudio von ABB, KUKA.Sim von KUKA, Roboguide von Fanuc u.a., die sowohl für die Arbeitsvorbereitung und Fertigung als auch für die Lehre geeignet sind. Die Programme empfinden die Benutzeroberfläche und die Steuerungen der jeweiligen Steuerungen nach. Des Weiteren gibt es auch hier didaktisch aufbereitete Programme wie z.B. CIROS Robotics, die Grafiken, Videos und Animationen zur Erläuterung fachlicher Begriffe, Beispielanwendungen etc. bieten. CIROS Robotics ist aus diesen Gründen besser als die vorgenannten Programme der Roboter-Hersteller geeignet (Tabelle 14). Hier gilt wieder dasselbe wie bei anderen didaktisch aufbereiteten Programmen, es ist kritisch zu prüfen, welche vorbereiteten Inhalte übernommen werden können. Jedes der Programme kann je nach Ziel alle für die Berufliche Bildung relevanten Modellfunktionen einnehmen.

Tabelle 14: Roboter-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
CIROS Robotics Erlernen der Programmierung und Inbetriebnahme von industriellen Robotersystemen		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
Delmia Robotics (vormals IGRIP) Robotertyp-unabhängige Simulationsumgebung zur Offline-Programmierung	 	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
KUKA.Sim Pro Offline-Programmierung und -Simulation von KUKA Robotern		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
Roboguide Robotersimulations- und Programmierwerkzeug von Fanuc		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
RobotStudio Robotersimulations- und Programmierwerkzeug von ABB		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE

(Fortsetzung nächste Seite)

		Eignung für Bildungsgänge					
Software	OS	BS		FOS/BOS		FS	
Tecnomatix Robcad Tool zur Simulation von Arbeitszellen, Entwicklung aus mehreren Geräten bestehender robotergestützter und automatisierter Fertigungsprozesse		☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE

4.1.7. EDA- / CAD- / Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich

In der Industrie wird der Entwurf von Schaltungen, die Erstellung von Prototypen, die Optimierung und die Überprüfung des Schaltungsentwurfs (Verifikation) meist computergestützt durchgeführt. Die rechnergestützten Hilfsmittel werden unter dem Begriff Entwurfsautomatisierung oder Electronic Design Automation (EDA) zusammengefasst, die Software wird oft auch als EDA-Tool bezeichnet. EDA ist ein Teilbereich des CAD (Winzker 2008; Hoffknecht 2007).

Schaltungssimulationsprogramme wie bspw. SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) können hierbei das Layout bzw. den Entwurf von Leiterplatten (PCB – Printed Circuit Board) begleiten, Autorouting-Programme, wie z.B. SPECCTRA Autorouter können während des Entwurfsvorgangs automatisch überprüfen, ob EMV-gerecht entwickelt wird, und das Layout kann im Anschluss mit verschiedenen EMC-Tools wie bspw. EMC-Adviser oder MENHIR auf innere⁴² und äußere⁴³ elektromagnetische Verträglichkeit untersucht werden.

Ein verbreitetes Programm zur Elektroniksimulation ist PSPICE, die PC-Version des Programms SPICE. Der Quellcode von SPICE wird aber auch von verschiedenen anderen Anwendungen (wie bspw. Multisim oder Altium Designer) als Simulationskern verwendet (näheres zur Simulation mit PSPICE liefern u.a. Heinemann 2011; Kampe et al. 2006). Dieses Programm kann bspw. zur Analyse von Netzwerken⁴⁴ verwendet werden. Dazu simuliert PSPICE auf der Basis der Schaltelemente⁴⁵ das elektrische Verhalten von Analogschaltungen (Kampe et al. 2006, S. 94f).

Von PSPICE liegt eine kostenlose Studentenversion vor, die zwar nicht den vollen Funktionsumfang liefert, aber dennoch für den Unterricht völlig ausreichend ist. Problematisch ist, dass dieses Programm mit US-amerikanischen Schaltzeichen für Bauelemente arbeitet. Eine Lösung bietet Heinemann (2011), der eine europäische

⁴² galvanische, kapazitive, induktive und Wellenkopplung sowie Reflexionserscheinungen

⁴³ Ab- und Einstrahlung

⁴⁴ Gleichstromanalyse (DC Analysis), stationäre Kleinsignal-Wechselstromanalyse (AC Analysis), Rauschanalyse (Noise Analysis) (Kampe et al. 2006, S. 95)

⁴⁵ namentlich passive, konzentrierte Elemente, Leitungen, Halbleiterelemente (Kampe et al. 2006, S. 94)

Variante der Testversion des Programms entwickelt hat, die er seinem Buch als CD beigelegt hat (Heinemann 2011; Flegel et al. 2009). Das Buch und seine kostenlose Homepage zum Buch⁴⁶ aber auch weitere Autoren wie bspw. Beetz (2008) liefern gute Anregungen für die Erstellung handlungsorientierter Aufgaben.

In der Bewertung (Tabelle 15) haben die Programme Allegro, MicrowaveStudio, NI Multisim und PSPICE gut abgeschnitten, weil sie verhältnismäßig leicht zu erlernen und anschaulich sind und für die Ausbildung von Elektronikern in Betrieben, Schulen und Hochschulen in den verschiedenen Bereichen gut einsetzbar sind (und teilweise auch schon eingesetzt werden). Die Programme Agilent, HarnessExpert und VeSys™ Electrical Series sind für den Berufs- bzw. Fach- und Berufsoberschulunterricht eher nicht geeignet, da sie eine eher spezielle Ausrichtung haben. Für die Fachschule bzw. Technikerschule könnte in speziellen Bereichen eine Anwendung denkbar sein, dennoch stellen diese Programme allgemein eher nicht die erste Wahl dar.

Tabelle 15: Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

		Eignung für Bildungsgänge					
Software	OS	BS		FOS/BOS		FS	
Agilent ADS, Agilent Genesys und AWR (Microwave Office) HF- und Mikrowellen-Simulatoren mit Modelithics-Bauteilbibliothek		☹	SuD	☹	SuD	☹	SuD
Allegro PCB Layout mit integriertem Autorouter	 	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
Altium Designer PCB Layout		☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
Bartels AutoEngineer (BAE) PCB Layout	 	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE

(Fortsetzung nächste Seite)

⁴⁶ <http://www.spicelab.de/index.htm> (zuletzt geprüft am 3.1.2013)

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
Board Station PCB Layout		☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
CADSTAR PCB Layout	 	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
CR-8000/5000 PCB Layout und EMV-Analyse		☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
DxDesigner PCB Layout/Simulation	 	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
Eagle PCB Layout m. Autorouter	  	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
EDWinXP PCB Layout/Simulation Mixed-Mode, EDSpice		☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
EMC-Adviser Systementwurf und EMV-Analyse		☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
EMPIRE EMV-Simulation, 3D Feldsimulator	 	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE

(Fortsetzung nächste Seite)

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
HarnessExpert 3D-Software Stand-Alone Konstruieren und Dokumentieren von Kabelbäumen und Nagelbrettern ⁴⁷		☹	T	☹	T	☹	T
MAFIA EMV-Simulation	 	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
MicrowaveStudio EMV-Simulation, 3D Feldsimulator	 	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
NI Multisim PCB Layout/Spice-Simulationsumgebung		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
OrCAD PCB Layout		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
PCBMod EMV-Simulation	 	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
PSPICE Elektroniksimulation (analoge, digitale und hybride Schaltungen mit Schwerpunkt auf der analogen Simulation)		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
Pulsonix PCB Layout/SPICE-Simulation		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE

(Fortsetzung nächste Seite)

⁴⁷ Das Nagelbrett bzw. die Nagelbrettzeichnung bezeichnet eine ausführliche 2D-Zeichnung, in der Informationen wie die Pinbelegung und die Stückliste enthalten sind. Der Name lässt sich auf die Fertigung von Kabelbäumen zurückführen. Zur Herstellung der Kabelbäume wird ein Brett auf das die Zeichnung des Kabelbaums aufgebracht wurde, verwendet in das an den Verzweigungen Nägel eingeschlagen werden. Um diese Nägel werden die Litzen gezogen und mithilfe von beispielsweise Schrumpfschlauch oder Gewebband zusammengefasst.

		Eignung für Bildungsgänge					
Software	OS	BS		FOS/BOS		FS	
SEMCAD EMV-Simulation	 	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE	☹	SuD; T; E; S; KuE
VeSys™ Electrical Series 2D-CAD-Konstruktions-Software für elektrische Schaltpläne und Kabelbäume		☹	T	☹	T	☹	T
XFtdt EMV-Simulation	  	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE

4.1.8. Weitere relevante Simulationssoftware

Ein umfassendes Programmangebot hat Festo mit seiner CIROS Automation Suite. Die CIROS Automation Suite umfasst fünf spezifische Programmpakete mit vorbereiteten Lernszenarien: CIROS Robotics (Roboter Programmieren und Simulieren), das bereits oben erwähnte Mechatronics (SPS Programmieren und Simulieren), Advanced Mechatronics (SPS x-Zellen Programmieren und Simulieren), Production (Fabrikautomation und Produktionsmanagement), Studio (Modellieren, Simulieren). Roßmann et al. (2010) berichten von positiven Erfahrungen mit der CIROS Automation Suite an einer Berufsbildenden Schule (BBS II) in Osnabrück und verschiedenen Universitäten in Russland und der Ukraine.

Weiterhin kann COSIMIR bei Festo auf die CIROS Automation Suite upgedatet werden.

Daneben bietet Festo weitere Simulationssoftware wie bspw. FluidSIM zur Simulation von hydraulischen und pneumatischen Steuerungssystemen.

Die Programme sind in der Regel didaktisch gut aufbereitet und sind deshalb auch als gut geeignet bewertet worden (Tabelle 16). Sie bieten teilweise die Möglichkeit, sie an reale Systeme anzuschließen, mit Projektbaukästen oder ganzen Lernsystemen zu kombinieren. So lassen sich bspw. auch Dreh- und Fräsmaschinen von EMCO in die Lernsysteme für die Automatisierungstechnik von Festo integrieren (FESTO Didactic 2013).

Auch hier sei noch einmal betont: Lehrende sollten immer prüfen, ob die von den Herstellern bzw. Autoren didaktisch aufbereiteter Programme vorgegebene Vermittlungsart die richtige ist, um ihre jeweiligen Unterrichtsziele zu erreichen. Sie sollten sich nicht verführen lassen, vorgegebene bzw. mitgelieferte Lernszenarien ungeprüft zu übernehmen. Auch hier ist eine sorgfältige Planung erforderlich. Die

Programme können in allen Bildungsgängen Verwendung finden und je nach Ziel jede für die Berufliche Bildung relevante Modellfunktion einnehmen.

Computeralgebrasysteme (CAS) wie Mathcad, Mathematica, Maple etc. sind inzwischen so benutzerfreundlich geworden, dass ihre Anwendung relativ schnell erlernt werden kann und mit ihnen im Unterricht komplexe Berechnungen durchgeführt und die Ergebnisse visualisiert werden können. Die Programme erzeugen aus mathematischen Zusammenhängen Animationen, die beispielsweise bei Funktionen die Änderungen von Parametern visualisieren. Damit kann sich der Fokus auf die Verdeutlichung von Zusammenhängen und das Verständnis von Konzepten verschieben. Es können vielschichtigere Probleme aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden, oder es können auch Daten aus der realen Welt, die meist zu aufwendigen Rechnungen führen, verwendet werden.

Sie können in BOS- oder Technikerklassen im Mathematikunterricht z.B. in der Analysis angewendet werden oder auch für die technische Mechanik. CAS ermöglichen beispielsweise die Berechnung der Biegemomente in einem Balken mit unterschiedlichen Einspannungen und Auflagern und die anschließende Darstellung in einem Diagramm. Die Schülerinnen und Schüler wären in diesem Fall nicht mit der evtl. langwierigen Berechnung beschäftigt, sondern könnten ihr Hauptaugenmerk auf die Unterschiede im Momentenverlauf richten und so ein größeres Gesamtverständnis erlangen. CAS Programme können so eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion, eine Ersatz- oder Prognosefunktion oder eine Kontroll- bzw. Evaluationsfunktion übernehmen. Für den Unterricht in Berufsschulklassen sind diese Programme eher nicht geeignet.

Das Programm Yenka besteht aus einer Reihe von Lernsoftwareprodukten, die die Simulation von technischen Experimenten ermöglicht. Die deutsche Software gliedert sich in zwei Teilprogramme: Yenka Physik und Yenka Chemie. Yenka Physik beinhaltet Komponenten zu den Themen Wellen und Optik, Bewegung, Elektrizität und Magnetismus und Elektronik. Yenka Chemie enthält die Produkte Anorganische Chemie und Elektrochemie (Yenka 2013). Die Experimente sind teilweise im Stil eines Vortrags gehalten und einige bieten keine echten Interaktionsmöglichkeiten, dies wird jedoch durch ebenfalls enthaltene Simulationen mit vielen Interaktionsmöglichkeiten kompensiert. Mit den elektrotechnischen Komponenten können beispielsweise im Lernfeldunterricht Stromlaufpläne erstellt und das Messen von Strom und Spannung geklärt und ausprobiert werden, bevor im Labor an den Arbeitsplätzen oder Versuchsständen für Installationsübungen gearbeitet wird. In Berufs-/Fachoberschulen oder Technikerschulen könnten mithilfe der Elektroniksimulation Digitalschaltungen erstellt werden. Die Programme können eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion, eine Ersatz-, Steuerungs- und Prognosefunktion, sowie eine Kontroll-/Evaluationsfunktion übernehmen.

Die Programme sind leicht erlernbar und können intuitiv bedient werden. Für den Heimgebrauch ist die Lizenz kostenlos.

Im Fachdidaktischen Diskurs (Kapitel 3) wurden bereits die "visualisierten Arbeitsaufträge", die, basierend auf dem Buch "Metalltechnik Grundwissen Arbeitsaufträge", "die Möglichkeit [bieten], Gegenstände und technische Vorgänge in einer zwei- und dreidimensionalen Simulation 'begreifbar' zu machen" (Kaese und Rund 2006, Klappentext) kurz angesprochen. Bei genauerer Betrachtung handelt es sich hierbei allerdings eher um Animationen, da der bzw. die Lernende an den präsentierten Arbeitsschritten zur Fertigung verschiedener Bauteile keine Möglichkeit der Einflussnahme hat, sondern lediglich den Blickwinkel auf die Arbeitsschritte ändern kann. Dieses Programm kann maximal eine Ersatz- oder auch Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion übernehmen.

Zur Visualisierung von Prozessen und zur Erstellung von Animationen mit Interaktionsmöglichkeiten gibt es Programme wie den Flexible Animation Builder (FAB) für das Simulationssystem BORIS. Der Flexible Animation Builder ist Teil des Programmsystems WinFACT. Hiermit können Lehrende, aber eventuell auch Schülerinnen und Schüler, kleine Simulationen bzw. Animationen erstellen, mit deren Hilfe Zusammenhänge verdeutlicht oder Vorgänge visualisiert werden können. Beispielsweise können für den Steuerungstechnik-Unterricht in der Berufsschule, Fach-/Berufsoberschule oder Technikerschule Temperatur- und Füllstandsregelungen erstellt und die Regelstrecken mit unterschiedlichen Reglertypen und -parametern im Anschluss analysiert werden (Kahlert 2013a, b). Das Programm kann somit eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion, eine Ersatz-, Steuerungs- und Prognosefunktion, sowie eine Kontroll-/Evaluationsfunktion übernehmen.

Einige Firmen bieten für den Unterricht kleine Simulationen bzw. Animationen kostenlos zum Download an, die dann ebenfalls eine Ersatz- oder auch Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion übernehmen können. Bspw. gibt es bei WILO zum Thema Heizungsanlagen und zum Thema Trinkwarmwasser-Zirkulationsanlagen kleine Programme, wo verschiedene Parameter, wie z.B. Zulaufdruck, Stickstoffdruck etc. verstellt und verschiedene Nutzer zugeschaltet werden können und so die Auswirkung auf die Warmwasserzirkulation in einem Haus beobachtet werden kann (WILO 2012).

Einen Überblick über diese Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann, gibt folgende Tabelle (Tabelle 16).

Tabelle 16: Weitere Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann

Software	OS	Eignung für Bildungsgänge					
		BS		FOS/BOS		FS	
CIROS Automation Suite (Nachfolger von COSIMIR) für die Bedürfnisse der Aus- und Weiterbildung modifizierte und erweiterte Version der in der Industrie eingesetzten Software, besteht aus fünf Programmpaketen, 3D-Simulation von komplexen Automatisierungssystemen		☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE	☺	SuD; T; E; S; KuE
Mathcad Computeralgebrasystem für Konstruktionsberechnungen		☹	SuD; E; P; KuE	☺	SuD; E; P; KuE	☺	SuD; E; P; KuE
Mathematica komplexe mathematische Berechnungen und Simulationen	  	☹	SuD; E; P; KuE	☺	SuD; E; P; KuE	☺	SuD; E; P; KuE
Maple / MapleSim Maple: Berechnungsprogramm für numerische und symbolische Berechnungen, Untersuchungen, ermöglicht die Erstellung von Grafiken und Animationen MapleSim: Modellierung und Simulation physikalischer Systeme	  	☹	SuD; E; P; KuE	☺	SuD; E; P; KuE	☺	SuD; E; P; KuE
Yenka Nachfolger von Crocodile Clips Virtuelles Labor, Simulations-Software für Physik-, Technik-, IT- und Chemieunterricht	 	☺	SuD; E; S; P; KuE	☺	SuD; E; S; P; KuE	☺	SuD; E; S; P; KuE
Metalltechnik Grundwissen. PC-Animationen visualisierte Arbeitsaufträge aus den Lernfeldern 1 - 4		☹	SuD; E	☹	SuD; E	☹	SuD; E
Flexible Animation Builder (kurz FAB) für WinFACT zur Erstellung von Prozessvisualisierungen, Animationen und Bedienoberflächen		☺	SuD; E; S; P; KuE	☺	SuD; E; S; P; KuE	☺	SuD; E; S; P; KuE

4.1.9. Zusammenfassung

Auf dem Markt befindet sich eine riesige und ständig wachsende Auswahl an Simulationsprogrammen für den metall- und elektrotechnischen Bereich. Besonders die Auswahl eines industriellen, d.h. nicht didaktisch aufbereiteten Programms für den jeweiligen Unterricht bedarf einer sorgfältigen Abwägung. In vielen Schulen ist die Begründung für den Kauf einer Software seine Verbreitung in der Industrie. Jedoch: Nur weil ein Programm Marktführer im Industriebereich ist, muss es nicht unbedingt für den Unterricht am geeignetsten sein.

Bei der Auswahl von Programmen, die eine Trainingsfunktion übernehmen sollen, sollte Software ausgewählt werden, die exemplarisch für diesen Softwaretyp steht und eine kurze Einarbeitungszeit hat oder auch intuitiv bedient werden kann. So können Lernende, wenn sie diesen Typ beherrschen, sich meist auch schnell in andere Software einarbeiten. Von Vorteil ist es auch, Programme zu wählen, bei denen die Hersteller kostenlose oder preiswerte Studenten-/Schülerversionen anbieten, da Lernenden so die Möglichkeit gegeben wird, auch zu Hause weiter zu üben.

Für die anderen Modellfunktionen muss immer überlegt werden, welche Funktion(en) das jeweilige Programm übernehmen kann und ob es sich lohnt, Mehrplatzlizenzen zu kaufen oder es für diese Funktion nicht vielleicht ausreicht, wenn für Lehrende eine Lizenz zur Verfügung steht, mithilfe derer sie dann bspw. eine kurze Animation erzeugen im Sinne einer Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion.

Weiterhin spielt eine Rolle, wie hoch der Preis für Mehrplatzlizenzen ist, wie oft diese erneuert werden müssen, welchen Support die Anbieter liefern (siehe Anhang), wie aufwendig die Pflege des Programms (z.B. regelmäßige Updates) ist, ob Schulungen für Lehrende inkludiert sind und dass die Einarbeitungszeit für Lehrende nicht zu hoch ist.

Zu den meisten Programmen gibt es Lehr- und Übungsbücher von verschiedenen Autoren und Verlagen (s. bspw. Seite 21). Diese Bücher können oft Anregungen für Aufgabenstellungen liefern.

5. Potenziale und Grenzen von Simulationen

Im **fünften** Kapitel sollen die Potenziale und Grenzen von Simulationen bei Lehr-Lern-Arrangements in metall- und elektrotechnischen Domänen aufgezeigt werden und exemplarisch Beispiele für die Einbindung von Simulationen in Unterricht entwickelt werden.

Der fachdidaktische Diskurs hat aufgezeigt, dass Simulationen nicht nur unter der Perspektive betrachtet werden können, welche Vorteile sie für das Lehren und Lernen in Aussicht stellen, sondern dass sich immer auch damit befasst werden muss, was mit Simulationen eventuell gelernt werden kann und welche Bedeutung dies für das Lernen und Lehren und darüber hinaus für die (Aus)Bildung hat. Wir können nicht einzig auf die Technologie selbst schauen, vielmehr müssen wir auf unser gegenwärtiges Verstehen von Kognition blicken, besonders auf unser Verständnis, was gutes Lernen ist und wie diese Erkenntnisse in Lehr-Lern-Arrangements umgesetzt werden können. Nicht, was Technologie kann, sondern was Lernen fordert, das indiziert die potenziellen Beiträge, die Simulationen zu bieten haben. Darüber hinaus muss gefragt werden, ob sich der Aufwand, der beim Einsatz von Simulationen notwendig ist, in der Relation zum Lernertrag lohnt. Die Grundlage für die Verwendung von Simulationen im Unterricht kann nicht sein, dass sie genutzt werden, weil sie existieren. Nicht alles, was möglich ist, ist notwendigerweise wünschenswert.

Damit Simulationen im Unterricht angewendet werden (können), ist nicht nur die entsprechende Infrastruktur, d.h. das Vorhandensein der Rechner und Programme vonnöten. Der Einsatz von Simulationen sollte sich immer nach dem curricularen Zusammenhang richten und in einen sinnvollen Kontext aus dem Arbeitsumfeld der Schülerinnen und Schüler gebracht werden.

Bei der Verwendung von Simulationen im Unterricht muss, wie bei jeder didaktischen Planung, das didaktische Feld analysiert werden.

Das Lehren und Lernen mit Simulationen stützt sich, wie bereits in Kapitel 3.3 ausgeführt, in fach- und berufsdidaktischer Perspektive auf drei unterschiedliche Diskurse: den unterrichtstheoretischen einschließlich unterrichtsmethodischen Argumenten (1), den kognitionspsychologischen (2) und den medientheoretischen Aspekt (3). Diese liefern die Begründungen für Potenziale und Grenzen von Simulationen und werden im folgenden Abschnitt beleuchtet. Dazu werden Anregungen zur Gestaltung von Unterricht mit Simulationen gegeben und Beispiele vorgestellt. Danach werden die technischen Bedingungen (die schulische Infrastruktur), die Voraussetzung für den Einsatz von Simulationen sind, besprochen.

5.1. Bedingungen für das Lernen mit Computersimulationen

In diesem Abschnitt stehen die Potenziale und Grenzen von Simulationen aus unterrichtstheoretischer bzw. fachdidaktischer und kognitionspsychologischer Perspektive und die Fragestellung, wie die Potenziale für das Lernen und Lehren eingelöst werden können im Mittelpunkt.

Die wenigen existierenden Studien geben keinen eindeutigen Hinweis darauf, dass Simulationen signifikant die Effektivität des Lernens steigern können. Diese Studien können aber ebenso dahingehend interpretiert werden, dass Simulationen anderen Lernmethoden auch nicht unterlegen sind. Insbesondere Lernende mit hoher intrinsischer Motivation, die in der Lage sind selbstständig zu lernen, können vom Lernen mit Simulationen profitieren. Entscheidend ist hier jedoch die Qualität des Lehr-Lern-Arrangements und nicht die des Simulationsprogramms. Die Potenziale, die Simulationen eröffnen, sind breit gefächert. Für den Bereich der Beruflichen Bildung liegen sie in ihrer vielfältigen und flexiblen Einsatzmöglichkeit. Eingebettet in ein Lehr-Lern-Arrangement (in Verbindung mit differenziert entwickelten Kundenaufträgen, Projektaufgaben o.ä.) ermöglichen Simulationen eine Integration von systematischem und kasuistischem Lernen. So begünstigen sie anschauliche, situierte und damit anwendungsorientierte alternative Lehr-Lernmethoden. Simulationen können einen Beitrag dazu leisten, die Kluft zwischen Lernsituation und beruflicher Praxis zu reduzieren, wenn die Lernsituation mit der konkreten Arbeitsplatzanforderung vergleichbar ist. Durch den authentischen Kontext ermöglichen sie es den Lernenden, zuvor Erlerntes unter wirklichkeitsnahen Gegebenheiten anzuwenden. Wissen kann dadurch von Lernenden in einem aktiven Konstruktionsprozess situativ generiert werden. Bei den meisten Simulationen sind die dargestellten Situationen weitgehend mit denen in der beruflichen Praxis vergleichbar.

Großes Potenzial von Simulationen steckt in der Realitätsnähe von Simulationen. Besonders durch die Entwicklung immer schnellerer Rechner, Grafikkarten und auch besserer Darstellungsmöglichkeiten kommen Simulationen inzwischen erstaunlich nah an die Realität heran. Hier muss jedoch etwas genauer differenziert werden. Für die Lernhaltigkeit einer Simulation ist nicht die physische Authentizität, also die Nähe der grafischen Darstellung zum echten Leben, das entscheidende Kriterium. Auch wenn die Darstellungsmöglichkeiten heutzutage teilweise schon fast fotorealistisch anmuten (insbesondere im militärischen Bereich, aber auch die Computerspiel-Industrie liefert bemerkenswerte Grafiken), ist vor allem die psychische Authentizität für die Lernhaltigkeit von Bedeutung. Wichtig ist, dass die Lernenden in der Simulation die Parallelität der kritischen Elemente, die das spezifische Verhalten simulieren zu ihrem Arbeitsleben, den Prozessen und Handlungen identifizieren können. Das heißt, der Simulator muss vor allen Dingen so reagieren, wie im echten Leben. So erwartet beispielsweise der/die Benutzer/in

eines Fahrsimulators, dass, wenn er/sie lenkt, sich das Bild auf dem Monitor entsprechend ändert. Er/Sie also den Eindruck bekommt, das Fahrzeug hätte durch den Lenkeinschlag seine Richtung geändert, und zwar genauso stark, wie er/sie das Lenkrad eingeschlagen hat. Ob der Straßenbelag in der Grafik des Simulators dann mit dem Aussehen des realen Straßenbelags übereinstimmt oder die Bäume am Straßenrand besonders fotorealistisch gestaltet sind, ist eher Nebensache.

Simulationen mit hoher psychischer Authentizität stellen einen Erprobungsraum zum gefahrlosen Experimentieren und Ausprobieren zur Verfügung und durch die realitätsnahe Darstellung ist die Übertragung von Erkenntnissen aus dem simulierten Experiment in die Praxis leichter. So können mit CNC- oder Roboter-Simulationen gefahrlos Programme ausprobiert werden, ohne dass die Werkzeugmaschinen bzw. Industrieroboter zerstört werden können. Mit Programmen wie Yenka oder verschiedenen Elektronik-Programmen können Experimente auch ohne permanente Aufsicht und Kontrolle von Lehrpersonen durchgeführt werden, da hier keine Gefahr besteht, dass evtl. teure elektronische Bauteile zerstört werden.

Yenka kann beispielsweise im dritten Lernfeld der Kfz-Mechatroniker (Prüfen und Instandsetzen elektrischer und elektronischer Systeme) für die Erstellung von Stromlaufpläne verwendet werden, um so das Messen von Strom und Spannung zu klären und auszuprobieren. Im Anschluss daran können dann im Labor an den Arbeitsplätzen oder Versuchsständen für Installationsübungen die Messungen durchgeführt werden.

Auch wenn Realitätsnähe bei der Umsetzung in das reale Geschehen helfen kann und die Akzeptanz, und damit auch die Motivation der Nutzerinnen und Nutzer oft steigert, muss jedoch differenziert werden. So wird durch die größere Nähe zur Realität auch die Komplexität gesteigert und so gleichzeitig auch ein Vorteil von Simulationen, nämlich genau die Verringerung der Komplexität, geschmälert und so die kognitive Belastung intensiviert. Bei aller Begeisterung für immer realistischere Darstellungen sollte bedacht werden, dass in der Reduktion auch ein Potenzial der Simulation stecken kann. Indem nämlich komplexe Zusammenhänge vereinfacht werden, können Einblicke und Erkenntnisse gewonnen werden, die ohne die Vereinfachung sonst nicht so klar gewesen wären.

Darüber hinaus kann die große Realitätsnähe der Simulation auch dazu führen, dass Risiken nicht ernst genommen werden, da in der Simulation Fehler keine echten Konsequenzen – bspw. große Schäden – haben, sondern bei der Simulation maximal eine Fehlermeldung produzieren. Es wird vermutet, dass dieser Effekt für den militärischen Bereich genutzt wird. Soldaten und Piloten üben mit Simulationen Kriegshandlungen und werden dadurch im Ernstfall unempfindlicher beim Töten, da in der Simulation das Töten schon geübt wird und dort keine Menschen sterben. Diese Absicht wird allerdings von Militärstrategen und den Herstellern dieser

Simulationen bestritten. Angemessener ist die etwas differenziertere Sicht von Gieselmann (2002), der davon ausgeht, dass besonders die Bedeutsamkeit, die die realistische Gestaltung für den Benutzer gewinnt, einen Einfluss darauf hat, ob die Bereitschaft zunimmt, das Geschehen aus der Simulation auf reale Kampfhandlungen zu projizieren. Die realistische Simulation der Waffensysteme führt dazu, dass Gewalt durch die Betrachtung der rein technischen Faktoren abstrakt wird und eigentlich zugehörige Elemente, wie Schmerzen und Tod ausgeblendet werden.⁴⁸ Für den Bereich der beruflichen Bildung kann das bedeuten, dass einerseits die Lernwirksamkeit simulierter Anwendungen individuell verschieden ist, je nach der Bedeutsamkeit die der bzw. die Lernende der Simulation beimisst. Und aus diesem Grund mit Simulationen auch kein (lückenloses) Arbeitsprozesswissen generiert werden kann. Andererseits bedeutet es, dass Gefahren explizit thematisiert werden müssen, um Schäden an Maschinen oder sogar Menschen zu verhindern.

Auch die Immersion, also die Empfindung, in einer Umgebung präsent zu sein und sie nicht nur von außen zu beobachten, hängt nicht ausschließlich von der Realitätsnähe ab. Schon die frühen Computerspiele mit ihren eher bescheidenen Grafiken (Beispiel Flugsimulator, siehe Kapitel 2) zogen die Benutzer in den Bann und sie hatten den Eindruck, sie würden wirklich in eine Umgebung gezogen, sie würden bspw. ein Flugzeug landen.

Darüber hinaus bieten einige Simulationsprogramme (bspw. von Festo) eine Kopplung der Simulation mit realen Unterrichtsmodellen oder sogar echten Werkzeugmaschinen, sodass sich hier, durch das Ansprechen unterschiedlicher Sinnesmodalitäten, neue Wege für das Verständnis von Zusammenhängen ergeben.

Die Fülle des Stoffes, die Breite der Unterrichtsinhalte, sind nach wie vor ein großes Problem. Eine Lösung bietet diesbezüglich exemplarisches Lernen. Simulationen bieten hier das Potenzial Fachwissen exemplarisch zu erschließen.

So können beispielsweise Gießereimechaniker/innen der verschiedenen Fachrichtungen anhand von mit Simulationen erstellten Beispielen, wie etwa der Formfüllung einer Gießtraube mit sechs Bremsscheiben (siehe S. 44) Einflussmöglichkeiten auf den Erstarrungsprozess kennenlernen. Mit Hilfe der Simulation können Animationen erstellt werden, in denen die zu fertigenden Bremsscheiben unterschiedlich angeordnet sind, so dass der Einfluss der Position des jeweiligen Bauteils in der Gießtraube auf das Gefüge deutlich wird. Je nach

⁴⁸ Gieselmann (2002) weist ebenfalls nach, dass es keine Studien gibt, die einen schlüssigen Beweis dafür liefern, dass Gewaltdarstellung in Computerspielen brutalisiert. Existierende Studien, die dennoch diese Schlüsse ziehen, weisen seiner Meinung nach beträchtliche Mängel in den Methoden auf.

Zeitraumen könnten aber die Schülerinnen und Schüler auch mit Hilfe der Simulation selbstständig mit unterschiedlichen Positionen und Anordnungen experimentieren.

Mit Simulationen kann auch prozedurales Wissen vermittelt werden, und zwar in Gestalt strategischer Lernmethoden und Handlungsweisen. Computersimulationen ermöglichen es, durch den konkreten Umgang wiederholte, aber jedes Mal andere Variationen der gleichen Gesetzmäßigkeit oder Verfahrensweise zu lernen. Dadurch erwachsen schließlich Erfahrungen, wie solche Sachverhalte zu handhaben sind. Da in die Simulationsumgebung aus den Modellen auf denen die Simulation basiert und den Eingaben der Anwender generiert wird, müssen sich die Anwender über die dahintersteckenden Abstraktionen keine Gedanken machen. Lernende können ihre Erfahrungen durch konkretes Handeln machen und sich dadurch schrittweise das Generelle im Hinblick darauf intuitiv aneignen.

Dadurch und auch, weil der Computer ein quasi anonymes Arbeiten ermöglicht, d.h., man kann auch mal was ausprobieren und auch Fehler machen, ohne dass der Lehrer oder die Mitschüler es gleich sehen, trauen sich auch sonst eher zurückhaltende Schüler und Schülerinnen mehr zu.

Unter der Voraussetzung, dass Schülerinnen und Schüler bestimmte Basisfähigkeiten in Bezug auf Selbstständigkeit und -verantwortlichkeit besitzen, können Simulationen für den beruflichen Unterricht einen erheblichen Nutzen erzielen (exemplarisch hierfür sind die Unterrichtsbeispiele auf den Seiten 168 und 172).

Simulationen ermöglichen es, Lernende kognitiv und auch emotional zu aktivieren und darüber hinaus durch entsprechend inszenierte Lehr-Lern-Arrangements beim kooperativen Lernen zu unterstützen. Lehrende müssen es den Lernenden erlauben, in den Umgebungen zu experimentieren und auch aus Fehlern zu lernen. Allerdings sollten virtuelle Umgebungen nicht dazu genutzt werden, Grundlagen zu vermitteln.

Simulationen können Lernende zum Handeln auffordern und zeigen ihnen die Folgen ihres Handelns auf. Dadurch steht handelndes Lernen im Vordergrund. Fakten- und Handlungswissen können Lernende auf diese Weise aus dem Handlungskontext erwerben.

Bspw. ermöglichen manche Simulationen die Initiierung unerwarteter Begebenheiten, die die Lernenden dadurch zum Handeln auffordern, aus dem Konzept bringen oder zu Fehlern veranlassen. Dies kann den Lernprozess ebenfalls unterstützen.

So könnte z.B. der traditionelle Unterricht der CNC-Programmierung, bei dem meist zunächst von Lehrenden die Befehle (beispielsweise G42 und G43 (Schneidenradiuskompensation)) erklärt und dann von den Schülerinnen und

Schülern in einem Programm umgesetzt werden, mit Hilfe von Simulationen anders realisiert werden. Die Lernenden bekommen die Aufgabe, ein vorgegebenes einfaches Bauteil mit Schrägen, Kreisbögen, Radien zu programmieren (oder ein vorher bereits programmiertes Bauteil mit Schrägen, Kreisbögen, Radien zu versehen) und stoßen zunächst auf ein Problem (Konturungenauigkeiten bzw. -verzerrungen (s. Abbildung 31)), das dann im Plenum, in Gruppenarbeit, mit Recherchen geklärt werden kann.

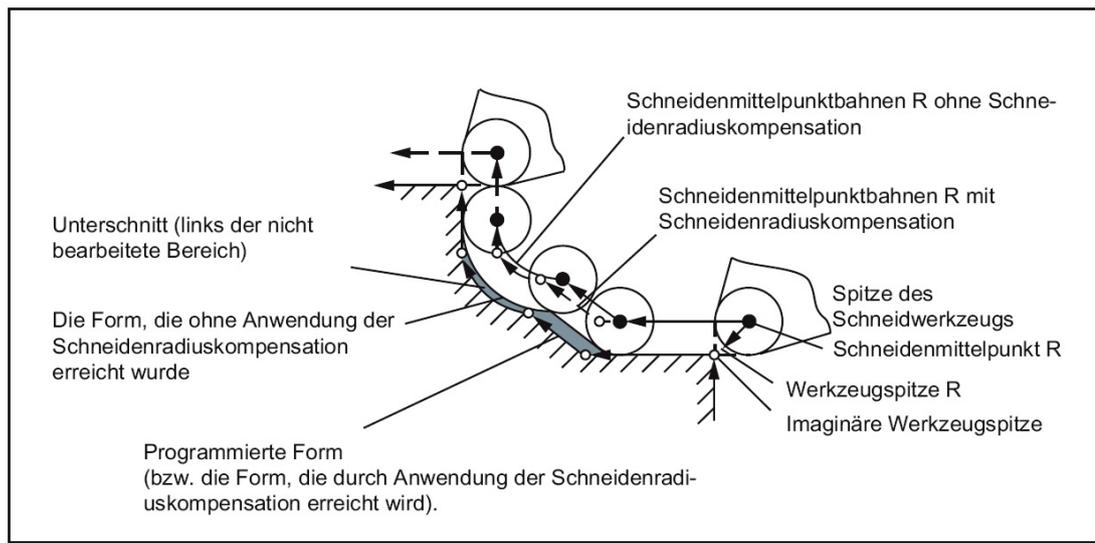


Abbildung 31: Bearbeitung ohne Schneidenradiuskompensation (Siemens AG 2009, S. 57)

Reifikationen, d.h. die Nachbildung von Objekten oder Phänomenen, die so in der Realität nicht wahrgenommen oder erfahren werden können (siehe dazu auch Abschnitt 3.4.2, S. 107), sind ebenfalls ein Potenzial, das Simulationen haben. Mit Hilfe von Simulationsprogrammen können beispielsweise die Auswirkungen von Kräften auf ein Bauteil durch FEM-Programme illustriert werden, indem die normalerweise nicht sichtbaren Verformungen übertrieben dargestellt und farblich veranschaulicht werden (Abbildung 32). Weitere Beispiele sind die Darstellung der Geschwindigkeitsvektoren bei Strömungssimulationen oder die Visualisierung der Feldverteilungen bei EMV-Simulationen (Abbildung 7, S. 40). Diese Reifikationen beruhen auf Metaphern bzw. Modellen (bspw. Pfeile, die für Kräfte oder Geschwindigkeiten stehen oder auch die farbcodierte Darstellung bei FEM- oder EMV-Simulationen), die Programmentwickler oder Designer erdacht haben. Animationen und Simulationen als spezielle Arten von virtuellen Modellen können insbesondere durch ihre dynamischen Eigenschaften zusätzliche Informationen liefern, die ein statisches Modell so nicht generieren könnte.

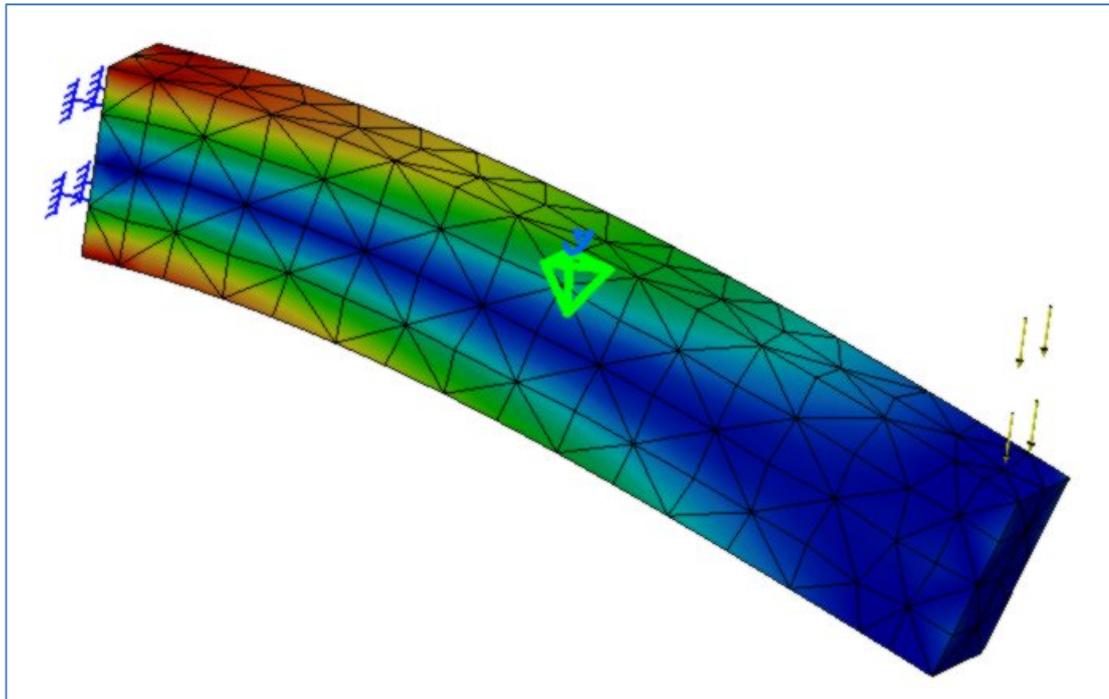


Abbildung 32: FEM-Darstellung Auswirkungen von Kräften auf ein Bauteil (Woyand 2004, S. 194)

Bei der Verwendung von Metaphern oder Modellen besteht jedoch immer die Gefahr von Missverständnissen, da ihre Interpretation individuell verschieden sein kann. Deshalb müssen die Modelle, auf denen die Simulation basiert, für die Lernenden transparent gemacht werden. So muss beispielsweise die Farbcodierung bei der FEM-Analyse erläutert werden (Bereiche mit größerer Spannung bzw. höherer Temperatur werden beispielsweise rot dargestellt, Bereiche mit niedrigerer Spannung bzw. Temperatur blau). Die Farben könnten sonst von Schülerinnen und Schülern auch anders interpretiert werden. Es muss geklärt werden, dass die Verformungen übertrieben dargestellt werden und um welchen Faktor die Darstellung gegenüber der Wirklichkeit erhöht ist. Die Lernenden müssen erkennen, dass Modelle nur Hilfskonstruktionen sind, die eine (subjektive) Interpretation des Entwicklers darstellen, dass sie die Wirklichkeit nicht originalgetreu widerspiegeln, sondern eine reduzierte und akzentuierte Darstellung sind. Gültigkeitsbereich und Grenzen des Modells sollten verdeutlicht werden.

Vergleicht man bspw. experimentelle Daten mit den Ergebnissen aus einer FEM-Analyse, so korrelieren die Daten oft nicht miteinander. Das liegt meist an den Unterschieden zwischen dem FEM-Modell und dem realen Werkstück. Um mit FEM-Analysen adäquat umgehen zu können, ist eine intensive Auseinandersetzung mit den zugrundeliegenden Modellen notwendig.

Deshalb müssen Lernprozesse durch Lehrende aufmerksam beobachtet und begleitet werden, damit Schwierigkeiten schnell erkannt und beseitigt werden können. Bei der Arbeit mit Simulationen muss den Lernenden daher permanent bewusst sein, dass diese auf Modellen basieren und welche Grenzen dadurch gegeben sind. Die Anwendung von Modellen im Unterricht - und somit auch die Anwendung der auf ihnen basierenden Simulationen - setzt nicht nur konstruktive Optionen zum Wissenserwerb in Gang, sondern kann auch Schwierigkeiten erzeugen, insbesondere wenn die Bedeutung des Modells falsch beurteilt wurde. Meist wird nicht hinterfragt, was tatsächlich von dem Modell zum Ausdruck gebracht wird, dadurch kann es passieren, dass Modelle losgelöst von ihrer eigentlichen Bedeutung eine eigene Realität entwickeln. Durch seine Subjektivität, seine Reduktion auf wesentliche Gesichtspunkte, seine Akzentuierung bestimmter Zusammenhänge und seine Perspektivität muss jedes Modell genau analysiert werden, ob es wirklich das Wissen, die Zusammenhänge vermittelt, die intendiert sind.

Aus den unterschiedlichen Verwendungszwecken von Modellen (vgl. S. 91) ergeben sich möglicherweise Schwierigkeiten bei der Verwendung von Simulationen aus dem Industriebereich im Fachunterricht. Die Modelle, auf denen sie basieren, sind nämlich keine Modelle zu Ausbildungszwecken, sondern Modelle zur Theoriebildung, Prognose oder Planung. Die meisten Simulationen aus dem Industriebereich wurden entwickelt, um bspw. Vorhersagen über Festigkeit eines Bauteils zu machen, die Auswirkungen eines elektronischen Bauteils auf seine umgebenden Bauteile zu prognostizieren, einen Fertigungsprozess zu planen oder auch im Forschungsbereich Theorien zu entwickeln oder zu überprüfen. Das bedeutet, dass in diesem Zusammenhang bei der Planung eines Lehr-Lern-Arrangements mit einer Simulation aus dem Industriebereich genau darauf geachtet werden muss, ob das Modell den gewünschten Inhalt (die "richtige" Bedeutung) transportiert, d.h. zur Erreichung des Unterrichtsziels beiträgt. Insbesondere aus dem konstruktivistischen Blickwinkel betrachtet, können sich hier Gefahren für Misskonzeptionen,⁴⁹ die dauerhaft bestehen bleiben, ergeben.

Es sollten den Lernenden auch die Gründe für die Auswahl genau dieses Modells (dieser Simulation) transparent gemacht werden und ebenso die Gründe für die Perspektive, aus der das Modell betrachtet wird. Nur so können die Verselbstständigung des Modells und Misskonzeptionen verhindert werden. Die Modelle müssen darüber hinaus eine Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung für die Lernenden aufweisen. Diese Erkenntnisse sollten den Lernenden nicht nur sprachlich vermittelt werden, sondern auch direkt im Umgang mit Modellen für sie erfahrbar gemacht werden. Im Falle der FEM-Analyse könnten etwa reale

⁴⁹ "misconceptions", fehlerhafte Vorstellungen, Annahmen

Experimente durchgeführt werden und deren Ergebnisse mit denen der Simulation verglichen werden. Im Anschluss könnten die Einflüsse durch die Erhöhung der Elementzahl, die Verwendung von Volumenelementen mit Zwischenknoten auf den Seitenmitten oder die Wahl eines anderen Netzes bei der Simulation untersucht werden.

Es sind also unterrichtliche Maßnahmen notwendig, um die Bildung und Findung des der Simulation zugrunde liegenden Modells für die Lernenden nachvollziehbar zu machen.

Simulationen können zum vernetzten Denken beitragen. Bei Simulationen werden Inhalte, wie bspw. Texte, Bilder oder Videos miteinander verknüpft, präsentiert und können dadurch die Einbettung und Vernetzung von Lerninhalten im Gedächtnis unterstützen.

Aus der kognitiven oder generativen Theorie multimedialen Lernens von Richard E. Mayer (1997, 2005; zus. m. Moreno 1998) kann abgeleitet werden, dass Multimedialernen durch das gleichzeitige Präsentieren von beispielsweise Wörtern und Bildern wirksamer sein kann, als das Lernen mit konventionellen Medien. Somit liegt weiteres Potenzial von Simulationen in den unterschiedlichen Präsentationsformen.

Die Programme von Festo sind hier ein gutes Beispiel (siehe S. 110, sowie das Unterrichtsbeispiel für Auszubildende Industriemechaniker/innen mit einem didaktisch aufbereiteten Simulationsprogramm, S. 172).

Weiteres Potenzial birgt die Interaktivität. Durch die Interaktivität kann die Lernmotivation der Lernenden gesteigert werden, da Lernende Kontrolle über die Simulation ausüben können. Hierbei ist jedoch nicht die Reaktion des Programms auf Eingaben des Benutzers/der Benutzerin von Bedeutung, sondern, dass das Lerntempo an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden kann und die Ermöglichung individueller Lernwege und flexibler Organisation.

Bei vielen Simulationsprogrammen können Lernende eigenständig entscheiden, ob und wann sie sich bspw. über die Hilfefunktion eines Programms Unterstützung holen. Sofern eine Auswahl möglich ist, sollte das Programm ausgewählt werden, das am besten an das Lerntempo und die Bedürfnisse der Lernenden angepasst werden kann (hohe Adaptivität). Der Vielfalt der Lernenden wird somit entsprochen. Dadurch bieten sie für die Lehrenden die Möglichkeit der Binnendifferenzierung und der Aktivierung der Lernenden (wie etwa durch die individuelle Vorgabe von Störungen für Wartungsarbeiten bei der CIROS Automation Suite S. 110f). Die Schülerinnen und Schüler können auf diese Weise im eigenen Tempo lernen, egal ob die Gruppe schneller oder langsamer ist. Abhängig vom jeweiligen Programm können Inhalte beliebig oft wiederholt werden, teilweise auch in abgewandelten Reihenfolgen, unterschiedlichem äußeren Rahmen, unter

anderen Gesichtspunkten oder mit abgewandelten Zielen. Dadurch kann Wissen konsolidiert werden. Beispiele hierfür sind Variationen in den Schwierigkeitsgraden der Aufgaben durch unterschiedliche Rohteile und Greiferarten im Unterrichtsbeispiel für auszubildende Produktionstechnolog(inn)en (ab S. 168).

Voraussetzung ist hierbei allerdings immer ein bestimmtes Maß an Eigenständigkeit und -verantwortlichkeit bei den Schülerinnen und Schülern.

Daneben spielt eine Rolle, wie leicht Informationen innerhalb des Programms gefunden werden können (Navigabilität) und welche Möglichkeiten die Lernenden haben, mit dem System zu kommunizieren, d.h., ob die Dateneingabe bspw. nur per Tastatur erfolgen kann, oder ob sie je nach Vorlieben der Nutzerinnen und Nutzer auch über einen Touchscreen, Spracheingabe o.ä. vorgenommen werden kann (Kommunikabilität). Ein weiteres Entscheidungskriterium ist, ob das Programm in unterschiedlichen Lernkontexten einsetzbar ist und sowohl in Gruppen- als auch in Einzelarbeit verwendet werden kann (didaktische Übertragbarkeit). Doch auch diese Faktoren müssen sorgsam abgewogen werden. Denn die Anzahl der Aktivitäten und Funktionen, die die Lernenden auswählen können (Reaktivität), kann bzgl. der Interaktivität positiv gesehen werden, hinsichtlich der kognitiven Belastung kann sie sich aber auch negativ auswirken.

Die Grenzen aus unterrichtstheoretischer Sicht sind meist im Medium selbst zu sehen. Für die Ausbildung in der Berufsschule gibt es meist keine spezielle Ausbildungssoftware, sondern es wird mit der jeweiligen branchenspezifischen Software gearbeitet. Die meisten auf dem Markt befindlichen Simulationen wurden für die Anwendung in der Produktion oder Logistik entwickelt. Hierzu zählen, wie oben gezeigt, Programme der Hersteller von Industrierobotern, die z.B. Taktzeiten analysieren und Roboterprogramme erzeugen und die Prozesse simulieren. Diese genügen vorwiegend nicht (fach-)didaktischen Ansprüchen. Viele zeichnen sich eher durch eine schlechte didaktische Qualität aus. Ursache hierfür ist, dass sie für die Verwendung im industriellen Kontext konzipiert wurden.

Aber auch einige didaktisch aufbereitete Programme machen da keine Ausnahme. Viele von ihnen sind nach behavioristischen bzw. Drill-and-Practice-Prinzipien aufgebaut. Der Grund dafür ist vermutlich, dass die Programme von Technikern bzw. Ingenieuren entwickelt werden, denen didaktische Prinzipien eher unbekannt sind. Aber in beiden Fällen sollte es im Interesse der jeweiligen Hersteller liegen, sich Gedanken über didaktische Grundsätze in der Vermittlung zu machen, da die Bedienung der Programme ja auch außerhalb von Berufsschulen den Kunden und Facharbeitern in Schulungen und Weiterbildungen nahegebracht werden muss.

Dennoch können auch Simulationsprogramme, die für die Industrie entwickelt wurden, durchaus ebenfalls dazu genutzt werden, Fachkompetenzen zu vermitteln.

Als Beispiel eine Skizze für die Vermittlung von Gestaltungsregeln bei angehenden Maschinenbautechniker/innen:

Der Beruf des Maschinenbautechnikers/der Maschinenbautechnikerin beinhaltet u.a., in Zusammenarbeit mit Ingenieuren neue Produkte zu entwickeln. Bei der Konstruktion von Werkstücken müssen je nach Fertigungsverfahren unterschiedliche Gestaltungsregeln eingehalten werden. So müssen bspw. im Bereich des Schmiedens Gestaltungsregeln zum schmiedegerechten Gestalten angewendet werden. Dazu sollten die angehenden Technikerinnen und Techniker zunächst Kenntnisse über die verschiedenen Schmiedeverfahren kennenlernen, da nicht alle mit den gängigen Verfahren (Gesensschmieden, Stauchen, Fließpressen, Freiformschmieden, Ringwalzen) vertraut sind. Hier können mithilfe einer kurzen Animation die Verfahren besser verdeutlicht werden, als mit einfachen Schnittdarstellungen. Die Animation, die auch mithilfe einer Simulation erstellt werden könnte, übernimmt hier eine Deskriptionsfunktion.

Ebenso sind Bilder aus Schmiedesimulationen (s. Abbildung 17 auf S. 75 im Abschnitt 3.4.1) meist besser geeignet, die Bedeutung der Regeln für schmiedegerechtes Gestalten zu vermitteln, als die hier meist verwandten Schnittdarstellungen (Abbildung 33).

Die Potenziale liegen hier demnach vor allem in der Verdeutlichung von Prozessen, die ansonsten schwerer zu durchschauen sind.

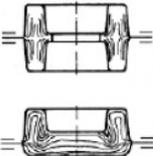
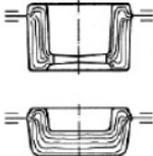
Nr.	ungünstig	besser	Hinweise
2			Bei hohen und engen Gravuren ungünstiger Werkstofffluß, Gesenkteilung fließgerecht vornehmen

Abbildung 33: Schmiedegerechtes Gestalten (vgl. Kurz et al. 2004, S. 337)

CAD-Programme können dazu genutzt werden, räumliches Vorstellungsvermögen bei den Lernenden zu entwickeln oder die Entstehung von Schnittdarstellungen anschaulich zu machen (Abbildung 34). Dafür müssen die Schülerinnen und Schüler nicht immer zunächst den Umgang mit dem Programmen lernen, sondern der/die Lehrende erstellt zunächst ein Bauteil, an dem er/sie die Entstehung der Schnittdarstellung illustriert. Oder die Schülerinnen und Schüler können mit dem erstellten Bauteil mit unterschiedlichen Schnitten selbst experimentieren. Dazu ist es notwendig, dass sie die Erstellung eines Schnittes erlernen. Dies ist jedoch nicht

aufwendig, da es bei vielen Programmen ausreicht, den Button "Schnittansicht" anzuklicken.

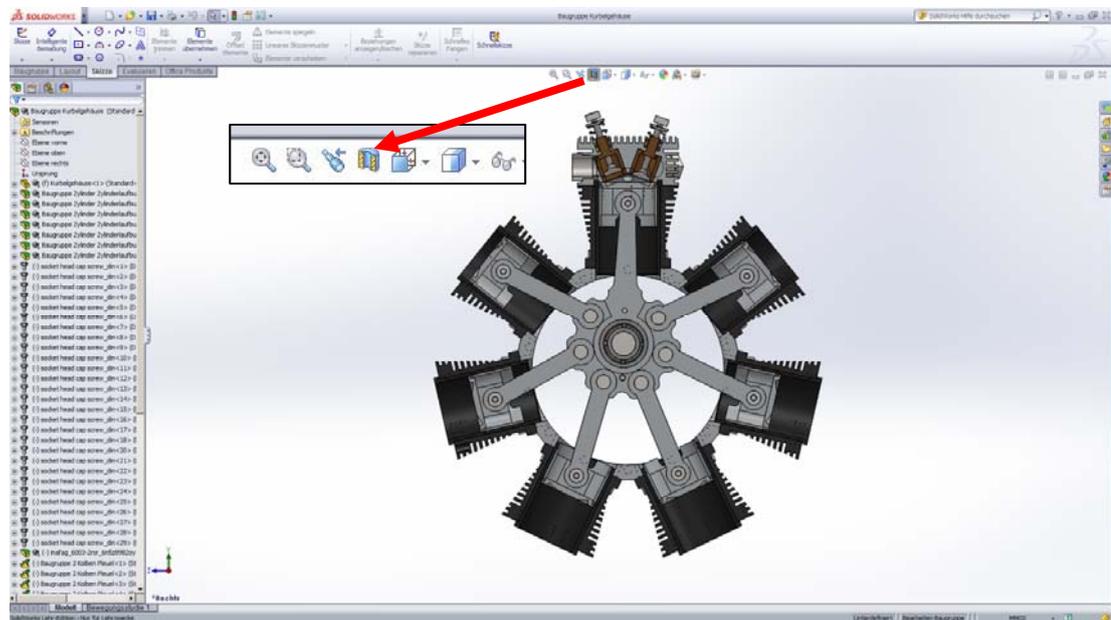


Abbildung 34: Schnittdarstellung eines Sternmotors erstellt mit SolidWorks

Weitere Beispiele hierfür sind der obige Entwurf für Gießereimechaniker/innen, die die Einflussmöglichkeiten auf den Erstarrungsprozess (S. 150) mit Hilfe einer Gießsimulation kennenlernen oder das Unterrichtsbeispiel für auszubildende Produktionstechnolog(inn)en (S. 168). Dafür müssen jedoch jeweils entsprechende Unterrichtskonzepte entwickelt und adäquate Lernsituationen entworfen werden.

Die Anpassung von Lehr-Lern-Arrangements mit Multimedia bei unvorhergesehenen Ereignissen oder falsch geplante Unterricht kann schwieriger sein als bei konventionellem Unterricht. Im konventionellen Unterricht kann der Lehrende meist schnell erkennen, an welchen Stellen Schwierigkeiten auftreten und darauf reagieren. Dies ist bei digitalen Unterrichtsmedien – auch bei didaktisch aufbereiteter Software (wie bspw. von Festo Didactic oder Keller/MTS) – nicht immer möglich, da diese oft in ihrem Programmablauf nicht unterbrochen oder angepasst werden können. So wird der Unterricht mit Simulationsprogrammen oft von Anwendungsproblemen dominiert. Die Vermittlung von Fachkompetenzen rückt in den Hintergrund, weil Fehler beim Umgang mit dem Programm gemacht werden. Dadurch sind Lehrende häufig damit beschäftigt, herauszufinden, an welcher Stelle von Lernenden "falsch geklickt" wurde oder warum das Programm nicht das macht, was der/die Lernende erwartet. Aus diesem Grund ist es nicht immer eindeutig, ob mit den Neuen Medien wirklich das angestrebte Fachwissen

oder nur die Bedienung eines Programms vermittelt wird. Deshalb muss die Aufgabenstellung beim Lernen mit Simulationen sehr spezifisch sein.

Lehrende müssen sich intensiv mit den Programmen beschäftigt haben, um evtl. auftretende Probleme und Fehler "vorauszuahnen" und darauf reagieren zu können. Das heißt, von der Lehrkraft muss nicht nur die Aufbereitung des Inhalts, wie bei konventionellem Unterricht geleistet werden, sondern obendrein erfordert das Medium eine intensive Vorbereitung und Einarbeitungszeit. Im Vergleich mit traditionellen Medien (bspw. OH-Projektor oder der Tafel) ist der Aufwand mit Computersimulationen also ungleich höher.

Die Berücksichtigung der von Tulodziecki (2011) formulierten fünf Charakteristika für das Lehren und Lernen unter Verwendung von Computern bzw. Medien – und damit auch für Simulationen –, sowie die ergänzenden Merkmale für handlungsorientierten Unterricht nach Tenberg (2011) (vgl. S. 21) kann die Ausschöpfung von Potenzialen unterstützen und sie zeigen gleichzeitig weitere Grenzen bei der Nutzung von Simulationen im unterrichtlichen Zusammenhang auf.

Bei der Erstellung der Lernaufgabe (Punkt 1) sollten Kriterien der didaktischen Analyse von Klafki, namentlich die Fragen nach Gegenwarts-, Zukunfts- und exemplarischer Bedeutung, herangezogen werden. Die Aufgabenstellung sollte aus dem unmittelbaren Berufsumfeld der Lernenden stammen. Die Aufgabenstellung dient zugleich der Aktivierung des Vorwissens und der Motivierung, an der Aufgabe zu arbeiten. Zusätzlich bieten Aufgabenstellungen Orientierung und beschränken gleichzeitig die Menge potenzieller Hypothesen. Insbesondere die Aktivierung der Ausgangskompetenzen spielt eine Rolle für den Erwerb fachlich-methodischer Kompetenz. Auf ihrer Basis wird das neue Wissen konstruiert.

Um die genannten Potenziale realisieren zu können, sollte das Lehr-Lern-Arrangement so gestaltet sein, dass situiert und anhand authentischer Probleme gelernt werden kann. Möglichst sollten multiple Kontexte (Probleme und Anwendungen aus der gegenwärtigen oder zukünftigen Erfahrungswelt der Auszubildenden) aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet und eventuell auch ausprobiert werden. Zur Entwicklung einer adäquaten Lernsituation aus den Lernfeldern erstellte Bader (2003) eine systematische Anleitung (ebd. S. 216f), die hilfreiche Ansatzpunkte liefert. Es sollten Phasen mit Gruppen- oder Partnerarbeit in das Lehr-Lern-Arrangement integriert sein und es sollte mit instruktionaler Unterstützung gelernt werden. Dafür sind die bereits im Abschnitt 3.4.1 ausgeführten Modellfunktionen von curricularer und fachdidaktischer Bedeutung (ab S. 73, s. auch Tabelle 1, S. 16). Dort finden sich ebenfalls Beispiele für diese Modellfunktionen. Sie müssen mit dem Unterrichtskonzept und der Planung der Lern- bzw. Arbeitsaufgaben in Einklang gebracht werden.

Sollte eine Simulation zum Erwerb von Fach- oder Methodenkompetenz besonders gut geeignet sein, bzw. besser als andere Medien, muss überlegt werden, welche Merkmale die Simulation, die verwendet werden soll, besitzt und welche Modellfunktion (s.o.) sie übernehmen soll. So übernimmt die Simulation im obigen Beispiel für Maschinenbautechniker/innen (S. 157) eine Deskriptionsfunktion.

Natürlich kann auch das Erlernen der Anwendung eines Simulationsprogrammes Ziel des Unterrichts sein, wie bspw. bei der Ausbildung zum Produktionstechnologen bzw. zur Produktionstechnologin im LF 11, wo die Auszubildenden Produktionsprozesse simulieren sollen, oder bei der Ausbildung zum Industriemechaniker bzw. zur Industriemechanikerin im Lernfeld 8 (Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen), wo die Auszubildenden CNC-Programme durch grafische Programmierverfahren entwickeln und sie durch Simulationen überprüfen sollen. Hier sollte darauf geachtet werden, dass der Unterricht nicht wieder zu klassischem Frontalunterricht wird. Insbesondere wenn Lehrende vorher selbst Fortbildungsveranstaltungen von Herstellern der Simulationsprogramme besucht haben, besteht diese Gefahr. Viele Weiterbildungsveranstaltungen der Herstellerfirmen von Simulationsprogrammen sind unter didaktischen Gesichtspunkten und daraus resultierend auch in ihrer Qualität und Effektivität als eher schlecht zu beurteilen. Durch die Vorbildfunktion solcher Weiterbildungsveranstaltungen kann dies Auswirkungen auf Vermittlung dieser Programme im unterrichtlichen Zusammenhang haben. Häufig werden sie in Form von Frontalunterricht durchgeführt und Multiplikatoren orientieren sich bei ihren Veranstaltungen an der Struktur und den Lehrunterlagen der von ihnen besuchten Fortbildungen, sei es aus Unwissenheit oder Bequemlichkeit.

Darüber hinaus sind oft auch die Arbeitsunterlagen zu den Programmen defizitär. Sie sind meist nach sachlogischen Maßstäben strukturiert, die den Lehrstoff in Teilbereiche aufgliedern, die jeweils gesondert theoretisch vertieft werden. Dadurch sind Theorie und Praxis voneinander getrennt. Sinnvoller ist die Erarbeitung von aufeinander aufbauenden Lernaufgaben (wie beim Projekt CLAUS, vgl. S. 78), die im Laufe der Zeit an Komplexität zunehmen. Theoretische Kenntnisse werden nur vermittelt, wenn sie unmittelbar benötigt werden, um die jeweilige Aufgabe zu lösen. Dadurch erhalten die Kenntnisse einen praxisnahen Kontext und das Gelernte kann systematisiert aufgenommen werden.

Dabei sollte nicht generell ein bestimmter didaktischer Ansatz bevorzugt werden, sondern unter Berücksichtigung von Inhalt, Ziel, Zielgruppen und Rahmenbedingungen Lösungen für eine bestimmte Anforderungssituation gefunden werden. Dabei können durchaus sowohl problembasierte als auch instruktionale Ansätze einbezogen werden. Keine Lehrmethode kann als die geeignetste angesehen werden. Vielmehr muss das gesamte didaktische Feld berücksichtigt werden. Dabei können auch die persönlichen Vorlieben des/der

Lehrenden oder seine/ihre Methodenkompetenzen eine Rolle spielen. Die Aufgabe besteht darin, herauszufinden, wann ein Ansatz unter welchen Voraussetzungen nutzbringend ist.

Für die produktive Aneignung von Wissen mit Computersimulationen brauchen Lernende instruktionale Unterstützung. Mit Entdeckendem Lernen werden angestrebte Lernerfolge meist nicht erreicht. Deshalb ist es empfehlenswert, unterschiedliche Methoden zur Unterstützung anzubieten, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Lehr-Lern-Arrangement angewendet werden sollten: Experimentelle Unterstützung durch permanent verfügbare Hintergrundinformationen, Anleitung und Erklärungen, reflektierende Unterstützung durch nuanciertes Feedback des Simulationsprogramms (sofern vorhanden) und die Begutachtung der eigenen Vorgehensweise und interpretative Unterstützung durch konkrete Aufgaben und ausgearbeitete Lösungsbeispiele (vgl. Urhahne und Harms (2006), S. 358). Ausführlicher dazu: siehe im Fachdidaktischen Diskurs 3.3.2). Bei den Programmen von Festo ist dies weitgehend schon realisiert worden, indem es einerseits Handbücher gibt, in denen neben den üblichen Bedienungsanleitungen beispielhaft Aufgaben und Lösungen dargestellt werden andererseits aber auch Modelle, Assistenten und multimediale Erläuterungen mit dem Programm mitgeliefert werden, die auch um eigene Dokumente ergänzt werden können (vgl. S. 110).

Bei Programmen, die für Industrieanwendungen entwickelt wurden, müssen die Lehrenden diese Hilfen meist selbst anfertigen und den Lernenden in adäquater Form zur Verfügung stellen. Zwar beinhalten die meisten Programme sog. Hilfsfunktionen, diese sind jedoch für den/die ungeübte/n Anwender/in oft nicht zielführend. Für die Entwicklung eigener Hilfen und Beispielaufgaben können hier die verschiedenen Bücher, die zu den unterschiedlichen Programmen erhältlich sind, geben (für den Bereich CAD bspw. Koehldorfer 2009/2010; Schabacker und Vajna 2007; Vogel 2007 u.a.).

Um die Schülerinnen und Schüler einzubeziehen (Punkt 2), werden sie dazu angeregt sich zu überlegen, welche Sachverhalte wie geklärt werden können, und welche Kompetenzen sie evtl. für die Bearbeitung der Aufgabe benötigen. Durch die Beteiligung der Schülerinnen und Schüler an den Überlegungen zu Zielvorstellungen für die Lösung der Aufgabe wird ihnen die Sinnhaftigkeit ihres Tuns deutlich und sie reflektieren bereits vorhandenes Wissen.

Die Aufgaben sollten sowohl in Einzel- als auch in Gruppenarbeit gelöst werden (Punkt 3), da Unterricht mit Computern grundsätzlich dazu tendiert, Lernende voneinander zu isolieren. Meist arbeitet ein Schüler/eine Schülerin allein am Computer. Das ist auch oft notwendig, da bspw. das Erlernen der Bedienung von Programmen nur möglich ist, wenn das Programm angewendet wird, nicht wenn dabei zugesehen wird, wie ein anderer das Programm bedient.

Umgekehrt führt dies aber auch zur Isolation. Unterrichtsgespräche und Austausch finden nicht statt. Die Interaktionsmöglichkeiten der Simulation können aber dieses Defizit nicht kompensieren. Diese Programme können nur die vom Programmierer / von der Programmiererin festgelegten Programmschritte ausführen. Divergentes Denken der Lernenden kann nicht gefördert werden. Emotionale und intuitive Erfahrungen können mit Simulationen meist nicht gemacht werden. Das bedeutet, dass Lehrende einen sozialen Kontext kreieren müssen. Darüber hinaus sollten sie das gemeinsame Arbeiten fördern. Wird in Gruppen gearbeitet, sollten die Gruppengröße drei Mitglieder nicht überschreiten, da sonst nicht alle Lernenden ausreichend beteiligt werden und die Mitglieder sollten sich möglichst aus eigenem Antrieb zusammenfinden, da die Arbeit sonst durch Uneinigkeiten zu stark beeinträchtigt wird. Die Gruppenarbeit sollte eigens arrangiert sein (bspw. Gruppen-Puzzle; Expertengemeinschaften etc.). Phasen, in denen in Gruppen gearbeitet wird, sollten sich während des Unterrichts mit Einzelarbeitsphasen abwechseln. Dadurch wird die kognitive Überlastung, die durch Gruppenarbeit erhöht werden kann, zumindest teilweise verringert, andererseits aber auch der Isolation, die durch Einzelarbeit am Rechner entsteht, entgegengewirkt. Dazu müssen wohldosierte instruktionale Maßnahmen ausgearbeitet werden, die die Lernenden unterstützen, aber wiederum nicht zur Erhöhung der kognitiven Belastung beitragen oder Informationen enthalten, die nicht zum Lerngegenstand dazugehören.

Zu den Punkten 4, 5 und 8: Da im handlungsorientierten Unterricht Lerninhalte weniger stark thematisiert werden als im konventionellen Unterricht, muss der Lernzuwachs für die Schüler deutlich hervorgehoben werden. Viele Schülerinnen und Schüler benötigen Rückmeldung darüber, ob sie die Aufgaben richtig gelöst haben, daher sind im Anschluss an die Bearbeitung der Aufgabenstellungen und auch währenddessen die Unterstützung der Lehrkraft und die ausführliche Besprechung der Lösungen notwendig.

Das Lernen am Computer ist meist eine Form selbstgesteuerten Lernens. Zu den bereits erwähnten Gefahren der Isolation kommen dazu noch die Anforderungen an die Lernenden bezüglich ihrer Kompetenzen zum selbstgesteuerten Lernen. Das beinhaltet das Setzen von Zielen, das Entwickeln systematischer Vorgehensweisen und die Steuerung und Überwachung der eigenen Lernstrategien und -techniken.

Viele Lernende sind nicht in der Lage, Untersuchungshypothesen für das zu simulierende Experiment zu artikulieren. Auch die Gestaltung und Realisierung eines geeigneten Experiments oder auch die Ausdeutung der Resultate bereitet vielen Lernenden Probleme. Ebenso müssen Lernende ausreichende Kenntnisse besitzen, um die Ergebnisse, aber auch die Darstellungen in den Simulationen auf ihre faktische Richtigkeit überprüfen zu können. Nur mit ausreichendem Kontext ist

es den Lernenden möglich, das mit der Simulation gelernte einordnen zu können und sich zu eigen zu machen.

Da das selbstgesteuerte Lernen vor allem metakognitive Faktoren betrifft, profitieren erfolgreiche Lernende mehr vom Lernen mit Simulationen als Lernende mit schlechten Lernvoraussetzungen. Im Gegensatz zu den erfolgreichen Lernenden haben wenig erfolgreiche Lernende Schwierigkeiten, systematische Vorgehensweisen zu entwickeln und zielgerichtet ihre Lernprozesse zu planen und zu überwachen. Sie verlieren sich in Details, statt das Große Ganze zu betrachten, gehen eher nach zufälligen Strategien vor und sind oft nicht in der Lage, richtige von falschen Methoden zu unterscheiden. Selbstgesteuertes Lernen sollte ein Teil fachlich-methodischer Kompetenzen sein. Es muss jedoch ausführlich gelernt werden. Die Lernenden müssen ausreichend Möglichkeiten zur Entfaltung eigener Kräfte und Ideen haben, da nur so die Problemlösefähigkeit und die Kompetenz zum selbstgesteuerten Lernen gefördert werden können.

Während der Arbeit mit den Simulationen können Beobachtungen, Schlussfolgerungen und Zusammenhänge förderlich sein. Hierbei sollte den Empfehlungen von Urhahne und Harms (2006) gefolgt werden, dass neben dem differenzierten Feedback des Lernsystems vor allem die eigene Vorgehensweise zur reflektierenden Unterstützung beobachtet werden sollte.

In Verbindung damit sind die Mitschriften der Lernenden ein weiterer bedeutender Faktor. Sie helfen nicht nur den Lernenden, ihre Gedanken zu systematisieren, externalisieren und mit anderen zu teilen, sondern sind auch gleichzeitig für den Lehrenden eine Informationsquelle, was die Lernenden verstanden haben. Es muss eine Balance zwischen allzu vorgefertigten Arbeitsblättern und Fleißarbeit, die nicht im Zusammenhang mit dem zu Lernenden steht, gefunden werden. Auch für Mitschriften benötigen die Schülerinnen und Schüler die Unterstützung der Lehrkraft. Eine adäquate und ansprechende Unterstützung begünstigt die Aneignung von Fachkompetenzen.

Die Festigung neu erworbenen Wissens, sowie seine Flexibilisierung und seine Überführung in multiple Repräsentation ist Voraussetzung für den Erwerb fachlich-methodischer Kompetenzen. Darüber hinaus muss das neu angeeignete Wissen dekontextualisiert werden. Das Wiederholen und Üben ist hier noch einmal ein sehr wichtiger Aspekt.

Für ein breit gefächertes, anwendungsorientiertes Wissen muss den Schülerinnen und Schülern verdeutlicht werden, dass unterschiedliche (Lösungs-)Wege zielführend sein können.

Sollen besonders Kompetenzen in der Aneignung expliziten Wissens gefördert werden, sollte den Empfehlungen Grafes (2008) gefolgt werden, dass sich Phasen, in denen Grundlagen erarbeitet werden, mit Phasen abwechseln, in denen die

Grundlagen auf die jeweilige Fragestellung angewendet werden. Keinesfalls sollten als Erstes alle notwendigen Grundlagen erarbeitet werden, um erst danach mittels der Computersimulation zur Anwendung gebracht zu werden, da dies der Motivation der Lernenden abträglich sein könnte.

Durch das handlungssystematische Vorgehen (Punkt 6) werden der Theorie berufspraktische Anknüpfungspunkte beigelegt. Geht man von der konstruktivistischen Sichtweise aus, dass Lernen situations- und kontextgebunden ist, dann bestimmt bereits die Lernsituation, in welchen Umständen das erworbene Wissen künftig genutzt werden kann. Aus dieser Annahme generiert sich die Forderung nach der Implementation von authentischen Problemen in Lernumgebungen. Die Probleme werden umso authentischer, je mehr sie bezüglich ihrer Komplexität an der Realität orientiert sind.

Festgehalten werden muss in jedem Fall, dass immer nur eine Simulation einer Handlung stattfindet, die keine Effekte auf die Realität hat und keine Konsequenzen nach sich zieht. Lernenden wird dies immer bewusst sein. Das kann einerseits Vorteile haben, weil mehr ausprobiert werden kann, ohne Gefährdungen oder, wie im Fall von Robotern, Werkzeugmaschinen etc., Zerstörung von teuren Anlagen, aber auch von Nachteil sein, wenn Lernende sich Verhaltensweisen angewöhnen, die in der Realität zu gefährlichen Situationen führen. Lehrende müssen sich dessen bewusst sein und in ihrem Lehr-Lern-Arrangement durch geeignete Maßnahmen, wie der Thematisierung von Gefahren und andere reflektorische, auf die jeweilige Lernsituation abgestimmte Strategien, berücksichtigen.

Grundsätzlich sollte die Verwendung von Medien immer auch Medienerziehung und -bildung beinhalten. Der sinnvolle und verantwortungsbewusste Umgang muss im jeweiligen Unterricht thematisiert werden, er wird nicht nebenbei vermittelt.

Wie bereits in Kapitel 3.4.1 (S. 83) diskutiert, ist für den Unterricht mit Simulationen und anderen digitalen Medien mediendidaktische Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer von entscheidender Relevanz. Dennoch gibt es kaum Weiterbildungsveranstaltungen und auch keine medienpädagogische Pflichtveranstaltung in der universitären Ausbildung der Lehrer für berufliche Schulen (zumindest nicht in Berlin), sodass die Aus- und Weiterbildung in diesem Bereich vom Interesse und Antrieb der jeweiligen Lehrkraft abhängt. Die fehlenden Kompetenzen der Lehrkräfte in diesem Bereich stellen somit eine weitere Grenze für die Verwendung von Simulationen im Unterricht dar.

Aus kognitionspsychologischer Sicht kann als gesichert erachtet werden, dass Lernen immer kognitive Anstrengung erfordert, dass Lernende sich mit dem Lerngegenstand geistig auseinandersetzen müssen, damit sie Wissen hinzugewinnen. Der Hoffnung, dass man Lernende mal ein bisschen am Rechner

spielen lässt und sie so mal nebenbei gewichtigen Lernstoff rezipieren, muss somit eine Absage erteilt werden.

Andererseits muss aber darauf geachtet werden, dass die kognitive Beanspruchung bzw. Belastung (Cognitive Load, vgl. Abschnitt 3.4.2, S. 102) nicht zu hoch wird.

Während an der intrinsischen kognitiven Belastung durch die Gestaltung des Lehr-Lern-Arrangements oft nicht viel verändert werden kann, da sie auf der intrinsischen Natur des zu lernenden Inhalts beruht, also wie schwierig, komplex oder kompliziert der Lernstoff für die Lernenden ist, wird das Veränderungspotenzial vor allem in der Verringerung der extrinsischen kognitiven Belastung liegen. Diese wird durch die Gestaltung der Lehrmaterialien bzw. die Bedingungen des Lehr-Lern-Arrangements bestimmt.

Oft wird bei der Planung von Unterricht unterschätzt, wie viel kognitive Kapazität für die Bedienung des Programms benötigt wird, die dann nicht mehr für die Beschäftigung mit den zu lernenden Inhalten zur Verfügung steht. Lehrende müssen dies bei der Gestaltung von Lehr-Lern-Arrangements mit Simulationen einschätzen und berücksichtigen. Wie groß die kognitive Belastung ist, die für die Bedienung des Programms benötigt wird, hängt einerseits von den Kenntnissen der Schülerinnen und Schüler ab, also, ob sie zuvor mit dem entsprechenden Programm bereits gearbeitet haben und welche Fachkenntnisse sie in dem jeweiligen Gebiet bereits besitzen, andererseits von den kognitiven Fähigkeiten der Lernenden. Bei Schülerinnen und Schülern mit geringeren kognitiven Fähigkeiten ist die Belastungsgrenze früher erreicht, als bei leistungsstärkeren. Ebenso spielt eine Rolle, ob in Einzel- oder Gruppenarbeit gelernt wird. Gruppenarbeit führt zu einer stärkeren kognitiven Belastung.

Aber auch die Komplexität des Programms ist relevant. Programme, die intuitiv und leicht zu bedienen sind, mit wenigen zusätzlichen interaktiven Animationen führen zu einer geringeren Belastung. An den Programmen können Lehrende bei der Unterrichtsplanung meist wenig ändern oder anpassen. Das bedeutet, dass der Fokus bei der Gestaltung der Lehr-Lern-Arrangements hinsichtlich der kognitiven Belastung vor allem auf der Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler und somit auf den notwendigen Unterstützungsmöglichkeiten, den Kooperationsformen (Gruppen- oder Einzelarbeit) und der Aufgabenstellung liegt. Die Grenzen sind hier demnach sowohl durch die Komplexität des Programms als auch durch die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler gesetzt und auch durch die Qualität des Lehr-Lern-Arrangements.

Sollte die Simulation als Ersatz für reale Systeme genutzt werden - eine Ersatzfunktion übernehmen – muss immer berücksichtigt werden: Klicken ist nicht gleich Handeln! Besonders erstmalig zu lernende Handlungen erfordern eine zum

Objekt adäquate Bewegung. Sie können also nur gelernt werden, indem sie konkret ausgeführt werden und nicht, indem sie in einer Simulation einfach mit der Maus angeklickt werden. (Nicht ohne Grund sind bspw. Flugsimulatoren für die Ausbildung von Pilotinnen und Piloten mit vollständig ausgestatteten Cockpits, mit allen Bedien- und Kontrollelementen, wie Steuerhorn oder Sidesticks, Pedalen etc. ausgerüstet. Die wenigsten würden sich auch sicherlich ungern in die Hände eines Piloten/einer Pilotin begeben, der/die das Handwerk ausschließlich an einem Simulator erlernt hat. Erst recht nicht an jemanden, der dies am Microsoft Flugsimulator zu Hause am heimischen PC erlernt hat.) Simulationen, so realistisch sie auch sein mögen, sind also nicht immer als Ersatz geeignet, besonders nicht, wenn sie zur ausschließlichen Vermittlung von Handlungen verwendet werden sollen. Es werden immer wieder neue Simulationsumgebungen vorgestellt, die reale Arbeitsprozesse simulieren sollen. Bspw. sollen Werkzeuge mit dem Cursor der Maus angeklickt werden, im Anschluss die Schraube, die mit dem Werkzeug gelöst werden soll. In dieser Form können Handlungen kaum vermittelt werden.

Simulationen können echte Begegnungen mit Objekten und Personen nicht ersetzen und daher auch nur einen nicht immer adäquaten Ersatz für eine Erfahrung darstellen.

Das bedeutet, dass sichergestellt werden muss, dass die Schülerinnen und Schüler entweder im Betrieb die Möglichkeit haben, die zu erlernenden Handlungen auch real auszuführen, sofern es sich um Auszubildende in der dualen Ausbildung handelt, oder dass sie an realen Maschinen, Vorrichtungen etc. üben können. Ist dies nicht der Fall, sollten andere Möglichkeiten, wie reale Modelle oder Trainingsgeräte, gefunden werden, um diese Handlungen zu erlernen und zu üben. Verschiedene Hersteller bieten Systeme an, wo die zuvor durchgeführten Simulationen eins zu eins umgesetzt an realen Modellen durchgeführt werden können, da die Anlagen und Stationen identisch mit den Modellen der Simulation sind (wie z.B. das MPS-Transfersystem von Festo, S. 173).

Ein weiterer Aspekt, der mit der Verwendung von Simulationen, aber auch mit anderen (Computer-)Medien einhergeht, ist die Entsinnlichung, oder, wie von Hentig (1984) es formuliert, das "allmähliche Verschwinden der Wirklichkeit". Simulationen können keine kognitiven Strukturen über Sinnlichkeit, d.h. über den Sinn für Realität, für fassbare Dinge, aufbauen. "Ent-Sinnlichung und Abstraktion bestimmen die Erfahrungsmöglichkeiten stärker als früher, die ikonische Aneignung dominiert die handelnd-tätige" (Gudjons 2008, S. 67). Haptische und auch motorische Erfahrungen können mit Computersimulationen in der Regel nicht gemacht werden. Berührungen, Bewegungen, aber auch die Wahrnehmung des Körpers, Riechen und Schmecken werden von Simulationen (noch) nicht unterstützt. Sehen und Hören finden losgelöst von diesen Erfahrungen statt. Die

Aufnahme, Verknüpfung und Verarbeitung sinnlicher Erfahrungen, die für den Lernprozess eine wichtige Rolle spielen können, wird dadurch vernachlässigt.⁵⁰

Die Nutzung von Computern kann dazu führen, dass Lernende sich ihre Wirklichkeit aus Fragmenten, durch wahlloses Ausprobieren, erschaffen. Dadurch kann kein systematisches Verständnis für Vorgänge entwickelt werden.

Dem kann jedoch mit Turkle (1984) entgegengesetzt werden, dass "das Ausprobieren, das Zusammenstellen, das Experimentieren dem Umgang mit dem Computer angemessener oder jedenfalls genauso angemessen sei wie der des logisch-abstrakten Denkens und planvollen Vorgehens"(zit. nach Schelhowe 2007, S. 145). Nicht immer ist es notwendig, dass sämtliche Schritte nachvollzogen werden können oder die Strukturen verstanden werden, um mit Simulationen etwas zu lernen. Vielmehr kann die Simulation hier auch einen Ansatz zum Umgang mit Komplexität liefern. Eventuell ist es gerade wegen der Komplexität heutiger Produkte nicht immer notwendig, jedes kleine Detail zu verstehen. Möglicherweise erwirbt sich die Fähigkeit zu erfolgreichem Handeln in komplexen Umfeldern effektiver durch Versuch und Irrtum. Vielleicht liefern hierfür Computersimulationen die Möglichkeit.

5.1.1. Unterrichtsbeispiele mit Simulation

In diesem Abschnitt werden verschiedene Szenarien für Unterricht mit Simulationen vorgestellt, auf die sich teilweise im obigen Abschnitt bezogen wurde. Dazu wird zunächst ein Unterricht mit einer Robotersimulation für angehende Produktionstechnolog(inn)en skizziert, in dem die Simulation eine Antizipations- bzw. Prognosefunktion übernimmt. Der jedoch auch so abgewandelt werden kann, dass die Simulation eine Kontroll- oder Evaluationsfunktion übernimmt. Im Anschluss daran wird ein Beispiel mit einem didaktisch aufbereiteten Programm – CIROS Automation Suite von Festo Didactic – skizziert. Dieses könnte beispielsweise bei angehenden Industriemechaniker/innen eingesetzt werden. Dazu werden das Programm und seine Möglichkeiten zunächst kurz beschrieben und im Anschluss werden Hinweise für den Einsatz gegeben. Zum Abschluss werden weitere kurze Beispiele skizziert, wie beispielsweise Simulationen in unterschiedlichen Zusammenhängen und Bildungsgängen eine Deskriptionsfunktion bzw. eine Trainingsfunktion übernehmen können.

Zu Beginn einer Unterrichtsreihe bzw. eines Lernfeldes kann und sollte eine komplexe Problemstellung Ausgangspunkt sein. Sie dient als Aufhänger, Anknüpfungspunkt an die berufliche Realität und kann auch dazu dienen, den

⁵⁰ So können beispielsweise erfahrene Kfz-Mechatroniker bei einem Problem am Geräusch des laufenden Motors erkennen, wo das Problem liegt. Diese Erfahrungen können sie nicht mit einem Simulationsprogramm machen, da zwar ein Geräusch simuliert werden könnte, nicht aber dessen Verortung im Motorraum.

Wissensstand der Schülerinnen und Schüler festzustellen. Es stellt sich jedoch meist heraus, dass besonders leistungsschwächere Schüler von sehr komplexen Aufgabenstellungen überfordert sind, sodass im Verlauf der Unterrichtsreihe – je nach Fähigkeiten der Lernenden – es notwendig wird, die Aufgabenstellung in kleinere Teilbereiche zu untergliedern. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Teilaufgaben trotzdem noch eine gewisse Komplexität enthalten, und nicht, wie es in einigen Lehrbüchern der Fall ist, die Problemstellung nur noch der Aufhänger ist, an dem die "alten" kleinschrittigen Arbeitsblätter abgearbeitet werden. Andererseits sollte die Lehrkraft darauf eingestellt sein, dass die Schülerinnen und Schüler aufgrund ihrer eventuellen geringen Vorkenntnisse nicht alle Probleme und alle daraus resultierenden Arbeitsschritte erkennen. Ist man darauf nicht vorbereitet, resultiert das in einem lang andauernden - Lehrer-Schüler-Gespräch genannten - Ratespiel, wo die Lehrkraft versucht, die Antworten aus ihren Schülern und Schülerinnen durch mehr oder minder geschickte Fragen herauszupressen.

Bei der Bearbeitung von Aufgaben spielen Zeitaspekte eine Rolle. Das Thema muss dann auch im Laufe eines Lernfeldes abgearbeitet sein. Darüber hinaus müssen die Inhalte so bearbeitet werden, dass die Schülerinnen und Schüler auf die Abschlussprüfung vorbereitet sind.

Unterrichtsbeispiel für auszubildende Produktionstechnolog(inn)en

Es folgt eine beispielhafte Skizze für einen Unterricht mit einer Robotersimulation, wobei die Simulation eine Antizipations- oder Prognosefunktion übernimmt, in abgewandelter Form ist dieser Unterricht auch ein Beispiel für einen Unterricht, bei dem die Simulation eine Kontroll- und Evaluationsfunktion einnimmt.

Basis ist ein Unterrichtsprojekt, das lernfeldübergreifend geplant ist. Es verbindet die Lernfelder 9-12, und beinhaltet die Planung, Simulation und Optimierung eines Fertigungssystems. Die Unterrichtseinheit fügt sich inhaltlich als Teil der Vorgaben des Rahmenplanes für die Berufsgruppe der Produktionstechnolog(inn)en in o.g. Lernfelder ein. So sollen die Schülerinnen und Schüler im Lernfeld 11 "komplexe Aufgabenstellungen" analysieren sowie "Ziele und Vorgehensweisen für die Simulation von Gesamt- oder Teilprozessen fest[legen]" (KMK 2008a, S. 20).

Die Schülerinnen und Schüler befinden sich im dritten Ausbildungsjahr (bzw. am Ende des zweiten) und bringen dementsprechende Fachkompetenzen mit. Sie haben bereits gelernt, Handhabungssysteme in flexible Fertigungsanlagen zu integrieren. Sie kennen die dafür notwendigen technischen Anforderungen und haben Handhabungssysteme eingerichtet und programmiert.

Um der Forderung nach Teamarbeit gerecht zu werden, sollte in den Klassen von Beginn an in Gruppen sowie vorwiegend mit gruppenorientierten Lern- bzw. Lehrmethoden gearbeitet werden. Dazu ist es zweckmäßig, dass die Schülerinnen

und Schüler vorwiegend in Gruppen an den Tischen sitzen. Die Gruppenbildung könnte von den Lehrpersonen vorgenommen werden, damit auch die Teamarbeit mit unterschiedlichen Teammitgliedern geübt werden kann. Es kann aber ebenso sinnvoll sein, dass die Lernenden ihre Teammitglieder selbst bestimmen.

Ein Teil des Fertigungssystems der Unterrichtsreihe ist ein 6-Achs-Beschickungsroboter, der in einer Palettierzelle integriert ist. Roboter lagert die Teile auf Paletten, mit denen eine CNC-Fräsmaschine bestückt werden soll. Zuvor haben die Schülerinnen und Schüler die Bewegungen dieses Roboters geplant und programmiert.

Industrieroboter bestehen meist aus dem Roboterarm (Manipulator), dem Effektor, der Steuerung und Sensoren. Ihre zentralen Aufgaben führen Industrieroboter mit Effektoren durch. Er interagiert mit der Umwelt. Effektor ist der Oberbegriff für die Werkzeuge zur Bearbeitung von Werkstücken (z.B. Schweißpistolen/-zangen), Messmittel und Greifer bzw. Greifersysteme von Robotern. Um beispielsweise Werkstücke handhaben zu können, benötigen Roboter Greifer, die das Werkstück festhalten. Greifer lassen sich in Standard- und Spezialgreifer untergliedern. Standardgreifer sind beispielsweise Parallelgreifer, Dreipunktgreifer oder Vakuumgreifer (Kugelmann 1999).

Die Fräse soll nun mit Rohteilen, die eine andere Geometrie besitzen (Zeichnungen werden den Schülerinnen und Schülern gestellt), bestückt werden. Die Rohteilgeometrie ist so gewählt, dass entweder der vorherige Greifer oder zumindest die vorherige Greifkonfiguration für diese Teile nicht mehr geeignet ist.

Der Inhalt der Unterrichtseinheit ist nun die sog. Greifplanung. Damit soll eine günstige Greifkonfiguration bzw. Greiferposition zum Greifen und Handhaben des Rohteils ausgewählt werden. "Eine Greifkonfiguration beschreibt die relative Lage des Greifers zum Werkstück, wenn dieses vom Greifer gegriffen ist. Je nach Greifertyp existieren in Abhängigkeit von Greifer- und Objektgeometrie mehrere geometrisch mögliche Greifkonfigurationen" (Kugelmann 1999, S. 56). Die Greifkonfiguration muss so gewählt sein, dass das Rohteil sicher transportiert werden kann, es die geeignete Position bekommt und nicht beschädigt wird (s. Abbildung 35). Es könnte beispielsweise sein, dass das Werkstück an einer Fläche nicht gegriffen werden oder dass es nur mit geringer Kraft gegriffen werden darf, da es sonst beschädigt wird. Das beinhaltet auch den kollisionsfreien Transport. Das Rohteil kann demnach nur gegriffen werden, wenn es für den Greifer zugänglich ist, der Greifer weder mit dem Rohteil selbst noch mit anderen Werkstücken kollidiert, der Greifer und der Roboter es außerdem tragen kann, ohne dass das Rohteil im Greifer verrutscht oder es aus dem Greifer fällt, der Greifer geöffnet ist, sich am Greifpunkt des Rohteils befindet und der Greifer zum Greifen dieses Rohteil geeignet ist (Kugelmann 1999; Weck und Brecher 2006).

Es ist darauf zu achten, dass die Schülerinnen und Schüler nicht über-, aber auch nicht unterfordert werden. Die Greifplanung ist durch die komplexen Zusammenhänge keine triviale Aufgabe. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung kann durch die Auswahl des Rohteils und die zur Verfügung stehenden Greiferarten je nach Zielgruppe variiert werden. Darüber hinaus können durch die Art der Zusatzinformationen, die die Schülerinnen und Schüler in Form von Informationsblättern, Literatur oder die Erarbeitung kleinschrittigerer Fragestellungen erhalten, die Schwierigkeiten verringert werden. Da sich die Auszubildenden schon im 3. Ausbildungsjahr befinden, sind sie bereits erfahren und geübt in der Bearbeitung solcher Problemstellungen (immer vorausgesetzt, diese Art wurde bis zu diesem Zeitpunkt konsequent geübt).

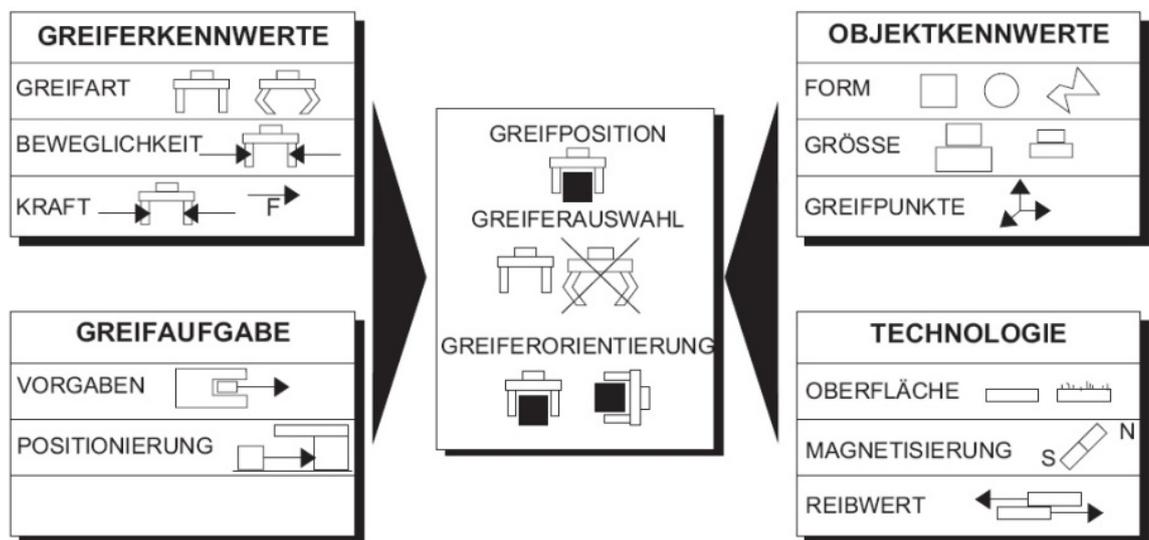


Abbildung 35: Aspekte zur Greifplanung (aus: Weck und Brecher 2006, S. 410)

Für die Bearbeitung der Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler den zuvor ausgewählten Greifer bzw. die Greifkonfiguration mithilfe eines Simulationsprogramms überprüfen.

In Anlehnung an (Tulodziecki et al. 2009, S. 105f) könnte der Unterricht folgendermaßen aussehen:

(1) Bedeutsame Aufgabe mit angemessenem Komplexitätsgrad als Ausgangspunkt

Zunächst macht der/die Lehrende die Lernenden mit dem Problem (der oben skizzierten Aufgabe) vertraut und fragt, ob sie Erlebnisse mit oder Kenntnisse von einem vergleichbaren Sachverhalt bspw. im betrieblichen Zusammenhang haben. Die Schülerinnen und Schülern werden nach ihren Hypothesen zur Lösung des geschilderten Problems befragt. Sie sollen Vermutungen äußern, wie das Problem gelöst werden könnte und welche Einflussfaktoren eine Rolle spielen.

Sollten die erwarteten Annahmen, die für die Lösung der Aufgabe notwendig sind, nicht geäußert werden, sollte der/die Lehrende evtl. Probleme aufzeigen oder geäußerte Vermutungen problematisieren, damit die Schülerinnen und Schüler die in der Aufgabe liegenden Probleme wahrnehmen.

(2) Verständigung über Ziele und Vorgehensweisen

Im Anschluss daran werden die Lernenden animiert, Ziele für die Bearbeitung des Problems festzulegen: z.B. "Für die Lösung der Aufgabe sollen weitere Kenntnisse zu unterschiedlichen Greiferarten, -konfigurationen, Greifer- und Objektkenntnissen etc. erarbeitet und danach angewandt werden" usw. Die Zielvorstellungen müssen so formuliert sein, dass sie von den Lernenden verstanden werden und die zu erlangenden Kenntnisse bzw. Fertigkeiten antizipiert werden können.

Der/die Lehrende sammelt mit den Lernenden Argumente, warum entsprechende Kenntnisse bedeutsam für verschiedene Berufssituationen sein könnten.

Im Anschluss daran verständigen sich Lehrperson und Lernende über das weitere Vorgehen und gemeinsam werden Fragestellungen ausgearbeitet, die zur Erarbeitung der Grundlagen benötigt werden.

(3) Selbsttätige und kooperative Auseinandersetzung mit bedeutsamen Aufgaben bzw. Inhalten

Im nächsten Schritt erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen die Grundlagen für die Lösung des Problems. Sie suchen sich aus Unterlagen, im Internet, aus Programmdokumentationen des Simulationsprogramms die Parameter, die für die Greifplanung notwendig sind, sie ermitteln bspw. die Greifaufgabe, die Kennwerte etc. Dafür verwenden sie Zeichnungen des Rohteils, Fachbücher oder von Lehrperson erstellte Informations- und/oder Arbeitsblätter.

(4) Vergleich unterschiedlicher Lösungswege und Lösungen sowie Systematisierung

Die Ergebnisse werden gesammelt, besprochen und in der Lerngruppe angemessener Form (Notizen, Arbeitsblätter, kopierte Präsentationsfolien etc.) gesichert.

Im Anschluss werden die gesammelten Ergebnisse auf das konkrete Problem angewendet, d.h., die Daten der unterschiedlichen Lösungsansätze werden in das Simulationsprogramm eingespeist und die Simulation wird durchgeführt. Die Ergebnisse werden bspw. in Form von kurzen, mithilfe der Simulation erstellten Filmen/Animationen zusammengestellt und im Anschluss den Mitschülerinnen und Mitschülern präsentiert.

Danach werden die Ergebnisse verglichen und beurteilt. Die Vorgehensweisen der Gruppen werden analysiert, besprochen und zusammengefasst.

(5) Anwendung und Reflexion des Gelernten

Im Anschluss könnten zur Übung ähnliche Probleme gelöst und simuliert werden (z.B. Greifplanungen mit tolerierten oder unterschiedlichen Greifobjekten). Daneben sollten weitere Fragen, die entweder im Zusammenhang mit dem Lösen der Aufgaben stehen oder auch angrenzende Themen betreffen, geklärt werden. In diesem Zusammenhang könnte die Simulation eine Kontroll- und Evaluationsfunktion einnehmen.

Die meisten Simulationsprogramme besitzen umfangreiche Bibliotheken, die unterschiedliche Greifer, Förderer und vieles mehr enthalten. So können mit relativ geringem Aufwand unterschiedliche Layouts und Konzepte simuliert und miteinander verglichen werden.

Unterrichtsbeispiel für Auszubildende Industriemechaniker/innen mit einem didaktisch aufbereiteten Simulationsprogramm

Einen anderen Ansatz liefert das didaktisch aufbereitete Programm CIROS Automation Suite von Festo Didactic.

Mit der Software kann eine Digitale Lernfabrik gestaltet werden und es können virtuell Automatisierungssysteme in Betrieb genommen werden. Sie besteht aus den Komponenten (Festo Didactic 2012a):

- CIROS Studio zur 3D-Modellierung mit CAD-Import, 3D-Simulation und Roboterprogrammierung,
- CIROS Robotics, mit dem die Grundlagen der Robotik und die Programmierung von Industrierobotern erlernt werden können,
- CIROS Mechatronics, mit dem mechatronische Systeme vorgestellt und analysiert werden können und selbst verfasste SPS Programme getestet und in Betrieb genommen werden können,
- CIROS Advanced Mechatronics, mit dem verteilte mechatronische Anlagen erstellt, in Betrieb genommen werden können und verteilte SPS Steuerungssysteme entworfen und getestet werden können, sowie
- CIROS Production, mit dem eine Fabrikanlage aus einer Bibliothek erstellt werden kann, ein MES⁵¹ oder Produktionsleitsystem erzeugt werden kann sowie die Optimierung von Prozessen und Anlagenstrukturen gelernt werden kann.

Die Softwarelizenzen können auf einem Lizenzserver der Schule installiert werden und somit kann die Software von jedem Rechner, der mit dem Server verbunden ist, betrieben werden. Darüber hinaus könnte die Software auch den Schülerinnen und Schülern für ihre privaten Rechner zur Verfügung gestellt werden. Hier müsste dann ein VPN⁵²-Zugang eingerichtet werden, über den sich die Schülerrechner über das

⁵¹ Manufacturing Execution System

⁵² Virtual Private Network

Internet mit dem Lizenzserver verbinden können. Dadurch besteht für die Lernenden die Möglichkeit, zu Hause Aufgaben nachzuvollziehen oder zu vertiefen (Roßmann et al. 2010).

Festo bietet darüber hinaus schon seit längerer Zeit Modulare Produktions-Systeme (MPS) an, Lernsysteme für die Fertigungs- und Prozessautomatisierung, die industrielle Automatisierungsanlagen nachbilden. Mit MPS lassen sich reale mechatronische Systeme sowohl errichten, als auch in Betrieb nehmen, programmieren und instand setzen und so die meisten Funktionen von Fertigungs- oder Montagelinien nachbilden. Es besteht aus Industriekomponenten und beinhaltet u.a. voll funktionsfähige Roboter, Montage-, Transport- und Kommissionierungsanlagen und SPS. Durch den modularen Aufbau können Lerninhalte in unterschiedlichen Komplexitätsgraden vermittelt werden. Diese reale Hardware wird in der CIROS-Simulationsumgebung detailgetreu und dreidimensional wiedergegeben. Die virtuellen Komponenten entsprechen den realen Modellen so gut (siehe Abbildung 36), dass ein Transfer von Handlungen in der Simulation auf die reale Umgebung ohne Probleme möglich ist (Festo 2012a, b; Roßmann et al. 2010).

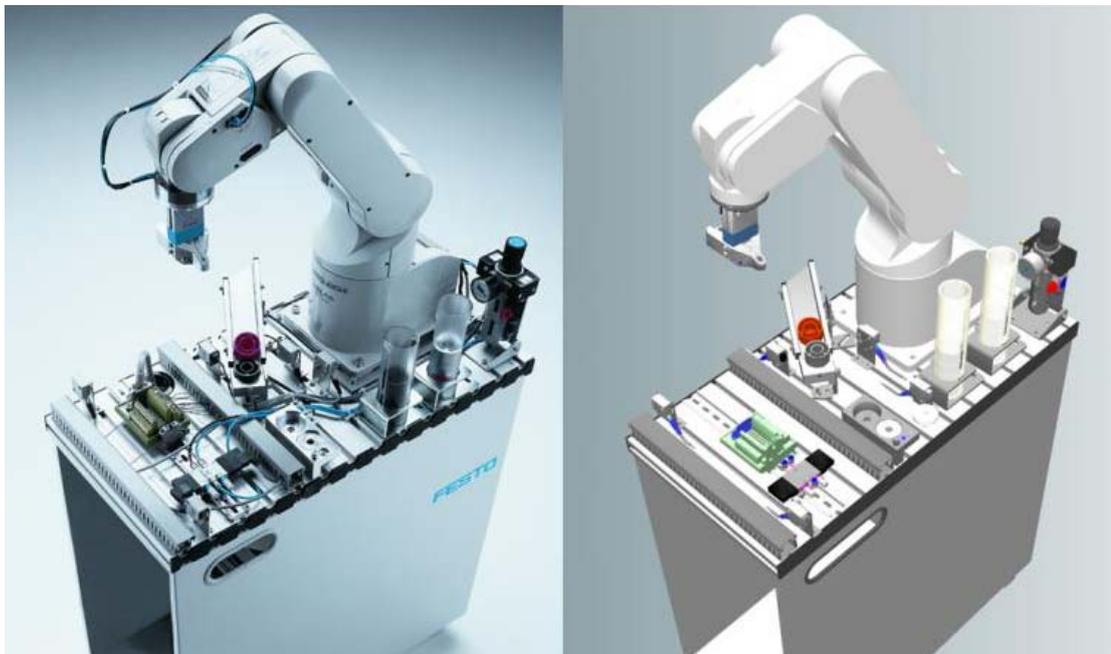


Abbildung 36: Reale Roboterzelle (MPS Station Roboter) und virtuelle Entsprechung in der Simulation (CIROS Studio) von Festo (Festo Didactic 2012b)

Verbindet man das Simulationsprogramm mit dem MPS-Transfersystem, können die Probleme, die durch das alleinige Arbeiten mit einer Simulation auftreten, vermieden oder zumindest kompensiert werden. Die Lernenden machen nicht nur

Erfahrungen am Computer, sondern können auch in der realen Umgebung mit all ihren sensorischen Eindrücken (haptische, optische etc.) Erfahrungen sammeln.

Darüber hinaus können auch Arbeitsgänge, wie beispielsweise das Ausrichten und Justieren von Sensoren, die in der Simulation so nicht umgesetzt werden können, ermöglicht werden (Roßmann et al. 2010).

Die Programme CIROS Studio, Mechatronics und Advanced Mechatronics bieten zusätzlich die Möglichkeit, Störungen zu simulieren. So können Lehrpersonen beispielsweise bei einer mit CIROS Advanced Mechatronics erstellten, programmierten und simulierten verteilten Anlage⁵³ Fehler einbauen, die die Lernenden finden und beheben müssen. Typische Fehler sind z.B. mechanisch verstellte Sensoren, Kabelbrüche oder Ausfälle gesamter Baugruppen (Löffler 2010).

Aufgabenstellungen mit simulierten Störungen fügen sich inhaltlich bspw. als Teil der Vorgaben des Rahmenplanes für die Berufsgruppe der Industriemechaniker/innen in Lernfeld 13 (Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme) ein. Die Auszubildenden sollen hier "Strategien zur Fehlereingrenzung" "zur Behebung von Betriebsstörungen erarbeiten", diese Strategien anwenden und die Fehler beheben (KMK 2004a, S. 21). Die Simulation übernimmt hier hauptsächlich eine Trainingsfunktion, aber auch eine Ersatzfunktion, denn der Einbau von Störungen ist bei realen mechatronischen Systemen meist sehr aufwendig und wird deshalb oft nicht durchgeführt, sondern nur theoretisch abgehandelt.

Zu den einzelnen Komponenten der CIROS Automation Suite gibt es jeweils Handbücher, die in die Installation und Bedienung der Programme einführen, aber auch die Lernziele, die mit den Programmen erreicht werden können, angeben. Darüber hinaus werden auch die zugehörigen Lernfelder für den Ausbildungsberuf des Mechatronikers/der Mechatronikerin exemplarisch aufgelistet. Beispielaufgaben sind vorhanden und werden schrittweise erläutert.

Beispiel (Auszug aus Löffler 2010, S. 296):

"Erstellen Sie eine Anlage zur Produktion von Messinstrumenten.

Die Werkstück-Gehäuse für die Messinstrumente sollen durch die Station Handhaben zugeführt werden. Nach dem Montageprozess sollen die produzierten Messinstrumente sortiert werden.

Beantworten Sie folgende Fragen:

- Welche Stationen benötigen Sie für die Anlage?
- In welcher Reihenfolge müssen die Stationen angeordnet werden?

⁵³ "Eine verteilte Anlage besteht aus einer oder mehreren Stationen. Eine Station ist dadurch gekennzeichnet, dass sie selbständig bestimmte Maschinenfunktionen ausführt, sie ist also ein autarker Anlagenteil mit eigenem SPS-Programm." (Löffler 2010, S. 13)

- Wie ist die Ausgangsstellung der Anlage definiert?
- Welche Werkstücke werden für den Fertigungsprozess benötigt?
- Wie verhält sich die Anlage, wenn auf der Station Sortieren eine Rutsche mit Werkstücken gefüllt ist" (Löffler 2010, S. 296).

Die Beispielaufgaben sind sehr traditionell gehalten, hier könnten die Lernenden stärker beteiligt werden. So kommt die Orientierung der Aufgabenstellungen an den Bedürfnissen der Auszubildenden zu kurz. Vorgehensweisen und Fragestellungen sind bereits vorgegeben und schränken damit den Handlungsspielraum ein. Dies könnte jedoch durch eine geringfügige Umgestaltung der vorgegebenen Lehr-Lern-Arrangements kompensiert werden. So könnten die Lernenden (analog zu den Vorschlägen zur Gestaltung von Unterricht von Tulodziecki et al. 2009) beispielsweise an der Entwicklung von Zielvorstellungen für die Beschäftigung mit der Aufgabe beteiligt werden. Die Fragestellungen könnten anhand des Arbeitsauftrages von den Schülerinnen und Schüler selbst entwickelt werden. Es könnte gemeinsam mit den Lernenden überlegt werden, an welcher Stelle Klärungsbedarf besteht, wo die entsprechenden Informationen beschafft werden können und welche Grundlagen noch erarbeitet werden müssen. Statt die vorgegebenen Lösungswege zu verwenden, könnten die Schüler eigene Lösungswege gemeinsam erarbeiten und sich gegenseitig vorstellen und diskutieren.

Bei einer solchen Aufgabenstellung übernimmt die Simulation ebenfalls hauptsächlich eine Trainingsfunktion, aber auch wiederum eine Ersatzfunktion und auch eine Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion, da die Schülerinnen und Schüler sich mit den Strukturen, Funktionen und Zusammenhängen eines Produktionssystems vertraut machen können.

Da die meisten Lernenden für den effektiven Erwerb von Wissen mit Computersimulationen instruktionaler Unterstützung bedürfen, können die Hinweise zur Durchführung aus dem Handbuch hervorragend als ausgearbeitete Lösungsbeispiele als Hilfestellung verwendet werden. Das gesamte Handbuch kann als permanent verfügbare Hintergrundinformation ebenfalls zur instruktionalen Unterstützung dienen.

Fazit ist, die didaktisch aufbereiteten Simulationen von Festo, insbesondere in Kombination mit den realen Komponenten des modularen Produktionssystems bergen zur Vermittlung sehr große Potenziale, wenn sie in entsprechenden Lehr-Lern-Arrangements verwendet werden. Grenzen sind hier vor allem in den Kosten zu sehen. Darüber hinaus sind umfangreiche Schulungen für das Lehrpersonal notwendig, damit auch alle Potenziale des gesamten Systems genutzt werden können.

Skizzen weiterer Unterrichte

Hier werden einige der im fachdidaktischen Diskurs bereits kurz angerissenen Beispiele, die dort zur Illustration der Modellfunktionen dienten, noch etwas mehr im Hinblick auf ihre Einbindung in den Unterricht expliziert.

Im Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf des/der Elektroniker/in für Geräte und Systeme ist vorgesehen, dass die Schülerinnen und Schüler im Lernfeld 5 lernen sollen, die Elektroenergieversorgung für Geräte und Systeme zu realisieren und deren Sicherheit zu gewährleisten (KMK 2003b, S. 13). Das Lernfeld beinhaltet daher technische Anschlussbedingungen und die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) (ebd.). Hier könnte zur Einführung in das Thema bspw. ein EMV-Simulationsprogramm dafür genutzt werden, eine Animation zu erstellen, die angehenden Elektronikerinnen und Elektronikern die EMV-Wirkung der Türsteuerung eines Kraftfahrzeuges illustriert (s. Abbildung 16 auf S. 74 im Abschnitt 3.4.1). Die Simulation würde in diesem Fall eine Deskriptionsfunktion übernehmen.

Bei angehenden Elektronikern und Elektronikerinnen für Geräte und Systeme sieht der Rahmenlehrplan weiterhin im Lernfeld 6 vor, dass die Schülerinnen und Schüler "elektronische Baugruppen von Geräten konzipieren, herstellen und prüfen" sollen (KMK 2003b, S. 14). "Für den Schaltungsentwurf" sollen "die Schülerinnen und Schüler praxisrelevante Software sowie aktuelle Informationssysteme" (ebd.) nutzen und "zur Optimierung Simulationstools" einsetzen (ebd.). Sie sollen "Leiterplattenform und -größe" festlegen und "rechnergestützt ein Leiterplattenlayout" entwerfen (ebd.). Hierbei sollen sie "Gehäusebauteile, EMV-Bedingungen sowie die thermische Belastung der Bauelemente" berücksichtigen (ebd.). Eingebettet in ein Lehr-Lern-Arrangement, wie bereits im ersten Beispiel zur Einbindung einer Robotersimulation skizziert, mit den entsprechenden instruktionalen Unterstützungen kann die Simulation damit eine Trainingsfunktion übernehmen.

5.1.2. Medientheoretische Sicht

Die o.g. Modellfunktionen dienen als Orientierungspunkt dafür, wie eine Simulation im Rahmen des Lehr-Lern-Arrangements eingesetzt wird und können Lehrenden als Unterstützung bei der Einschätzung von Potenzial, Aussagekraft und Grenzen der jeweiligen Simulationen dienen. Die Bewertung einer Simulation hängt von ihrer Funktion, die sie im Unterricht einnimmt bzw. dem Lernziel, das mit ihrer Hilfe erreicht werden soll, ab.

Die Effizienz der Simulation bemisst sich in dem Verhältnis zwischen dem Arbeitsaufwand für die Planung, die Organisation und die Realisierung eines Lehr-Lern-Arrangements mit Simulation und dem zu erzielenden Lernerfolg. Neben dem zeitlichen Aufwand sind bei der Anwendung von Simulationen teilweise beträchtliche Geldausgaben erforderlich.

Elementar ist neben diesen Erwägungen, dass fachwissenschaftliche Zusammenhänge korrekt dargestellt werden und dass das Programm auch in gestalterischer Hinsicht die Bedingungen erfüllt.

Bei realitätsnahen Darstellungen liegen die Potenziale von Simulationen darin, dass die Prozesse von den Lernenden relativ schnell von der Simulation in das Original übertragen werden können. Sie ermöglichen es, gefahrlos Grenzen von Systemen auszutesten, Auswirkungen von Programmänderungen nachzuvollziehen, verschiedene Lösungen auszuprobieren und so auch unterschiedliche Lösungswege kennenzulernen. Das heißt, wenn also die Simulation eine Trainingsfunktion einnehmen soll und die Abstraktionsanforderungen für die Lernenden nicht zu hoch sind, erfüllen die meisten Simulationen ihren Zweck.

Das Gleiche gilt, wenn die Simulation eine Antizipations- bzw. Prognosefunktion übernehmen soll. Aus didaktischer Sicht ist das Erproben alternativer Strategien und die Fähigkeit, Vorhersagen über Auswirkungen - bspw. von Bauteilkonfigurationen - zu treffen aus Gründen der Lernwirksamkeit und des Vermeidens trügerisches Wissen sehr erstrebenswert. Die meisten Programme, sofern der/die Anwender/in ihre Bedienung beherrscht, sind dafür sehr gut geeignet. Hier müssen Lehrende jedoch abwägen, ob das aufwendige Erlernen der teilweise sehr komplexen Softwareanwendungen hierfür angemessen ist oder andere Medien oder Hilfsmittel ebenso zielführend oder sogar besser geeignet sind.

Diese Überlegungen müssen erst recht getroffen werden, wenn die Simulation eine Strukturierungs- oder eine Deskriptionsfunktion übernehmen soll. Hierfür ist es oft angemessener, wenn der/die Lehrer/in mithilfe der Simulation eine animierte Grafik oder einen kurzen Film erstellt (eine Funktion, die bei vielen Simulationen mitgeliefert wird) und den Schülerinnen und Schülern präsentiert. Das Potenzial für Simulationen, die eine Deskriptionsfunktion erfüllen sollen, liegt vor allem in der bewegten Grafik, die oft Zusammenhänge besser transportieren kann, als statische Bilder. Auch zur Visualisierung von Prozessen, die in der Realität nicht sichtbar sind (Deformationen, Spannungen in Bauteilen, Abkühlungs- und Strömungsprozesse) eignen sich Simulationen in besonderer Weise. Hier muss jedoch, wie bereits oben angemerkt, darauf geachtet werden, dass das verwendete Modell den gewünschten Inhalt (die "richtige" Bedeutung) transportiert. Des Weiteren ist eine Kosten-Nutzen-Analyse angebracht. Die Anschaffungskosten der meisten Simulationsprogramme sind hoch, viele sind in ihrer Anwendung recht komplex und

die Einarbeitung, insbesondere für ungeübte Benutzer/innen, zeitintensiv. Darüber hinaus benötigen sie eine hohe Rechnerleistung.

Auch die durch die Größe des Monitors limitierten Darstellungsmöglichkeiten stellen eine Grenze dar. Komplexe Strukturen werden in Teilstücke zerlegt und verstellen so die Sicht auf den Gesamtzusammenhang.

Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob die Simulation systematisches, zielbewusstes und begründetes Lernhandeln oder vielmehr die Trial-and-Error-Strategie begünstigt.

Zwei wichtige Erkenntnisse sollen aus medientheoretischer Perspektive hervorgehoben werden. Erstens: Computer selbst geben kaum Hilfen beim Lernen. Ihre Gegenwart im Klassenzimmer mit relevanter Software inspiriert Lehrer nicht automatisch, ihre Lehre zu überdenken oder Lernende, neue Lernformen anzunehmen. Wenn Lernende Computer für unterschiedliche Aufgaben verwenden, bspw. für das Simulieren, Schreiben, Zeichnen oder für grafische Darstellungen, unterscheidet sich dies nicht fundamental von dem, was sie ohne Computer tun würden, auch wenn Computerprogramme evtl. die Vorhaben effizienter machen und mehr Spaß bereiten können. Lernen hängt entscheidend von dem genauen Charakter der Aktivitäten, die Lernende mit einem Programm erledigen, von der Art der Aufgaben, die sie zu erledigen versuchen, ab; und von der Art der intellektuellen und sozialen Aktivität, mit der sie sich beschäftigen, in Interaktion mit dem, was der Rechner bzw. das Programm leisten kann. Computer mögen interessante und mächtige Lernmöglichkeiten bieten, diese werden aber nicht automatisch angenommen. Lehrende und Lernende müssen es erst lernen, ihre Vorteile zu nutzen.

Daneben erfordert zweitens die Einbindung von Simulationen - wie insgesamt jeglicher computergestützter Unterricht - auch einen Prozess der Entwicklung in den Schulen auf den Gebieten der Organisation von Unterricht und Technik. Das bedeutet für die Unterrichtsorganisation Veränderungsbereitschaft bezüglich der Vermittlungstechniken, eine eventuelle Anpassung der Rahmenlehrpläne und - wie bereits auf Seite 83 angemerkt - mediendidaktische Kenntnisse der Lehrkräfte sowie Fähigkeiten zu Moderation und Begleitung von Lernprozessen (Magenheim 2004).

Darüber hinaus muss die schulische Infrastruktur angepasst und verbessert werden.

Schulische Infrastruktur

Um Simulationen im Unterricht anwenden zu können, muss in den jeweiligen Schulen nicht nur die entsprechende Software vorhanden sein, sondern natürlich auch die dazugehörige Hardware. Simulationen benötigen in den meisten Fällen

Rechner mit hoher Rechenleistung und hoher Speicherkapazität.⁵⁴ Über solche Rechner verfügen die meisten Schulen nach dem letzten Bericht des BMBF zur IT Ausstattung nicht (vgl. S. 22).

Von nicht unerheblicher Bedeutung sind die Kosten, die ein Unterricht mit Simulationen mit sich bringt. Neben den Kosten für die Software und einem adäquaten Rechner sind hier noch die Ausstattung mit Peripheriegeräten, wie Beamer etc. und auch die Wartung und Erneuerung der technischen Ausstattung zu nennen. Die Programme müssen auf den Rechnern installiert werden, Anti-Viren-Software muss auf den Rechnern vorhanden sein und regelmäßig aktualisiert werden. Die Systeme müssen gepflegt, auftretende Probleme beseitigt werden. Dafür ist geschultes Betreuungspersonal erforderlich.

Dazu können weitere regelmäßige Kosten, wie zum Beispiel die (teilw. jährliche) Erneuerung der Lizenzen notwendig sein oder evtl. muss die Support-Hotline des Programmanbieters in Anspruch genommen werden.

Für die Beschaffung der Software und ihre Einführung in die Schule fallen zusätzlich eventuell Reise- und Schulungskosten an oder es entsteht Arbeitsausfall durch Schulungen.

Darüber hinaus ist die Konzeption von Lehr-Lern-Arrangements zeit- und damit kostenintensiv. Es müssen Lern- und Übungsaufgaben erstellt werden, Kontextinformationen erarbeitet, Begleitmaterial, wie Programmdokumentationen erstellt werden. Die entwickelten Lehr-Lern-Arrangements müssen evaluiert und überarbeitet werden.

⁵⁴ So benötigt bspw. CIROS Robotics von Festo folgende Systemvoraussetzungen: Intel Core Duo 2.2 GHz Prozessor, 2 GB Hauptspeicher (RAM), 20 GB freien Festplattenspeicher, Windows XP, Windows Vista oder Windows 7, den Microsoft Internet Explorer ab Version 5.0, Grafikkarte mit 3D-Beschleunigung & OpenGL-Unterstützung (z.B. NVIDIA 7800GTX, 512 MB RAM), eine USB-Schnittstelle für den Lizenzstecker oder Ethernet-Schnittstelle für ein PC-Netzwerk bei Einsatz eines Lizenzservers sowie den Adobe Acrobat Reader ab Version 6.0.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass viele Begründungen für den Einsatz von Simulationen, wie beispielsweise die Steigerung der Effektivität, die Realitätsnähe, die Interaktivität, die verschiedenen Sinneskanäle, die Multimedien ansprechen sollen, oder die Möglichkeit, Simulationen als Ersatz für reale Systeme zu nehmen, teilweise überschätzt werden.

Die Frage, ob Simulationen in metall- und elektrotechnischen Domänen einen Beitrag leisten können, kann aber trotzdem mit "Ja!" beantwortet werden. Sie liefern Anschaulichkeit, können Motivation liefern, können anschauliche, situierte und anwendungsorientierte Lehr-Lernmethoden begünstigen und die Kluft zwischen Lernsituation und beruflicher Praxis verringern. Simulationen bieten viele Potenziale aus unterrichtstheoretischer, unterrichtsmethodischer, den kognitionspsychologischer und medientheoretischer Sicht, wie das vorhergehende Kapitel zeigen konnte. Damit diese Zielvorstellungen eingelöst werden können, sind jedoch verschiedene Voraussetzungen zu erfüllen.

Die Ergebnisse der Arbeit werden an dieser Stelle anhand der Ausgangsfragen zusammengefasst.

Die zentrale Fragestellung der Arbeit lautete:

- Wo liegen Potenziale und Grenzen von Simulationen bei Lehr-Lern-Arrangements in metall- und elektrotechnischen Domänen? D.h., wie sollten berufsfachliche Lehr-Lern-Arrangements mit Simulationen aussehen und wie können sie didaktisch umgesetzt werden?

Die Potenziale und Grenzen von Simulationen wurden in Kapitel 5 ausführlich dargestellt. Je nach Modellfunktion, die sie im Unterricht übernehmen sollen, können Simulationen einen Beitrag zur exemplarischen Erschließung von komplexen Zusammenhängen liefern, sie ermöglichen problemorientierte Methoden und bieten Perspektiven für binnendifferenzierten Unterricht. Zusammengefasst kann hier gesagt werden, dass Simulationen ihre Potenziale nur dann entfalten können, wenn sie Teil eines komplexen Lehr-Lern-Arrangements sind. Dafür müssen von den Lehrenden Hilfen angefertigt werden, konkrete Lernsituationen (differenziert geplante Kundenaufträge, Projektaufgaben o.ä.) sowie Anleitungen, Erklärungen und ausgearbeitete Lösungsbeispiele

- Welche Simulationen gibt es, die sich als Lehr- und Lernmittel eignen?

Kapitel 4 gibt einen Überblick über einen Großteil der im Handel erhältlichen Simulationen. Als sehr gut geeignet sind die Simulationen der Fa. Festo Didactic anzusehen, wobei die dazu erhältlichen Aufgabenstellungen der Überarbeitung bedürfen.

Aber auch die meisten anderen Simulationen, die sich nicht an didaktischen Maßstäben orientieren, da sie vor allem für die Lösung industrieller, produktionstechnischer oder auch entwicklungstechnischer Probleme konzipiert wurden, können durchaus ebenfalls dazu genutzt werden, Fachkompetenzen zu vermitteln. Für sie müssen von Lehrenden Lehr-Lern-Arrangements entwickelt werden, in denen die jeweilige Simulation die gewählte Modellfunktion erfüllen kann.

Bei der Auswahl geeigneter Simulationen sind daneben weitere Faktoren, wie bspw. softwareergonomische Argumente, aber auch die Kosten von Bedeutung.

- Bei der Auswahl von *CAD-Programmen* sollten diejenigen bevorzugt werden, die für Studierende bzw. Schülerinnen und Schüler Ausbildungssoftware kostenlos oder zu einem geringen Entgelt zur Verfügung stellen, da so den Lernenden ermöglicht wird, zu Hause weiter zu üben (was meist dringend erforderlich ist).
- Bei den *CNC-Simulationsprogrammen* sind die didaktisch aufbereiteten Programme wie bspw. von Keller und MTS für den Bereich der Berufsbildung gut geeignet. Gerade das Verständnis für CNC-Maschinen mit fünf Achsen mit ihren hochkomplexen Geometrien kann mit einigen Simulationsprogrammen gut vermittelt werden, da hier Prozesse transparent gemacht werden können.
- Andere CNC-Simulationsprogramme könnten geeignet sein, wenn Berufsschulklassen aus Schülerinnen und Schülern aus nur einem Betrieb bestehen, in dem eine bestimmte Software verwendet wird.
- Universell anwendbare *FEM-Programme* sind für die Berufsschule, Fach- bzw. Berufsoberschule eher nicht geeignet. Allenfalls könnten sie hier eine Deskriptionsfunktion übernehmen, wenn mithilfe des jeweiligen Programms eine Animation oder ein Film erstellt wird. Für Techniker- bzw. Fachschulen könnten diese Programme für die Vermittlung bestimmter Fachkompetenzen (bspw. in der Konstruktionslehre oder der Technischen Mechanik), aber auch der Methodenkompetenz (generelles Vorgehen bei der Analyse von Festkörpern, strömungstechnischen Zusammenhängen) durchaus geeignet sein. Dennoch muss dabei berücksichtigt werden, dass diese Programme meist eine aufwendige Einarbeitungszeit benötigen. Die verschiedenen Programme könnten hier je nach Zielstellung und Einsatz eine Ersatz-, eine Prognose- oder eine Kontroll- und Evaluationsfunktion übernehmen.
- Die *Simulationssoftware für die verschiedenen Fertigungsverfahren* sind allgemein für die betrachteten Bildungsgänge eher ungeeignet, da sie oft vertiefte Kenntnisse über das jeweilige Fertigungsverfahren bei den

- Benutzern voraussetzen. Darüber hinaus ist ihre Bedienung nicht immer leicht zu erlernen. Sie könnten jedoch dafür verwendet werden, Animationen zu erstellen, die eine Strukturierungs- oder Deskriptionsfunktion übernehmen (siehe die Beispiele zur Gieß- oder Schmiedesimulation in Kapitel 5). Hier müssen die Verhältnisse von Kosten, Nutzen und Aufwand sorgfältig geprüft werden.
- Die betrachtete Software für die Programmierung von *Speicherprogrammierbaren Steuerungen* ist im Großen und Ganzen gut geeignet. Die beigelieferten Unterlagen sollte jedoch kritisch begutachtet und eventuell überarbeitet bzw. ergänzt werden.
 - Für *Simulationssysteme zu Industrierobotern* gelten die gleichen Aussagen, wie für die CNC-Simulationen. *Didaktisch aufbereitete Programme* wie CIROS Robotics sind für den Bereich der Berufsbildung gut geeignet, die Simulationsprogramme der Roboterhersteller könnten geeignet sein, wenn Berufsschulklassen aus Schülerinnen und Schülern aus nur einem Betrieb bestehen, in dem eine bestimmte Software verwendet wird.
 - Bei der *Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich* kann auf die kostenlose Studentenversion von PSPICE zurückgegriffen werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass dieses Programm mit US-amerikanischen Schaltzeichen für Bauelemente arbeitet. Aber auch die Programme Allegro, MicrowaveStudio, NI Multisim und PSPICE sind gut geeignet, weil sie verhältnismäßig leicht zu erlernen und für die Ausbildung von Elektronikern in Betrieben, Schulen und Hochschulen in den verschiedenen Bereichen gut einsetzbar sind (und teilweise auch schon eingesetzt werden).
 - Mit geringen Einschränkungen können die Programme der CIROS Automation Suite mit den fünf spezifischen Programmpaketen und vorbereiteten Lernszenarien empfohlen werden: CIROS Robotics (Roboter Programmieren und Simulieren), Mechatronics (SPS Programmieren und Simulieren), Advanced Mechatronics (SPS x-Zellen Programmieren und Simulieren), Production (Fabrikautomation und Produktionsmanagement), Studio (Modellieren, Simulieren). Die vorbereiteten Lernszenarien sollten jedoch überarbeitet werden, da sie zu kleinschrittig sind und oft schon Lösungswege vorgeben.
 - *Computeralgebrasysteme* (CAS) wie Mathcad, Mathematica, Maple etc. sind insbesondere für BOS- oder Technikerklassen im Mathematikunterricht sehr gut geeignet oder auch für die technische Mechanik.
 - Die elektrotechnischen Komponenten des Programms Yenka können sehr gut begleitend zu Installationsübungen oder Messübungen im Lernfeldunterricht eingesetzt werden. In Berufs-/Fachoberschulen oder

Technikerschulen könnten Experimente mit Digitalschaltungen mithilfe der Elektroniksimulation durchgeführt werden. Die Programme sind leicht erlernbar und können intuitiv bedient werden. Für den Heimgebrauch ist die Lizenz kostenlos.

- Der Flexible Animation Builder (FAB) für das Simulationssystem BORIS kann genutzt werden, um kleine Simulationen bzw. Animationen erstellen, mit deren Hilfe Zusammenhänge verdeutlicht oder Vorgänge visualisiert werden können.
- Daneben gibt es kleine, einfache Simulationen und auch Animationen verschiedener Firmen, die im Unterricht eine Ersatz- oder auch Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion übernehmen können.
- Was kann mit Simulationen gelernt werden? Wie lernhaltig sind die im Handel erhältlichen Simulationen? Wie kann die Lernhaltigkeit von Simulationen ermittelt werden? Führen Simulationen eventuell zu einer "Entsinnlichung"? Wann sind Simulationen eher ungeeignet?

Simulationen bieten durch ihre Realitätsnähe die Möglichkeit, authentische und exemplarische Lernsituationen am Lernort Schule zu schaffen und somit insbesondere Fach- und Methodenkompetenzen zu entwickeln.

Was mit Simulationen gelernt werden kann, hängt in der Regel nicht von den Simulationsprogrammen ab, sondern von der Modellfunktion, die sie übernehmen, der Aufgabenstellung und der Art der Einbindung in den Unterricht.

Darüber hinaus spielt auch die Unterstützung durch bspw. Hilfen, Lösungsbeispiele, Ansprechpartner eine Rolle sowie die Kenntnis des jeweiligen Programms und des dahinterstehenden Modells. Aus diesen Gründen kann auch die Lernhaltigkeit von Simulationen pauschal nicht beurteilt werden.

Aus gestalterischer und technischer Sicht sind für die Lernhaltigkeit von Simulationen die Transparenz der Interaktionsmöglichkeiten, das Erwartungsmapping sowie die Interaktionskonsistenz und Funktionskohärenz von Bedeutung. Lernende sollten die Möglichkeiten der Interaktion und ihre Auswirkung erkennen können, die Folgen sollten den Erwartungen entsprechen und widerspruchsfrei und kohärent in ihrer Funktion sein. In den Programmen sollten Hilfsfunktionen angeboten werden. Programme oder Programmschritte müssen jederzeit abgebrochen werden können und die Reaktion auf die Interaktion sollte möglichst unmittelbar erfolgen, damit Lernende nicht in ihrem Lernprozess unterbrochen werden.

Es ist zu vermuten, dass Simulationen zu einer Entsinnlichung führen können. Die sinnlichen Erfahrungen, die mit Computersimulationen gemacht werden können, beschränken sich auf optische und teilweise akustische. Die Verbindung mit

haptischen, motorischen und anderen Erfahrungen findet nicht statt. Deshalb sind Simulationen als Ersatz für "echtes" Handeln ungeeignet.

Soziale und emotionale Aspekte des Lernens werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Lernende sitzen einsam vor dem Rechner. Meist gibt es keine Kommunikation mit anderen. Die Interaktionsmöglichkeiten sind reduziert auf die programmierten Möglichkeiten der Software. Lernen hat jedoch immer eine soziale und emotionale Komponente, die nicht vernachlässigt werden sollte.

Aus diesen Gründen ist das Lernen mit Computersimulationen für Schülerinnen und Schüler, die starke soziale oder emotionale Bedürfnisse haben oder eine ungenügende Abstraktionsfähigkeit, nicht geeignet.

- Welche Rolle spielt Simulation und wie werden Simulationen eingesetzt? In welchen Berufen sind Simulationen relevant? In welchen Berufsfeldern, Bildungsgängen und Lerngruppen können Simulationen didaktisch Sinn ergeben? In welchen nicht?

In vielen metall- und elektrotechnischen Unternehmen gehören Simulationen zum Alltag. Im Hinblick auf die derzeitige Entwicklung in Richtung Digitale Fabrik, den Wandel der industriellen Produktion und industrieller Facharbeit, und auf die zunehmende Globalisierung wird die Bedeutung von Simulationen für metall- und elektrotechnische Berufe in Zukunft voraussichtlich noch wachsen. Infolgedessen sollten sie auch in der Beruflichen Bildung eine stärkere Rolle spielen.

In einigen Berufen und einigen Lernfeldern werden Simulationen bereits eingesetzt (bspw. für das Erlernen von CNC-Programmierungen oder der Programmierung von SPS). In diesen Bereichen sind jedoch eventuell die Vermittlungsstrategien/Herangehensweisen in der Form zu überarbeiten, dass komplexe Aufgaben (vollständige Handlungen) im Vordergrund stehen, die Programme in komplexe Lehr-Lern-Arrangements eingearbeitet werden. Kapitel 4 gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Simulationen in den verschiedenen Bildungsgängen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Simulationen in allen Berufsfeldern, Bildungsgängen und Lerngruppen didaktisch Sinn ergeben können. In Kapitel 5 finden sich Beispiele für den Einsatz von Simulationen im Unterricht.

- Welche unterrichtstheoretischen und methodischen bzw. fachdidaktischen Faktoren spielen dabei eine Rolle?

Aus unterrichtstheoretischer, methodischer bzw. fachdidaktischer Sicht spielen für die Verwendung von Simulationen zunächst der Aspekt der Didaktik, d.h. die Gestaltung des Unterrichts nach den Prinzipien des exemplarischen Lehrens und Lernens, des methodenorientierten Lernens, des handlungsorientierten Unterrichts und der Verbindung von sachbezogenem und sozialem Lernen eine Rolle. Fachlich-

methodische Kompetenzen werden durch selbstständige, individuelle Konstruktionsprozesse mit individuellen Ergebnissen, bedingt durch eigene Erfahrungen der Lernenden und bereits vorhandenes Wissen erworben. Dazu werden die Simulationen in einen komplexen Handlungsrahmen eingebettet.

Daneben ist die Mediendidaktik von Bedeutung, die sich mit der Konzeption lernwirksamer medialer Umgebungen beschäftigt. Aus der Sicht der Mediendidaktik ist von Bedeutung, welchen Beitrag das Medium leistet, Lehr-Lern-Prozesse effektiver zu gestalten und das Lernziel zu erreichen.

Von Relevanz sind darüber hinaus die Modellfunktionen, die Simulationen übernehmen können. Von curricularer und fachdidaktischer Bedeutung sind hier die Strukturierungs- und Deskriptionsfunktion, die Trainings-, Ersatz-, Steuerungs- und Prognosefunktion sowie die Kontroll-/Evaluationsfunktion übernehmen.

Eine wichtige Rolle spielt aber auch die mediendidaktische Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer. Dieser Aspekt wird in der Ausbildung der Lehrerinnen und Lehrer sehr vernachlässigt.

- Wie können Simulationen in modernen Unterricht integriert werden? Wie können sie in didaktische Konzepte und Lernarrangements eingebettet werden?

Für die Integration von Simulationen sind die im vorigen Abschnitt genannten Aspekte von Bedeutung. Die Beachtung dieser Faktoren zusammen mit Maßnahmen der instruktionalen Unterstützung führen zu einer zielführenden Einbettung in modernen Unterricht. Beispiele hierfür finden sich in Kapitel 5.

- Wie können Simulationen in der Berufsbildung spezifische Wirkungen im Hinblick auf die Förderung von fachlichen und überfachlichen Handlungskompetenzen (insbesondere Selbstlern- und Sozialkompetenzen) realisieren?

Der Erwerb fachlicher und überfachlicher Handlungskompetenzen basiert auf selbstständigen, individuellen Konstruktionsprozessen mit individuellen Lösungen und Lösungswegen, auf Basis eigener Erfahrungen und bereits vorhandenem Wissen der Lernenden. Der Beitrag, den Simulationen hier leisten können, liegt einerseits in der Darbietung eines authentischen Kontextes und somit der Ermöglichung einer authentischen Lernsituation, sodass Lernende Anknüpfungspunkte an ihre Lebens- und Arbeitswelt finden können. Damit können sie in einem realitätsnahen Umfeld agieren und Erfahrungen sammeln. Die Simulation bietet hier die Möglichkeit, exemplarisch zu lernen. Andererseits können bei vielen Simulationen mit wenig Aufwand alternative Lösungswege ausprobiert werden, was darüber hinaus Selbstlernkompetenzen fördert.

Für die Förderung von Sozialkompetenzen können Simulationen nur indirekt einen Beitrag leisten, wenn das Lehr-Lern-Arrangement so ausgelegt wird. Allgemein führt das Arbeiten am Computer eher zu Isolation.

- Welche kognitionspsychologischen Aspekte sollten bei der Verwendung von Simulationen der beruflichen Bildung der metall- und elektrotechnischen Berufe berücksichtigt werden?

Aus kognitionspsychologischer Sicht spielt, wie bereits oben (S. 184) erwähnt, eine Rolle, dass Simulationen nicht dafür geeignet sind, haptischen und motorische Erfahrungen zu vermitteln. Aus diesem Grund sollte hierzu auf zusätzliche reale Modelle, Experimente etc. zurückgegriffen werden. Möglichkeiten bieten hier Transfersysteme (s. S. 173).

Bei der Entwicklung von Lehr-Lern-Arrangements muss darauf geachtet werden, dass die kognitive Belastung nicht zu groß wird. Ein gewisser Anteil der kognitiven Kapazität wird für den Umgang mit dem Simulationsprogramm benötigt. Dieser ist bei der Verarbeitung interaktiver und bewegter Bilder größer als bei statischen. Deshalb müssen weitere Faktoren, die zu einer Erhöhung der kognitiven Belastung führen, reduziert werden.

Daneben muss berücksichtigt werden, dass Simulationen auf Modellen beruhen, die neben den Vorteilen der Reduktion und Akzentuierung auch den Nachteil haben, dass sie fehlinterpretiert werden können. Deshalb müssen die Modelle mit den Lernenden zusammen geklärt werden.

- Welche medientheoretischen Argumente sind zu bedenken?

Neben den oben bereits ausgeführten Modellfunktionen ist die Qualität der Mensch-Computer-Interaktion von Bedeutung. Bei der Konzeption des Lehr-Lern-Arrangements mit Simulationen sollten sich Lehrende (analog zu den Fragen Karwowskis, s. S. 116) überlegen, ob der Mensch-Computer-Dialog für jeden Nutzer verständlich und für die ausgewählte Problemstellung geeignet ist, ob er an der passenden Stelle verfügbar und anpassbar ist.

Aus medientheoretischer Sicht für die Lernhaltigkeit von Simulationen sind von den (in Tabelle 6 auf S. 118 dargestellten) gestalterischen und technischen Grundsätzen von Jarz (1997) folgende von Bedeutung: Für Lernende sollten die Interaktionsmöglichkeiten und die Auswirkungen der Interaktion in einem Programm offensichtlich sein (Interaktionstransparenz). Dabei sollten die Wirkungen der Interaktion den Erwartungen entsprechen (Erwartungsmapping). Die Interaktionen sollten widerspruchsfrei sein und kohärent in ihrer Funktion - zumindest innerhalb eines Programms, am besten jedoch analog zu gewohnten Programmen wie bspw. Microsoft Office (Interaktionskonsistenz, Funktionskohärenz). Programme sollten Unterstützung bei der Orientierung im

Programm anbieten. Benutzer/innen müssen zu jedem Zeitpunkt die Kontrolle über die Anwendung haben. Programme oder Programmschritte müssen jederzeit abgebrochen werden können. Das System muss möglichst unmittelbar auf Interaktionen reagieren oder zumindest so zeitnah, dass die Interaktion mit dem Systemfeedback noch in Verbindung gebracht werden kann. Insbesondere die Antwortzeit und die Aspekte, die sich auf die Nachvollziehbarkeit beziehen, haben Einflüsse auf den Lernprozess. Sie können dazu führen, dass Lernende in ihrem Lernprozess unterbrochen werden.

- Welche Kriterien bestimmen den Einsatz von Simulationen im Unterricht?

Der Einsatz von Simulationen richtet sich immer nach dem curricularen Zusammenhang. Da der Einsatz von Simulationen mit erheblichem Aufwand verbunden ist, muss das Verhältnis von Aufwand und Nutzen sorgfältig abgewogen werden.

Grenzen sind insbesondere in den Kosten, die durch den Kauf der Programme und Rechner, als auch die Wartung und Instandhaltung der Computer- und Programmsysteme zu sehen. Darüber hinaus sind die Potenziale der Simulationen auch durch die mangelnde Lehrerbildung im Bereich von Medienpädagogik und Mediendidaktik begrenzt.

- Sind Lehrerinnen und Lehrer ausreichend für den Einsatz von Multimedia und Simulationen im Unterricht ausgebildet und vorbereitet?

Nein. Sofern sich Lehrende von Multimedia nicht aus eigenem Interesse mit der Einbindung von Multimedia bzw. Simulationen beschäftigt haben, erwerben sie während ihrer Ausbildung kaum Kompetenzen in diesem Bereich.

Die existierenden Weiterbildungsveranstaltungen beschäftigen sich meist nur mit der Vermittlung der Bedienung eines bestimmten Programms.

Der Bereich der Medienkompetenz muss in der Lehrerbildung stärker berücksichtigt werden. Empfehlenswert wäre eine Ausbildung, die während des Studiums die allgemeine Medienkompetenz und die Einbindung von Medien in Unterricht vermittelt. Den Einsatz von Simulationen in konkreten Lernsituationen könnte dann während des Referendariats in den Fach- bzw. Schulpraktischen Seminaren erprobt werden.

Darüber hinaus sollten Weiterbildungen für Lehrerinnen und Lehrer bei Bedarf angeboten werden, die sowohl den Umgang mit Medien als auch deren Einbindung in Lehr-Lernprozesse beinhalten. Weiterhin sollten Weiterbildungen angeboten werden, die die (software-) technische Fortentwicklung berücksichtigen.

- Welche Infrastruktur muss in Schulen zur Verfügung stehen, um mit Simulationen arbeiten zu können?

Schulen müssen Rechner zur Verfügung stellen, die für die jeweiligen Programme adäquat sind. Es muss an den Schulen Personen geben, die speziell für die Wartung, Instandhaltung und Aktualisierung von Software zur Verfügung stehen. Neben der Arbeit in speziellen Computerräumen muss es auch möglich sein, bei Bedarf in Klassen- oder Fachräumen mit der jeweiligen Software zu arbeiten. Mit anderen Worten: Damit sinnvoll und effektiv mit Simulationen und Computern allgemein gelernt werden kann, muss von staatlicher Seite Geld zur Verfügung gestellt werden. Und zwar nicht nur für ein kurzes Projekt, sondern dauerhaft.

Einige Fragen sind offen geblieben, die eventuell durch andere Fachrichtungen geklärt werden können:

- Wie sollte gehirngerechtes Lernen mit Simulationen in der beruflichen Bildung aussehen?

Diese Frage könnte beispielsweise aus der Neuropsychologie beantwortet werden (vgl. dazu Kiefer et al. 2007a; Spitzer 2012; Kiefer et al. 2007b). Das aufstrebende Gebiet der Neurowissenschaften könnte mit bildgebenden Verfahren aufzeigen, welche Prozesse im Gehirn beim Lernen mit Simulationen ablaufen etc. Dadurch könnten vielleicht weitere Rückschlüsse gezogen werden, um das Lernen mit Simulationen zu verbessern.

- Wie wirkt sich Lernen mit Simulationen aus?

Diese Frage könnte aus der Soziologie beantwortet werden, (Stichwort Medienwirkungsforschung), z.B. kooperatives Lernen vs. Vereinsamung, emotionales Lernen vs. emotionsarmes Lernen etc.

- Wie müssen Simulationssysteme bzgl. der Soft- und Hardware-Ergonomie gestaltet sein?

Diese Frage könnte aus den Human Factor Ergonomics beantwortet werden (vgl. bspw. Stanney und Cohn 2012).

- Wie werden die Simulationsmedien der Zukunft aussehen?
- Werden sie künftig die "alten" Medien vollständig ersetzen?

7. Literatur

7.1. Literaturverzeichnis Kapitel 1

Euler, Dieter; Seufert, Sabine; Wilbers, Karl (2006): eLearning in der Berufsbildung. In: Rolf Arnold und Antonius Lipsmeier (Hg.): Handbuch der Berufsbildung. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

KMK (2004a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/Industriemechanikerin, Stand: 25.03.2004.

KMK (2004c): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Werkzeugmechaniker/Werkzeugmechanikerin, 25.03.2004.

KMK (2008a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, 15.02.2008.

Sacher, Werner (1998): Multimedia und Computersimulationen im Unterricht. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* 51 (8), S. 452–458.

Schulmeister, Rolf (2007): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik - Design. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg.

Tenberg, Ralf (2001): Multimedia und Telekommunikation im beruflichen Unterricht. Theoretische Analyse und empirische Untersuchungen im gewerblich-technischen Berufsfeld. Habilitationsschrift. Frankfurt/M, New York: Lang.

Wagenschein, Martin (1951): Das Tübinger Gespräch. In: *Die Pädagogische Provinz* 5 (12), S. 623–628.

Westkämper, Engelbert (2009a): Das Stuttgarter Unternehmensmodell in der Theorie. Wissen im Kontext der Wandlungsfähigkeit. In: Engelbert Westkämper und Erich Zahn (Hg.): *Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell*. Berlin: Springer, S. 186–201.

Westkämper, Engelbert (2009b): Turbulentes Umfeld von Unternehmen. In: Engelbert Westkämper und Erich Zahn (Hg.): *Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell*. Berlin: Springer, S. 7–23.

Zäh, Michael F.; Patron, Christian; Fusch, Thomas (2003): Die Digitale Fabrik. Definition und Handlungsfelder. In: *ZWF* (03), S. 75–77.

7.2. Literaturverzeichnis Kapitel 2

ABB (2010): Robotersimulation spart Zeit und Kosten. Friedberg (Schweiz). Online verfügbar unter <http://www.abb.ch/cawp/seitp202/1b2dbbf8d8d04b6ec125778c0034b79c.aspx>, zuletzt geprüft am 25.09.2013.

Abele, Stephan; Gschwendtner, Tobias; Nickolaus, Reinhold (2009a): Berufliche Handlungskompetenz valide erfassen – computerbasierte Simulationen technischer Systeme als innovative Diagnoseinstrumente. In: *Die berufsbildende Schule* 61 (9), S. 252–254.

- Abele, Stephan; Gschwendtner, Tobias; Nickolaus, Reinhold (2009b): Computerbasierte Simulationen in internationalen Vergleichsstudien. Können sie berufliche Handlungskompetenzen aussagekräftig erfassen? In: *Berufsbildung: Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule* 63 (119), S. 24–26.
- Abele, Stephan; Gschwendtner, Tobias (2010): Die computerbasierte Erfassung beruflicher Handlungskompetenz. Konzepte, Möglichkeiten, Perspektiven am Beispiel der Kfz-Mechatronik. In: *BWP* 39 (1), S. 14–17.
- Achtenhagen, Frank; Winther, Esther (2011): Fachdidaktische Perspektiven der Kompetenzmessung- am Beispiel des kaufmännisch-verwaltenden Bereichs. In: Olga Zlatkin-Troitschanskaia (Hg.): *Stationen Empirischer Bildungsforschung. Traditionslinien und Perspektiven*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 352–367.
- Adl-Amini, Bijan (1994): Zum Begriff des "Mediums" und seiner Einordnung im Umfeld neuer Technologien. In: Jörg Petersen und Gerd-Bodo Reinert (Hg.): *Lehren und lernen im Umfeld neuer Technologien. Reflexionen vor Ort*. Frankfurt/M, New York: Lang, S. 9–29.
- Albers, Carsten; Magenheimer, Johannes; Meister, Dorothee M. (2011): Der Einsatz digitaler Medien als Herausforderung von Schule - eine Annäherung. In: Carsten Albers, Johannes Magenheimer und Dorothee M. Meister (Hg.): *Schule in der digitalen Welt. Medientheoretische Ansätze und Schulforschungsperspektiven*. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwissenschaften, S. 7–16.
- Anderl, Reiner; Binde, Peter (2010): Simulationen mit NX. Kinematik, FEM und CFD und Datenmanagement ; mit zahlreichen Beispielen für NX 7.5 ; [auf CD: die Daten aller im Buch enthaltenen Lernaufgaben]. 2. Aufl. München: Hanser.
- Apel, Karl-Otto (1973): *Transformation der Philosophie*. Band I. Sprachanalytik, Semiotik, Hermeneutik. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch. Wissenschaft, 164).
- Armstrong, Penny S. (1992): Computer-based simulations in learning environments. A meta-analysis of outcomes. In: *Dissertation Abstracts International* Vol 53, Jul (1-A), S. 100.
- Arnold, Rolf; Reinmann, Gabi (2010): Digitale Lernwelten: Annäherungen an die Zukunft. Eine Diskussion. In: Kai-Uwe Hugger und Markus Walber (Hg.): *Digitale Lernwelten*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 287–293.
- Artino, Anthony R.; Durning, Steven J. (2012): 'Media will never influence learning': but will simulation? In: *Med Educ* 46 (7), S. 630–632.
- Austermann, Anton (1989): Medienpädagogik. In: Dieter Lenzen (Hg.): *Pädagogische Grundbegriffe*. Band 2: Jugend bis Zeugnis. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 1035–1045.
- Banks, Jerry; Carson, John S.; Nelson, Barry L. (1996): *Discrete-event system simulation*. 2. Aufl. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.
- Betrancourt, Mireille (2005): The Animation and Interactivity Principles in Multimedia Learning. In: Richard E. Mayer (Hg.): *The Cambridge handbook of*

multimedia learning. Cambridge, U.K. ; New York: Cambridge University Press, S. 287–296.

Birtwistle, G. M. (1987): DEMOS, a system for discrete event modelling on simula. New York: Springer-Verlag.

Bley, H.; Franke, C. (2001): Integration von Produkt- und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik. In: *wt-online* (04), S. 214.

Blömeke, Sigrid (2003): Lehren und Lernen mit neuen Medien - Forschungsstand und Forschungsperspektiven. In: *Unterrichtswissenschaft* 31 (1), S. 57–82.

Blümel, Eberhard; Jenewein, Klaus; Schenk, Michael (2010): Virtuelle Realitäten als Lernräume. In: *lernen & lehren* 25 (97), S. 6–13.

Beuting, Jürgen; Haase, Tina; Termath, Wilhelm (2010): Qualifizierung von technischen Fachkräften in der Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln mit Methoden der Virtual Reality. In: *lernen & lehren* 25 (97), S. 26–33.

BMBF (2006): IT-Ausstattung der allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen in Deutschland. Bestandsaufnahme 2006 und Entwicklung 2001 bis 2006. Online verfügbar unter http://www.bmbf.de/pub/it-ausstattung_der_schulen_2006.pdf, zuletzt aktualisiert am 20.10.2006, zuletzt geprüft am 23.01.2013.

Bodendorf, Freimut (1990): Computer in der fachlichen und universitären Ausbildung. München [etc.]: Oldenbourg.

Bofinger, Jürgen (2007): Digitale Medien im Fachunterricht. Schulische Medienarbeit auf dem Prüfstand. 1. Aufl. München [i.e.] Donauwörth: Auer.

Bonz, Bernhard (2009): Methoden der Berufsbildung. Ein Lehrbuch. 2., neubearb. und erg. Stuttgart: Hirzel.

Bracht, Uwe (2002): Ansätze und Methoden der Digitalen Fabrik. In: Tagungsband "Simulation und Visualisierung 2002". Magdeburg, S. 1–12.

Brey, Philip (2008): Virtual Reality and Computer Simulation. In: Kenneth Einar Himma und Herman T. Tavani (Hg.): *The handbook of information and computer ethics*. Hoboken, N.J.: Wiley, S. 361–384.

Buchmayr, Bruno (2002): Werkstoff- und Produktionstechnik mit Mathcad. Modellierung und Simulation in Anwendungsbeispielen. Berlin [u.a.]: Springer.

Buddensiek, Wilfried; Kaiser, Franz-Josef; Kaminski, Hans (1980): Grundprobleme des Modelldenken im sozioökonomischen Unterricht. In: Herbert Stachowiak (Hg.): *Modelle und Modelldenken im Unterricht. Anwendungen d. allg. Modelltheorie auf d. Unterrichtspraxis*. Bad Heilbrunn/Obb: Klinkhardt, S. 92–122.

Bufe, Johannes; Krömker, Detlef; Gratza, Guido; Schwaderer, Jörg; Vincon, Steffen (2009): Serious Games: Virtuelle Simulation für eine Mitarbeiterfortbildung. In: Andreas Schwill und Nicolas Apostolopoulos (Hg.): *Lernen im Digitalen Zeitalter. DeLFI 2009 – Die 7. E-Learning Fachtagung Informatik an der Freien Universität Berlin*, 14. - 17. September 2009. Gesellschaft für Informatik e.V. Bonn: Ges. für Informatik, S. 67–78.

- Bungartz, Hans-Joachim; Zimmer, Stefan; Buchholz, Martin; Pflüger, Dirk (2009): Modellbildung und Simulation. Eine anwendungsorientierte Einführung: Springer.
- Burgmer, Martin; Raimer, Stephan (2004): Das Projekt "HILWA" – Erprobung eines neuartigen Lernmanagementsystems. In: *lernen & lehren* 19 (73), S. 18–22.
- Clark, Richard E. (1983): Reconsidering Research on Learning from Media. In: *Review of Educational Research* 53 (4), S. 445–459.
- Clark, Richard E. (1994): Media will never influence learning. In: *Educational Technology Research and Development* 42 (2), S. 21–29.
- de Jong, Ton; van Joolingen, Wouter R. (1998): Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. In: *Review of Educational Research* 68 (2), S. 179–201.
- Dekkers, John; Donatti, Stephen (1981): The Integration of Research Studies on the Use of Simulation as an Instructional Strategy. In: *Journal of Educational Research* 74, S. 424-247.
- Dell'Oro-Friedl, Jirka (2011): Techforce - Das Adventure-Spiel der Metall- und Elektroindustrie. In: Maren Metz und Fabienne Theis (Hg.): Digitale Lernwelt - Serious Games. Einsatz in der beruflichen Weiterbildung. Bielefeld: Bertelsmann, S. 151–157.
- Dieterich, Rainer (1994): Simulation als Lernmethode. In: Jörg Petersen und Gerd-Bodo Reinert (Hg.): Lehren und lernen im Umfeld neuer Technologien. Reflexionen vor Ort. Frankfurt/M; New York: Lang, S. 207–224.
- DIN EN ISO 14915, 2003: Software-Ergonomie für Multimedia-Benutzungsschnittstellen.
- DIN EN ISO 9241, 2010: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion.
- Dittmann, Dirk; Schäfer, Markus (2008): Lernen durch Lehren in web 2.0-gestützten Lehr-/Lernprozessen der beruflichen Erstausbildung. Potentiale und Auswirkungen am Beispiel des Unterrichtsversuchs kfz4me.de. In: *Berufs- und Wirtschaftspädagogik - online* (15). http://www.bwpat.de/ausgabe15/dittmann_schaefer_bwpat15.pdf, zuletzt geprüft am 01.04.2011.
- Dombrowski, Uwe; Tiedemann, Hauke; Bothe, Tim (2001): Auf dem Weg zur digitalen Fabrik. In: *Carolo-Wilhelmina Forschungsmagazin der TU Braunschweig*, S. 44–49.
- DVS (Hg.) (2010): Anwendungsnahe Schweißsimulation komplexer Strukturen. AiF-IGF-Verbundprojekt, Laufzeit: 01.07.2007 bis 31.12.2009 (verlängert bis 30.04.2010). Düsseldorf: DVS Media (DVS-Berichte, 282).
- Eberhardt, Bernhard; Hahn, Jens-Uwe (2007): Computergrafik und Virtual Reality. In: Roland Schmitz (Hg.): Kompendium Medieninformatik. Medienpraxis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (X.media.press), S. 1–98.
- Engeler, Knut (2003): Kursmaterial des Projekts eL3. Modul Animationen und Simulationen. Überarbeitet von Jan de Haas und Elke Sander. Hg. v. Verbundprojekt

eL3 und FIM-NeuesLernen. Universität Oldenburg. Online verfügbar unter http://www-cg-hci.informatik.uni-oldenburg.de/~el3/biologie/el3_ol_biologie_simulation-animation_v03.1/biologie_simulation-animation_start.html, zuletzt geprüft am 29.02.2012.

Euler, Dieter (1992): Didaktik des computerunterstützten Lernens. Praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen. 1. Aufl. Nürnberg: BW, Bildung u. Wiss., Verl. u. Software.

Euler, Dieter; Seufert, Sabine; Wilbers, Karl (2006): eLearning in der Berufsbildung. In: Rolf Arnold und Antonius Lipsmeier (Hg.): Handbuch der Berufsbildung. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Eurocircuits (2013): Galvano-Simulation - unser neues Werkzeug für Entwickler. Eine Simulation der galvanischen Kupferabscheidung in der Leiterplattenfertigung. Online verfügbar unter <http://www.eurocircuits.de/index.php/eurocircuits-leiterplatten-blog/galvano-simulation-unser-neues-werkzeug-fuer-entwickler>, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Faber, Gerhard (1997): Simulatoren in der Kraftfahrzeugmechaniker-Ausbildung. In: *lernen & lehren* 12 (46), S. 63–73.

Fäßler, Victor B. (2000): Entwicklung von Simulationen für technische Lernprozesse. Dissertation. Frankfurt/M; New York: Lang.

Fishwick, Paul A. (1995): Simulation model design and execution. Building digital worlds. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall (Prentice-Hall international series in industrial and systems engineering).

Fletcher, Stefan; Friese, Oliver (2008): Nachhaltiges Gestalten von Produktionsprozessen - didaktische Prinzipien für kompetenzfördernde Lernumgebungen. In: *lernen & lehren* 23 (90), S. 67.

Frank, Martin; Lorenz, Peter (1979): Simulation diskreter Prozesse. Eine Einführung für den Anwender. mit 59 Aufgaben mit Lösungshinweisen. Leipzig: VEB Fachbuchverlag.

Fritz, Alfred Herbert; Schulze, Günter (Hg.) (2008): Fertigungstechnik. 8., neu bearb. Berlin, Heidelberg: Springer.

Girwidz, Raimund (2010): Medien im Physikunterricht. In: Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Peter Häußler (Hg.): Physikdidaktik. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 203–264.

Glöckel, Hans (2003): Vom Unterricht. Lehrbuch der allgemeinen Didaktik. 4. Aufl. Bad Heilbrunn/Obb: Klinkhardt.

Gonzalez, Cleotilde (1996): Does animation in user interfaces improve decision making? In: Michael J. Tauber, Bonnie Nardi und Gerrit C. van der Veer (Hg.): Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems common ground. New York, NY: ACM, S. 27–34.

- Gräsel, Cornelia; Mandl, Heinz; Prenzel, Manfred (1992): Die Förderung diagnostischen Denkens durch fallbasierte Computerlernprogramme in der Medizin. In: Ulrich Glowalla und Eric Schoop (Hg.): Hypertext und Multimedia. Neue Wege in der computerunterstützten Aus- und Weiterbildung; GI-Symposium, Gießen, 28. - 30.4.1992. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 323–331.
- Grafe, Silke (2008): Förderung von Problemlösefähigkeit beim Lernen mit Computersimulationen: Grundlagen und schulische Anwendungen: Klinkhardt.
- Gschwendtner, Tobias; Abele, Stephan; Nickolaus, Reinhold (2009): Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistungen von Kfz-Mechanikern. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik* 105 (4), S. 559–578.
- Gysbers, Andre (2008): Lehrer - Medien - Kompetenz. Eine empirische Untersuchung zur medienpädagogischen Kompetenz und Performanz niedersächsischer Lehrkräfte. Berlin: Vistas.
- Habermas, Jürgen (1965/1974): Erkenntnis und Interesse. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft).
- Hattie, John (2009): Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. London, New York: Routledge.
- Hehenberger, Peter (2011): Computerunterstützte Fertigung. Eine kompakte Einführung. 1. Aufl. Berlin[u.a]: Springer Berlin.
- Hengesbach, Klaus (2005): Lernfelder Metalltechnik Industriemechanik. 1. Aufl. Troisdorf: Bildungsverlag Eins.
- IDAC - Integrated Design & Analysis Consultants Ltd. (2013a): ANSYS CFX. Online verfügbar unter <http://www.idac.co.uk/products/products/cfx.htm>, zuletzt aktualisiert am 25.07.2013, zuletzt geprüft am 26.07.2013.
- IDAC - Integrated Design & Analysis Consultants Ltd. (2013b): ANSYS Icepak. Online verfügbar unter <http://www.idac.co.uk/products/products/icepak.html>, zuletzt aktualisiert am 25.07.2013, zuletzt geprüft am 26.07.2013.
- Initiative D21 (2011): Bildungsstudie: Digitale Medien in der Schule. Eine Sonderstudie im Rahmen des (N)Onliner Atlas 2011. Online verfügbar unter http://www.initiaved21.de/wp-content/uploads/2011/05/NOA_Bildungsstudie_140211.pdf.
- Issing, Ludwig J.; Klimsa, Paul (Hrsg.) (2002): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU.
- Issing, Ludwig J.; Schellenberg, Cornelia (1973): Anwendung von PU-Prinzipien auf die Gestaltung von Schulfernsehsendungen – eine Vergleichsuntersuchung. In: Manfred Hofer und Franz E. Weinert (Hg.): Pädagogische Psychologie. Lernen und Instruktion. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag, S. 247–260.

Jarz, Ewald M. (1997): Entwicklung multimedialer Systeme. Planung von Lern- und Masseninformativsystemen. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Gabler Edition Wissenschaft. Forum Produktionswirtschaftliche Forschung).

Kammerl, Rudolf; Ostermann, Sandra (2010): Medienbildung - (k)ein Unterrichtsfach? Eine Expertise zum Stellenwert der Medienkompetenzförderung in Schulen. Expertise im Auftrag der Medienanstalt Hamburg / Schleswig-Holstein (MA HSH). Hg. v. Erziehungswissenschaft mit Schwerpunkt Medienpädagogik Universität Hamburg. Online verfügbar unter http://www.ma-hsh.de/cms/upload/downloads/Medienkompetenz/ma_hsh_studie_medienbildung_web.pdf, zuletzt geprüft am 22.01.2013.

Kerres, Michael (1999): Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen. In: *HMD-Praxis der Wirtschaftsinformatik* 36 (205), S. 9–21.

Kerres, Michael (2000): Medienentscheidungen in der Unterrichtsplanung. Zu Wirkungsargumenten und Begründungen des didaktischen Einsatzes digitaler Medien. In: *Bildung und Erziehung* 53 (1), S. 19–39.

Kerres, Michael (2001): Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung. 2., vollständig überarbeitete Aufl. München: Oldenbourg.

Kerres, Michael (2003): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In: Reinhard Keil-Slawik und Michael Kerres (Hg.): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. Münster, New York, München [etc.]: Waxmann, S. 31–44.

Kerres, Michael (2012): Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote. 3. Aufl. München: Oldenbourg.

Klaus, Georg (1969): Wörterbuch der Kybernetik. 3. Aufl. Berlin: Dietz Verlag.

Klocke, Fritz; König, Wilfried (2006): Fertigungsverfahren 4. Berlin; Heidelberg; New York: Springer.

Klocke, Fritz; König, Wilfried (2008): Fertigungsverfahren 1. Drehen, Fräsen, Bohren. 8., neu bearb. Düsseldorf [u.a.]: VDI-Verl.

KMK (2003a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker/in für Automatisierungstechnik.

KMK (2003b): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker/in für Geräte und Systeme, 16.05.2003.

KMK (2004a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/Industriemechanikerin, Stand: 25.03.2004.

KMK (2004b): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Zerspanungsmechaniker/Zerspanungsmechanikerin, 25.03.2004.

KMK (2004c): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Werkzeugmechaniker/Werkzeugmechanikerin, 25.03.2004.

KMK (2008a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, 15.02.2008.

KMK (2008b): Dataset - IT-Ausstattung der Schulen. Schuljahr 2007/2008. Online verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_12_08-Dataset-IT-Ausstattung-07-08.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2013.

KMK (2012): Medienbildung in der Schule. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 8. März 2012. KMK. Online verfügbar unter www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_03_08_Medienbildung.pdf, zuletzt aktualisiert am 09.03.2012, zuletzt geprüft am 22.01.2013.

Kozma, Robert B. (1994): Will media influence learning? Reframing the debate. In: *Educational Technology Research and Development* 42 (2), S. 7–19.

Krampe, Horst; Runge, Walter; Kubát, Jiří (1974): Bedienungsmodelle. Ein Leitfaden für die praktische Ausbildung. München [u.a.]: Oldenbourg.

Krogoll, Tilmann; Pohl, Wolfgang; Wanner, Claudia (1988): CNC-Grundlagenausbildung mit dem Konzept CLAUS. Didaktik u. Methoden. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verl.

Kulik, Chen-Lin C. und Kulik, James A. (1991): Effectiveness of Computer-Based Instruction: An Updated Analysis. In: *Computers in Human Behavior* 7 (1-2), S. 75–94.

Lee, June (1999): Effectiveness of computer-based instructional simulation: A meta-analysis. In: *International Journal of Instructional Media* 26 (1), S. 71–85.

Linner, S.; Geyer, M.; Wunsch, A. (1999): Optimierte Prozesse durch Digital Factory Tools. In: F.-L Krause, C. Kind und C. Raupach (Hg.): Virtuelle Produktentstehung in der Fahrzeugtechnik. Tagung Berlin, 9. und 10. September 1999. Düsseldorf: VDI Verlag, S. 187–198.

Magmasoft (2011): Magma⁵. Online verfügbar unter www.magmasoft.de/ms/pics/frontier_640x480.jpg, zuletzt aktualisiert am 19.12.2011, zuletzt geprüft am 19.12.2011.

Mandl, Heinz; Gruber, Hans; Renkl, Alexander (1993): Neue Lernkonzepte für die Hochschule. In: *Das Hochschulwesen* (41), S. 126–130.

Mandl, Heinz; Gruber, Hans; Renkl, Alexander (1997): Lernen und Lehren mit dem Computer. In: Franz E. Weinert und Heinz Mandl (Hg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Göttingen; Seattle: Hogrefe-Verlag für Psychologie, S. 437–467.

Mandl, Heinz; Gruber, Hans; Renkl, Alexander (2002): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Ludwig J. Issing und Paul Klimsa (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU, S. 139–148.

Maria, Anu (1997): Introduction to modeling and simulation. In: Sigrún Andradóttir, Kevin J. Healy, David H. Withers und Barry L. Nelson (Hg.): Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. Renaissance Waverly Hotel, Atlanta, Georgia, 7-10

December 1997. [New York], Piscataway, NJ: Association for Computing Machinery; Institute of Electrical and Electronics Engineers, S. 7–13.

Martens, Jens Uwe (1999): Didaktische Möglichkeiten und Grenzen von Multimediaprogrammen. In: *HMD-Praxis der Wirtschaftsinformatik* 36, S. 43–53.

Mattwich, Nathalie; Friederici, Gerhard (2011): CADFEM in Wind Farm Industry. Grafring bei München. Online verfügbar unter http://www.cadfem.de/fileadmin/ansys/wind/presentation/CADFEM-Simulation_Windenergie_2011.pdf, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Mayring, Philipp (2001): Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse. In: *Forum Qualitative Sozialforschung* Vol. 2 (No. 1), S. Art. 6. Online verfügbar unter <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/1-01/1-01mayring-d.htm>, zuletzt geprüft am 25.07.2011.

McKenna, Kevin (1989): The use and effectiveness of computer based models of the economy in the teaching of macroeconomics. unveröffentlichte Dissertation. University of Western Australia, Perth.

Mentor Graphics (2013): FloEFD. Online verfügbar unter <http://www.mentor.com/products/mechanical/de/products/floefd/>, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Michael, Kurt Y. (2001): The effect of a computer simulation activity versus a hands-on activity on product creativity in technology education. In: *Journal of Technology Education* 13 (1), S. 31–43.

National Instruments (2013): Top 10 der Multisim-Funktionen für Ausbildung und Lehre - National Instruments. Online verfügbar unter <http://www.ni.com/white-paper/3662/de/>, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Niegemann, Helmut M. (2008): Bewegtbilder: Animation, Video und Simulation. In: Helmut M. Niegemann (Hg.): *Kompendium multimediales Lernen*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 239–273.

Nickolaus, Reinhold; Gschwendtner, Tobias; Geißel, Bernd; Abele, Stephan (2010): Konzeptionelle Vorstellungen zur Kompetenzerfassung und Kompetenzmodellierung im Rahmen eines VET-LSA bei Kfz-Mechatronikern und Elektronikern. In: Dieter Münk (Hg.): *Kompetenzermittlung für die Berufsbildung. Verfahren, Probleme und Perspektiven im nationalen, europäischen und internationalem Raum*. Bielefeld: Bertelsmann.

Online-Magazin Digital Lernen (2011): OECD legt neue PISA-Auswertung vor: Computerausstattung in Deutschland bleibt schlecht. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.digital-lernen.de/nachrichten/medienforschung/einzelansicht/artikel/oecd-legt-neue-pisa-auswertung-vor-computerausstattung-in-deutschland-bleibt-schlecht.html>, zuletzt geprüft am 23.01.2013.

Ott, Bernd (2007): *Grundlagen des beruflichen Lernens und Lehrens. Ganzheitliches Lernen in der beruflichen Bildung*. 3. Aufl. Berlin: Cornelsen.

Overing, Robert L.; Travers, Robert M. (1973): Die Wirkung verschiedener Übungsbedingungen auf die Übertragung des Gelernten (Transfer). In: Manfred

Hofer und Franz E. Weinert (Hg.): Pädagogische Psychologie. Lernen und Instruktion. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag, S. 89–105.

Page, Ernest H.; Opper, Jeffrey M. (2000): Investigating the application of web-based simulation principles within the architecture for a next-generation computer generated forces model. In: *Future Generation Computer Systems* 17 (2), S. 159–169.

Pabst, Antje; Zimmer, Gerhard (2008): Media Research and Development. In: Felix Rauner und Rupert Maclean (Hg.): *Handbook of Technical and Vocational Education and Training Research*. Dordrecht: Springer Netherlands, S. 565–573.

Padtberg, Carola (2005): Schüler: Je mehr am Computer, desto dümmer. SPIEGEL ONLINE. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/schulspiegel/wissen/schueler-je-mehr-am-computer-desto-duemmer-a-378164.html>, zuletzt aktualisiert am 06.10.2005, zuletzt geprüft am 28.05.2013.

Park, Yeonjeong (2011): A pedagogical framework for mobile learning: Categorizing educational applications of mobile technologies into four types. In: *The International Review of Research in Open and Distance Learning* 12 (2). Online verfügbar unter <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/791/1699>, zuletzt geprüft am 3.5.11.

Peterßen, Wilhelm H. (1992): *Handbuch Unterrichtsplanung. Grundfragen, Modelle, Stufen, Dimensionen*. München: Oldenbourg.

Prenzel, Manfred; Artelt, Cordula; Baumert, Jürgen; Blum, Werner; Hammann, Marcus; Klieme, Eckhard; Pekrun, Reinhard (Hg.) (2007): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Zusammenfassung. PISA-Konsortium Deutschland. Online verfügbar unter http://pisa.ipn.uni-kiel.de/zusammenfassung_PISA2006.pdf, zuletzt geprüft am 23.01.2013.

Reinhart, Gunther (2000): *Virtuelle Produktion. Integrierte Prozess- und Produktsimulation*. Augsburg, 23. November 2000. München: Utz, Wiss.

Remmer, Anne M.; Jernstedt, G. Christian (1982): Comparative Effectiveness of Simulation Games in Secondary and College Level Instruction: A Meta-Analysis. In: *Psychological Reports* 51 (3), S. 742.

Rey, Günter Daniel (2009): *E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. 1. Aufl. Bern: Huber.

Rieber, Lloyd P. (2005): Multimedia Learning in Games, Simulations, and Microworlds. In: Richard E. Mayer (Hg.): *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge, U.K., New York: Cambridge University Press, S. 549–567.

Riedl, Alfred (2004): *Didaktik der beruflichen Bildung*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.

Ripkens, Thomas (1999): Konzeption, Implementierung und Evaluation eines simulativen Lernspiels am Beispiel Total Quality Management. In: *HMD-Praxis der Wirtschaftsinformatik* 36 (205).

Roddeck, Werner (2006): *Einführung in die Mechatronik*. 3., überarb. und erg. Wiesbaden: Teubner.

- Roy, Bibhuti (1997): Simulation als handlungsorientiertes Medium in der beruflichen Bildung. Entwicklung eines Lehr- und Lernkonzeptes mit Simulatoren zur Handhabungstechnik. Glienicke: Galda und Wilch.
- Ruf Getriebetechnik (2012): Fotoalbum. Online verfügbar unter <http://www.ruf-getriebetechnik.de/fotoalbum.html>, zuletzt aktualisiert am 10.06.2012, zuletzt geprüft am 01.08.2013.
- Schöler, Walter (1976): Unterrichtswissenschaftliche Aspekte der Unterrichtstechnologie. In: Hüther Jürgen und Joachim H. Knoll (Hg.): Medienpädagogik. München: Nymphenburger Verlagshandlung, S. 63–79.
- Schütte, Friedhelm (2006): Berufliche Fachdidaktik: Theorie und Praxis der Fachdidaktik Metall- und Elektrotechnik ein Lehr- und Studienbuch. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.
- Schulmeister, Rolf (2007): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik - Design. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg.
- Seila, Andrew F. (1995): Introduction to simulation. In: Christos Alexopoulos (Hg.): 1995 Winter Simulation Conference proceedings. Arlington, VA, December 3 - 6, 1995. Baltimore, MD: Association for Computer Machinery [u.a.], S. 7–15.
- SGS Germany (2013): EMV gerechter Leiterplattenentwurf (on board EMC). Online verfügbar unter <http://www.sgs-cqe.de/emv-gerechter-leiterplattenentwurf-on-board-emc.html>, zuletzt geprüft am 26.07.2013.
- Shannon, Robert E. (1992): Introduction to simulation. In: James J. Swain (Hg.): Winter simulation conference 1992, Arlington, Virginia, December 13-16, 1992. Proceedings : WSC 92. New York, NY: ACM Press, S. 65–73.
- Sherman, William R.; Craig, Alan B. (2003): Understanding virtual reality. Interface, application, and design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Siemon, Jens (2005): Once bitten, twice shy. Eine Lernumgebung basierend auf dem Lernen aus Fehlern für zerspannende Berufe des Berufsfeldes Metalltechnik. In: Joseph Pangalos, Georg Spöttl, Sönke Knutzen und Falk Howe (Hg.): Informatisierung von Arbeit, Technik und Bildung. Eine berufswissenschaftliche Bestandsaufnahme. Münster: Lit, S. 201–210.
- Siemon, Jens (2006): Virtual Reality zum selbstgesteuerten Lernen in metalltechnischen Berufen. In: *Lernen & Lehren* 21 (84), S. 167–171.
- Stachowiak, Herbert (op. 1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien ; New York: Springer.
- Stachowiak, Herbert (Hg.) (1980): Modelle und Modelldenken im Unterricht. Anwendungen d. allg. Modelltheorie auf d. Unterrichtspraxis. Bad Heilbrunn/Obb: Klinkhardt.
- Steininger, Peter; Zülch, Gert (2002): Integrierter Ausbildungsansatz zur Qualifizierung von Industriemechanikern mittels computerunterstützter Simulation. In: Klaus Jenewein, Peter Knauth und Gert Zülch (Hg.): Kompetenzentwicklung in Unternehmensprozessen. Beiträge zur Konferenz der Arbeitsgemeinschaft Gewerblich-Technische Wissenschaften und Ihre Didaktiken in der Gesellschaft für

Arbeitswissenschaft am 23./24. September 2002 in Karlsruhe. Aachen: Shaker, S. 131–136.

Sung, Joung-Souk (2009): U-Learning Model Design Based on Ubiquitous Environment. In: *International Journal of Advanced Science and Technology* (13), S. 77–88.

Szczurek, Mario (1982): Meta-analysis of Simulation Games Effectiveness for Cognitive Learning. Bloomington: Indiana University.

Tauschek, Rüdiger (2006): Förderung von Problemlösekompetenzen im Unterricht der Berufsschule. In: *lernen & lehren* 21 (84), S. 179–184.

Tenberg, Ralf (2001): Multimedia und Telekommunikation im beruflichen Unterricht. Theoretische Analyse und empirische Untersuchungen im gewerblich-technischen Berufsfeld. Habilitationsschrift. Frankfurt/M; New York: Lang.

Tenberg, Ralf (2011): Vermittlung Fachlicher und überfachlicher Kompetenzen in Technischen Berufen. Theorie und Praxis der Technikdidaktik. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.

Thissen, Frank (1998): Lernort Multimedia. Zu einer konstruktivistischen Multimedia-Didaktik. In: Andrea Nispel, Richard Stang und Friedrich Hagedorn (Hg.): *Pädagogische Innovation mit Multimedia 1. Analysen und Lernorte*, S. 29–43.

Tulodziecki, Gerhard (2002): Mediendidaktik. In: Joachim-Felix Leonhard, Hans-Werner Ludwig, Dietrich Schwarze und Erich Straßner (Hg.): *Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen*. Berlin, New York: de Gruyter, S. 2807–2819.

Tulodziecki, Gerhard (2011): Handeln und Lernen in einer von Medien mitgestalteten Welt. Konsequenzen für Erziehung und Bildung. In: Carsten Albers, Johannes Magenheim und Dorothee M. Meister (Hg.): *Schule in der digitalen Welt. Medientheoretische Ansätze und Schulforschungsperspektiven*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 43–64.

Urhahne, Detlef; Harms, Ute (2006): Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. In: *Unterrichtswissenschaft* 34 (4), S. 358–377.

Vajna, Sandor; Weber, Christian; Bley, Helmut; Zeman, Klaus (2009): *CAX für Ingenieure. Eine Praxisbezogene Einführung*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

van der Meij, Jan (2007): Support for learning with multiple representations. Designing simulation-based learning environments. Enschede: University of Twente.

VanSickle, Ronald L. (1986): A quantitative review of research on instructional simulation gaming: A twenty-year perspective. In: *Theory and Research in Social Education* 14 (3), S. 245–264.

VDG (2005): Grundlagen der Gießereitechnik. Online verfügbar unter http://www.vdg.de/fileadmin/content/03_documents/Grundlagen_der_Giessereitechnik_1.pdf, zuletzt aktualisiert am 28.02.2005, zuletzt geprüft am 10.07.2012.

VDI-Richtlinie 2209, 2009: 3-D-Produktmodellierung.

VDI-Richtlinie 2860, 1990: Montage- und Handhabungstechnik - Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole.

VDI-Richtlinie 3633, 2010: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen.

VDI-Richtlinie 4499-1, 2008: Digitale Fabrik - Grundlagen.

Weidenmann, Bernd (2002): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Ludwig J. Issing und Paul Klimsa (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU, S. 45–62.

Westkämper, Engelbert (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin/Heidelberg: Springer.

Westkämper, Engelbert (2009a): Das Stuttgarter Unternehmensmodell in der Theorie. Wissen im Kontext der Wandlungsfähigkeit. In: Engelbert Westkämper und Erich Zahn (Hg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin: Springer, S. 186–201.

Westkämper, Engelbert (2009b): Turbulentes Umfeld von Unternehmen. In: Engelbert Westkämper und Erich Zahn (Hg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin: Springer, S. 7–23.

Wiendahl, Hans-Peter; Harms, T.; Heger, C. L. (2002): Kontextsensitiver Einsatz von Virtual Reality im Rahmen der Digitalen Fabrik. In: Jürgen Gausemeier und Michael Grafe (Hg.): Tagungsband zum 1. Paderborner Workshop Augmented Reality und Virtual Reality in der Produktentstehung. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, S. 39–51.

Winn, William (2002): Current Trends in Educational Technology Research. The Study of Learning Environments. In: *Educational Psychology Review* 14 (3), S. 331–351.

Winther, Esther (2010): Kompetenzmessung in der Beruflichen Bildung: W. Bertelsmann Verlag.

Winther, Esther; Achtenhagen, Frank (2009): Simulationsaufgaben als innovatives Testverfahren für Industriekaufleute im Rahmen eines VET-LSA. In: *Wirtschaft und Erziehung* 61 (10), S. 317–325.

Woyand, Hans-Bernhard (2004): Produktentwicklung mit CATIA V5. Mit Animationen auf CD-ROM. Wilburgstetten: Schlembach.

WupperCAM (2013): Simulation Virtual Gibbs. Online verfügbar unter <http://www.wuppercam.de/index.php/virtual-gibbs-bildgalerie-simulation.html>, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Zäh, Michael F.; Patron, Christian; Fusch, Thomas (2003): Die Digitale Fabrik. Definition und Handlungsfelder. In: *ZWF* (03), S. 75–77.

7.3. Literaturverzeichnis Kapitel 3

ABB (2011): RobotStudio, Online verfügbar unter <http://www.abb.com/robotics>, zuletzt geprüft am 24.08.2011.

Adl-Amini, Bijan (1981): Didaktik und Methodik. Weinheim: Beltz.

Adl-Amini, Bijan (1986): Ebenen didaktischer Theoriebildung. In: Hans-Dieter Haller und Hilbert Meyer (Hg.): Enzyklopädie Erziehungswissenschaft. Ziele und Inhalte der Erziehung und des Unterrichts. 12 Bände. Stuttgart: Klett-Cotta (3), S. 27–48.

Adl-Amini, Bijan (1991): Grauzonen der Didaktik. Plädoyer für die Erforschung didaktischer Vermittlungsprozesse. In: Bijan Adl-Amini und Rudolf Künzli (Hg.): Didaktische Modelle und Unterrichtsplanung: Juventa, S. 210–237.

Adorno, Theodor W. (1959): Theorie der Halbbildung. In: Theodor W. Adorno: Gesammelte Schriften Band 8. Soziologische Schriften I. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 93–121.

Aebli, Hans (1980): Denken, das Ordnen des Tuns. Band 1: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie. Stuttgart: Klett-Cotta.

Albers, Carsten; Magenheim, Johannes; Meister, Dorothee M. (2011): Der Einsatz digitaler Medien als Herausforderung von Schule - eine Annäherung. In: Carsten Albers, Johannes Magenheim und Dorothee M. Meister (Hg.): Schule in der digitalen Welt. Medientheoretische Ansätze und Schulforschungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 7–16.

Anderson, John R. (1976): Language, memory and thought. Hillsdale, NJ: Erlbaum [u.a.] (The experimental psychology series).

Anderson, John R. (1983): The architecture of cognition. Cambridge, Mass: Harvard University Press (Cognitive science series, 5).

Anderson, John R. (1993): Rules of the mind. Hillsdale, NJ [u.a.]: Erlbaum.

Anderson, John R.; Corbett, Albert T.; Koedinger, Kenneth R.; Pelletier, Ray (1995): Cognitive Tutors: Lessons Learned. In: *Journal of the Learning Sciences* 4 (2), S. 167–207.

Armstrong, Penny S. (1992): Computer-based simulations in learning environments. A meta-analysis of outcomes. In: *Dissertation Abstracts International* Vol 53, Jul (1-A), S. 100.

Arnett, Jeffrey J. (2008): The neglected 95%: Why American psychology needs to become less American. In: *American Psychologist* 63 (7), S. 602–614.

Arnold, Patricia (2005): Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht. Fachartikel im Portal zum Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre E-Teaching.Org. Online verfügbar unter <http://www.e-teaching.org/didaktik/theorie/lerntheorie/arnold.pdf>, zuletzt geprüft am 11.07.2012.

Arnold, Rolf; Gonon, Philipp (2006): Einführung in die Berufspädagogik. Opladen: Budrich (UTB, 8280).

Arnold, Rolf; Münk, Dieter (2006): Berufspädagogische Kategorien didaktischen Handelns. In: Rolf Arnold und Antonius Lipsmeier (Hg.): Handbuch der Berufsbildung. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 13–32.

Arnold, Rolf; Müller, Joachim (1992): Medienvielfalt und berufliches Lernen. Neue Formen selbstorganisierten Lernens vergrößern den Stellenwert von Medien. In: *Berufsbildung: Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule* (18), S. 7–9.

Azevedo, Roger; Bernard, Robert M. (1995): A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. In: *Journal of Educational Computing Research* 13 (2), S. 111–127.

Baacke, Dieter (2002): Medienpädagogik. In: Joachim-Felix Leonhard, Hans-Werner Ludwig, Dietrich Schwarze und Erich Straßner (Hg.): Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen. Berlin, New York: de Gruyter, S. 2800–2807.

Bader, Reinhard (2004a): Handlungsfelder - Lernfelder - Lernsituationen. Eine Anleitung zur Erarbeitung von Rahmenlehrplänen sowie didaktischer Jahresplanungen für die Berufsschule. In: Reinhard Bader und Martina Müller (Hg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Dokumentation zum BLK-Modellversuchsverbund SELUBA "Steigerung der Effizienz neuer Lernkonzepte und Unterrichtsmethoden in der dualen Berufsausbildung" der Länder Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt. Bielefeld: Bertelsmann, S. 11–37.

Bader, Reinhard (2004b): Handlungsorientierung als didaktisch-methodisches Konzept der Berufsbildung. In: Reinhard Bader und Martina Müller (Hg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Dokumentation zum BLK-Modellversuchsverbund SELUBA "Steigerung der Effizienz neuer Lernkonzepte und Unterrichtsmethoden in der dualen Berufsausbildung" der Länder Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt. Bielefeld: Bertelsmann, S. 61–68.

Badke-Schaub, Petra; Hofinger, Gesine; Lauche, Kristina (2008): Human factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. 1. Aufl. Berlin: Springer.

Baethge, Martin; Baethge-Kinsky, Volker (1998): Jenseits von Beruf und Beruflichkeit? Neue Formen von Arbeitsorganisation und Beschäftigung und ihre Bedeutung für eine zentrale Kategorie gesellschaftlicher Integration. In: *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung* 31 (3), S. 461–472.

Ballstaedt, Steffen-Peter (2004): Kognition und Wahrnehmung in der Informations- und Wissensgesellschaft. Konsequenzen gesellschaftlicher Veränderungen für die Psyche. In: Hans-Dieter Kübler und Elmar Elling (Hg.): Wissensgesellschaft. Neue

Medien und ihre Konsequenzen. Bonn: BPB, Fachbereich Multimedia/IT, S. 621–641.

Baumgartner, Peter (2003): E-Learning: Lerntheorien und Lernwerkzeuge. In: *Österreichische Zeitschrift für Berufsbildung (ÖZB)* (3), S. 3–6.

Baumgartner, Peter; Payr, Sabine (1997): Erfinden lernen. In: Heinz von Foerster, Albert Müller, Karl H. Müller und Friedrich Stadler (Hg.): *Konstruktivismus und Kognitionswissenschaft. Kulturelle Wurzeln und Ergebnisse*. Wien, New York: Springer, S. 89–106.

Baumgartner, Peter; Payr, Sabine (1999): *Lernen mit Software*. 2. Aufl. Innsbruck, Wien, München: Studien-Verl.

Beckmann, Hans-Karl (1972): Aspekte der geisteswissenschaftlichen Didaktik. In: Horst Ruprecht, Hans-Karl Beckmann und Felix von Cube (Hg.): *Modelle grundlegender didaktischer Theorien*. Hannover: Schroedel (Beiträge zu einer neuen Didaktik : Reihe A, Allgemeine Didaktik), S. 72–116.

Bell, Bradford S.; Kanar, Adam M.; Kozlowski, Steve W.J (2008): Current issues and future directions in simulation-based training in North America. In: *The International Journal of Human Resource Management* 19 (8), S. 1416–1434.

Berger, Peter L.; Luckmann, Thomas (1995): *Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie*. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verl. (Fischer-Taschenbücher Sozialwissenschaft).

Bernhardt, Ralph (2006): *Simulation in der Massivumformung*. Hagen: Infostelle Industrieverb. Massivumformung.

Blankertz, Herwig (1969/1972): *Theorien und Modelle der Didaktik*. München: Juventa.

Blömeke, Sigrid (2003): Lehren und Lernen mit neuen Medien - Forschungsstand und Forschungsperspektiven. In: *Unterrichtswissenschaft* 31 (1), S. 57–82.

Bransford, John D.; Sherwood, Robert D.; Hasselbring, Ted S.; Kinzer, Charles K.; Williams, Susan M. (1990): Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. In: Don Nix und Rand J. Spiro (Hg.): *Cognition, education, and multimedia. Exploring ideas in high technology*. Hillsdale, N.J: L. Erlbaum, S. 115–141.

Bruchhäuser, Hanns-Peter (2009): Lernfeldkonzept in der beruflichen Bildung - Absicht und Realität. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik* (105), S. 428–435.

Bruner, Jerome S. (1974): *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin, Düsseldorf: Berlin-Verlag; Pädagogischer Verlag Schwann (Sprache und Lernen, 5).

Buddensiek, Wilfried; Kaiser, Franz-Josef; Kaminski, Hans (1980): Grundprobleme des Modelldenkens im sozioökonomischen Unterricht. In: Herbert Stachowiak (Hg.): Modelle und Modelldenken im Unterricht. Anwendungen d. allg. Modelltheorie auf d. Unterrichtspraxis. Bad Heilbrunn/Obb: Klinkhardt, S. 92–122.

Burkard, Franz-Peter; Weiss, Axel (2008): dtv-Atlas Pädagogik. München: Dt. Taschenbuch-Verl.

Chandler, Paul; Sweller, John (1991): Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. In: *Cognition and Instruction* 8 (4), S. 293–332.

Chandler, Paul; Sweller, John (1996): Cognitive Load While Learning to Use a Computer Program. In: *Applied Cognitive Psychology* 10 (2), S. 151–170.

Cherryholmes, Cleo H. (1976): Über einige Untersuchungen zur Wirksamkeit von Simulationsspielen. Implikationen für Alternativstrategien. In: Jürgen Lehmann und Gerhard Portele (Hg.): Simulationsspiele in der Erziehung. Weinheim ; Basel: Beltz, S. 176–185.

Collins, Allan; Brown, John S.; Newman, Susan E. (1989): Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In: Lauren B. Resnick (Hg.): Knowing, learning, and instruction. Essays in honor of Robert Glaser. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, S. 453–494.

Cooper, Graham (1998): Research into Cognitive Load Theory and Instructional Design at UNSW. School of Education Studies, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia. Online verfügbar unter <http://dwb4.unl.edu/Diss/Cooper/UNSW.htm>, zuletzt geprüft am 24.08.2012.

Coultas, Chris W.; Grossman, Rebecca; Salas, Eduardo (2012): Design, Delivery, Evaluation, and Transfer of Training Systems. In: Gavriel Salvendy (Hg.): Handbook of human factors and ergonomics. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley, S. 490–533.

Cube, Felix von (1965): Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens. Stuttgart: Klett.

Cube, Felix von (1970): Der kybernetische Ansatz in der Didaktik. In: Detlef C. Kochan (Hg.): Allgemeine Didaktik, Fachdidaktik, Fachwissenschaft. Ausgewählte Beiträge aus den Jahren 1953 bis 1969. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 143–170.

Czycholl, Reinhard; Ebner, Hermann G. (2006): Handlungsorientierung in der Berufsbildung. In: Rolf Arnold und Antonius Lipsmeier (Hg.): Handbuch der Berufsbildung. 2. überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 44–54.

Dekkers, John; Donatti, Stephen (1981): The Integration of Research Studies on the Use of Simulation as an Instructional Strategy. In: *Journal of Educational Research* 74, S. 424-247.

de Witt, Claudia; Czerwionka, Thomas (2007): *Mediendidaktik*. Bielefeld: Bertelsmann.

Dieterich, Rainer (1994): Simulation als Lernmethode. In: Jörg Petersen und Gerd-Bodo Reinert (Hg.): *Lehren und lernen im Umfeld neuer Technologien. Reflexionen vor Ort*. Frankfurt/M; New York: Lang, S. 207–224.

Dubs, Rolf (2000): Lernfeldorientierung: Löst dieser neue curriculare Ansatz die alten Probleme der Lehrpläne und des Unterrichts an Wirtschaftsschulen? In: Antonius Lipsmeier und Günter Pätzold (Hg.): *Lernfeldorientierung in Theorie und Praxis*. Stuttgart: Steiner, S. 15–32.

Edelmann, Walter; Wittmann, Simone (2012): *Lernpsychologie*. 7., vollständig überarbeitete Aufl. Weinheim, Bergstr: Beltz, J.

Emcos (2012): EMC Studio. Online verfügbar unter <http://www.emcos.com/EMC>, zuletzt geprüft am 29.07.2012.

Engeler, Knut (2003): Kursmaterial des Projekts eL3. Modul Animationen und Simulationen. Unter Mitarbeit von Jan de Haas und Elke Sander. Hg. v. Verbundprojekt eL3 und FIM-Neues Lernen. Universität Oldenburg. Online verfügbar unter http://www-cg-hci.informatik.uni-oldenburg.de/~el3/biologie/el3_ol_biologie_simulation-animation_v03.1/biologie_simulation_animation_start.html, zuletzt aktualisiert am 06.12.2004, zuletzt geprüft am 29.02.2012.

Euler, Dieter; Seufert, Sabine; Wilbers, Karl (2006): eLearning in der Berufsbildung. In: Rolf Arnold und Antonius Lipsmeier (Hg.): *Handbuch der Berufsbildung*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Fäßler, Victor B. (2000): *Entwicklung von Simulationen für technische Lernprozesse*. Dissertation. Frankfurt/M; New York: Lang.

Fischer, Martin (2006): Arbeitsprozesswissen als zentraler Gegenstand einer dömänenspezifischen Qualifikations- und Curriculumforschung. In: Günter Pätzold und Felix Rauner (Hg.): *Qualifikationsforschung und Curriculumentwicklung*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 75–93.

Fischer, Martin; Bauer, Waldemar (2007): Konkurrierende Konzepte für die Arbeitsprozessorientierung in der deutschen Curriculumentwicklung. In: *Europäische Zeitschrift für Berufsbildung* 40 (1), S. 157–176.

Gagné, Robert M. (1985): *The conditions of learning and theory of instruction*. 4. Aufl. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Gerstenmaier, Jochen; Mandl, Heinz (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 41, S. 867–888.

Gerstenmaier, Jochen; Mandl, Heinz (2009): Konstruktivistische Ansätze in der Erwachsenenbildung und Weiterbildung. In: Rudolf Tippelt und Aiga von Hippel (Hg.): *Handbuch Erwachsenenbildung, Weiterbildung*. 3., überarb. und erw. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 169–178.

Gibson, David (2009): Complex Systems Concepts in Simulations. In: David Gibson und Youngkyun Baek (Hg.): *Digital simulations for improving education. Learning through artificial teaching environments*. Hershey, Pa: Information Science Reference, S. 452–461.

Glöckel, Hans (2003): *Vom Unterricht. Lehrbuch der allgemeinen Didaktik*. 4. Aufl. Bad Heilbrunn/Obb: Klinkhardt.

Gräsel, Cornelia; Gniewosz, Burkhard (2010): Überblick Lehr-Lernforschung. In: Heinz Reinders, Hartmut Ditton, Cornelia Gräsel und Burkhard Gniewosz (Hg.): *Empirische Bildungsforschung. Strukturen und Methoden*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 15–20.

Härtel, Michael; Maier, Erwin; Zinke, Gert (2002): E-Learning - Anspruch und Praxis. Forum 4 / BIBB Fachkongress, BWP 5/2002. Online verfügbar unter <http://www.bibb.de/redaktion/fachkongress2002/material/forum4/ak1/thesen.pdf>, zuletzt aktualisiert am 31.10.2002, zuletzt geprüft am 01.04.2011.

Hattie, John (2009): *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London, New York: Routledge.

Heimann, Paul; Otto, Gunter; Schulz, Wolfgang (1970): *Unterricht. Analyse und Planung*. Hannover [u.a.]: Schroedel.

Helmke, Andreas (2010): *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.

Henrich, Joseph; Heine, Steven J.; Norenzayan, Ara (2010a): Most people are not WEIRD. In: *Nature* 466 (7302), S. 29.

Henrich, Joseph; Heine, Steven J.; Norenzayan, Ara (2010b): The weirdest people in the world? In: *Behavioral and Brain Sciences* 33 (2-3), S. 61–83.

Hiller, Gotthilf Gerhard (1973): *Konstruktive Didaktik. Beiträge zur Definition von Unterrichtszielen durch Lehrformen und Unterrichtsmodelle : Umriss einer empirischen Unterrichtsforschung*. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann (Sprache und Lernen, Bd. 22).

Holzinger, Andreas (2001): *Basiswissen Multimedia. Band 2: Lernen*. 1. Aufl. Würzburg: Vogel.

Honey, Peter; Mumford, Alan (1982): The manual of learning styles. Maidenhead: P. Honey.

Inbar, Michael; Stoll, Clarice S. (1976): Spiele und Lernen. In: Jürgen Lehmann und Gerhard Portele (Hg.): Simulationsspiele in der Erziehung. Weinheim ; Basel: Beltz, S. 137–151.

Industriehansa: EMV Emissionsuntersuchungen für Türsteuergeräte. Online verfügbar unter <http://www.industriehansa.de>, zuletzt geprüft am 19.06.2012.

Initiative D21 (2011): Bildungsstudie: Digitale Medien in der Schule. Eine Sonderstudie im Rahmen des (N)Onliner Atlas 2011. Online verfügbar unter http://www.initiaved21.de/wp-content/uploads/2011/05/NOA_Bildungsstudie_140211.pdf, zuletzt geprüft am 29.07.2013.

Jarz, Ewald M. (1997): Entwicklung multimedialer Systeme. Planung von Lern- und Masseninformatiionssystemen. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Gabler Edition Wissenschaft. Forum Produktionswirtschaftliche Forschung).

Jolie, Susan; Katzky, Uwe; Bredl, Klaus; Kappe, Frank; Krause, Dirk (2011): Simulationen und simulierte Welten - Lernen in immersiven Lernumgebungen. In: Martin Ebner und Sandra Schön (Hg.): Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien.

Kaese, Jürgen; Rund, Wolfgang (2006): Metalltechnik Grundwissen. PC-Animationen. Version 1.0. Braunschweig: Westermann.

Karwowski, Waldemar (2012): The Discipline Of Ergonomics And Human Factors. In: Gavriel Salvendy (Hg.): Handbook of human factors and ergonomics. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley, S. 3–31.

Kerres, Michael (1999): Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen. In: *HMD-Praxis der Wirtschaftsinformatik* 36 (205), S. 9–21.

Kerres, Michael (2000): Medienentscheidungen in der Unterrichtsplanung. Zu Wirkungsargumenten und Begründungen des didaktischen Einsatzes digitaler Medien. In: *Bildung und Erziehung* 53 (1), S. 19–39.

Kerres, Michael (2001): Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung. 2., vollständig überarbeitete Aufl. München: Oldenbourg.

Kerres, Michael (2003): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In: Reinhard Keil-Slawik und Michael Kerres (Hg.): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. Münster ; New York ; München [etc.]: Waxmann, S. 31–44.

- Kerres, Michael (2005): Gestaltungsorientierte Mediendidaktik und ihr Verhältnis zur Allgemeinen Didaktik. In: Peter Stadtfeld und Bernhard Dieckmann (Hg.): Allgemeine Didaktik im Wandel. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 214–234.
- Kerres, Michael (2008): Mediendidaktik. In: F. von Gross, K.-U Hugger und U. Sander (Hg.): Handbuch Medienpädagogik. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kerres, Michael (2012): Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote. 3. Aufl. München: Oldenbourg.
- Kerschensteiner, Georg (1906/1954): Produktive Arbeit und ihr Erziehungswert (1906). In: Josef Dolch (Hg.): Grundfragen der Schulorganisation. 7. Aufl. München; Düsseldorf: Oldenbourg, S. 64–97.
- Kiel, Ewald (2008): Unterricht sehen, analysieren, gestalten: Julius Klinkhardt.
- Kiefer, Markus; Hönig, Klaus; Hoidekr, Harald (2007a): Gehirngerechtes Lernen in der beruflichen Bildung. Hg. v. Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH und Universität Ulm. Ulm (Broschüre herausgeben von Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH).
- Kiefer, Markus; Sim, Eun-Jin; Liebich, Sarah; Hauk, Olaf; Tanaka, James (2007b): Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. In: *Journal of cognitive neuroscience* 19 (3), S. 525–542.
- Kinzie, Mable B.; Sullivan, Howard J.; Berdel, Richard L. (1992): Motivational and Achievement Effects of Learner Control Over Content Review Within Cai. In: *Journal of Educational Computing Research* 8 (1), S. 101–114.
- Klafki, Wolfgang (1959): Kategoriale Bildung. Zur bildungstheoretischen Deutung der modernen Didaktik. In: *Zeitschrift für Pädagogik* (5), S. 386–412.
- Klafki, Wolfgang (1964): Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung. Weinheim, Bergstr: Beltz (Göttinger Studien zur Pädagogik, 6).
- Klafki, Wolfgang (1974): Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz (Beltz-Studienbuch, 1).
- Klafki, Wolfgang (1975): Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Durch ein kritisches Vorwort erg. Aufl. von 1975. Weinheim [u.a.]: Beltz (Beltz Studienbuch, 1).
- Klafki, Wolfgang (1980a): Die bildungstheoretische Didaktik im Rahmen kritisch-konstruktiver Erziehungswissenschaft. In: *Westermanns pädagogische Beiträge* 32 (1), S. 32–37.
- Klafki, Wolfgang (1980b): Zur Unterrichtsplanung im Sinne kritisch-konstruktiver Didaktik. In: Bijan Adl-Amini und Rudolf Künzli (Hg.): Didaktische Modelle und Unterrichtsplanung. München: Juventa-Verlag (Juventa-Paperback), S. 11–48.

Klafki, Wolfgang (1986): Die bildungstheoretische Didaktik im Rahmen kritisch-konstruktiver Erziehungswissenschaft. In: Herbert Gudjons (Hg.): Didaktische Theorien. Hamburg: Bergmann + Helbig (WPB-Bücher, 1), S. 11–27.

Klafki, Wolfgang (1991): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. 2. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz.

Klafki, Wolfgang (Hg.) (1994): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. 5. Aufl. Weinheim [u.a.]: Beltz.

Klafki, Wolfgang (Hg.) (2007): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. 6. Aufl. Weinheim; Basel: Beltz.

Klimsa, Paul (2002): Multimediane Nutzung aus psychologischer und didaktischer Sicht. In: Ludwig J. Issing und Paul Klimsa (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz PVU, S. 5–17.

KMK (2007): Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Online verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_09_01-Handreich-RIpl-Berufsschule.pdf, zuletzt geprüft am 26.09.2011.

Knorr-Cetina, Karin (1981): The manufacture of knowledge. An essay on the constructivist and contextual nature of science. Oxford, New York: Pergamon Press (Pergamon international library of science, technology, engineering, and social studies).

Köhler, Thomas; Kahnwald, Nina; Reitmaier, Martina (2008): Lehren und Lernen mit Multimedia und Internet. In: Bernad Batinic und Markus Appel (Hg.): Medienpsychologie. Heidelberg: Springer, S. 477–501.

Kopp, Birgitta; Schulze, Elvira; Mandl, Heinz (2008): Which Design Principles Influence Acceptance and Motivation in Professional E-Learning? In: Jörg Zumbach, Neil Schwartz, Tina Seufert und Liesbeth Kester (Hg.): Beyond knowledge: The legacy of competence. Meaningful computer-based learning environments. Dordrecht: Springer, S. 83–92.

Kosslyn, Stephen M. (1980): Image and mind. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Kosslyn, Stephen M. (1981): The medium and the message in mental imagery: A theory. In: *Psychological Review* 88 (1), S. 46–66.

- Kosslyn, Stephen M. (2005): Mental Images And The Brain. In: *Cognitive Neuropsychology* 22 (3/4), S. 333–347.
- Kozma, Robert B. (1991): Learning with Media. In: *Review of Educational Research* 61 (2), S. 179–211.
- Krogoll, Tilmann; Pohl, Wolfgang; Wanner, Claudia (1988): CNC-Grundlagenausbildung mit dem Konzept CLAUS. Didaktik u. Methoden. Frankfurt/Main ; New York: Campus-Verl.
- Kron, Friedrich Wilhelm (2008): Grundwissen Didaktik. 5. Aufl. München [u.a.]: Reinhardt.
- Kron, Friedrich Wilhelm; Sofos, Alivisos (2003): Mediendidaktik. Neue Medien in Lehr- und Lernprozessen ; mit 6 Tabellen. München ; Basel: E. Reinhardt.
- Kusch, Werner (1992): Eine vergleichende Bewertung von zwei CNC-Ausbildungskonzepten. Computersimulations- und werkzeugmaschinenorientierte Ausbildung. Dissertation. Technische Universität, München. Lehrstuhl für Ergonomie.
- Lee, June (1999): Effectiveness of computer-based instructional simulation: A meta-analysis. In: *International Journal of Instructional Media* 26 (1), S. 71–85.
- Lipsmeier, Antonius (2000a): Systematisierungsprinzipien für berufliche Curricula. In: Antonius Lipsmeier und Günter Pätzold (Hg.): Lernfeldorientierung in Theorie und Praxis. Stuttgart: Steiner, S. 54–71.
- Lipsmeier, Antonius (2000b): Der Stellenwert des Berufskonzeptes im Wandel der beruflichen Bildung. Oder: Von der Beruflichkeit über die Berufsbildung zur Arbeitsbezogenen Allgemeinbildung. In: Rolf Dubs, Christoph Metzger, Hans Seitz und Franz Eberle (Hg.): Impulse für die Wirtschaftspädagogik. Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Dres h.c. Rolf Dubs. 1. Aufl. Zürich: Verlag SKV, S. 111–132.
- Mandl, Heinz; Gruber, Hans; Renkl, Alexander (2002): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Ludwig J. Issing und Paul Klimsa (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU, S. 139–148.
- Maran, N. J.; Glavin, R. J. (2003): Low- to high-fidelity simulation - a continuum of medical education? In: *Medical Education* 37 (Issue Supplement 1), S. 22–28.
- Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J. (1980): Autopoiesis and cognition. The realization of the living. Dordrecht: Reidel.
- Mayer, Richard E. (1997): Multimedia learning: Are we asking the right questions? In: *Educational Psychologist* 32 (1), S. 1–19.

Mayer, Richard E. (2005): Cognitive theory of multimedia learning. In: Richard E. Mayer (Hg.): The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge, U.K. ; New York: Cambridge University Press, S. 31–48.

Mayer, Richard E.; Moreno, Roxana (1998): A Cognitive Theory of Multimedia Learning: Implications for Design Principles. ACM SIGCHI Conference on Human Factors Computing Systems. Los Angeles, CA, April 1998.

McKenna, Kevin (1989): The use and effectiveness of computer based models of the economy in the teaching of macroeconomics. Unveröffentlichte Dissertation. University of Western Australia, Perth.

Meister, Dorothee M. (2008): Schule und Medien. In: Werner Helsper und Jeanette Böhme (Hg.): Handbuch der Schulforschung. 2., durchges. und erw. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 513–529.

Mentor Graphics (2013): FloEFD. Online verfügbar unter <http://www.mentor.com/products/mechanical/de/products/floefd/>, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Meyer, Meinert A.; Meyer, Hilbert (2007): Wolfgang Klafki. Eine Didaktik für das 21. Jahrhundert? Weinheim, Basel: Beltz (Pädagogik).

Mienert, Malte; Pitcher, Sabine (2011): Pädagogische Psychologie. Theorie und Praxis des lebenslangen Lernens. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Müller, Dieter; Steenbock, Jürgen (1997): Abschlußbericht zum Modellversuch Hypermediagestützte Simulationssysteme für berufliche Schulen. Hg. v. Freie Hansestadt Bremen. Senator für Bildung, Wissenschaft Kunst und Sport. Bremen. Online verfügbar unter <http://www.artelab.uni-bremen.de/Projects/Hysim/hysim-abschlussbericht.pdf>.

Norman, Geoff; Dore, Kelly; Grierson, Lawrence (2012): The minimal relationship between simulation fidelity and transfer of learning. In: *Medical Education* 46 (7), S. 636–647.

Nüse, Ralf (1995): Über die Erfindung/en des Radikalen Konstruktivismus. Kritische Gegenargumente aus psychologischer Sicht. 2. Aufl. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.

Paas, Fred; Renkl, Alexander; Sweller, John (2003): Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. In: *Educational Psychologist* 38 (1), S. 1–4.

Paivio, Allan (1971): Imagery and verbal processes. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Paivio, Allan (1990): Mental representations. A dual coding approach. New York, Oxford [England]: Oxford University Press; Clarendon Press.

Papert, Seymour (1972): Teaching Children to be Mathematicians Versus Teaching About Mathematics. In: *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 3 (3), S. 249–262.

Paris, Scott G.; Lipson, Marjorie Y.; Wixson, Karen K. (1983): Becoming a strategic reader. In: *Contemporary Educational Psychology* 8 (3), S. 293–316.

Pensky, Dirk (2012): Einsatz virtueller Wartung von Produktionsanlagen in der beruflichen Bildung. In: Michael Schenk (Hg.): Tagungsband der Fachtagung Digital Engineering der IFF-Wissenschaftstage 2012. Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme. IFF-Wissenschaftstage, 26.–28. Juni 2012 in Magdeburg. Magdeburg, S. 43–48.

Piaget, Jean (1974): Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde. 1. Aufl. Stuttgart: E. Klett.

Pongratz, Ludwig A. (2010): Kritische Erwachsenenbildung. Analysen und Anstöße. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Pongratz, Ludwig A.; Wimmer, Michael; Nieke, Wolfgang (2004): Nach Foucault. Diskurs- und machtanalytische Perspektiven der Pädagogik. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss. (Schriftenreihe der Kommission Bildungs- und Erziehungsphilosophie der DGfE).

Popp, Walter (1970): Die Funktion von Modellen in der didaktischen Theorie. In: Günther Dohmen, Friedemann Maurer und Walter Popp (Hg.): Unterrichtsforschung und didaktische Theorie. Texte. München: Piper, S. 49–60.

Portele, Marei (1976): Behauptete pädagogische Effekte von Simulationsspielen. In: Jürgen Lehmann und Gerhard Portele (Hg.): Simulationsspiele in der Erziehung. Weinheim; Basel: Beltz, S. 235–245.

Precht, Richard David (2013): Anna, die Schule und der liebe Gott. Der Verrat des Bildungssystems an unseren Kindern. München: Goldmann.

Pylyshyn, Zenon W. (1973): What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. In: *Psychological Bulletin* 80 (1), S. 1–24.

Rasch, Thorsten; Schnotz, Wolfgang (2006): Lernen ermöglichen - Lernen erleichtern. Was die Cognitive Load Theorie (wirklich) empfiehlt. In: Ingmar Hosenfeld und Friedrich-Wilhelm Schrader (Hg.): Schulische Leistung. Grundlagen, Bedingungen, Perspektiven. Münster, München [u.a.]: Waxmann, S. 183–204.

Rauner, Felix (2002): Die Bedeutung des Arbeitsprozesswissens für eine gestaltungsorientierte Berufsbildung. In: Martin Fischer und Felix Rauner (Hg.): Lernfeld: Arbeitsprozess. Ein Studienbuch zur Kompetenzentwicklung von Fachkräften in gewerblich-technischen Aufgabenbereichen. 1. Aufl. Baden-Baden: Nomos-Verl.-Ges, S. 25–52.

Rauner, Felix (2007): Der Beruf als Dreh- und Angelpunkt der Berufsbildungsforschung. Netzwerk Gesellschaftsethik e. V. (Ausgabe 1). Online verfügbar unter <http://www.denk-doch-mal.de/node/42>, zuletzt geprüft am 17.09.2013.

Rauner, Felix (2012): Lernfelder als Dreh- und Angelpunkt für eine moderne Berufsbildung - ein gescheitertes Reformprojekt? In: *Berufsbildung: Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule* 66 (134), S. 15–17.

Reich, Kersten (2009): Konstruktivistische Didaktik. Kontexte und handlungsbezogene Perspektiven. In: Wilfried Plöger (Hg.): Lernen in der Schule. Dimensionen einer schulpädagogischen Theorie des Lernens. 1. Aufl. Münster, Westf: Aschendorff, S. 30–47.

Reinmann, Gabi; Mandl, Heinz (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Andreas Krapp und Bernd Weidenmann (Hg.): Pädagogische Psychologie. 5. Aufl. Weinheim: Beltz PVU, S. 613–658.

Reimann, Peter (2001): Lernen in der Virtualität. Aktuelle Erkenntnisse der Lernpsychologie. In: *DIE - Zeitschrift für Erwachsenenbildung* 8 (3), S. 28–29. Online verfügbar unter <http://www.diezeitschrift.de/32001/positionen3.htm>.

Remmer, Anne M.; Jernstedt, G. Christian (1982): Comparative Effectiveness of Simulation Games in Secondary and College Level Instruction: A Meta-Analysis. In: *Psychological Reports* 51 (3), S. 742.

Renkl, Alexander (1994): Träges Wissen: Die "unerklärliche" Kluft zwischen Wissen und Handeln. Forschungsbericht Nr. 41. LMU, München. Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.

Renkl, Alexander (1996): Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. In: *Psychologische Rundschau* 47 (2), S. 78–92.

Rey, Günter Daniel (2009): E-Learning. Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung. 1. Aufl. Bern: Huber.

Richter, Helmut (2001): Berufsschule und Arbeitsprozesse. Stand der Diskussion und aktuelle Perspektiven. In: *lernen & lehren* (64), S. 155–162.

Rickheit, Gert; Herrmann, Theo; Deutsch, Werner (2003): Psycholinguistik. Handbücher Zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft: de Gruyter.

Rieber, Lloyd P. (2005): Multimedia Learning in Games, Simulations, and Microworlds. In: Richard E. Mayer (Hg.): The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge, U.K. ; New York: Cambridge University Press, S. 549–567.

Riedl, Alfred (2010): Eine Didaktik für die berufliche Bildung. In: *Berufsbildung: Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule* 64 (124), S. 2.

Riedl, Alfred; Schelten, Andreas (2006): Handlungsorientiertes Lernen. Aktuelle Entwicklungen aus der Lehr-Lern-Forschung und deren Anwendung im Unterricht. Lehrstuhl für Pädagogik, Technische Universität München. München (Teilnehmerunterlagen einer Lehrerfortbildung am 14. Februar 2006).

Ross, Ernst (1994): Computerunterstütztes Lernen (CUL) - von der Euphorie zur realistischen Betrachtung. In: *W & B* 46 (4), S. 106–117, zuletzt geprüft am 31.03.2011.

Sacher, Werner (1998): Multimedia und Computersimulationen im Unterricht. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)* 51 (8), S. 452–458.

Sacks, Oliver W. (2011): Das innere Auge. Neue Fallgeschichten. 1. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Salomon, Gavriel (1981): Introducing AIME: The assessment of children's mental involvement with television. In: *New Directions for Child and Adolescent Development* (13), S. 89–102.

Salomon, Gavriel (1984): Television is easy and print is tough. The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. In: *Journal of Educational Psychology* (76), S. 647–658.

Salomon, Gavriel; Perkins, D. N. (1996): Learning in Wonderland. What do computers really offer education? In: Stephen T. Kerr (Hg.): *Technology and the Future of Schooling*. Chicago: University of Chicago Press (NSSE Yearbook, Volume: 95 Issue: 2), S. 111–130.

Salzmann, Christian (1974): Bedeutung des Modellbegriffs in Unterrichtsforschung und Unterrichtsplanung. In: Leo Roth und Gerhardt Petrat (Hg.): *Unterrichtsanalysen in der Diskussion. Arbeitsgespräch über den Erkenntniswert von Unterrichtsanalysen für Forschung und Lehre*. Hannover, Dortmund, Darmstadt, Berlin: Schroedel, S. 171–205.

Schneider, Kordula (2005a): Das Lernfeldkonzept – zwischen theoretischen Erwartungen und praktischen Realisierungsmöglichkeiten. In: Kordula Schneider, Elfriede Brinker-Meyendriesch und Alfred Schneider (Hg.): *Pflegepädagogik. Für Studium und Praxis*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 79–113.

Schneider, Kordula (2005b): Orientierungshilfen für die Einführung von Handlungsorientierung. In: Kordula Schneider, Elfriede Brinker-Meyendriesch und Alfred Schneider (Hg.): *Pflegepädagogik. Für Studium und Praxis*. 2. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 115–146.

Schneider, Olaf; Wittenbröker, Volker (2010): Digitale Lernwelten und Lernsoftware: Die ›Designer-Perspektive‹ oder Wie kann man Metaphern mit Leben füllen? In: Kai-

Uwe Hugger und Markus Walber (Hg.): Digitale Lernwelten. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 269–284.

Schnotz, Wolfgang (1993): On the relation of dual coding and mental models in graphics comprehension. In: *Learning and Instruction* 3 (3), S. 247–249.

Schnotz, Wolfgang (2001): Wissenserwerb mit Multimedia. In: *Unterrichtswissenschaft* (29), S. 292–318.

Schnotz, Wolfgang; Böckheler, Justus; Grzondziel, Harriet; Gärtner, Ilse; Wächter, Michael (1998): Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern. In: *Zeitschrift für pädagogische Psychologie* 12 (2-3), S. 135–145.

Schütte, Friedhelm (1998): Handlungsorientierung. In: Jörg-Peter Pahl und Ernst Uhe (Hg.): *Betrifft: Berufsbildung. Begriffe von A - Z für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule*. Seelze (Velber): Kallmeyer, S. 91.

Schütte, Friedhelm (2013): Disziplinäre Dynamik der Berufspädagogik - ein Kommentar. In: Bernhard Bonz (Hg.): *Berufspädagogik im Wandel. Diskurse zum System beruflicher Bildung und zur Professionalisierung*. Baltmannsweiler: Schneider Verl. Hohengehren (Diskussion Berufsbildung, 10), S. 15–34.

Schulmeister, Rolf (2000): Didaktische Aspekte hypermedialer Lernsysteme. Lernvoraussetzungen, kognitive Re-Interpretation und Interaktion. In: Rudolf Kammerl und Hermann Astleitner (Hg.): *Computerunterstütztes Lernen*. München; Wien: Oldenbourg, S. 40–52.

Schulmeister, Rolf (2007): *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme. Theorie - Didaktik - Design*. 4., überarb. und aktualisierte Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg.

Schulz, Wolfgang (1980): Die lerntheoretische Didaktik. Oder: Didaktisches Handeln im Schulfeld. In: *Westermanns pädagogische Beiträge* 32 (2), S. 80–85.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport (2005): *eEducation Masterplan Berlin*. Online verfügbar unter http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/eeducation/eeducation_masterplan_berlin_2005.pdf, zuletzt aktualisiert am 21.09.2004, zuletzt geprüft am 22.01.2013.

Severing, Eckart (2001): Entberuflichung der Erwerbsarbeit – Folgerungen für die betriebliche Bildung. In: Arbeitsgemeinschaft QUEM (Hg.): *Kompetenzentwicklung 2001. Tätigsein, Lernen, Innovation*. Münster [u.a.]: Waxmann (Kompetenzentwicklung, 6), S. 247–280.

Siemon, Jens (2006): Virtual Reality zum selbstgesteuerten Lernen in metalltechnischen Berufen. In: *Lernen & Lehren* 21 (84), S. 167–171.

Skinner, Burrhus F. (1978): *Was ist Behaviorismus?* 1. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

- Spiro, Rand J.; Coulson, Richard L.; Feltovich, Paul J.; Anderson, Daniel K. (1988): Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In: The Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates, S. 375–383.
- Spitzer, Manfred (2010): Generation Google. Wie verändern digitale Medien unsere Bildung, Moral und personale Identität? In: *Nervenheilkunde* (11), S. 711–716.
- Spitzer, Manfred (2012): Digitale Demenz. Wie wir uns und unsere Kinder um den Verstand bringen. München: Droemer.
- Sturm, Jörg C.; Busch, Guido; Spangenberg, Jens (2004): Stand der Simulation für Gusseisen. In: *Gießerei Kompakt* (2), S. 4–15.
- Sweller, John (1988): Cognitive load during problem solving: Effects on learning. In: *Cognitive Science* 12 (2), S. 257–285.
- Sweller, John (1994): Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. In: *Learning and Instruction* 4 (4), S. 295–312.
- Tenberg, Ralf (2001): Multimedia und Telekommunikation im beruflichen Unterricht. Theoretische Analyse und empirische Untersuchungen im gewerblich-technischen Berufsfeld. Habilitationsschrift. Frankfurt/M; New York: Lang.
- Tenberg, Ralf (2010): Lernfelddidaktik - immer noch eine Herausforderung. In: *Berufsbildung: Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule* (64), S. 3–7.
- Tenberg, Ralf (2011): Vermittlung Fachlicher und überfachlicher Kompetenzen in Technischen Berufen. Theorie und Praxis der Technikdidaktik. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.
- Tennyson, Robert D.; Breuer, Klaus (2002): Improving problem solving and creativity through use of complex-dynamic simulations. In: *Computers in Human Behavior* 18 (6), S. 650–668.
- The Cognition And Technology Group At Vanderbilt (1990): Anchored Instruction and Its Relationship to Situated Cognition. In: *Educational Researcher* 19 (6), S. 2–10.
- The Cognition And Technology Group At Vanderbilt (1991): Technology and the Design of Generative Learning Environments. In: *Educational Technology* 31 (5), S. 34–40.
- The Cognition And Technology Group At Vanderbilt (1992): The Jasper Series as an Example of Anchored Instruction: Theory, Program Description, and Assessment Data. In: *Educational Psychologist* 27 (3), S. 291–315.
- The Cognition And Technology Group At Vanderbilt (1993): Anchored Instruction and Situated Cognition Revisited. In: *Educational Technology* 33 (3), S. 52–70.

- Thissen, Frank (1998): Lernort Multimedia. Zu einer konstruktivistischen Multimedia-Didaktik. In: Andrea Nispel, Richard Stang und Friedrich Hagedorn (Hg.): Pädagogische Innovation mit Multimedia 1. Analysen und Lernorte, S. 29–43.
- Treichler, D. G. (1967): Are you missing the boat in training aids? In: *Film and Audio-Visual Communication* (1), S. 14-16+29-30+48.
- Tulodziecki, Gerhard (1994): Medienerziehung. Konzeptionelle Überlegungen für ein Mindestprogramm. In: *Medien Schulpraxis* (1/2), S. 31–34.
- Tulodziecki, Gerhard (2002): Mediendidaktik. In: Joachim-Felix Leonhard, Hans-Werner Ludwig, Dietrich Schwarze und Erich Straßner (Hg.): Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen. Berlin, New York: de Gruyter, S. 2807–2819.
- Tulodziecki, Gerhard (2011): Handeln und Lernen in einer von Medien mitgestalteten Welt. Konsequenzen für Erziehung und Bildung. In: Carsten Albers, Johannes Magenheim und Dorothee M. Meister (Hg.): Schule in der digitalen Welt. Medientheoretische Ansätze und Schulforschungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 43–64.
- Tulodziecki, Gerhard (2012): Medienpädagogische Kompetenz und Standards in der Lehrerbildung. In: Renate Schulz-Zander, Birgit Eickelmann, Heinz Moser, Horst Niesyto und Petra Grell (Hg.): Jahrbuch Medienpädagogik 9. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 271–297.
- Tulodziecki, Gerhard; Herzig, Bardo (2010): Mediendidaktik. Medien in Lehr- und Lernprozessen verwenden. München: KoPaed.
- Urhahne, Detlef; Harms, Ute (2006): Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. In: *Unterrichtswissenschaft* 34 (4), S. 358–377.
- Urhahne, Detlef; Prenzel, Manfred; Davier, Matthias von; Senkbeil, Martin; Bleschke, Michael (2000): Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 6, S. 157–186.
- VanSickle, Ronald L. (1986): A quantitative review of research on instructional simulation gaming: A twenty-year perspective. In: *Theory and Research in Social Education* 14 (3), S. 245–264.
- Weber, Wolfgang G. (1994): Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen. Ein arbeitswissenschaftlicher Leitfaden für die Praxis. Zürich, Stuttgart: Vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich; Teubner.
- Weidenmann, Bernd (2002): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Ludwig J. Issing und Paul Klimsa (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. 3., vollst. überarb. Weinheim: Beltz, PVU, S. 45–62.

Weinert, Franz E. (2000): Lehren und Lernen für die Zukunft - Ansprüche an das Lernen in der Schule. Vortrag, gehalten am 29.2.2000 im Pädagogischen Zentrum Rheinland-Pfalz in Bad Kreuznach. Sonderdruck. Pädagogische Nachrichten. 2000,2. Bad Kreuznach, 2000.

Wenninger, Gerd (Hg.) (2002): Lexikon der Psychologie. A bis Z (inkl. Register). Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verl.

Wille, Matthias; Kamlahs, Wilhelm; Lorenzens, Paul (2011): Die Disziplinierung des Denkens. In: Bernhard Pörksen (Hg.): Schlüsselwerke des Konstruktivismus. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 160–174.

Winn, William (2002): Current Trends in Educational Technology Research. The Study of Learning Environments. In: *Educational Psychology Review* 14 (3), S. 331–351.

Wippich, Werner (1984): Lehrbuch der angewandten Gedächtnispsychologie. Band 1 Stuttgart: Kohlhammer.

Zhang, Jianwei; Chen, Qi; Sun, Yanqing; Reid, David J. (2004): Triple scheme of learning support design for scientific discovery learning based on computer simulation: experimental research. In: *Journal of Computer Assisted Learning* 20 (4), S. 269–282.

7.4. Literaturverzeichnis Kapitel 4

Anderl, Reiner; Binde, Peter (2010): Simulationen mit NX. Kinematik, FEM und CFD und Datenmanagement ; mit zahlreichen Beispielen für NX 7.5 ; [auf CD: die Daten aller im Buch enthaltenen Lernaufgaben]. 2. Aufl. München: Hanser.

Beetz, Bernhard (2008): Elektroniksimulation mit PSPICE. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

Bernhardt, Ralph (2006): Simulation in der Massivumformung. Hagen: Infostelle Industrieverb. Massivumformung.

Fandel, Günter; François, Peter; Gubitz, Klaus-M (2002): CAD-Marktstudie. Grundlagen, Methoden, Software, Marktanalyse. 130 CAD-Produkte im direkten Vergleich. 2. Aufl. Hagen: AIP-Inst.

FESTO Didactic (2013): CIROS® Automation Suite - Software & E-Learning – Lernsysteme - Festo Didactic. Online verfügbar unter <http://www.festo-didactic.com/de/de/lernsysteme/software-e-learning/ciros-automation-suite/?fbid=ZGUuZGUuNTQ0LjEzLjIwLjExMTA>, zuletzt geprüft am 09.01.2013.

Flegel, Georg; Birnstiel, Karl; Nerreter, Wolfgang (2009): Elektrotechnik für Maschinenbau und Mechatronik. 9. Aufl. München: Hanser.

- Fritz, Alfred Herbert; Schulze, Günter (Hg.) (2008): Fertigungstechnik. 8., neu bearb. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Harvard (2011): What is CAD/CAM? Harvard University, Graduate School of Design, Fabrication Laboratory. Online verfügbar unter <http://internal.gsd.harvard.edu/inside/cadcam/whatis.html>, zuletzt geprüft am 11.12.2012.
- Hehenberger, Peter (2011): Computerunterstützte Fertigung. Eine kompakte Einführung. 1. Aufl. Berlin[u.a]: Springer Berlin.
- Heinemann, Robert (2011): PSPICE. Einführung in die Elektroniksimulation. 7. Aufl. München: Hanser, Carl.
- Hoffknecht, Andreas (2007): Siliziumelektronik. In: Hans-Jörg Bullinger (Hg.): Technologieführer. Grundlagen - Anwendungen - Trends ; mit 11 Tabellen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 60–67.
- Kaese, Jürgen; Rund, Wolfgang (2006): Metalltechnik Grundwissen. PC-Animationen. Version 1.0. Braunschweig: Westermann.
- Kahlert (2013a): Flexible Animation Builder für BORIS (Release 6). Online verfügbar unter <http://www.kahlert.com/web/fab.php>, zuletzt geprüft am 08.01.2013.
- Kahlert (2013b): WinFACT. Online verfügbar unter <http://www.kahlert.com/web/uebersichtwf.php>, zuletzt geprüft am 08.01.2013.
- Kampe, Gerald; Mayer, Albert; Lindermeir, Walter (2006): Schaltungsanalyse mit PSPICE. In: Haybatolah Khakzar (Hg.): Entwurf und Simulation von Halbleiterschaltungen mit PSPICE: Expert-Verlag GmbH, S. 93-.
- Klein, Bernd (2012): FEM. Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau : mit 12 Fallstudien und 20 Übungsaufgaben. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Koehldorfer, Werner (2009): CATIA V5. Volumenmodellierung, Zeichnungen. 2., aktualisierte Aufl. München: Hanser.
- Koehldorfer, Werner (2010): Finite-Elemente-Methoden mit CATIA V5, SIMULIA. Berechnung von Bauteilen und Baugruppen in der Konstruktion. 3. Aufl. München: Hanser.
- Lewis, Roland Wynne (2004): Fundamentals of the finite element method for heat and fluid flow. Chichester: Wiley.
- Roßmann, Jürgen; Karras, Ulrich; Stern, Oliver (2010): Virtuelle Lernumgebungen für die Automatisierungstechnik. Potenziale der 3-D-Simulationstechnik. In: *lernen & lehren* 25 (97).
- Schabacker, Michael; Vajna, Sándor (Hg.) (2007): Solid Edge - kurz und bündig. Grundlagen für Einsteiger. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

Steinke, Peter (2012): Finite-Elemente-Methode. Rechnergestützte Einführung. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.

Vajna, Sandor; Weber, Christian; Bley, Helmut; Zeman, Klaus (2009): CAx für Ingenieure. Eine Praxisbezogene Einführung. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Vogel, Harald (2007): SolidWorks 2007. Skizzen, Bauteile, Baugruppen. 2., aktualisierte Aufl. München: Hanser.

Wellenreuther, Günter; Zastrow, Dieter (2007): Automatisieren mit SPS - Übersichten und Übungsaufgaben. Von Grundverknüpfungen bis Ablaufsteuerungen: STEP7-Programmierung, Lösungsmethoden, Lernaufgaben, Kontrollaufgaben, Lösungen, Beispiele zur Anlagensimulation. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

Westkämper, Engelbert (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin/Heidelberg: Springer.

Weyer Systemhaus - MOTIVA GmbH (2013): Autocad Inventor LT Suite 2013. Online verfügbar unter <http://www.weyer-edv.de/autocad-inventor-lt-suite>, zuletzt geprüft am 05.07.2013.

WILO (2012): Wilo Brain Instrumente. Online verfügbar unter <http://www.wilo.de/de/home/service-support/wilo-brain-qualifizierungen/wilo-brain-instrumente/#.UO06gXfheSo>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2012, zuletzt geprüft am 09.01.2013.

Winzker, Marco (2008): Elektronik für Entscheider. Grundwissen für Wirtschaft und Technik ; mit 6 Tabellen, 26 Beispielen, 16 Übungen und 82 Aufgaben. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

Yenka (2013). Online verfügbar unter <http://www.yenka.com/de/Home/>, zuletzt geprüft am 09.01.2013.

7.5. Literaturverzeichnis Kapitel 5

Bader, Reinhard (2003): Lernfelder konstruieren – Lernsituationen entwickeln. In: *Die berufsbildende Schule* 55 (7-8), S. 210–217.

FESTO Didactic (2012a): CIROS Automation Suite. Messepräsentation.

FESTO Didactic (2012b): CIROS–Simulation in der Ausbildung. Professionell ausbilden in virtuellen Lernumgebungen. Messepräsentation.

Gieselmann, Hartmut (2002): Der virtuelle Krieg. Zwischen Schein und Wirklichkeit im Computerspiel. Hannover: Offizin.

Grafe, Silke (2008): Förderung von Problemlösefähigkeit beim Lernen mit Computersimulationen: Grundlagen und schulische Anwendungen: Klinkhardt.

Gudjons, Herbert (2008): Handlungsorientiert lehren und lernen. Schüleraktivierung, Selbsttätigkeit, Projektarbeit. 7. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Hentig, Hartmut von (1984): Das allmähliche Verschwinden der Wirklichkeit. Ein Pädagoge ermutigt zum Nachdenken über die neuen Medien. München: C. Hanser.

KMK (2003b): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker/in für Geräte und Systeme, Stand: 16.05.2003.

KMK (2004a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/Industriemechanikerin, Stand: 25.03.2004.

KMK (2008a): Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/Produktionstechnologin, 15.02.2008.

Koehldorfer, Werner (2009): CATIA V5. Volumenmodellierung, Zeichnungen. 2., aktualisierte Aufl. München: Hanser.

Koehldorfer, Werner (2010): Finite-Elemente-Methoden mit CATIA V5, SIMULIA. Berechnung von Bauteilen und Baugruppen in der Konstruktion. 3. Aufl. München: Hanser.

Krogoll, Tilmann; Pohl, Wolfgang; Wanner, Claudia (1988): CNC-Grundlagenausbildung mit dem Konzept CLAUS. Didaktik u. Methoden. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verl.

Kugelmann, Doris (1999): Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern. München: Utz.

Kurz, Ulrich; Hintzen, Hans; Laufenberg, Hans (2004): Konstruieren, Gestalten, Entwerfen: ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik: Vieweg.

Löffler; Christine (2010): Handbuch CIROS Advanced Mechatronics. Hg. v. FESTO Didactic. Denkendorf, zuletzt geprüft am 16.05.2013.

Mayer, Richard E. (1997): Multimedia learning: Are we asking the right questions? In: *Educational Psychologist* 32 (1), S. 1–19.

Mayer, Richard E. (Hg.) (2005): The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge, U.K., New York: Cambridge University Press.

Mayer, Richard E.; Moreno, Roxana (1998): A Cognitive Theory of Multimedia Learning: Implications for Design Principles. ACM SIGCHI Conference on Human Factors Computing Systems. Los Angeles, CA, April 1998.

Roßmann, Jürgen; Karras, Ulrich; Stern, Oliver (2010): Virtuelle Lernumgebungen für die Automatisierungstechnik. Potenziale der 3-D-Simulationstechnik. In: *lernen & lehren* 25 (97).

Schabacker, Michael; Vajna, Sándor (Hg.) (2007): Solid Edge - kurz und bündig. Grundlagen für Einsteiger. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg.

Schelhowe, Heidi (2007): Das Digitale Medium als Bildungsaufgabe. Überlegungen zur Macht der konkreten Bilder und zum Zugang zu den abstrakten Modellen. In: Johannes Fromme und Burkhard Schäffer (Hg.): *Medien - Macht - Gesellschaft*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 137–153.

Siemens AG (2009): Programmierhandbuch ISO Drehen. Sinumerik (6FC5398-5BP10-1AA0). Online verfügbar unter http://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINUMERIK_SINAMICS_01_2010_D/PGTsl.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2013.

Tenberg, Ralf (2011): Vermittlung Fachlicher und überfachlicher Kompetenzen in Technischen Berufen. Theorie und Praxis der Technikdidaktik. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.

Tulodziecki, Gerhard (2011): Handeln und Lernen in einer von Medien mitgestalteten Welt. Konsequenzen für Erziehung und Bildung. In: Carsten Albers, Johannes Magenheim und Dorothee M. Meister (Hg.): Schule in der digitalen Welt. Medientheoretische Ansätze und Schulforschungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 43–64.

Tulodziecki, Gerhard; Herzig, Bardo; Blömeke, Sigrid (2009): Gestaltung von Unterricht. Eine Einführung in die Didaktik. 2. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Turkle, Sherry (1984). The second self: computers and the human spirit. New York: Simon and Schuster.

Urhahne, Detlef; Harms, Ute (2006): Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. In: *Unterrichtswissenschaft* 34 (4), S. 358–377.

Vogel, Harald (2007): SolidWorks 2007. Skizzen, Bauteile, Baugruppen. 2., aktualisierte Aufl. München: Hanser.

Weck, Manfred; Brecher, Christian (2006): Werkzeugmaschinen 4. Automatisierung von Maschinen und Anlagen: Springer Verlag.

Woyand, Hans-Bernhard (2004): Produktentwicklung mit CATIA V5. Mit Animationen auf CD-ROM. Wilburgstetten: Schlembach.

7.6. Literaturverzeichnis Kapitel 6

Jarz, Ewald M. (1997): Entwicklung multimedialer Systeme. Planung von Lern- und Masseninformatiionssystemen. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Gabler Edition Wissenschaft. Forum Produktionswirtschaftliche Forschung).

Karwowski, Waldemar (2012): The Discipline Of Ergonomics And Human Factors. In: Gavriel Salvendy (Hg.): Handbook of human factors and ergonomics. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley, S. 3–31.

Kiefer, Markus; Hönig, Klaus; Hoidekr, Harald (2007a): Gehirngerechtes Lernen in der beruflichen Bildung. Hg. v. Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH und Universität Ulm. Ulm (Broschüre herausgeben von Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH).

Kiefer, Markus; Sim, Eun-Jin; Liebich, Sarah; Hauk, Olaf; Tanaka, James (2007b): Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. In: *Journal of cognitive neuroscience* 19 (3), S. 525–542.

Spitzer, Manfred (2012): Digitale Demenz. Wie wir uns und unsere Kinder um den Verstand bringen. München: Droemer.

Stanney, Kay M.; Cohn, Joseph V. (2012): Virtual Environments. In: Gavriel Salvendy (Hg.): Handbook of human factors and ergonomics. 4. Aufl. Hoboken, NJ: Wiley, S. 1031–1056.

8. Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

8.1. Tabellen

Tabelle 1: Didaktische Modellfunktionen nach Fäßler (2000), (modif. nach Buddensiek et al. 1980)	16
Tabelle 2: Gesamtüberblick über die drei Hauptströmungen der Lerntheorien (zit. nach Holzinger (2001), S. 111, ergänzt um Kerres 2012, S.128 mit jeweils kleinen Änderungen)	59
Tabelle 3: Modell zur Sequenzierung von Lernangeboten: Instruktionale Ereignisse nach Gagné (zit. nach Kerres 1999, S. 14)	81
Tabelle 4. Qualifikationsstufen und Ziele des "eEducation Pass Berlin" (vgl. Senatsverwaltung für Bildung 2005, S. 19).....	84
Tabelle 5: Didaktische Aspekte hypermedialer Lernsysteme (vgl. Schulmeister 2000, S. 40)	117
Tabelle 6: Überblick über die Grundsätze der Gestaltung multimedialer Anwendungen (Jarz 1997, S. 293)	118
Tabelle 7: Abkürzungen der Modellfunktionen	121
Tabelle 8: CAx-Techniken: Computergestützte technische Module zur Ergänzung von PPS, CIM und ERP nach Fandel et al. (2002, S. 3), leicht modifiziert	123
Tabelle 9: CAD-Software, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	126
Tabelle 10: CNC-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	128
Tabelle 11: FEM-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	133
Tabelle 12: Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	135
Tabelle 13: SPS-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	136
Tabelle 14: Roboter-Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	137
Tabelle 15: Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	139

Tabelle 16: Weitere Simulationssoftware, ihre Eignung für Bildungsgänge und Modellfunktionen, die sie im Unterricht übernehmen kann	145
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

8.2. Abbildungen

Abbildung 1: Klassifikation von Simulationen nach VDI 2209 (Vajna et al. 2009, S. 153)	26
Abbildung 2: Aufbau von Simulationssystemen (Vajna et al. 2009, S. 154)	27
Abbildung 3: Modell der Simulation von Berufs- und Arbeitssituationen (Bonz 2009, S. 129)	29
Abbildung 4: Ermüdungsprüfung mit Ansys nCodeDesignlife (Mattwich und Friederici 2011, S. 8)	37
Abbildung 5: Zylinderinnenströmungsmodell eines Kfz-Motors (Ansys CFX, IDAC 2013a)	38
Abbildung 6: Schaltungssimulation mit simulationsgestütztem Messgerät (Multisim, National Instruments 2013)	39
Abbildung 7: Ausbreitungseffekte an einem Telekommunikations-Rack bei einer EMV-Simulation (SGS 2013)	40
Abbildung 8: Temperaturprofil in einer Computer-Grafikkarte (Ansys Icepak, IDAC 2013a)	40
Abbildung 9: Strömungslinien und Darstellung der Temperaturverteilung (FloEFD für NX: CFD, eingebettet in Siemens NX, Mentor Graphics 2013)	41
Abbildung 10: Oberfläche einer Robotersimulation (RobotStudio, ABB 2010)	42
Abbildung 11: Simulation eines Getriebes (Ruf Getriebetechnik 2012)	43
Abbildung 12: Formfüllung einer Gießtraube mit sechs Bremsscheiben (Magmasoft 2011)	44
Abbildung 13: Visualisierung der Arbeitsschritte eines CNC-Drehteils in unterschiedlicher Färbung (VirtualGibbs, WupperCAM 2013)	45
Abbildung 14: Berliner Modell (nach Burkard und Weiss 2008, S. 208)	46
Abbildung 15: Theoretische Kontexte der konstruktivistischen Didaktik (vgl. Reich 2009, S. 30)	54
Abbildung 16: EMV Emissionsuntersuchungen für Türsteuergeräte (Industriehansa 2012)	74
Abbildung 17: Fehler aufgrund fehlenden Materials oder ungünstiger Gesenkform (Bernhardt 2006, S. 28)	75

Abbildung 18: Überlappung durch fehlerhafte Form der vorherigen Arbeitsstufe(n) (Bernhardt 2006, S. 28).....	75
Abbildung 19: Benutzeroberfläche eines EMV-Simulationsprogramms mit Kfz-Modell und Kabelbaum (EMCStudio, Emcos 2012).....	76
Abbildung 20: Unterschiede in Temperaturverteilung, Eigenspannungskonzentration und Verzug bei enger Plattenbelegung (li.) bzw. weiter Belegung (re.) (Sturm et al. 2004, S. 12)	77
Abbildung 21: Microsoft Flugsimulator 1.05 für den PC (1982)	88
Abbildung 22: SubLOGIC flight simulator FS1 für Apple II & TRS-80	88
Abbildung 23: Verbale und nonverbale Systeme in der Dual Coding Theorie nach Paivio (1990)	100
Abbildung 24: Kognitive Theorie multimedialen Lernens (angelehnt an Rey 2009, S. 34 und Mayer 2005, S. 37).....	105
Abbildung 25: Fenster des Programms CIROS für die Vorgabe von Störungen durch die Lehrkraft (vgl. Pensky 2012)	111
Abbildung 26: Werkzeuge für die Störungssuche (vgl. Pensky 2012)	112
Abbildung 27: Störungsprotokoll für die Auswertung der virtuellen Wartung durch den Lehrenden (vgl. Pensky 2012)	112
Abbildung 28: Arbeitsschritte für das Fertigen eines Haltebügels für einen Mischbehälter (Kaese und Rund 2006)	113
Abbildung 29: Screenshots - Fertigen eines Haltebügels für einen Mischbehälter (Kaese und Rund 2006).....	114
Abbildung 30: die einzelnen Schritte bei der Anwendung der FEM (Steinke 2012, S. 4).....	132
Abbildung 31: Bearbeitung ohne Schneidenradiuskompensation (Siemens AG 2009, S. 57)	152
Abbildung 32: FEM-Darstellung Auswirkungen von Kräften auf ein Bauteil (Woyand 2004, S. 194)	153
Abbildung 33: Schmiedegerechtes Gestalten (vgl. Kurz et al. 2004, S. 337)	157
Abbildung 34: Schnittdarstellung eines Sternmotors erstellt mit SolidWorks	158
Abbildung 35: Aspekte zur Greifplanung (aus: Weck und Brecher 2006, S. 410)....	170
Abbildung 36: Reale Roboterzelle (MPS Station Roboter) und virtuelle Entsprechung in der Simulation (CIROS Studio) von Festo (Festo Didactic 2012b)	173

9. Anhang

9.1. Marktübersicht – Auswahl an Simulationssoftware mit Betriebssystem, Zielgruppen, Sprache, Programmumfang, Anbieter etc.

Die nachfolgenden Abschnitte beinhalten eine Marktübersicht der Simulationen (Stand Dezember 2012). Dabei wurden hauptsächlich Quellen aus dem Internet berücksichtigt, aber auch mündliche Informationen von Experten aus den verschiedenen Bereichen auf einschlägigen Messen (bspw. Didacta, Hannover Messe), in Betrieben, im Umfeld der Schulen und auch bei Ausbildern eingeholt. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Anhand der ausgewählten und bewerteten Software können aber meist Rückschlüsse auf ähnliche Programme gemacht werden.

Darüber hinaus werden weitere Informationen zu den Programmen zu den Programmen zusammengestellt, wie bspw. die Zielgruppen, d.h. Berufe bzw. Anwendungen, für die die jeweilige Software geeignet ist, die Dialogsprachen, welche Dokumentationen es zu dem entsprechenden Programm gibt und welche Leistungen (z.B. Wartung, Hotline etc.) evtl. beim Kauf der Software inkludiert sind, für welches Betriebssystem sie sich eignen und beispielhaft ist ein Anbieter des Programms angegeben. Die Angaben zu den Programmen stammen unter anderem von dem Softwareführer SoftGuide,⁵⁵ dem Heise Software-Verzeichnis⁵⁶ und den verschiedenen Anbietern der jeweiligen Software.

Für die verschiedenen Betriebssysteme (OS) stehen die Symbole

-  (für Windows),
-  (für Mac) und
-  (für Linux bzw. Unix).

9.1.1. CAD / 3D-Konstruktion

- **Autodesk Inventor**



Software für 3D-Konstruktion, Simulation

Zielgruppen:

- Werkzeugbau
- Formenbau
- Maschinenbau

⁵⁵ SoftGuide Softwareführer. Online verfügbar unter <http://www.softguide.de/>, zuletzt geprüft am 04.07.2013.

⁵⁶ heise Software-Verzeichnis. Online verfügbar unter <http://www.heise.de/download/>, zuletzt geprüft am 05.07.2013.

- Automotive
- Luftfahrt
- Schiffbau
- Prototyping
- Modellbau
- u.v.m.
- ...

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis ab: 4.775 EUR; AutoCAD LT 2014 ab 1.450 EUR

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: Autodesk Online-Shop, http://store.autodesk.de/store/adsk/de_DE/

- **CATIA**



Software für 3D-Konstruktion, Simulation, Daten-Management und Dokumentation, PLM

Zielgruppen:

Die CATIA V5 Produktpalette richtet sich in erster Linie an Kunden in den Branchen

- Werkzeugbau
- Formenbau
- Maschinenbau
- Automotive
- Luftfahrt
- Schiffbau
- Prototyping
- Modellbau
- u.v.m.
- ...

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1974

Anzahl der Installationen: mehr als 1 Mio.

Preis: ab 1.785 EUR (1.500 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Viewer); ab 8.330 EUR (7.000 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Entwicklung / Konstruktion); ab 14.280 EUR (12.000 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (CAD / CAM)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: uniPLM GmbH, Info: Herr Michael Wagner, 0800 – 0864756, m.wagner@uniplm.de

- **Creo (früher Pro/ENGINEER)**



3D-CAD-Software auf Basis von Dynamic-Modeling-Technologie

Zielgruppen:

- Konstrukteure
- Ingenieure
- Techniker
- Lehrkräfte
- Professoren
- Studenten
- CAD-Nutzer allgemein

Dialogsprache(n): mehrsprachig

Dokumentation: Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1986

Anzahl der Installationen: 400.000

Preis: auf Anfrage

kostenloser 30-Tage-Test

Die Version Creo Elements/Direct Modeling Express 4.0 ist kostenlos erhältlich (<http://de.ptc.com/products/creo-elements-direct/modeling-express/>)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: INNEO Solutions GmbH, Herr Wolfgang Stoll, Tel.:+49 (0) 7961 890-0

TECHSOFT Datenverarbeitung GmbH, Herr Philip Feilhaber, Tel.:+43 (0) 732 37 89 00
0

- **Solid Edge ST 3**

Demo erhältlich



Solid Edge Software für 3D-Konstruktion, Simulation, Daten-Management und Dokumentation

Zielgruppen:

- Maschinenbau
- Anlagenbau
- Werkzeug- und Formenbau
- Medizintechnik
- Produkt-/Industriedesign
- Elektronische Komponenten
- Möbelindustrie
- Metalltechnik
- Konsumgüter
- ...

Dialogsprache: Deutsch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: n.a.

Anzahl der Installationen: n.a.

Preis: ab 3.308,20 EUR (2.780 EUR zzgl. 19% MwSt) in der Grundversion, Ausbau möglich

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: PBU CAD-Systeme GmbH, Herr Christian Forster, Tel.: +49 8251 8191-0,
info@pbu-cad.de

- **SolidWorks - Mechanische 3D-Konstruktion**

Demo erhältlich



SolidWorks Software für 3D-Konstruktion, Simulation, Daten-Management und Dokumentation

Zielgruppen:

- Maschinenbau
- Anlagenbau
- Werkzeug- und Formenbau
- Medizintechnik
- Produkt-/Industriedesign
- Elektronische Komponenten
- Möbelindustrie
- Metalltechnik
- Konsumgüter
- ...

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1995

Anzahl der Installationen: >1000000

Preis: ab 7.854 EUR (6.600 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (SolidWorks Standard)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: SolidLine AG; Herr Andreas Schubert; Tel.: 06123 99 500; info@solidline.de

- **Rhinoceros – Version 4.0**



3D CAD-System auf der Basis von NURBS für Konstrukteure, Industrie-, Grafikdesigner, ...

Zielgruppen:

- Animationsdesigner
- Architekten
- Grafikdesigner
- Industriedesigner
- Konstrukteure
- Schmuckdesign
- Schuhdesign
- Werkzeugbau

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis: 1.184,05 EUR (995 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Rhino Vollversion), 589,05 EUR (495 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Flamingo Renderer), 589,05 EUR (495 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Bongo Animationsmodul), 351,05 EUR (295 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Penguin NPR), 2.017,05 EUR (1.695 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Rhino/Flamingo/Penguin/Bongo)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: LoboCAD - Wolff Engineering, Info: Herr Joachim Wolff, Tel.: 05222/959643

9.1.2. Simulationssoftware für CAD/CAM und CNC

- **CAMConcept / WinTutorial** Demo erhältlich EMCO-Maschine, 

Software für die vollständige CAD/CAM- und CNC-Ausbildung – von der Konstruktion bis zur Produktion. CAMConcept besteht aus einem CAD-Teil, CAM-Teil und einem CNC-Teil.

Zielgruppen:

- technisch-wissenschaftlicher Bereich
- Prozeßdaten- und Meßwerterfassung
- Maschinenbau,
- Metall-, Kunststoff- und Holzbearbeitung

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Österreich

Hersteller: EMCO Maier GmbH, www.emco-world.com, Tel.: ++43-(0)62 45-8 91-0, info@emco.at

• **CIMCO EDIT**

Demoversion erhältlich



Editieren von CNC-Programmen

Zielgruppen:

CNC-Fräsmaschinenbediener, die eine Programmierunterstützung mit Backplottfunktion (Simulation) suchen.

Dialogsprache(n): mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: nicht erforderlich

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Anzahl der Installationen: 20000

Preis: ab 642,60 EUR (540 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (Professional)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: Center4CNC GmbH & Co. KG; www.center4cnc.de; Tel.: +49 (0) 8191 / 33 777; schnell@center4cnc.de

Edgecam

Demo erhältlich



CAM System im Anwendungsbereich 2 - 5 Achsen Fräsen, Drehen und Fräs/Drehstrategien

Zielgruppen:

- Arbeitsvorbereiter
- NC-Programmierer
- CNC-Programmierer
- NC-Dienstleister
- Mechanische Teilefertiger
- CAM Anwender

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1983

Anzahl der Installationen: 90000

Preis: ab 3.927 EUR (3.300 EUR zzgl. 19% MwSt) Edgecam Einsteiger Fräsen

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: CIPRO – competence in processes, Info: Herr Markus Lorenz, Tel.: +49 6831 / 96688 - 78

- **ESPRIT - by DP Technology**



2D/3D-CAM für Fräsen, Drehen, Drehfräsen und Erodieren

Dialogsprache(n): Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1998

Anzahl der Installationen: 8.500

Preis: ab 3.590,52 EUR (3.017,24 EUR zzgl. 19% MwSt)

Sitz des Herstellers: Deutschland

DP Deutschland, Tel.:+49 (951) 299 526-0, www.dptechnology.de

- **KELLERplus**

Demo erhältlich



CNC-Software für Qualifizierung und Produktion

Zielgruppen:

- **CAMplus** Programmiersystem für eine kostenreduzierende Fertigung.
- **SYMplus** Programm für die CNC-Aus- und Weiterbildung.
- **TECHNICplus** schließt die Lücke zwischen allgemeiner und beruflicher

Bildung.

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Anzahl der Installationen: >6000

Preis: Schülerversion ab 75,- EUR

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: R. & S. KELLER GmbH, www.cnc-keller.de, Tel.: (0202) 40 40 0, info@cnc-keller.de

- **NC-OPT-S / NC-OPT-L**



CAD/CAM System zur Programmierung von CNC-Maschinen in der Blechbearbeitung

NC-DRAFT 2D - CAD-System

- Zeichenfunktionen, speziell für die Blechteilekonstruktion
- Geometriemanipulationen, Bemassung, Plotausgaben
- CAD-Schnittstellen, Erstellen von CAD-NC - Varianten
- vollautomatische Bereinigung der Zeichnung

NC-OPT-S NC - Programmierung und Simulation

- automatische und interaktive Programmerstellung für Stanzen / Nibbeln und Strahlschneiden
- Tafelbelegungen, bis hin zur Auftragsverschachtelung und Anbindung an vorhandenes PPS-System
- Manipulations- und Optimierungsfunktionen
- NC-Programme für beliebige Maschinen und Steuerungen bis hin zur neuesten Generation, inkl. aller Zusatzeinrichtungen

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: im Preis enthalten

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: nicht erforderlich

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1986

Anzahl der Installationen: zwischen 100 und 999

Preis: ab 5.533,50 EUR (4.650 EUR zzgl. 19% MwSt) 1. Arbeitsplatz, weitere auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: FP Software GmbH; <http://www.fp-nc.de>; Tel.: +49 7156 / 480100; info@fp-nc.de

- **NCSIMUL**

Demo erhältlich



Maschinen-Simulations-Software für das Testen, Optimieren und Ausführen von Maschinenprogrammen für NC-Maschinen

Zielgruppen:

- Werkzeug-, Formen-, Modell- allgemeiner Maschinenbau
- Hersteller und Zulieferbetriebe der Automobil-, Luft- und Raumfahrt, Medizin-, Elektro-/ Elektronik-, Spiel- und Haushaltswaren - Industrie sowie der Bauindustrie.

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: CIPRO – competence in processes; Herr Markus Wagner Tel.: +49 6831 / 96688 – 81, m.wagner@cipro-gmbh.com

- **NC-Trainer / EXSL-WIN**

Demo erhältlich



dialoggeführte Software für den Einstieg in die CNC-Programmierung von NC-Drehmaschinen und NC-Fräsmaschinen.

EXSL-WIN ist ein multifunktionales Programmiersystem mit zwei Programmierarten und drei CNC-Editoren.

Dialogsprache: Deutsch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Preis: NC-Trainer: Bildungseinrichtungen erhalten die Vollversion mit einer Technologie (Kapitel Drehen oder Fräsen) ab 500,- €* zzgl. MwSt. Einzellizenzen (Kapitel Drehen oder Fräsen) für den privaten Heimgebrauch ab 210,- € zzgl. MwSt..

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: SL-Automatisierungstechnik GmbH, Tel.: 02371 / 9081-0, anfrage@slhome.com.

- **NX CAM Express**



MultiCAD CAM für Fräsen, Drehen, Drahten, Drehfräsen & High-End Multifunktionsmaschinen

Zielgruppen:

- Arbeitsvorbereiter
- NC-Programmierer
- CNC-Programmierer
- NC-Dienstleister
- Mechanische Teilefertiger

Dialogsprache(n): Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1975

Anzahl der Installationen: 70.000

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: VSG Software & Service GmbH; <http://www.vsg.de>; Herr Matthias Schneider, Tel.: 08142 / 65061- 0; info@vsg.de

- **NX Unigraphics**



Prozessorientierte, interaktive CAD / CAM PLM Software von Siemens

Zielgruppen:

- Werkzeug-, Formen-, Modell- allgemeiner Maschinenbau
- Hersteller und Zulieferbetriebe der Automobil-, Luft- und Raumfahrt, Medizin-, Elektro-/ Elektronik-, Spiel- und Haushaltswaren - Industrie sowie der Bauindustrie.

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1975

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: VSG Software & Service GmbH; <http://www.vsg.de>; Herr Matthias Schneider, Tel.: 08142 / 65061- 0; info@vsg.de

• **PALmill & PALturn**



Freeware-Programme, mit deren Hilfe der Berufsschüler die CNC-Programmierung nach DIN 66025 üben kann. Dabei wird simuliert, wie die Senkrechtfräsmaschine bzw. die Schrägbett-Drehmaschine das mittels Editor geschriebene CNC-Programm ausführt.

Zielgruppen:

- Berufsschulen

Dialogsprache: Deutsch

Dokumentation: Online-Hilfe, Hilfefunktionen

Schulung: n.a.

Hotline: n.a.

Installationssupport: Online/nicht erforderlich

Wartung: n.a.

Erstinstallation: 2008

Preis: kostenlos

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: Hubert Klinkner, Im Steinacker 26, 55606 Oberhausen,
<http://hubertklinkner.de/palmill/index.htm>; palmill@freenet.de

• **proLAS3D - Version3.2SE**

Demo erhältlich



offline-NC-Programmiersystem für 3D Laser- und Wasserstrahlanlagen

Dialogsprache(n): Deutsch, Englisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: im Preis enthalten

Installationssupport: im Preis enthalten

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 2000

Anzahl der Installationen: 28

Preis: ab 2.969,05 EUR (2.495 EUR zzgl. 19% MwSt) zuzügl. Versand

Sitz des Anbieters: Deutschland

MARS Lasertechnik GmbH, Tel.: (0 36 21) 71 48 0, office@mars-lasertechnik.de

• **TopMill / TopTurn / TopCAM**

Demo erhältlich



CNC- und CAM-Software-System für die Komplett-Bearbeitung mit 3D-Simulation
auf virtuellen Dreh- und Fräs-Bearbeitungszentren

Zielgruppen:

- technisch-wissenschaftlicher Bereich
- Prozeßdaten- und Meßwerterfassung
- Maschinenbau,
- Metall-, Kunststoff- und Holzbearbeitung

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH, www.mts-cnc.com, 10553 Berlin, Kaiserin-Augusta-Allee 101, Tel. 0049 30 34 99 600, info@mts-cnc.com

- **TopSolidCam**



CAD/CAM-Programmiersystem für die Erzeugung und Berechnung von Werkzeugwegen auf CNC-Werkzeugmaschinen, wie Fräs- oder Drehbearbeitungszentren.

Zielgruppen:

- Maschinenbau / Anlagenbau
- Formen- und Werkzeugbau
- Automotiv / Fahrzeugbau
- Luft- und Raumfahrtindustrie
- Fertigungsbetrieb / Lohnfertigung

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1995

Anzahl der Installationen: 20000

Preis: ab 13.200 EUR (11.000 EUR zzgl. 20% MwSt) pro Arbeitsplatz

Sitz des Anbieters: Österreich

Hersteller: Missler Software; <http://www.topsolid.de>

Anbieter: TECHSOFT Datenverarbeitung GmbH; <http://www.techsoft.at>; Herr Daniel Plos; Tel.:+43 732 37 89 000

- **VERICUT® Machine Simulation**



Die VERICUT Software simuliert die CNC -Fertigung (unabhängig von Maschine, Steuerung & CAM Systemen) und überprüft das NC-Programm auf Kollisionen und Fehler vor dem echten Maschinenlauf.

Dialogsprache(n): Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

CGTech Deutschland GmbH, cgtech.de, Tel.: +49 (0)221-97996-0,
info.de@cgtech.com

- **Virtual Gibbs**



GibbsCAM (in Deutschland als Virtual Gibbs vertrieben) ist eine CAD-/CAM-Software zur Programmierung von CNC-Maschinen.

Dialogsprache(n): Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1984

Anzahl der Installationen: 60.000

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Cimatron GmbH, www.cimatron.de, Tel.: +49 – 72 43 – 53 88 – 0, info@cimatron.de

- **WinTool für CNC Fertigungsprozesse und Fertigungsdaten**

Demo erhältlich



Werkzeug- und NC-Datenbank für CAM, Voreinstellung, Werkzeugausgabe und Einkauf

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: im Preis enthalten

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1997

Anzahl der Installationen: 5000

Preis: ab 5.164,80 EUR (4.800 EUR zzgl. 7.6% MwSt)

Sitz des Herstellers: Schweiz

Das Produkt ist im Fachhandel erhältlich.

- **NC-Trainer / EXSL-WIN**

Demo erhältlich



dialoggeführte Software für den Einstieg in die CNC-Programmierung von NC-Drehmaschinen und NC-Fräsmaschinen.

EXSL-WIN ist ein multifunktionales Programmiersystem mit zwei Programmierarten und drei CNC-Editoren.

Dialogsprache: Deutsch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Preis: NC-Trainer: Bildungseinrichtungen erhalten die Vollversion mit einer Technologie (Kapitel Drehen oder Fräsen) ab 500,- €* zzgl. MwSt. Einzellizenzen (Kapitel Drehen oder Fräsen) für den privaten Heimgebrauch ab 210,- € zzgl. MwSt..

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: SL-Automatisierungstechnik GmbH, Tel.: 02371 / 9081-0, anfrage@slhome.com.

9.1.3. Simulationssoftware FEM

- **ABAQUS**



ABAQUS ist ein Finite-Elemente Programm der Firma Simulia (einer Tochter von Dassault Systemes) zur Analyse von strukturmechanischen, thermischen und akustischen Problemen und besonders geeignet für geometrisch und physikalisch nichtlineare Probleme

Zielgruppen:

virtuelle Produktentwicklung in den Bereichen

- Automobil- und Zuliefererindustrie,
- Chemie- und Prozessindustrie,
- Maschinen- und Anlagenbau,
- Medizintechnik,
- Konsumgüterindustrie,
- Luft- und Raumfahrtindustrie,
- Forschung und Lehre:

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Anzahl der Installationen: n.a.

Preis: Studentenversion kostet EUR 99

Sitz des Herstellers: USA, Deutschland

Hersteller: Simula

- **ANSYS**

Demo erhältlich



Software für numerische Berechnungen der Strukturmechanik, Multiphysik und Elektronik

Zielgruppen:

- Entwicklung
- Konstruktion
- Forschung

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: im Preis enthalten

Installationssupport: im Preis enthalten

Wartung: im Preis enthalten

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: CADFEM GmbH, www.cadfem.de, Tel +49(0)8092-7005-0,

info@cadfem.de

- **ecccon-ipp**



Graphisch interaktiver Finite Elemente Pre- und Postprozessor

ECCON-IPP ist ein interaktiver Pre- und Postprozessor für Finite Elemente Programme mit der Aufgabe der Tragwerksmodellierung, sowie der Darstellung und Auswertung von Rechenergebnissen. Neben modernsten Darstellungstechniken verfügt das Programm über eine automatische Fehlererkennung zur Vermeidung von Berechnungsabbrüchen. ECCON-IPP erstellt die Eingabe und liest die Berechnungsergebnisse von FENAS.

Dialogsprache(n): Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: im Preis enthalten

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1989

Anzahl der Installationen: 90

Preis: ab 3.240 EUR (2.700 EUR zzgl. 20% MwSt)

Sitz des Herstellers: Österreich

ECCON Engineering Computer Consulting GmbH, Tel.: +43 (0)5525 63171-0,
bertolini@ecccon.biz

- **Marc / Mentat**

Demo erhältlich



Marc: Software für numerische Berechnungen der Struktur-Kontinuumsmechanik. Das Mentat Programm ist die zum MARC-Paket gehörende interaktive Benutzeroberfläche. Es dient sowohl zum Konstruieren der MARC Eingabedatensätze als auch zur Analyse der Berechnungsergebnisse.

Zielgruppen:

- Entwicklung
- Konstruktion
- Forschung

Anbieter: MSC.Software GmbH, Tel.: +49 (89) 431 987 0

- **MEANS**

Demo erhältlich



FEM Software für Statik, Dynamik, Temperatur und Formoptimierung

Zielgruppen:

- Forschung,
- Entwicklung,
- Konstruktion

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: im Preis enthalten

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1988

Anzahl der Installationen: 500

Preis: ab 593,81 EUR (499 EUR zzgl. 19% MwSt) auch erhältlich: Demo-CD / 4-Wochen-Dongle-Vollversion 53,55 EUR (45 EUR zzgl. 19% MwSt) Demoversion (4 Wochen-Probe-Installation)

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: Ingenieurbüro HTA-Software; Tel.: 07844 - 98 641; info@femcad.de

• PERMAS



Finite-Elemente-Analyse - ein Berechnungswerkzeug für Ingenieure

Anwendungsfelder:

- lineare und nichtlineare Statik,
- Kontaktanalyse, Stabilitätsanalyse,
- Dynamik,
- Akustik,
- Temperaturfelder,
- elektromagnetische Felder
- Optimierung sowie Zuverlässigkeitsanalyse.

Integrierte Schnittstellen zu den Pre- und Postprozessoren MEDINA, IDEAS und PATRAN, CATIA

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version, Technische

⁵⁷ Mainframe-basierend (Open/VMS), Mainframe bedeutet Großrechner.

Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 1984

Anzahl der Installationen: 500

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

Anbieter: INTES Ingenieurgesellschaft für technische Software mbH, Tel.: +49 711 78499-0, info@intes.de

9.1.4. Simulationssoftware für weitere Fertigungsverfahren

- **CADMOULD 3D-F**

Demo erhältlich



CADMOULD 3D-F Spritzgießsimulationssoftware für die Kunststoff- und Gummiindustrie (Formenbau, Formteilgeometrie, Spritzguss)

Zielgruppen:

- Formenbauer
- Formteilkonstrukteure

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: 2001

Anzahl der Installationen: >1.000

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: simcon kunststofftechnische Software GmbH; Tel.: +49 (0) 2405 64 571 - 0; sales@simcon-worldwide.com

- **Simpoe-Mold**

Demo erhältlich



Spritzgießsimulation (Formfüllanalyse, SIMPOE)

Zielgruppen:

- Formenbauer
- Werkzeugmacher
- Rheologieexperten
- Maschinenbauingenieure
- Designer
- Konstrukteure

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: nicht erforderlich

Wartung: gegen Entgelt

Preis: ab 5.950 EUR (5.000 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (SimpoeWorks Basisversion) ab 9.520 EUR (8.000 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (SimpoeDesigner Basisversion) ab 32.130 EUR (27.000 EUR zzgl. 19% MwSt) pro Arbeitsplatz (SimpoeWorks Vollversion)

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: SIMPOE GmbH, Herr Dipl.-Ing. Frank Will; Tel.: 04264 83799 0; info@simpoe.de

- **Sysweld**



Schweißsimulation

Anbieter: ESI Group, Nathalie David-Franc, Leiterin Kommunikation, Tel.: + 33 1 41 73 58 35, nathalie.david-franc@esi-group.com

- **MAGMA⁵**

Demo erhältlich



Simulationswerkzeug für die Fertigung von Gussteilen. Einsetzbar für alle Werkstoffe und Gießverfahren.

Zielgruppen:

- Entwicklung
- Konstruktion
- Forschung

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch

Schulung: gegen Entgelt

Preis: n.a.

Sitz des Herstellers: Deutschland

Anbieter: MAGMA, Kackerststraße 11, 52072 Aachen

• **SolidCast**

Demo erhältlich



Simulationswerkzeug für die Fertigung von Gussteilen. Einsetzbar für alle Werkstoffe und Gießverfahren.

Zielgruppen:

- Entwicklung
- Konstruktion
- Forschung

Dialogsprachen: Englisch

Dokumentation: Online erhältlich

Installationssupport: Online erhältlich

Schulung: gegen Entgelt

Preis: n.a.

Sitz des Herstellers: USA

Anbieter: Manfred Schulze, MS Foundry Consultancy, Kapellenleite 7, D-82386 Huglfing, Tel.: +49 151 62614915, schulze.huglfing@t-online.de

• **FORGE**

Demo erhältlich



Schmiedesimulationssoftware

Zielgruppen:

- Entwicklung
- Konstruktion
- Forschung

Dialogsprache: Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch

Schulung: gegen Entgelt

Preis: n.a.

Sitz des Anbieters: Frankreich

Anbieter: TRANSVALOR S.A., Parc de Haute Technologie, Sophia Antipolis, 694, av. du Dr. Maurice Donat, 06255 Mougins Cedex, France, Tel.: +33 (0)4 92 92 42 00

- **Deform**



Simulation von Fertigungsprozessen in der Metallverarbeitung.

Zielgruppen:

- Werkzeug-, Formen-, Modell- allgemeiner Maschinenbau
- Typische Anwendungen sind: Fließpressen, Strangpressen (voll/hohl, vorwärts/rückwärts/quer), Gesenkschmieden, Freiformschmieden, Drahtziehen, Profilziehen, Abstreckgleitziehen, Hohlziehen mit und ohne Dorn, Anstauchen, Stauchen, Flachwalzen, Profilwalzen, Fügen durch Umformen, Schneiden, Lochen, Einsenken, Pulververdichten, einschliesslich der Wärmeleitung im Bauteil und des Wärmeabflusses in die Werkzeuge.
- Die Ermittlung der Werkzeugbelastung, auch bei armierten Werkzeugen, anhand der Belastungen des Umformvorganges liefert wichtige Aussagen für eine Werkzeugoptimierung.

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Erstinstallation: n. A.

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: Kistler-IgeL GmbH, www.kistler.com, Tel.: +49 7031 418 170, info.igel@kistler.com

- **QForm**

Demo erhältlich



Schmiedesimulationssoftware

Anbieter: Forge Technology, Inc. P.O. Box 1095 Woodstock, Illinois 60098 USA
Email: info@ForgeTechnology.com; phone: 815-337-7555; fax: 815-337-7666

- **Simufact.forming**

Demo erhältlich



Umformsimulationssoftware

Anwendungen:

- Gesenkschmieden oder Fließpressen
- Ziehen, Stauchen, Biegen oder Freiformschmieden
- Flachwalzen, Profilwalzen oder Formrollieren kalt, warm oder halbwarm
- mechanische Presse, Hammer oder Spindelpresse
- Walzaggregat oder Taumelantrieb - selbst gekoppelte Bewegungsabläufe und Federn beliebiger Art, einfacher Kohlenstoffstahl oder Edelstähle, Aluminium oder Buntmetalle, Titan oder Nickel-Basis-Legierungen, massiv oder Blech
- Stofffluss oder Werkzeugbelastung

Dialogsprache: Englisch, Deutsch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe

Support: Hotline, Email

Preis: n.a.

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: Simufact Engineering GmbH (Deutschland), Tempowerkring 3, 21079 Hamburg, Tel.: 040 790 162-0, Fax: 040 790 162-22, E-Mail: info@simufact.de

- **Modelithics CLR Library** Demo erhältlich



Bauteil-Bibliothek für HF- und Mikrowellen-Simulatoren

Zielgruppen:

Schaltungsentwickler für Hochfrequenz und Mikrowellen-Anwendungen in allen Applikationsbereichen

Dialogsprache: Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Demo-Version

Schulung: nicht erforderlich

Installationssupport: im Preis enthalten

Wartung: im Preis enthalten

Erstinstallation: 1998

Anzahl der Installationen: >500

Preis: ab 714 USD (600 USD zzgl. 19% MwSt)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: TSS; Achim Baier: Achim@tssd.com, Elke Schwarzer: Elke@tssd.com; Tel.: +49 7309 9675-0

- **ModGet**



Programm für die Berechnung von Kurven-, Gelenkgetrieben und elektr. Kurvenscheiben

Datenaustausch

Über Standardschnittstellen können Bewegungsverläufe an die 3D-Simulationsprogramme Working-Model, Visual–Nastran 4D sowie Dynamic-Designer übergeben werden.

Die Export-Möglichkeit erlaubt den Datenaustausch mit CAD Programmen wie HP Me10 oder Solidworks.

Dialogsprachen: Deutsch

Dokumentation: Benutzerhandbuch

Schulung: gegen Entgelt

Preis: 2.201,50 EUR (1.850 EUR zzgl. 19% MwSt)

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: Ruf-Getriebetechnik, Tel: 07392-168469, info@ruf-getriebetechnik.de

9.1.5. Simulationssoftware SPS

- **WinSPS-S7 V5**

Demo erhältlich



Programmier- und Simulations-Software für S7-Steuerungen

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik
- Steuerungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Forum, Demo-Version

Preis: Pro-Edition 593,81 EUR; Klassenraumlizenz 1.069,81 EUR; Schullizenz = Mehrfachklassenraumlizenz 1.188,81 EUR

Sitz des Herstellers: Deutschland

MHJ-Software GmbH & Co. KG; Albert-Einstein-Str. 101; 75015 Bretten; Tel.: (07252) 87890 oder (07252) 84696; Fax: (07252) 78780; E-Mail: info@mhj.de

- **SPS-VISU**

Demo erhältlich



Simulationssystem (SPS-Simulator) für S7- und S5-Programme. Virtuelle Anlagen können grafisch erstellt und anschließend simuliert werden. Enthalten ist eine S7- und eine S5-Software-SPS. SPS-VISU kann wie eine S7-Steuerung über Ethernet angesteuert werden. Geeignet für WinSPS-S7 und STEP7 V5.x von SIEMENS

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik
- Steuerungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Forum, Demo-Version

Preis: Profi-Edition 415,31 EUR; Klassenraumlizenz 712,81 EUR; Profi Schullizenz 831,81 EUR

Sitz des Herstellers: Deutschland

MHJ-Software GmbH & Co. KG; Albert-Einstein-Str. 101; 75015 Bretten; Tel.: (07252) 87890 oder (07252) 84696; Fax: (07252) 78780; E-Mail: info@mhj.de

- **CIROS Mechatronics**

Demo erhältlich



virtuelle Lernumgebung für die Mechatronik; Schwerpunkt SPS; Arbeitsumgebung für die SPS-Programmierung (SIEMENS S7)

Zielgruppen:

- Bildungseinrichtungen
- Automatisierungstechnik
- Steuerungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Bücher, Lehrmittel, Datenblätter, Demo-Version

Preis: Basislizenz 809,20 EUR; Erweiterungslizenz 404,60 EUR

Sitz des Herstellers: Deutschland

Festo Didactic; Bestell-Hotline: 0800-5600967

- **SimVA IMS**



Steuerungstechnische Simulation für Maschinen-Steuerungen auf SPS-Basis

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: nicht erforderlich

Hotline: im Preis enthalten

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: im Preis enthalten

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: SimVA Software & Services GmbH, Dr.-Ing. W. Lindemann, Tel.: ++49 (0) 5 21 / 55 73 29 40, info@SimVA.de

9.1.6. Robotersimulation

- **CIROS Robotics**

Demo erhältlich



Erlernen der Programmierung und Inbetriebnahme von industriellen Robotersystemen. Verschiedene Robotermodelle, integriertes Lernprogramm zur Robotik vermittelt die Grundlagen der Handhabungstechnik bis hin zum Einsatz von Robotern in Weltraummissionen.

Zielgruppen:

- Bildungseinrichtungen
- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Bücher, Lehrmittel, Datenblätter, Demo-Version

Preis: Basislizenz 809,20 EUR; Erweiterungslizenz 404,60 EUR

Sitz des Herstellers: Deutschland

Festo Didactic; Bestell-Hotline: 0800-5600967

- **Delmia Robotics**

Demo erhältlich



Robotertyp-unabhängige Simulationsumgebung zur Offline-Programmierung

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: gegen Entgelt

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Frankreich

Dassault Systemes, <http://www.3ds.com/de/kaufen/>

- **KUKA.Sim**



KUKA.Sim Layout: Werkzeug zur Anlagenkonzeption. Unterschiedliche Layouts, Konzepte und Roboteraufgaben können mithilfe der Gestaltungsbibliothek, die neben allen KUKA Robotern auch Greifer, Förderer, Schutzzäune und vieles mehr enthält, simuliert und miteinander verglichen werden. Kollisionserkennung, Erreichbarkeitsprüfungen und die Visualisierung der Roboterbewegung sind damit im 3-D-Layout möglich.

KUKA.Sim Pro: Offline-Programmierung und -Simulation von KUKA Robotern. Die Software beinhaltet über die Funktionen von KUKA.Sim Layout die Erstellung von Robotersimulationen, Echtzeitdarstellung programmierter Bewegungsabläufe, der KUKA Roboter kann direkt in KRL (KUKA Robot Language) programmiert werden.

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Schulung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

KUKA Roboter GmbH - Global Sales Center, Hery-Park 3000, 86368 Gersthofen, Tel.: +49 (0) 8 21 / 45 33-0; sales@kuka-roboter.de

- **Roboguide**



Robotersimulations- und Programmierwerkzeug von Fanuc

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

FANUC Robotics Deutschland GmbH, Bernhäuser Straße 36, 73765 Neuhausen a.d.F.; Tel.: +49 (0) 7158 98 73 0

- **RobotStudio**



Robotersimulations- und Programmierwerkzeug von ABB

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Anzahl der Installationen: 1286

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

ABB Automation GmbH, Unternehmensbereich Robotics Grüner Weg 6, 61169 Friedberg, Tel.: +49 6031 85-0

- **Tecnomatix Robcad**



Tool zur Simulation von Arbeitszellen, Entwicklung aus mehreren Geräten bestehender robotergestützter und automatisierter Fertigungsprozesse, simulieren, optimieren, validieren und unabhängig programmieren im Zusammenhang konfigurierter Produkt- und Ressourcendaten.

Zielgruppen:

- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch, Französisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation

Anzahl der Installationen: 1286

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Siemens PLM Software, Siemens Industry Software GmbH & Co. KG, Franz-Geuer-Str. 10, 50823 Köln, Tel.: +49 221 20802-0, Fax +49 221 248928

9.1.7. EDA- / CAD- / Simulationssoftware für den elektrotechnischen Bereich

- **Agilent ADS, Agilent Genesys und AWR** Demo erhältlich 
(Microwave Office) HF- und Mikrowellen-Simulatoren mit Modelithics-Bauteilbibliothek

Zielgruppen:

- MMIC⁵⁸-Designer
- Signal Integrity⁵⁹ Engineers
- RFIC⁶⁰ Designer

Dialogsprache: Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Agilent Technologies Deutschland GmbH, Herrenberger Str. 130, 71034 Böblingen, Tel.: +49 (0) 7031 464-0

- **Allegro**  

PCB Layout mit integriertem Autorouter

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Englisch

Schulung: gegen Entgelt, Online-Trainingsvideos kostenlos

Hotline: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

FlowCAD in Deutschland, Mozartstraße 2, 85622 Feldkirchen bei München, Tel. +49 (89) 4563-7770, sales@FlowCAD.de

⁵⁸ Monolithic Microwave Integrated Circuit (monolithischer Mikrowellenschaltkreis)

⁵⁹ Signalintegrität

⁶⁰ "Unter das Akronym RFIC (Radio Frequency Integrated Circuit) fallen analoge Einchip-Sender/Empfänger" (Quelle: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/radio-frequency-integrated-circuit-RFIC.html>, zuletzt geprüft am 12.07.2013.

- **Altium Designer**

Demo erhältlich



PCB Layout mit integriertem Autorouter

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Altium, Tel. +49 (0)721 8244 300, sales.de@altium.com

- **Bartels AutoEngineer (BAE)**

Demo erhältlich



PCB Layout

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch, mehrsprachig

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Online-Hilfe, Technische Dokumentation (Online)

Wartung: gegen Entgelt

Preis: Bartels AutoEngineer Light Version 7.8: 189,21 EUR; Bartels AutoEngineer Professional Version 7.8: 7.723,10 EUR; Preisnachlässe für Universitäten, Schulen, Studenten sowie auf Sammelbestellungen

Sitz des Anbieters: Deutschland

Schleissheimer Str. 429, 80935 München, Tel.: +49-(0)89-856305 0, ludwig@bartels.de

- **Board Station**



PCB Layout mit integriertem Autorouter

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Mentor Graphics (Deutschland) GmbH, Arnulfstr. 201, 80634 München, Gabriele Tremmel, Tel.: 089-57096-0

- **CADSTAR**

Demo erhältlich



PCB Layout

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch, mehrsprachig

Support: Software-Upgrades, technischer Support und Zugang zu den Online-Bibliotheken für 1 Jahr im Preis enthalten

Preis: Kynetic: 12.000 EUR, Dynamic: 6700 EUR, Lite +: 1900 EUR

Sitz des Anbieters: Deutschland

CSK, Struckbrook 49, Altenholz, D-24161, Tel.: +49-431-329170, kluwetash@cskl.de

- **CR-8000/5000**



PCB Layout und EMV-Analyse

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Zuken GmbH (European HQ), Am Soeldnermoos 17, 85399 Hallbergmoos, Tel: +49 89 607696 00, Contact-CE@zuken.com

- **DxDesigner**

Demo erhältlich



PCB Layout

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Mentor Graphics (Deutschland) GmbH, Arnulfstr. 201, 80634 München, Gabriele Tremmel, Tel.: 089-57096-0

- **Eagle**

Demo erhältlich



PCB Layout mit integriertem Autorouter

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Technischer Support: Im Preis enthalten

Preis: EAGLE Hobbyist: 166,60 EUR; EAGLE Light: 73.78 EUR; EAGLE Professional: 1648.15 EUR (1-User), 9888.90 EUR (30-User)

Sitz des Anbieters: Deutschland

CadSoft Computer GmbH, Pleidolfweg 15, D-84568 Pleiskirchen, Tel.: +49-(0)8635-6989-10; vertrieb@cadsoft.de

- **EDWinXP**

Demo erhältlich



PCB Layout

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Schweden

Visionics Europe, Visionics Sweden HB, Ga Norrtaljev 97,182 47 Enebyberg. Sweden, Tel : +46 8 792 2620, visionics@bredband.net

- **EMC-Adviser**



Systementwurf und EMV-Analyse

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Zuken GmbH (European HQ), Am Soeldnermoos 17, 85399 Hallbergmoos, Tel: +49 89 607696 00, Contact-CE@zugen.com

- **EMPIRE**

Demo erhältlich



EMV-Simulation, 3D Feldsimulator

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauss-Str. 2, 47475 Kamp-Lintfort, Tel.: +49 2842 981 100

• **HarnessExpert**



3D-Software Stand-Alone Konstruieren und Dokumentieren von Kabelbäumen und Nagelbrettern

Zielgruppen:

- Kabelbaumhersteller und Konfektionäre
- Automobilbauer
- Fahrzeughersteller
- Freizeitfahrzeuge
- Schienenfahrzeuge
- Abfallfahrzeuge
- Rettungswagen
- Reinigungsmaschinen
- Land- & Baumaschinen
- Busse & Lkw
- Motorsport, Motorräder
- Materialtransport
- Weiße Ware (Waschmaschinen, Kühlschränke, Kaffeemaschine etc)
- Zulieferer
- Dienstleister
- Medizintechnik
- Maschinenbau
- Luftfahrt
- Apparatebau

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: im Preis enthalten

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Herstellers: Deutschland

Hersteller: Linius Technologies GmbH, Tel.: 09404-9639-86

- **MAFIA** Demo erhältlich 

EMV-Simulation

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

CST GmbH, Büdinger Str. 2a, D-64289 Darmstadt, Tel.: +49(0)6151/7303 – 0, Fax: +49(0)6151/7303-10, E-Mail: info@cst.de

- **MicrowaveStudio** Demo erhältlich 

EMV-Simulation, 3D Feldsimulator

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

CST GmbH, Büdinger Str. 2a, D-64289 Darmstadt, Tel.: +49(0)6151/7303 – 0, Fax: +49(0)6151/7303-10, E-Mail: info@cst.de

- **NI Multisim** Demo erhältlich 

PCB Layout/Spice-Simulationsumgebung

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Englisch

Support: 1 Jahr im Preis enthalten

Preis: Multisim Education Single Seat: 530,00 EUR, Multisim Education 25 User License: 5.090,00 EUR

Sitz des Herstellers: USA

National Instruments Germany GmbH, Ganghoferstraße 70 b, 80339 München, Tel : 089 7413130, info.germany@ni.com

- **OrCAD** Demo erhältlich 
PCB Layout
Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik
Dialogsprache: Englisch
Preis: auf Anfrage
Sitz des Herstellers: USA

Cadence Design Systems, Inc., 2655 Seely Avenue, San Jose, CA 95134, Tel.: 408.943.1234

- **PCBMod** Demo erhältlich 
EMV-Simulation
Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik
Dialogsprache: Deutsch, Englisch
Preis: auf Anfrage
Sitz des Anbieters: Deutschland

CST GmbH, Büdinger Str. 2a, D-64289 Darmstadt, Tel.: +49(0)6151/7303 – 0, Fax: +49(0)6151/7303-10, E-Mail: info@cst.de

- **PSPICE** Demo erhältlich 
Elektroniksimulation (analoge, digitale und hybrider Schaltungen mit Schwerpunkt auf der analogen Simulation)
Zielgruppen:
 - Für die Ausbildung von Elektronikern in Betrieben, Schulen und Hochschulen
 - Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, MechatronikDialogsprache: Englisch
Schulung: gegen Entgelt, Online-Tutorials
Hotline: gegen Entgelt
Preis: auf Anfrage
Sitz des Anbieters: Deutschland

FlowCAD in Deutschland, Mozartstraße 2, 85622 Feldkirchen bei München, Tel. +49 (89) 4563-7770, sales@FlowCAD.de

- **Pulsonix** Demo erhältlich 
PCB Layout
Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik
Dialogsprache: Englisch
Preis: auf Anfrage
Sitz des Herstellers: UK
tecnotron elektronik gmbh, Wildberg 64, 88138 Weißenberg, Tel.: 0 83 89 / 92 00-0, info@tecnotron.de

- **SEMCAD** Demo erhältlich 
EMV-Simulation, Thermische Analyse
Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik
Dialogsprache: Deutsch, Englisch
Tutorial: Online erhältlich
Preis: auf Anfrage
Sitz des Anbieters: Schweiz
Schmid & Partner Engineering AG, Zeughausstrasse 43, 8004 Zurich, Switzerland, Tel.: +41-44-2459700, semx-sales@speag.com

- **VeSys™ Electrical Series** 
VeSys 2D-CAD-Konstruktions-Software für elektrische Schaltpläne und Kabelbäume
Zielgruppen:
 - Kabelbaumhersteller und Konfektionäre
 - Zulieferer
 - Fahrzeughersteller
 - Abfallfahrzeuge
 - Reinigungsmaschinen
 - Land- & BaumaschinenDialogsprachen: Deutsch, Englisch, mehrsprachig
Schulung: gegen Entgelt
Hotline: nicht erforderlich

Installationssupport: im Preis enthalten

Wartung: gegen Entgelt

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: Deutschland

Das Produkt ist im Fachhandel erhältlich.

Anbieter: Linius Technologies GmbH, 09404-9639-86

- **XFtdt**

Demo erhältlich



EMV-Simulation

Zielgruppen: Ingenieure und Designer aus Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik

Dialogsprache: Englisch

Preis: auf Anfrage

Sitz des Anbieters: USA

Remcom Sales, 315 South Allen Street, Suite 416, State College, PA 16801 USA, Tel.: + 1-814-861-1299; sales@remcom.com

9.1.8. Weitere Simulationssoftware

- **CIROS Automation Suite**
(Nachfolger von COSIMIR)

Demo erhältlich



für die Bedürfnisse der Aus- und Weiterbildung modifizierte und erweiterte Version der in der Industrie eingesetzten Software, besteht aus fünf Programmpaketen, 3D-Simulation von komplexen Automatisierungssystemen

Zielgruppen:

- Bildungseinrichtungen
- Produktionstechnik
- Automatisierungstechnik

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Benutzerhandbuch, Bücher, Lehrmittel, Datenblätter, Demo-Version

Preis: Basislizenz 4.462,50 EUR

Sitz des Herstellers: Deutschland

Festo Didactic; Bestell-Hotline: 0800-5600967

• **Mathcad** Demo erhältlich



Konstruktionsberechnungen

Zielgruppen:

- Anlagenbau /Metallbau
- Automotiv / Fahrzeugbau
- Fertigungsbetriebe
- Formen- und Werkzeugbau
- Luftfahrtindustrie
- Maschinenbau / Mechatronik
- Medizin und Messtechnik
- Technische Büros
- Hoch- und Tiefbau
- Elektrische, elektronische Hilfstechik
- Bildungseinrichtungen

Dialogsprachen: mehrsprachig

Dokumentation: Demo-Version

Schulung: gegen Entgelt

Hotline: gegen Entgelt

Installationssupport: nicht erforderlich

Wartung: gegen Entgelt

Anzahl der Installationen: 250000

Preis: auf Anfrage (inkl. Libraries und Extension Packs, inkl. 1. Jahr Wartung)

Sitz des Anbieters: Deutschland

Anbieter: MCG-Service GmbH, Stefan Sauter, Tel.: +49-7586/917050

• **Mathematica** Demo erhältlich



komplexe mathematische Berechnungen und Simulationen. Mathematica bietet mathematische Funktionen zur Lösung von Aufgaben aus Ingenieurwesen, Finanz- und Versicherungsmathematik, Mathematik, Statistik, Physik, "Chemical Computing" sowie Naturwissenschaften

Zielgruppen:

- Anlagenbau /Metallbau

- Automotiv / Fahrzeugbau
- Fertigungsbetriebe
- Formen- und Werkzeugbau
- Luftfahrtindustrie
- Maschinenbau / Mechatronik
- Medizin und Messtechnik
- Technische Büros
- Hoch- und Tiefbau
- Elektrische, elektronische Hilfsttechnik
- Bildungseinrichtungen

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Online-Version

Schulung: Online-Learning-Center und Knowledge-Base, Kurse on Demand

Wartung: gegen Entgelt, je nach Lizenz per Email oder Telefon teilw. im Preis enthalten

Preis: Home: 295 EUR; Starter: 1.270 EUR; Standard: 3.185 EUR; Enterprise: 8.920 EUR. Neben der Standard-Lizenz sind günstigere Lizenzen für Studenten und Lehre erhältlich. Eine Registrierung ist vor dem Download erforderlich.

Sitz des Anbieters: UK

The Wolfram Centre, Lower Road, Long Hanborough, Oxfordshire OX29 8FD. United Kingdom, Tel.: +44-(0)1993-883400, info@wolframalpha.com

- **Maple**

Demo erhältlich



Maple: Berechnungsprogramm für numerische und symbolische Berechnungen, Untersuchungen, ermöglicht die Erstellung von Grafiken und Animationen
 MapleSim: Modellierung und Simulation physikalischer Systeme bsw. Signalfluss, Elektrotechnik, 3D-Mehrkörpermechanik und Thermodynamik

Zielgruppen:

- Anlagenbau /Metallbau
- Automotiv / Fahrzeugbau
- Fertigungsbetriebe
- Formen- und Werkzeugbau
- Luftfahrtindustrie
- Maschinenbau / Mechatronik
- Medizin und Messtechnik
- Technische Büros
- Hoch- und Tiefbau
- Elektrische, elektronische Hilfsttechnik
- Bildungseinrichtungen

Dialogsprache: Englisch

Dokumentation: Online-Version, Online-Tutorials

Schulung: Webinare und Knowledge-Base, Kurse on Demand

Wartung: gegen Entgelt, je nach Lizenz per Email oder Telefon teilw. im Preis enthalten

Preis: Professional: 2.280,00 EUR; Academic: 1.245,00 EUR; MapleSim: 5.520,00 EUR; MapleSim Academic: 1.245,00 EUR;

Sitz des Anbieters: Deutschland

Maplesoft GmbH, Auf der Hüls 198, 52068 Aachen, Tel: +49-241-980919-31, Sabine Bormann - sbormann@maplesoft.com, Thomas Richard - trichard@maplesoft.com

- **Yenka**

Demo erhältlich



Nachfolger von Crocodile Clips

Virtuelles Labor, Simulations-Software für Physik-, Technik-, IT- und Chemieunterricht

Das Paket Yenka Chemie enthält die Themen Anorganische Chemie und Elektrochemie

Das Paket Yenka Physik enthält die Themen Elektrizität und Magnetismus, Licht und Schall, Bewegung

Das Paket Yenka Physik mit Elektronik enthält die Themen Elektronik, Elektrizität und Magnetismus, Licht und Schall, Bewegung

Zielgruppen:

- Bildungseinrichtungen

Dialogsprachen: Deutsch, Englisch

Preis: Heimversion kostenlos, Yenka Chemie Klassenraumlizenz: 155 EUR; Yenka Physik Klassenraumlizenz: 210 EUR; Yenka Physik mit Elektronik Klassenraumlizenz: 310 EUR; Yenka Chemie Standortlizenz: 520 EUR; Yenka Physik Standortlizenz: 690 EUR; Yenka Physik mit Elektronik Standortlizenz: 1.030 EUR;

Sitz des Anbieters: UK

Crocodile Clips Ltd, 43 Queensferry Street Lane, Edinburgh EH2 4PF, Scotland, UK, Tel.: (+44) 0131 226 1511

- **Metalltechnik Grundwissen. PC-Animationen**



visualisierte Arbeitsaufträge aus den Lernfeldern 1 - 4

Zielgruppen:

- Bildungseinrichtungen in der metalltechnischen Domäne

Dialogsprache: Deutsch

Preis: 25,95 EUR

Sitz des Anbieters: Deutschland

Westermann, Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann, Schroedel Diesterweg
Schöningh Winklers GmbH, Georg-Westermann-Allee 66, D-38104 Braunschweig,
Tel.: +49 (0) 5 31/ 708 86 86, bestell@bms-verlage.de

- **Flexible Animation Builder** Demo erhältlich 

(kurz FAB) für WinFACT zur Erstellung von Prozessvisualisierungen, Animationen
und Bedienoberflächen für das Simulationssystem BORIS

Die Animationen können sowohl direkt innerhalb von BORIS oder aus einer "Stand-
Alone-Version" des Animation Builders erstellt werden

Zielgruppen:

- Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
- Modellierung von Prozessen und Prozessanalyse

Dialogsprache: Deutsch, Englisch

Dokumentation: Online

Support: Online

Preis: Einzelplatzlizenz Industrie: 580,00 EUR; Studienlizenz: 580,00 EUR

Sitz des Anbieters: Deutschland

Ingenieurbüro Dr. Kahlert Software-Engineering & Automatisierungstechnik,
Ludwig-Erhard-Str. 45, D-59065 Hamm, Tel.: 0 23 81 / 926 996,