

Problemlösekompetenz in komplexen technischen Systemen

Möglichkeiten ihrer Entwicklung und Förderung im Unterricht der Berufsschule mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation. Theoretische und empirische Analyse in der gewerblich-technischen Berufsbildung.

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor philosophiae (Dr. phil.)

an der Fakultät Erziehungswissenschaften

der Technischen Universität Dresden

eingereicht von

Rüdiger Tauschek

Tag der Einreichung:	22. Dezember 2004
Tag der mündlichen Prüfung:	10. Juli 2006
Tag der Verteidigung:	10. Juli 2006
Dekan:	Prof. Dr. Frank Nestmann
Vorsitzender:	Prof. Dr. Hanno Hortsch
Gutachter:	Prof. Dr. Wolfgang Ihbe Prof. Dr. Klaus Breuer PD. Dr. Manuela Niethammer

Problemlösekompetenz in komplexen technischen Systemen

Möglichkeiten ihrer Entwicklung und Förderung im Unterricht der Berufsschule mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation. Theoretische und empirische Analyse in der gewerblich-technischen Berufsbildung.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen herzlich danken, die zum Entsehen und Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. habil. Wolfgang Ihbe für die vielfältigen Anregungen und Ratschläge, sowie für die Ermunterung, den ersten Schritt in diesem Forschungsvorhaben zu wagen und für die Schaffung der notwendigen Rahmenbedingungen.

Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. Klaus Breuer für die Mitbetreuung der Arbeit und sein persönliches Engagement danken. Hier lernte ich die Entwicklung komplexer Problemlösekompetenzen nicht nur theoretisch zu erforschen, sondern auch immer wieder neu ihre Förderung im schulischen Arbeitsalltag praktisch umzusetzen.

Herrn Dieter Kleine, Regierungsschuldirektor am Pädagogischen Zentrum Bad Kreuznach, danke ich für das Korrekturlesen.

Bei allen Teilnehmern des Forschungs- und Doktorandenkolloquiums der Johannes Gutenberg Universität Mainz möchte ich mich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und für die rege Diskussionsbereitschaft bedanken.

Auch meiner Familie, die auf ihre Weise durch Verständnis und Verzicht auf viele gemeinsame Stunden diese Arbeit unterstützt hat, danke ich sehr. Nicht zuletzt danke ich darüber hinaus meiner Freundin Tine für ihr großes Herz, ihren ermutigen Beistand und ihre außergewöhnliche Art, das Leben besonders zu machen.

Trebur, im Dezember 2004

Rüdiger Tauschek

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Zur Praxisrelevanz der Arbeit	1
1.2	Problemlage und Zielsetzung	3
1.3	Aufbau der Arbeit.....	9
2	Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen - Konzeptualisierung, Funktion sowie Grundlagen ihrer Entwicklung und Erfassung.....	14
2.1	Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen - Ein Schlüssel zum Verständnis komplexer Problemlöseleistungen	14
2.1.1	Problematik einer Begriffsdefinition.....	15
2.1.2	Vielfalt disziplinärer Zugangsmöglichkeiten	16
2.1.3	Methodische Probleme beim Erfassen von Kompetenzen	22
2.1.4	Konzeptuelle Grundlagen und Vorschlag zur Systematisierung der Begriffsdefinitionen	25
2.1.4.1	Ausgewählte Kompetenzmodelle aus pädagogischer und psychologischer Sicht	26
2.1.4.2	Kompetenzorientierter Ansatz der beruflichen Weiterbildung.....	28
2.1.4.3	Kompetenzorientierter Ansatz ausgewählter nationaler und internationaler Schulleistungsstudien	30
2.1.5	Konzeptionelle und funktionelle Definition für das Forschungsvorhaben.....	32
2.2	Komplexes Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz	35
2.2.1	Begrifflichkeit und Abgrenzung	36
2.2.2	Konzept und psychologische Grundlagen: vom analytischen Problemlösen zum komplexen Problemlösen.....	38
2.2.2.1	Analytisches Problemlösen.....	38
2.2.2.2	Komplexes Problemlösen	40
2.2.2.2.1	Besonderheiten beim Lösen komplexer Probleme.....	40
2.2.2.2.2	Merkmale komplexer Probleme	42
2.2.3	Besonderheiten des Problemlösens beim Umgang mit komplexen technischen Systemen.....	46
2.2.3.1	Interne Repräsentation	47
2.2.3.2	Mentale Modelle	48
2.2.3.3	Wissenstaxonomie der Steuerung komplexer technischer Systeme	53
2.2.3.3.1	Wissensformen.....	53
2.2.3.3.2	Steuerleistung und implizites Wissen.....	55
2.2.3.3.3	Zur Diagnose.....	56
2.2.3.3.4	Taxonomie der Wissensbegriffe	57
2.2.4	Problemklassifikation beim Umgang mit komplexen Systemen.....	60
2.2.5	Komplexe Problemlösekompetenz und Wissen	63

2.2.5.1	Theoretische Überlegungen zum Zusammenhang von Wissen und komplexem Problemlösen	65
2.2.5.2	Expertiseforschung.....	68
2.2.6	Theoretische Grundlagen für die Gestaltung computergestützter Lernumgebungen zur Förderung komplexer Problemlösekompetenz	73
2.2.6.1	Prozessmerkmale des Wissenserwerbs	73
2.2.6.2	Das Phänomen „träges Wissen“	76
2.2.6.3	Gestalten von Lernumgebungen.....	78
2.2.6.4	Problemorientierte Lernumgebungen - Möglichkeiten zur Förderung einer komplexen Problemlösefähigkeit?	83
2.2.6.5	Theoretische Grundannahmen zum situierten Lernen	86
2.2.6.5.1	Situierte Ansätze zur Gestaltung von Lernumgebungen und Unterrichtsmodelle.....	91
2.2.6.5.2	Situierte Kognition und Instruktion: Wie wird situierte Kognition gestaltet?.....	97
2.3	Erfassen komplexer Problemlösekompetenz: Methodische und diagnostische Grundlagen	103
2.3.1	Diagnostik komplexer Probleme	103
2.3.2	Methodenprobleme bei der Arbeit mit komplexen Systemen	105
2.3.2.1	Problemlösegütekriterien	105
2.3.2.2	Reliabilität.....	107
2.3.2.3	Validität	108
2.3.3	Generalisierbarkeit und Transferierbarkeit.....	109
2.3.4	Prinzipien computergestützter Aufgaben- und Testentwicklung	114
3	Erfassen komplexer Problemlösekompetenz über computergestützte Modellbildung und Simulation in der Regelungstechnik	117
3.1	Arbeitsprozesswissen - Bezugspunkt für die Gestaltung beruflicher Kompetenzentwicklung am Beispiel des Erfassens komplexer Problemlösekompetenzen in der Ausbildung zum Prozessleitelektroniker	117
3.1.1	Zum Begriff des Arbeitsprozesswissens	118
3.1.1.1	Begrifflichkeiten und Perspektiven.....	118
3.1.1.2	Zusammenhang zwischen Arbeitsprozesswissen und Lernen in der beruflichen Bildung	121
3.1.2	Analyse des Arbeitsprozesswissens von Prozessleitelektronikern.....	123
3.1.2.1	Was ist Prozessleittechnik?	124
3.1.2.2	Der Beruf Prozessleitelektroniker	127
3.1.2.2.1	Berufsbildbeschreibung	127
3.1.2.2.2	Arbeitsgegenstände.....	130
3.1.2.2.3	Veränderte Berufswelt durch neue Technologien	131
3.2	Unterrichtliche Konzeption einer computergestützten Modellbildung und Simulation der Regelungstechnik in der beruflichen Erstausbildung	135
3.2.1	Regelungstechnische Systeme als Gegenstand von Lernen und komplexem Problemlösen in der beruflichen Erstausbildung	135

3.2.1.1	Regelungstechnik und Systembegriff.....	135
3.2.1.1.1	Zum Verständnis grundlegender Begriffe der Regelungstechnik	136
3.2.1.1.2	Dynamisches Verhalten.....	138
3.2.1.1.3	Statisches Verhalten.....	140
3.2.1.1.4	Einstellen der Regelparameter	141
3.2.1.2	Analyse der zu erwartenden Lern- und Verständnisschwierigkeiten	142
3.2.1.3	Gestalten von Lernprozessen in der Regelungstechnik durch computerge- stützte Modellbildung und Simulation.....	144
3.2.2	Curriculumbezug	149
3.2.3	Didaktische Vorbemerkungen.....	152
3.2.3.1	Intentionen und Ziele	152
3.2.3.2	Regelungstechnische Grundbildung in der beruflichen Erstausbildung.....	153
3.2.3.3	Aufgabenentwicklung	155
3.2.4	Lösen regelungstechnischer Aufgaben als Modellierungs- und Simulations- prozess.....	156
4	Unterrichtspraktische Studie	161
4.1	Problemhintergrund und Problemstellung	161
4.1.1	Didaktische und theoretische Fundierung: P-Regler mit P-Strecke	161
4.1.2	Didaktische und theoretische Fundierung: P-Regler mit P-T1-Strecke.....	163
4.1.3	Modellbildung und Simulation	166
4.1.3.1	Dynamisches Regelkreisverhalten.....	166
4.1.3.2	Statisches Regelkreisverhalten.....	170
4.2	Quasiexperimentelle und explorative Studie zur Ermittlung eines unterricht- lichen Zugangs zu komplexem regelungstechnischen Systemverhalten über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS).....	173
4.2.1	Aufbau der Untersuchung	173
4.2.1.1	Das Erkenntnisinteresse der empirischen Untersuchung.....	173
4.2.1.2	Die Stichprobe und einige Grunddaten	174
4.2.2	Erhebungsinstrumente und Materialien	177
4.2.3	Hypothesen	179
4.2.4	Ergebnisse der Untersuchung	180
4.2.5	Diskussion	190
5	Diskussion und Ausblick	193
5.1	Zusammenfassung der Arbeit.....	193
5.2	Möglichkeiten und Grenzen der Förderung einer Problemlösekompetenz im Umgang mit komplexen regelungstechnischen Systemen	197
5.3	Offene Fragen	199
6	Literaturverzeichnis	203

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Schritte der Bestimmung und Präzisierung von Problemlösekompetenzen (in Anlehnung an EULER 2001, S. 349)	37
Abb. 2	Lokalisierung einer Problemsituation (in Anlehnung an ULRICH/PROBST 1995, S. 61)	41
Abb. 3	Kennzeichen komplexer Probleme (nach HASSELMANN 1993, S. 37).....	44
Abb. 4	Formen deklarativen und prozeduralen Wissens für technische Systeme (nach KLUWE 1991, S. 314)	54
Abb. 5	Pfadmodell zur Vorhersage beruflicher Leistung (nach SCHMIDT 1992, zit. in SÜSS 1996, S. 32).....	64
Abb. 6	Pragmatische Auffassung zur Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen (nach REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 625).....	84
Abb. 7	Vorläufer und Vertreter situierter Lernumgebungen (nach REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 623)	88
Abb. 8	Muster der Interkorrelation zwischen Kompetenzfaktoren (nach KLIEME ET AL. 2001, S. 196).....	109
Abb. 9	Operationalisierungen des Problemlöseerfolges (in Anlehnung an KERSTING 1999, S. 70)	110
Abb. 10	Technischer Prozess (in Anlehnung an BOLCH/VOLLATH 1991, S. 20).....	125
Abb. 11	Einbinden der Leiteinrichtung nach DIN 19222 (nach STROHRMANN 1998, S. 13)	126
Abb. 12	Regelkreis nach DIN 19226	136
Abb. 13	Aufgelöste Blockdarstellung eines Regelkreises (nach STROHRMANN 1996, S. 317)	137
Abb. 14	Komponenten des Regelkreises (nach STROHRMANN 1998, S. 77)	138
Abb. 15	Zeitkonstante nach DIN 19226	139
Abb. 16	Verzugs- und Ausgleichszeit nach DIN 19226.....	139
Abb. 17	Der Prozess des Modellierens regelungstechnischer Problemstellungen (in Anlehnung an KLIEME/NEUBRAND/LÜDTKE 2001, S. 144 mit modifizierten Bezeichnungen)	158
Abb. 18	Berechnung eines Regelkreises (vereinfachtes Blockschaltbild)	161
Abb. 19	Modellbildung eines Regelkreises (P-Regler und ideale Durchflussregelstrecke) mit WinFACT	167
Abb. 20	Simulationsergebnisse (Regelung einer idealen Durchflussstrecke mit P-Regler)	167
Abb. 21	Stabilitätsbetrachtung (Dauerschwingen bei Grenzstabilität)	167
Abb. 22	Modellbildung der Regelung einer (realen) Durchflussstrecke mit P-Regler ...	168
Abb. 23	Sprungantwort einer P-T ₁ -Regelstrecke: Mit und ohne P-Regler	169
Abb. 24	Führungsverhalten einer P-Regelstrecke mit Verlauf der Regeldifferenz.....	169
Abb. 25	Verlauf der Führungsgröße bei unterschiedlichen Reglerverstärkungen	170
Abb. 26	Vereinfachter Wirkungsplan einer Regelung nach DIN 19226.....	171

Abb. 27	Ermittlung einer statischen Streckenkennlinie: Modellbildung (oben) und Simulation (unten).....	171
Abb. 28	Modellbildung: Ermittlung von P-Regler-Kenndaten	172
Abb. 29	Simulation: Ermittlung von P-Reglerkenndaten ($k_p = 3$).....	172
Abb. 30	Statische Kennlinien eines P-Reglers und einer Regelstrecke mit Ausgleich .	172
Abb. 31	2 (Schulische Leistungen in Mathematik: gut vs. nicht gut) x 2 (Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten: hoch vs. gering) - Faktorielles Untersuchungsdesign unter Berücksichtigung der Kovariaten „Reichweite des mentalen Modells“	176
Abb. 32	Vereinfachtes Blockschaltbild einer Druckregelung mit P-Regler	178
Abb. 33	Bivariate Verteilung der Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“ als Streudiagramm	184

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Einteilung nach Problemtypen (in Anlehnung an DÖRNER 1979, S. 14 mit modifizierten Bezeichnungen)	43
Tab. 2	Taxonomie der Wissensbegriffe im Umgang mit komplexen Systemen (nach SÜSS 1996, S. 66).....	59
Tab. 3	Determinanten des Umgangs mit komplexen, computersimulierten Realitätsbereichen (nach FUNKE 1986, S. 127)	61
Tab. 4	Vergleich zwischen traditionellen und konstruktivistischen Annahmen zum Lernprozess (REIMANN-ROTHMEINER/MANDL 1997 und SCHNURER/STARK/MANDL 2003).....	81
Tab. 5	Symbole und Bezeichnungen grundlegender Begriffe der Regelungstechnik..	137
Tab. 6	Ausschnitt aus dem Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Prozessleit-elektroniker (BESCHLUSS DER KMK vom 2. April 1992)	150
Tab. 7	Häufigkeitsverteilung der Variablen „e:_Erklärung_für_e _b “	181
Tab. 8	Verteilung der Variablen „Erklärung der bleibenden Regeldifferenz“ aus dem Nachttest.....	182
Tab. 9	Verteilung der Variablen „Erklärung für das Verschwinden von e _b nach Einstellung des Arbeitspunktes“ aus dem Nachttest.....	182
Tab. 10	T-Test. Korrelation und Signifikanz bei gepaarten Stichproben	182
Tab. 11	T-Test bei gepaarten Stichproben. 2-seitige Signifikanzprüfung der Variablen „e/a:_Erklärung_für_e _b “	182
Tab. 12	T-Test bei gepaarten Stichproben: Signifikanzprüfung der Variablen „e/a: Erklärung für Verschwinden von e _b nach Einstellung des Arbeitspunktes“	183
Tab. 13	Statistik bei gepaarten Stichproben - Mittelwertevergleich der beiden Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“	183
Tab. 14	Korrelation und Signifkanz bei gepaarten Stichproben – Mittelwertevergleich der beiden Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“	183
Tab. 15	Test der Zwischensubjekteffekte: Univariate Varianzanalyse mit den Faktoren „Mathematikleistung“ und „Selbsteinschätzung der mathematischen Fähigkeiten“ sowie der Kovariate „Reichweite des mentalen Modells – Vortest“	184
Tab. 16	Logistische Regression mit vier Faktoren und einer unabhängigen binären Variablen.....	186
Tab. 17	Lineares Regressionsmodell mit 8 Einflussfaktoren und der abhängigen Variablen „Ergebnis_Ausgangstest“	187
Tab. 18	T-Test: Statistik bei der Stichprobe der Leistungen der Fachschüler im Abschlussstest	188

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

ABWF	Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V.
AP	Arbeitspunkt
BETA	Berufsübergreifende, teamorientierte Ausbildung
BiBB	Bundesinstitut für Berufsbildung
BIS	Berliner Intelligenzstrukturmodell
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BORIS	Blockorientiertes Simulationssystem
CBT	Computer Based Training
CMS	Computergestützte Modellbildung und Simulation
CNC	Computer Numerical Control
D	Differenzier-
DESI	Deutsch-Englisch-Schülerleistungen-International
DIN	Deutsche Industrie-Norm(en)
e	Regeldifferenz
e_b	bleibende Regeldifferenz
e_w	Regelabweichung
\underline{E}_R	(komplexe) Übertragungsfunktion der Regeleinrichtung
\underline{E}_S	(komplexe) Übertragungsfunktion der Regelstrecke
I	Integrier-
ITAE	integral of time-multiplied absolute error
k	Proportionalitätsfaktor
KKR	Kasseler-Kompetenz-Raster
KLLU	Komplexe Lehr- und Lernsituationen zur Umsetzung betrieblicher Handlungssituationen mit Hilfe multimedialer Lerntechnologien im Berufsfeld Wirtschaft und Verwaltung
KMK	Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland
KONSIL	Kontinuierliche Selbstorganisation von Innovationen im Lernortverbund Berufsschule - Betrieb am Beispiel des neuen Berufs Prozessleitelektroniker
k_P	Proportionalbeiwert des Reglers
k_S	Proportionalbeiwert der Regelstrecke
LMI	Leistungsmotivationsinventar
MARKUS	Mathematik-Gesamterhebung Rheinland-Pfalz: Kompetenzen, Unterrichtsmerkmale, Schulkontext
MIT	Massachusetts Institute for Technology
MSR	Mess-Steuer-Regeltechnik
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

P	Proportional
PC	Personal Computer
PISA	Programme for International Student Assessment
PLT	Prozessleittechnik
QUEM	Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management
R	Regelfaktor
r	Rückführgröße
RI-Fließbild	Rohrleitung-Instrumenten-Fließbild
SCHOLASTIK	Schulorganisierte Lernangebote und Sozialisation von Talenten, Interessen und Kompetenzen
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
T	Zeitkonstante
T_a	Ausregelzeit
T_g	Ausgleichszeit
T-Glied	Verzögerungsglied
TIMSS	Third International Mathematics and Science Study
t_0	Zeitpunkt des Eingangssignals
TOP-Test	Test zur beruflichen Orientierung und Planung
T_u	Verzugszeit
VI	Versuchsleiter
Vp	Versuchsperson
w	Führungsgröße
ω	Kreisfrequenz
x	Regelgröße
x_a	Ausgangsgröße
x_e	Eingangsgröße
x_i	Istwert der Regelgröße
x_m	Überschwingweite
X_p	Proportionalbereich
x_s	Sollwert der Regelgröße
x_w	Regelabweichung
y	Stellgröße
y_h	Stellbereich
z	Störgröße
z_R	Störgröße der Regeleinrichtung
z_S	Störgröße des Regelstrecke

1 Einleitung

1.1 Zur Praxisrelevanz der Arbeit

Die Anregung zur Erstellung dieser Arbeit erhielt ich von meinem Doktorvater, Herrn Professor Wolfgang Ihbe, Lehrstuhl für Bildungstechnologie der Technischen Universität Dresden, während meiner Tätigkeit als Lehrer an einer gewerblich-technischen Berufsbildenden Schule. Dort unterrichtete ich schwerpunktmäßig Prozessleitelektroniker¹ in Fachklassen der Berufsschule sowie angehende Staatlich geprüfte Techniker in der Fachschule, Bildungsgang für Elektrotechnik jeweils auf dem Gebiet der Prozessleittechnik. In dieser Zeit war immer wieder zu beobachten, wie schwierig es für Lernende ist, einen verständnisvollen Zugang zu komplexen technischen Systemen zu finden und wie schwer es ihnen fällt, geeignete mentale Modelle mit ausreichend großer Reichweite zum erfolgreichen Umgang mit komplexem Systemverhalten in prozessleittechnischen Anlagen für ihren späteren Beruf zu entwickeln.

Mit Prozessleittechnik und insbesondere mit Regelungstechnik werden grundsätzlich während der beruflichen Erstausbildung in technischen Fachrichtungen alle und in der beruflichen Weiterbildung alle diejenigen konfrontiert, die bereits umfangreiche Erfahrungen in der Berufsgrundbildung ihres Fachgebietes erworben haben.² Wie in fast jeder Technologie werden dabei komplizierte und komplexe Zusammenhänge meistens mit Hilfe mathematischer Modelle erklärt. Im Falle der Regelungstechnik sind dies auf Ebene der Hochschulausbildung zum Beispiel die Laplace-Transformation und Differentialgleichungsansätze oder auf Ebene der Fachschulen für Technik die Komplexe Rechnung sowie die Differential- beziehungsweise Integralrechnung. Die Mathematik erlaubt es Lernenden, komplexes Verhalten von rückgekoppelten, nichtlinearen und mit Verzögerungs- und mit Totzeiten behafteten Systemen regelungstechnischer Prozesse modellhaft zu verstehen. Es ist leicht nachvollziehbar, dass viele Lehrer das methodische Hilfsmittel der Mathematik auch auf Ebene der beruflichen Erstausbildung nicht ganz aufgeben wollen, obwohl man weiß - nicht zuletzt seit Veröffentlichung der Ergebnisse internationaler Schulleistungsvergleichsstudien (zum Beispiel TIMSS³, März 1998) -, dass es den meisten ihrer Schüler zunehmend schwerer fällt, sich dieses Werkzeugs zu bedienen. Die Befunde spiegeln sich insbesondere in der beruflichen Bildung wieder. Auch dort zeigt es sich, wie problematisch es für Lernende ist, einen zur abstrakten mathematischen Modellbildung alternativen Zugang zu selbst einfachen technischen Systemen zu finden. Der Vorteil, komplexe Zusammenhänge mathematisch darstellen zu können, kehrt sich allerdings oft in das ungewollte Gegenteil um, wenn im Gebrauch dieses Hilfsmittels - speziell in der Facharbeiterausbildung - größte Schwierigkeiten auftreten.

Aus diesem Grunde ist es verständlich, wenn viele Lehrer beklagen, dass in ihrem Unterricht mathematische Modellbildungen beziehungsweise -betrachtungen für den Einzelnen zu abstrakt seien und zu rascher Resignation führten. Mit der Folge, dass bei Fehlen eines alternativen Erschließungsweges zum Thema das strukturelle Erwerben von fachbezogenem Wissen verloren geht beziehungsweise gar nicht erst statt finden kann. Diese vielfach vermerkte Nicht-

¹ Zum Zwecke der besseren Lesbarkeit werden in der vorliegenden Arbeit verwendete Berufs- und Personenbezeichnungen durchgehend nur in einer Geschlechtsform (Maskulinum) verwendet. Eine Einschränkung des Geltungsbereiches ist damit nicht verbunden. Sie besitzen gleichermaßen Gültigkeit für beide Geschlechter.

² Zum Beispiel Elektrotechniker, Metalltechniker, Heizungs-, Klima- und Lüftungstechniker, Kältetechniker, Fahrzeugtechniker, Chemie- beziehungsweise Physikkaboranten, Mechatroniker. Den stärksten Niederschlag findet die Prozessleittechnik in der Berufsausbildung zum Prozessleitelektroniker.

³ TIMSS III (Third International Mathematics and Science Study); BAUMERT ET AL. 2000

Verwertbarkeit unterrichtlicher Inhalte sabotiert häufig die Motivation von Berufsschülern. Die erhoffen sich eigentlich von ihrem Unterricht Hilfe zur Bewältigung ihres betrieblich definierten Handlungsfeldes und sehen Lernortkooperation als Verzahnung zwischen schulischen Ausbildungserfahrungen und betrieblichen Verwertungsmöglichkeiten an.

Wie schwer es nicht nur Lernenden der Regelungstechnik in der Berufsschule fällt, sich Wissen zum erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen anzueignen und über die damit verbundenen Zeitabläufe die richtigen Vorstellungen zu gewinnen, darauf haben bereits REICHERT/DÖRNER (1988) hingewiesen: Wenn Lernende in technischen Systemen handeln müssen, die sich nicht gemäß einem sehr einfachen Zeitmuster verhalten, ergeben sich sehr schnell große Schwierigkeiten. Die sich stellende Frage ist also, ob man den Lernenden durch geeignete Alternativen zur überwiegend mathematischen Modellbildung einen Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemen im Unterricht der berufsbildenden Schule ermöglichen kann, so dass in diesem Zusammenhang für sie eine Reflexion ihres eigenen Handelns und förderliche Lernprozesse auch ohne entsprechende Kenntnisse in höherer Mathematik möglich wird? Werden angehenden Facharbeitern im Unterricht der Berufsschule alternative Zugänge aufgezeigt, indem zum Beispiel bei der Gestaltung der Lernprozesse computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) eingesetzt wird, so lässt sich vielfach beobachten, dass es Schülern dann gelingt, mentale Modelle mit ausreichend hoher Reichweite zu entwickeln (HILLEN/BERENDES/BREUER 2000) und damit einen Zugang zu komplexem Systemverhalten zu finden.

Vor dem Hintergrund dieser unterrichtspraktischen Relevanz thematisiert die vorliegende Arbeit als übergeordnetes Ziel, mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) das Erfassen und Beherrschen komplexer technischer Systeme zum Aufbau beruflicher Handlungskompetenz⁴ als wesentlicher Bestandteil des Bildungsauftrags der Berufsschule (KMK 2000a) in verstärktem Maße unterrichtlich etablieren zu können. Eine vorrangige Aufgabe dabei ist es, Lehrenden bei der praktischen Gestaltung geeigneter Lernsituationen Hilfestellung zu leisten bei der Entscheidung, ob und in welcher Form computergestützte Modellbildung und Simulation zu diesem Zweck geeignet ist.

Die Problematik wird anhand von drei Leitfragen diskutiert:

1. Stellt die computergestützte Modellbildung und Simulation ein geeignetes unterrichtliches (didaktisch-methodisches) Mittel dar, um bei Lernenden eine Problemlösekompetenz zum Erfassen und Beherrschen komplexer technischer Systeme zu entwickeln?
2. Stellt die computergestützte Modellbildung und Simulation ein geeignetes Diagnoseinstrument für die Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz von Lernenden unter schulischen Bedingungen dar?
3. Welche Gütekriterien muss computergestützte Modellbildung und Simulation erfüllen, um als geeignetes unterrichtliches Erhebungsinstrument zum Erfassen komplexer Problemlösekompetenzen eingesetzt werden zu können?

Damit sind Fragen skizziert, die in Theorie und Berufsbildungspraxis erst ansatzweise aufgenommen worden sind und daher ein großes Innovationspotenzial besitzen. Übergeordnetes Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, am Beispiel von Erwerb, Aufbau und Förderung einer Prob-

⁴ Unter Handlungskompetenz versteht man die Fähigkeit, „die in einer speziellen Domäne gestellten Anforderungen erfolgreich bewältigen zu können. Dabei sollten sowohl wiederkehrende Anforderungen möglichst ökonomisch erledigt werden können, als auch neu auftauchende Probleme keine unüberwindbaren Hindernisse darstellen.“ (STARK ET AL. 1995, S. 291) Die (Aus-)Bildungsziele der Berufsschule sind auf die Entwicklung von Handlungskompetenz ausgerichtet (vgl. Handreichung der KMK (KMK 2000a)).

lemlösekompetenz zum erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen das Konzept „fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen“ fachlich zu klären und eine einheitliche Rahmenkonzeption für den gewerblich-technischen Unterricht an berufsbildenden Schulen dafür vorzustellen⁵. Den Lehrenden im Bereich der gewerblichen Bildung soll so eine Möglichkeit aufgezeigt werden, wie die Entwicklung und Förderung dieser bereichsübergreifenden Kompetenzen angelegt sein sollte und wie sie diese in ihrem Unterricht entwickeln und nutzen können. Dabei soll die nationale und internationale⁶ bildungswissenschaftliche Diskussion berücksichtigt werden und die Forschungsergebnisse der letzten Jahre, insbesondere auf dem Gebiet der Wirtschaftspädagogik⁷, auch in der Berufspädagogik einer breiteren Basis zugänglich gemacht werden.

1.2 Problemlage und Zielsetzung

Der Bildungsauftrag der berufsbildenden Schule geht über die Vermittlung fachlicher Qualifikationen hinaus. In Schulgesetzen oder in Präambeln von Lehrplänen kommt allgemeinen Zielen wie die der Erziehung zur Mündigkeit, zum eigenständigen kritischen Denken oder zur Bereitschaft der Übernahme sozialer Verantwortlichkeit eine zentrale Rolle zu. „Auch wenn man sich auf Ziele beschränkt, die den Kern von Bildung ausmachen, nämlich die Aneignung kultureller Inhalte und den Erwerb von Kompetenzen für eigenständiges Handeln, wird man überfachliche Leitvorstellungen zu berücksichtigen haben: Befragt man beispielsweise Arbeitgeber, Hochschullehrer oder auch Eltern, welchen Ertrag schulische Bildung erbringen sollte, werden Problemlösefähigkeiten, Lernkompetenz oder Team- und Kommunikationsfähigkeit an vorderer Stelle genannt.“ (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 203). Im Rahmen von Entwicklungsprogrammen weisen Schulen inzwischen kooperative Lernformen oder die Entwicklung allgemeiner Methoden-, Arbeits- und Lerntechniken als ein zentrales pädagogisches Anliegen ihrer Arbeit aus. Für viele Forscher stellen sich die Fragen, ob man so populäre Begriffe wie „komplexe Problemlösefähigkeit“ oder „selbst gesteuerte Lernfähigkeit“ überhaupt präzise genug beschreiben kann und ob sie sich gegen andere Fähigkeiten und Persönlichkeitsmerkmale abgrenzen und auf diese Weise empirisch gehaltvoll bestimmen lassen (BAUMERT ET AL. 2001a, S. 300 f.). Sie hegen Zweifel an der Erwartung, ob ein Transfer über weite inhaltliche, zeitliche oder situative Distanzen hinweg realistisch ist. Und selbst wenn beide Fragen bejaht werden können, bleibt in ihren Augen ungeklärt, ob und wie sich diese Kompetenzen systematisch und gezielt durch Bildung und Erziehung fördern lassen. „Auch psychologischen Laien dürfte bei der Lektüre der ursprünglichen Liste von Kompetenzen (MERTENS, 1974) bewusst werden, dass es sich dabei sowohl um allgemeine kognitive Funktionen und genetisch verankerte Fähigkeiten als auch um leicht erlernbare Kenntnisse und Fertigkeiten handelt.“ (WEINERT 1998b, S. 24)

Einigkeit besteht in der Einsicht der Notwendigkeit, dass sich rasch wandelnde Arbeitsaufgaben stets neue Qualifikationsanforderungen bedingen: Isoliertes Faktenwissen und die Beherrschung einzelner praktischer Fertigkeiten, die nur in einem Rahmen begrenzter Funktio-

⁵ Die Problemlösekompetenz stellt, neben dem selbst regulierten Lernen sowie der Team- und Kommunikationsfähigkeit, eine der drei wesentlichen und am häufigst genannten fachübergreifenden und Fächer verbindenden Kompetenzen als Ertrag und Kern schulischer Bildungsprozesse dar (vgl. KLIEME/ARTELT/STANAT 2001).

⁶ Im Wesentlichen die anglo-amerikanische Literatur

⁷ Vgl. zum Beispiel das Schwerpunktprogramm „Lehr-Lern-Prozesse in der kaufmännischen Erstausbildung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft oder der Modellversuch „Komplexe Lehr-/Lernsituationen zur Umsetzung betrieblicher Handlungssituationen mit Hilfe multimedialer Lerntechnologien im Berufsfeld Wirtschaft und Verwaltung“ (KLLU).

nen einsetzbar sind, reichen nicht mehr aus beziehungsweise sind nur noch sehr kurzfristig anwendbar (BLUM ET AL. 1995). Lernende sollten nach erfolgreichem Abschluss ihrer Ausbildung in der Lage sein, ein breites Spektrum wiederkehrender beruflicher Aufgabenstellungen routiniert bewältigen beziehungsweise neue berufliche Problemstellungen selbstständig bearbeiten zu können, indem sie ihr Vorgehen planen, diesen Plan ausführen und die erreichten Ergebnisse kontrollieren. Hierzu müssen Facharbeiter über funktionsungebundene Kompetenzen verfügen.

Viele Bildungsforscher stellen sich die Frage, wie angesichts der schnellen wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen und den damit verbundenen Veränderungen der beruflichen Qualifikationsanforderungen sowie zukünftiger Tätigkeitsbereiche verhindert werden kann, dass Bildungsinhalte zu schnell veralten. Aus diesem Grunde hat der Arbeitsmarktforscher MERTENS bereits 1974 gefordert, in schulischen Lehr- beziehungsweise betrieblichen Ausbildungsplänen nicht mehr ausschließlich den Erwerb von Faktenwissen in den Vordergrund zu stellen, und dafür die Bemühungen um Vermittlung so genannter Schlüsselqualifikationen zu verstärken. Unter diesen versteht er allgemeine Kenntnisse und Fähigkeiten, die zur erfolgreichen Bewältigung von Aufgaben in unterschiedlichen beruflichen Tätigkeitsfeldern gebraucht werden, und die es gestatten, sich weitgehend selbstständig in sich rasch verändernde Tätigkeitsbereiche einzuarbeiten. Die Idee der Schlüsselqualifikationen als grundsätzliches Ziel beruflicher Bildung wurde sowohl von der Bildungspolitik als auch von der Berufs- und Wirtschaftspädagogik darauf hin für die berufliche Bildung eingefordert.

Die letzten dreißig Jahre bildungstechnologischer Forschung haben unter anderem die Brüchigkeit der Idee der Schlüsselqualifikationen gezeigt (WEINERT 1998a). Inzwischen sind die Probleme und Defizite bei der unterrichtlichen Verwirklichung dieses Konzeptes deutlich geworden. So ist unklar, wie Schlüsselqualifikationen zu definieren sind und ob die damit verbundenen Fähigkeiten und Kompetenzen empirisch überhaupt aufgezeigt beziehungsweise ob und wie sie gegebenenfalls erfolgreich vermittelt und erfasst werden können (DUBS 1995b, 1996, ACHTENHAGEN 1996, BECK 1997, SÜSS 2001b).

Die Vermittlung überfachlicher Ziele wie fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen, Qualifikationen, Schlüsselqualifikationen etc. wird in der Berufs- und Wirtschaftspädagogik als ein wichtiger und wertvoller Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung junger Menschen angesehen. „Problematisch ist es allerdings, dass bisher kaum Beurteilungssysteme und Erhebungsinstrumente vorliegen, um Schlüsselqualifikationen explizit zu erfassen. Das Schlüsselqualifikations-Konzept wird aber längerfristig kaum tragfähig sein, wenn es nicht gelingt, auch überfachliche Lerninhalte auf eine „operationale Ebene“ zu transformieren, den diesbezüglichen Lernerfolg zu bewerten und für den Lernenden erkennbar zu bewerten!“ (OTT 2002, S. 51)

Ein bislang ungelöstes Problem besteht für Lehrende⁸ sowie für Forscher in der ökonomischen, wenig zeitaufwendigen und dennoch validen Erfassung beruflicher Handlungskompetenzen von Lernenden (zum Beispiel der komplexen Problemlösekompetenz). Diese „ist jedoch von entscheidender Bedeutung, um Stärken und Schwächen erkennen, geeignete Kompetenzentwicklungsmaßnahmen ableiten und durchgeführte Maßnahmen evaluieren zu können.“ (KAUFFELD 2000, S. 33) Die besondere Herausforderung besteht demnach darin zu untersuchen, welche Möglichkeiten bestehen, fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen im Unterricht zu erfassen und zu bewerten. „Zudem möchte man die fächer-

übergreifenden Kompetenzen nicht nur als rein kognitive Fähigkeiten und Wissenskomponenten verstehen, sondern prüfen, inwieweit Schülerinnen und Schülern in komplexen Situationen - beispielsweise in der Gruppenarbeit - erfolgreich zu handeln vermögen.“ (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 203) Für die Bildungsforschung gilt es insgesamt, Testaufgaben für die Erfassung verschiedener Aspekte fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen zu entwickeln oder an gegenwärtige Forderungen anzupassen. Sie müssen dabei klassischen Kriterien einer Testkonstruktion entsprechen und sich zur Prüfung unter unterrichtsüblichen Bedingungen eignen. „Die Tests sollen nicht nur Forschungszwecken und der Verbesserung bisheriger Konstruktionen dienen, sondern auch für Lehrer und Ausbilder handhabbar sein, damit diese Lern- und Entwicklungsprozesse von Auszubildenden entsprechend steuern und regulieren können.“ (FÜRSTENAU/GETSCH/NOSS/SIEMON 1999, S. 270) „Bereits vorliegende Konzepte sind entweder zu komplex oder zu zeitaufwändig, und damit für die Lehrkraft als „Kompetenz-Diagnostiker“ im Unterricht unbrauchbar, „oder sie erfüllen nicht den Anspruch einer ganzheitlichen Leistungsbeurteilung“. (OTT 2002, S. 51)

„Gesellschaftspolitisch und bildungstheoretisch gleichermaßen attraktive Begriffe besitzen eine magnetische Kraft, ständig neue Bedeutungsfacetten an sich zu ziehen und auf diese Weise inhaltlich immer vager und beliebiger zu werden.“ (WEINERT 1998b, S. 24) Als Anhaltspunkt für die Aussage von WEINERT kann die von DIDI ET AL. (1993) erstellte Sammlung von Schlüsselqualifikationen mit 654 Verwendungsvarianten in der berufspädagogischen Literatur angesehen werden.

In der Theorie und Praxis beruflicher Bildung⁹ herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass mit Hilfe komplexer Unterrichtsarrangements (ACHTENHAGEN 1993, BECK/HEID 1996, FÜRSTENAU 1999) Lehr-Lern-Prozesse effektiv gestaltet werden können. Auf diese Weise lernen Schüler beziehungsweise Auszubildende, nicht nur Wissen aufzunehmen und zu reproduzieren, sondern auch, es in realitätsnahen Anwendungssituationen einzusetzen und damit komplexe Probleme zu bearbeiten. In diesem Sinne ist das Arbeiten um eine didaktische Weiterentwicklung von Unterricht insgesamt von dem Bemühen geprägt, die Qualität der beruflichen Bildung auch im gewerblich-technischen Bereich zu verbessern. Sollen doch junge Menschen mit Kompetenzen ausgestattet werden, die sie optimal für berufliche und persönliche Lebenssituationen qualifizieren und die individuelle Persönlichkeitsentwicklung hierdurch fördern. Zu beobachten ist dabei eine immer deutlicher werdende Stabilisierung der pragmatischen Wende der Berufsbildung mit der Konsequenz einer Abkehr von der im bildungstheoretischen Objektivismus wurzelnden Stofforientierung und einer Hinwendung zur Kompetenzorientierung beruflichen Lernens (ACHTENHAGEN 1992, TRAMM ET AL. 1999, TRAMM/REB-MANN 1999, REETZ 1999 a/b).

Gleichzeitig führen technologische Entwicklungen zu tiefgreifenden Veränderungen beruflicher, privater und gesellschaftlicher Lebenszusammenhänge und machen es erforderlich, Ziele und Inhalte beruflicher Aus- und Weiterbildung zu überdenken (FÜRSTENAU 1999). Die Globalisierung der Wirtschaft führt zur zunehmenden Konkurrenz. Als Reaktion darauf nutzen Unternehmen die neuen Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologie zur systemischen Rationalisierung bestehender Arbeitsprozesse, um ihre Wettbewerbsfähigkeit auf einem wachsenden Markt zu sichern. Aber auch aufgrund der sich vollziehenden demo-

⁸ Nicht nur an der berufsbildenden Schule!

⁹ Insbesondere die Wirtschaftspädagogik hat dabei eine Vorreiterstellung eingenommen.

graphischen Entwicklungen¹⁰ tendieren Unternehmen immer stärker dazu, die betrieblichen Aufgaben komplexer zu gestalten. Komplexität und Dynamik, die häufig einhergehen mit einer gewachsenen Intransparenz der gestellten Aufgaben, stellen auch im Bereich der beruflichen Erstausbildung¹¹ Lernende und Lehrende zunehmend vor neue Anforderungen (ACHTENHAGEN 1992).

Dabei zeigen Ausbildungs- und Arbeitsplatzanalysen in gewerblich-technischen Unternehmen, dass potenziell vorhandene Lernkapazitäten nicht in befriedigendem Maße ausgeschöpft werden. Lernende haben zum Beispiel Schwierigkeiten, Gesamtzusammenhänge betrieblicher Prozesse zu verstehen. Gründe liegen unter anderem in der vorherrschenden Art der Gestaltung unterrichtlicher Lehr-Lern-Prozesse. Diese, so eine häufig geübte Kritik, sind noch immer stark geprägt durch ein zu hohes Maß an Lehrerdominanz und damit zu großer Schülerpassivität, einem fehlenden Bezug zur beruflichen Realität, einer zu starken Erkenntnisorientierung auf Kosten der Nutzung und Anwendbarkeit des Wissens (WEINERT 1998b), einer zu geringen Beachtung der Individualität der Lernprozesse sowie einer in aller Regel suboptimalen Verbindung zwischen Motivation als auch Emotion mit dem eigentlichen Lernprozess (FASSHAUER 2001).

Die vorliegende Arbeit thematisiert den Anspruch, mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) das Erfassen und Beherrschen komplexer technischer Systeme zum Aufbau beruflicher Handlungskompetenz als Bildungsauftrag der Berufsschule in verstärktem Maße unterrichtlich etablieren zu können. Ziel ist es, Lehrenden bei der Gestaltung von Lernsituationen Hilfestellung zu leisten bei der Entscheidung, ob und in welcher Form computergestützte Modellbildung und Simulation zu diesem Zweck geeignet ist. Die vorliegende Arbeit greift dabei Begriffe auf, die in der Psychologie relativ präzise definiert und breit erforscht sind. Im Unterschied zur traditionellen psychologischen Diagnostik wird aber nicht mit abstrakten Aufgaben und Beschreibungsmerkmalen gearbeitet, sondern mit komplexen, realistischen Anforderungen. Der Perspektive des pragmatischen Einsatzes beziehungsweise der pragmatischen Verwendung computergestützter Modellbildung und Simulation bei Aufbau, Erwerb und Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz wird dabei Vorrang gegeben vor der theoretischen Diskussion um die Etablierung dieser Konstrukte.

Zu beobachten ist, dass moderne unterrichtliche Lehr-Lern-Arrangements wie zum Beispiel die computergestützte Modellbildungen und Simulationen - trotz des in der Regel gegebenen Spielcharakters der Lernsituation respektive dem damit verbundenen hohen Ausmaß an Lernmotivation - sich bislang nicht umfassend als fester Unterrichts- und Curriculumbestandteil durchsetzen konnten. So finden sie lediglich in Ausnahmefällen curriculare Verankerung oder in Sonderveranstaltungen, ergänzend zu traditionellen Lehrweisen, Verwendung im Unterricht. Verantwortlich hierfür sind zum Teil noch immer organisatorische Restriktionen (mangelnde Raum- und Rechnerausstattung, curricular bedingte Zeitprobleme (Stofffülle), umfangreiche Vorbereitungen auf Abschlussprüfungen etc.). Darüber hinaus ist aber zu vermuten, dass es den Lehrenden vor allem auch an didaktisch tragfähigen Konzepten auf Basis computergestützter Modellbildung und Simulation zur Umsetzung angesprochener Bildungsziele in Unterricht mangelt (DUBS 1995a, 2001). Über diese Exploration lassen sich jedoch Lerninhalte (zum Beispiel kontextuelles beziehungsweise vernetztes Wissen) realisieren, die bisher sowohl im Unterricht als auch in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung entweder zu kurz

¹⁰ So ist unter anderem eine zunehmende Heterogenität der Vorbildung sowie des Alters der Auszubildenden zu beobachten mit vielfältigen Konsequenzen für die Gestaltung von Unterricht.

¹¹ Aber auch in der beruflichen Weiterbildung (vgl. ERPENBECK 1997, 2001)

gekommen sind oder überhaupt nicht beziehungsweise nur unzureichend behandelt werden konnten (LEUTNER 1992).

In die gleiche Richtung weisen empirische Befunde, die zeigen, dass computergestützte Modellbildung und Simulation, selbst wenn sie angemessen geplant und durchgeführt sind, nicht automatisch zu den gewünschten Lernprozessen und -erfolgen führen (ACHTENHAGEN 1992, MANDL/GRUBER/GENKL 1995, 1997, 1999). So vernachlässigen es Lernende beispielsweise, komplexe Systeme ausreichend zu explorieren, Handlungsziele zu konkretisieren, Hypothesen zu bilden, sie anschließend zu überprüfen und ihr Entscheidungsverhalten an sich verändernde Umgebungsbedingungen fortlaufend anzupassen (DÖRNER 1989, STARK ET AL. 1996). „Ob die Lernenden die jeweils gesteckten Lehrziele erreichen, ist bei den bisher bekannten Computersimulationen unklar und mehr oder weniger dem Zufall beziehungsweise dem Geschick des Lernenden oder anderer Personen (Tutor, Lehrer) überlassen.“ (LEUTNER 1992, S. 179) Zur Vermeidung dieser Fehler beim Handeln in komplexen technischen Lernumwelten beziehungsweise bei der Steuerung komplexer technischer Systeme und zur Vermeidung unerwünschter kognitiver, emotionaler und motivationaler Nebeneffekte scheinen die Lernenden gezielt instruktionale Hilfestellungen durch die Lehrenden zu benötigen. Art und Umfang dieser instruktionalen Unterstützungen variieren dabei allerdings in Abhängigkeit der jeweils spezifisch situativen und personalen Gegebenheiten. Dies stellt nicht nur eine Herausforderung an die den Lehr-Lern-Arrangements zugrunde gelegten didaktischen Modelle, sondern auch an die Lehreraus-, -fort- und -weiterbildung. TRAMM/REBMANN (1999, S. 243) formulieren dies folgendermaßen: „Der angestrebte Kompetenzerwerb ist nicht durch ein lineares Abarbeiten des Lehrstoffes zu erreichen, sondern es gilt, die fachlich relevanten Probleme und Inhaltsstrukturen in einen durchgängigen situativen Kontext zu stellen und aus diesem heraus mit den Lernenden zu erarbeiten und zu systematisieren.“

Die vorliegende Arbeit versucht daher, anhand vorliegender Forschungsergebnisse Chancen aber auch Probleme eines durch computerrealisierte Modellbildung und Simulation gestützten Unterrichts für die Entwicklung und Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz von Lernenden aufzuzeigen. Die Ausführungen beziehen sich dabei auf die gewerblich-technische Ausbildung von Prozessleitelektronikern im Bereich der regelungstechnischen Grundbildung. Zur Prozessoptimierung und -führung kommt dabei das Modul BORIS (Blockorientiertes Simulationssystem) der Software WinFACT zum Einsatz. WinFACT ist ein universelles Regelungs-, Steuerungs- und Simulationsprogramm, mit welchem benutzerkonfigurierbare Funktionsblöcke sowie benutzerdefinierte Blöcke vollgrafisch zu beliebigen dynamischen Systemen zusammengeschaltet werden können.

Ein Ziel des Einsatzes computergestützter Modellbildung und Simulation ist es, bei den Lernenden ein systemisch-technisches Denken aufzubauen, das Anforderungen, wie sie beim Lösen komplexer Probleme auftreten, gerecht zu werden vermag. Natürlich wird nicht der Anspruch erhoben, dass alleine mit computergestütztem Unterricht, der sich über nur eine kurze zeitliche Dauer erstreckt, dieses Ziel bereits erreicht wird. Es sollen aber Voraussetzungen hierfür geschaffen werden, die über nachfolgende unterrichtliche Einsätze computergestützter Modellbildungen und Simulationen zu sichern und auszubauen sind. Die sich stets verändernden Anforderungen in vielen gewerblich-technischen Bereichen machen permanentes und damit selbst gesteuertes Lernen notwendig; die Fähigkeit zur flexiblen Wissensanwendung spielt dabei eine besonders große Rolle. Dies erfordert von der Berufsbildungsforschung, sich von dem traditionellen Lernbegriff zu lösen, der sich in erster Linie mit dem Transport von Wissensinhalten von Lehrenden auf Lernende befasst. Häufig wird bei diesen schulischen

Lernprozessen träges Wissen (RENKL 1996, GRUBER/MANDL/RENKL 2000) erworben, das außerhalb des Lernkontextes nicht oder nicht angemessen angewendet werden kann (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, 1997, 1999). Lehrer aller Schularten und Jahrgangsstufen sind mit dem Phänomen des ausbleibenden Wissenstransfers überaus vertraut. Wird, nachdem eine bestimmte Aufgabe im Unterricht ausgiebig geübt wurde, eine zweite Aufgabe vorgegeben, die in der zugrunde liegenden Struktur übereinstimmt, aber in Oberflächenmerkmalen abweicht, kommt es nur selten zur spontanen Anwendung der im Umgang mit der Übungsaufgabe erworbenen Lösungsstrategien. Ein wichtiger Grund für die Entstehung dieses trägen Wissens liegt in der wenig anwendungsbezogenen, abstrakten und künstlich systematisierten Wissensvermittlung im Unterricht, die der Komplexität des technischen Alltags kaum gerecht wird. Eine so verstandene Reduktion der natürlichen Komplexität hat weitreichende Folgen im kognitiven Bereich (STARK ET AL. 1996). Ausbleibende Transfereffekte stellen insbesondere für die Schule eine Herausforderung dar, da diese den Auftrag hat, fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen zu vermitteln.

Darüber hinaus wird in dieser Arbeit die Möglichkeit geprüft, durch computergestützte Modellbildung und Simulation das Erfassen komplexer Problemlösekompetenz in der gewerblich-technischen Berufsbildung zu implementieren und damit die Fähigkeit des Lösens komplexer Probleme in der Schule zu fördern sowie den Aufbau trägen Wissens zu vermeiden. SPIRO ET AL. haben bereits 1988 gezeigt, dass durch die erfolgreiche Bewältigung komplexer, wenig strukturierter und stark variierender Aufgaben unter bestimmten Bedingungen bei den Lernenden multiple und damit flexible Wissensrepräsentationen aufgebaut werden können. Auch andere instruktionspsychologische Theorien zum Lehren und Lernen, speziell in Ansätzen zur situierten Kognition (zum Beispiel THE COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT 1999) stützen diese Erkenntnisse. Der Aufbau multipler Wissensrepräsentationen geht dem gemäß einher mit der Förderung komplexer Problemlösekompetenz. Aus dieser Perspektive heraus kann der Kompetenzerwerb als „Hineinwachsen in eine „community of experts“ [...] verstanden werden, in der insbesondere der soziale Austausch mit anderen Mitgliedern der Expertengemeinschaft eine zentrale Rolle sowohl für Lernprozesse während des Kompetenzerwerbs als auch für kompetentes Handeln spielt“. (BRETTSCHEIDER/GRUBER/KAISER/MANDL/STARK 2000, S. 401)¹²

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Kapitel 2 und 3 bilden den theoretischen Rahmen der Arbeit. Eröffnet wird der Theorieteil mit Darstellung und Diskussion der Beschreibungs- und Definitionsversuche überfachlicher Kompetenzen und einem abschließenden Vorschlag zur Systematisierung der Begriffsdefinitionen. In Kapitel 2.1 erfolgt dabei zunächst eine Abgrenzung zum Qualifikationsbegriff sowie gegenüber den Schlüsselqualifikationen, bevor Kapitel 2.2 diese Ausführungen am ausgewählten Kompetenzkonstrukt „Komplexes Problemlösen“ konkretisiert. Insofern stellt Kapitel 2.1 insgesamt den Bezugsrahmen für das nachfolgende Kapitel 2.2 dar, in denen die Haupt-

¹² Die Gestaltung geeigneter Lernumgebungen zur Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz im Unterricht beziehungsweise deren Implementierung beim Bearbeiten komplexer Probleme im Unterricht weist ein weites Spektrum auf und wird gegenwärtig durch zwei Paradigmen des Lehrens und Lernens bestimmt. Während im traditionellen Ansatz direkt versucht wird, die kognitive Struktur der Lernenden zu beeinflussen, zielen die Vertreter mit konstruktivistischer Haltung daraufhin ab, Lernumgebungen so zu gestalten, dass diese der Selbststeuerung der Lernprozesse bei den Schülern ausreichend Spielraum gewähren. Dabei erweist sich der konstruktivistische Ansatz insofern als problematisch, als dass die Verneinung eines objektiven Wissens vor dem Hintergrund bildungsrelevanter Gesetze nicht haltbar ist. Als geeigneter theoretischer Rahmen bei der Gestaltung von Unterricht kann deshalb die pragmatische Kombination aus beiden Lernparadigmen angesehen werden.

determinanten beim Lösen komplexer Probleme beziehungsweise der Steuerung komplexer Systeme einer theoretischen Betrachtung unterzogen werden sollen.

Die theoretische Analyse und Modellierung wie auch die empirische Untersuchung von Kompetenzen stellt - insbesondere durch das gesteigerte öffentliche Interesse an Schulleistungsvergleichsstudien wie TIMSS oder PISA - in der psychologischen und in der pädagogischen Forschung ein sehr aktives Betätigungsfeld dar. „In den vergangenen Jahren ist es gelungen, ein differenzierteres Verständnis des Aufbaus, der Entwicklung und der schulischen Förderung von bereichsspezifischen Kompetenzen zu erzielen. [...] Gleichwohl liegen ausgearbeitete, empirisch gestützte Kompetenzmodelle nur für einzelne Lernbereiche, Altersgruppen und Schülerpopulationen von.“ (KLIEME ET AL. 2003, S. 58) Man wird sich daher bei der Arbeit mit der Entwicklung und Förderung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen in vielen Fällen primär auf das Erfahrungswissen der Fachdidaktiken sowie auf Forschungen um das Arbeitsprozesswissen stützen müssen und bei den Vorstellungen zu Struktur und Entwicklung von Schülerkompetenzen fachsystematische, psychologische und unterrichtspraktische Aspekte zu verbinden haben.

In der beruflichen Weiterbildung findet die Diskussion um Kompetenzen mittlerweile bereits auf der Ebene ihrer Umsetzung in Unterrichtskonzepte statt und beschäftigt sich dort mit Messung, Zertifizierung und Modellen arbeitsintegrierten Lernens (vgl. Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management - QUEM 1999, 2000). Eine theoriegeleitete einheitliche Fundierung des Kompetenzbegriffes ist in der gegenwärtigen wissenschaftlichen Diskussion dagegen eher geringer entwickelt (VONKEN 2001, S. 503). KLIEME ET AL. (2001, S. 184) erscheint die Erfassung von Kompetenzen ohne gleichzeitige Verankerung in pädagogischer und psychologischer Theorie infolgedessen willkürlich und unsystematisch. Aus diesem Grunde wird in dieser Arbeit der Versuch unternommen werden, die Operationalisierung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen auf folgende zwei Schritte zu stützen:

- In einem ersten Schritt sollen psychologische Paradigmen betrachtet werden, die es ermöglichen, den ausgewählten Kompetenzbereich mit Bezug auf anerkannte wissenschaftliche Konstrukte systematisch zu beschreiben und bewährte Operationalisierungsansätze zu verwenden. Die Erfassung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen wird sich daher in Kapitel 2 auf entsprechende Paradigmen der kognitiven Psychologie und der Denkpsychologie sowie der komplexen Problemlöseforschung stützen müssen.
- In einem zweiten Schritt soll dann nach der Analyse des Arbeitsprozesswissens von Prozessleitelektronikern auf Basis der psychologischen Paradigmen die unterrichtliche Konzeption einer computergestützten Modellbildung und Simulation der Regelungstechnik erfolgen. Dies erfordert wiederum Einzelentscheidungen über die Auswahl von Kontexten sowie in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebettete computergestützte Aufgabenstellungen (KLIEME ET AL. 2001).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Thema komplexes Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz dementsprechend in erster Linie unter verschiedenen konzeptionellen Aspekten: Zunächst erfolgt eine kurze Einführung in den Forschungsgegenstand komplexes Problemlösen. Dabei wird angestrebt, die zentralen Probleme des Forschungsgebiets möglichst klar herauszustellen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es jedoch nicht leistbar, den lern- beziehungsweise denkpsychologischen Forschungsstand der letzten Jahrzehnte zum Thema komplexes Problemlösen darzulegen. Vielmehr sollen auf Basis der ausgewählten Begrifflichkeiten und Abgrenzungen - konkretisiert durch Erfahrungen

aus einer Reihe von Modellversuchen¹³ - in einem eher pragmatischen Ansatz allgemeine Orientierungspunkte als Grundlage für die Gestaltung einer unterrichtlichen Konzeption herausgearbeitet werden. Kapitel 2.1 will dabei aufzeigen, dass den fachübergreifenden und Fächer erbindenden Kompetenzen eine Schlüsselbedeutung für das Verständnis komplexer Problemlöseleistungen von Lernenden zukommt. Diese Analyse soll zu einer späteren Konzeptualisierung sowie zu den Grundlagen ihrer Erfassung verhelfen. Die gemeinsamen Elemente verschiedener theoretischer Konzepte zum Entwickeln und Erfassen von Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen technischen Systemen werden anschließend unter dem Aspekt einer computergestützten Modellbildung und Simulation integriert.

In Kapitel 2.2 sollen nachfolgend die Besonderheiten des Problemlösens beim Umgang mit komplexen technischen Systemen dargestellt werden. Im Bereich der komplexen Problemlöseforschung wird im deutschsprachigen Raum seit den siebziger Jahren der Hauptgehalt dabei auf die Erforschung von menschlichem Verhalten im Umgang mit dieser Art von Problemen gelegt. Ausgangspunkt für die Entwicklung dieser Forschungsrichtung war, ausgehend von den wirtschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Entwicklungen, das Bewusstsein einer zunehmenden Komplexität der Handlungen in Alltagssituationen (FUNKE 1985, S. 114).

Kapitel 2.2 kommt in erster Linie die Funktion zu, das Paradigma komplexe Problemlösekompetenz methodisch zu strukturieren und die Relevanz der Probleme zu unterstreichen, die den Gegenstand der vorliegenden Arbeit bilden. Vorab sollen komplexe Probleme jedoch näher charakterisiert werden, um daraufhin Ziele und offene Fragen der Problemlöseforschung aufzugreifen und schließlich eine Problemklassifikation beim Umgang mit komplexen Problemen darzustellen. Das Kapitel greift mit dem Konzept der Schlüsselqualifikationen als berufs- und fachübergreifende beziehungsweise Fächer verbindender Kompetenzen im Kern ein Thema auf, das in der grundlagenorientierten pädagogischen und psychologischen Forschung seit langem untersucht wird. So führt zum Beispiel SÜSS (2001b, S. 249 f.) an, dass es ihm in diesem Zusammenhang einerseits um die Rolle von grundsätzlichen Fähigkeiten, die zur Lösung von Problemen in unterschiedlichen Bereichen gebraucht werden, um deren Brauchbarkeit für das Lösen von neuartigen Problemen geht und andererseits um deren Lern- und Trainierbarkeit. Generelle Fähigkeiten subsumiert er in der Differenziellen Psychologie unter dem Begriff der Intelligenz, wo sie seit langem intensiv erforscht werden. Auf der anderen Seite geht es ihm um die Bedeutung bereichsspezifischen Wissens. Fragen der Repräsentation von Wissen, des Wissenserwerbs und der Wissensanwendung ordnet er der Wissenspsychologie, als einem Teilgebiet der Kognitiven Psychologie, zu. In der Folge sind die genannten Fragenkomplexe in diesem Kapitel daher aus der Perspektive der Wissenspsychologie zu untersuchen, wobei der Fokus der Ausführung auf das Handeln in komplexen Situationen gerichtet sein wird.

Für die erfolgreiche Bearbeitung komplexer Problemsituationen sind neben kognitiven aber auch volitionale¹⁴, motivationale und emotionale Einflussfaktoren von Bedeutung. „Erfolgs- und Misserfolgserwartungen, aber auch personexterne Einflussfaktoren determinieren die Problemlöseleistungen mit.“ (Ebd.) In dieser Arbeit werden die nicht-kognitiven Faktoren ausgeklammert und von Seiten der Problemlösenden als gegeben angesehen.

¹³ Vgl. zum Beispiel „Komplexe Lehr- und Lernsituationen zur Umsetzung betrieblicher Handlungssituationen mit Hilfe multimedialer Lerntechnologien im Berufsfeld Wirtschaft und Verwaltung“ (KLLU) oder auch das Schwerpunktprogramm „Lehr-Lern-Prozesse in der kaufmännischen Erstausbildung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

¹⁴ Volition = willentliche Steuerung von Handlungen und Handlungsabsichten

Es schließt sich eine Schwerpunktsetzung auf computergestützte Modellbildung und Simulation als diagnostisches Mittel an, unter der Einschränkung ihrer pädagogischen Validität, bevor Kapitel 2.3 dann kritisch die Argumente, die bislang für den diagnostischen Einsatz von computergestützten Problemlöseszenarien vorgebracht wurden, reflektiert. Dabei geht Kapitel 2.3 der spannenden Frage nach, ob das Konstrukt komplexe Problemlösefähigkeit als generelle, das heißt domänen- beziehungsweise fachübergreifende Kompetenz überhaupt empirisch fundiert werden kann. SÜSS ist zuzustimmen, wenn er betont, dass von einer generellen Problemlösefähigkeit nur dann gesprochen werden sollte, wenn es gelingt, sie empirisch als latentes Merkmal, basierend auf Leistungen bei unterschiedlichen Problemen, auch nachzuweisen (Ebd.). WEBER/WERTMEYER (2001, S. 260) unterstreichen, dass bei einer Ausweitung des Konstrukts der komplexen Problemlösekompetenz auf beliebig viele Verhaltensbereiche der Begriff sehr schnell inhaltsleer wird. „Wenn sich in jedem Verhalten Problemlösekompetenz manifestieren und jedes Verhalten Träger von Problemlösekompetenz sein kann, wird der Begriff der Problemlösekompetenz gleichbedeutend mit Verhalten, und die Problemlöseforschung wird zu einer Dublizierung der gesamten psychologischen Forschung.“ Es ist folglich nachzuweisen, dass es Personen gibt, die bei Problemen aus unterschiedlichen Domänen erfolgreicher diese zu bearbeiten im Stande sind als andere. „Zudem sollte gezeigt werden, dass es sich dabei um ein Fähigkeitskonstrukt handelt, das nicht durch bereits etablierte Konstrukte wie Intelligenz und Wissen erklärt werden kann, da sonst nur ein neuer Begriff generiert wird.“ (SÜSS 2001b, S. 259) Andererseits ist bei der Ausdehnung des Problemlösebegriffs auf beliebige Verhaltensbereiche die Aufgabe der Festlegung von Kriterien, an denen erfolgreiches (komplexes Problemlöse-) Verhalten gemessen werden soll, zu lösen (WEBER/WERTMEYER 2001). Abschließend sollen die Steuerleistung (Handlungserfolg), die mentalen Modelle der Lernenden (Wissenserwerb) und ihre Vorgehensweise bei der Problemlösung und Entscheidungsfindung (Prozesskontrolle) als Indikatoren für die Entwicklung und die Erfassung komplexer Problemlöseleistungen diskutiert werden.

Kapitel 3 integriert die bis dorthin vorliegenden Ergebnisse zum Entwickeln und Erfassen von komplexer Problemlösekompetenz unter den Aspekten einer computergestützten Modellbildung und Simulation. Kapitel 3.1 widmet sich zunächst der bildungstechnologischen Ausgangslage mit dem Schwerpunkt Regelungs-/Prozesstechnik in der gewerblich-technischen Berufsbildung der Berufsschule. Im Rahmen dieser Ausbildung kommt der Regelungstechnik, einer durch zunehmende Automatisierung an Bedeutung und Einfluss gewinnenden Technologie, eine zentrale Rolle zu. Regelungen beziehungsweise Regelkreise als komplexe technische Systeme werden in diesem Zusammenhang als Gegenstand von Lernen und Handeln in die beruflichen Erstausbildung¹⁵ eingebracht.

Wenn allerdings von Regelungstechnik die Rede ist, so wird in den Berufsfeldern Metall- und Elektrotechnik die Fertigungsindustrie, insbesondere der Maschinen- und Anlagenbau und der Automobilindustrie, oft als korrespondierende Industrie assoziiert. Dabei wird auch außerhalb dieser Industrien in großem Umfang in den genannten Berufsfeldern ausgebildet. „Befördert wird diese irrtümliche Vorstellung durch die große Zahl von Modellversuchsaktivitäten und aufsehenerregenden Beispielen für Organisationsentwicklungsprozesse etwa in der Automobilindustrie. Die Konzentration der Aufmerksamkeit auf die Fertigungsindustrie hat dazu geführt, dass Entwicklungen in der Verfahrens- oder Prozessindustrie mit Ausnahme der Hütten-

¹⁵ Von den neuen Anforderungen an die berufliche Facharbeit ist, abgesehen von der betrieblichen Erstausbildung, auch in beträchtlichem Ausmaß die berufliche Fort- und Weiterbildung in den Berufsfeldern Metall-, Elektro- und Chemietechnik betroffen (HOFMANN/RÖBEN 1997).

industrie bislang wenig Beachtung unter den Berufspädagogen fanden.“ (HOFMANN/RÖBEN 1997, S. 60)

Die Entwicklung und Förderung einer komplexen Problemlösefähigkeit im Kontext schulischer Ausbildung sieht sich darüber hinaus mit einer weiteren Schwierigkeit frontiert, auf die wiederum FISCHER/STUBER (1997, S. 34) hinweisen. Den traditionellen schulischen Lernprozessen fehlt bislang ein wesentliches Moment dessen, was Dreh- und Angelpunkt für die Aktivierung und Aneignung von Arbeitsprozesswissen ist. Diese, sich an den Fachwissenschaften orientierende, didaktisch reduzierende Techniklehre hat sich ja gerade zum Ziel gesetzt, von den Anwendungszusammenhängen zu abstrahieren. „Damit mangelt es an typischen Problemsituationen, die konstitutiv für berufsrelevantes Lernen sind: angefangen bei Störungen in einem geplanten Arbeitsablauf bis hin zu neuen Aufgabenstellungen, die im Kontext realistischer Bedingungen zu lösen sind.“ (Ebd.)

Dieses Problem soll in Kapitel 3.1 im Kern aufgegriffen werden, um die Voraussetzungen einer Entwicklung von Arbeitsprozesswissen in der Berufsausbildung am Beispiel des Ausbildungsberufes Prozessleitelektroniker zu analysieren. Hierzu sind zunächst die Handlungsfelder zugrunde liegender Arbeitsprozesse und Arbeitsorganisationen transparent und anschließend als Lern- und Arbeitsinhalte für die Ausbildung an Berufsschulen handhabbar zu machen. Ähnlich wie FISCHER/STUBER gezielt betriebliche Prozessketten in gewerblich-technische Ausbildungsinhalte und -projekte integrieren, erfahren Lernende damit exemplarisch die Aneignung von Arbeitsprozesswissen durch den modellbildenden und simulierenden Umgang mit verschiedenen Aufgaben- und Problemszenarien. Dies soll - insbesondere im Umgang mit komplexen regelungstechnischen Systemen - unter anderem dazu beitragen, „dass Facharbeiter ihre Arbeitsumgebung als gestaltbar begreifen und die Fähigkeit entwickeln, sich selbst in den Gestaltungsprozess einzubringen“ (DITTRICH 2000, S. 159). Gleichzeitig stellt für die Lehrenden die Kenntnis des Arbeitsprozesswissens eine wichtige Voraussetzung dar zum Entwickeln und Bewerten komplexer Problemlösefähigkeiten bei den Lernenden.

Kapitel 3.2 gliedert die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse des Arbeitsprozesswissens von Prozessleitelektronikern vor dem Hintergrund regelungstechnischer Aufgabenstellungen in einer unterrichtlichen Konzeption auf Basis computergestützter Modellbildung und Simulation. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebetteten computergestützten Testaufgaben beruhen auf einer Grundstruktur, die zwischen Konzepten, Prozessen und konkreten beruflichen Situationen unterscheidet. Im Bereich der Regelungstechnik wird diese Struktur - ähnlich den Literacy-Konzepten moderner nationaler und internationaler Vergleichsstudien - inhaltlich gefasst.

Während die gewerblich-technische Forschung in den letzten Jahren versucht hat, die konkreten Erfahrungen im so genannten „ausführenden Sektor“ der Unternehmen mit einschlägigen Softwarepaketen zu vergegenständlichen (wissensbasierte Systeme), stellt sich immer mehr heraus, dass es dabei einen entscheidenden Teil dieser Erfahrungen gibt, der nicht - oder nur schwierig - objektivierbar ist (tacit knowledge). Kann man diesen Teil der Erfahrung durch den experimentellen Umgang mit computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) erlernen? Neue wissens- und lernpsychologische Erkenntnisse aber auch neue softwaretechnische Entwicklungen könnten hier weiterhelfen, aus pädagogischer Sicht die Erfahrungsbildung in Arbeitsprozessen, die zur Ausbildung einer bewussten, fachlich fundierten komplexen Problemlösefähigkeit unabdingbar ist, vorzubereiten.

Mit der im empirischen Teil der Arbeit vorgestellten Untersuchung (vgl. Kapitel 4) wird abschließend versucht, zur bislang im gewerblich-technischen Bereich nur sehr gering ausgeprägten experimentellen Fundierung der Entwicklung und Erfassung von Kompetenzen mit computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) beizutragen. Hauptanliegen der quasiexperimentellen und explorativen Studie ist es, in der beruflichen Erstausbildung an einem ausgewählten regelungstechnischen Beispiel zu prüfen, ob Lernenden über CMS unter der Verwendungsperspektive als so genanntes „Kognitives Tool“ eine (alternative) Zugangs- beziehungsweise Erschließungsmöglichkeit für den erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen ermöglicht werden kann. An einem ausgewählten regelungstechnischen Beispiel soll daher untersucht werden, ob Auszubildenden der Berufsschule, die über keine Kenntnisse in höherer Mathematik verfügen, ein solcher Zugang zu komplexem Systemverhalten gelingen kann.

Nach einer didaktischen und theoretischen Fundierungen zur Klärung des Problemhintergrundes sowie der Problemstellung am gewählten Beispiel der Regelung einer PT_1 -Strecke mit Proportionalregler widmet sich die Untersuchung der Fragestellung, ob angehende Prozessleitelektroniker ausreichende Modellvorstellungen entwickeln können, um die dargelegten mathematischen Beschreibungen komplexer Regelkreiszusammenhänge am Beispiel der bleibenden Regeldifferenz (e_b) ausreichend explorieren zu können. Insbesondere ist dabei von Interesse, ob über die computergestützte Modellbildung und Simulation von Regelkreiskomponenten beziehungsweise von geschlossenen Regelkreisen eine substantielle Weiterentwicklung der bestehenden mentalen Modelle bei den angehenden Prozessleitelektronikern erreichbar ist, die es ihnen letztendlich ermöglicht, zu einem alternativen Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen sowie zum Verständnis komplexen Systemverhaltens zu gelangen. Eine Gegenüberstellung der Reichweiten ihrer mentalen Modelle - vor beziehungsweise nach dem Einsatz computergestützter Modellbildung und Simulation - soll zeigen, ob es möglich ist, auch ohne Kenntnis der dargelegten mathematischen Beschreibungsmodelle, die mentalen Modelle der Schüler ausreichend weiter entwickeln zu können. Die reizvolle Frage dabei ist, wie gewinnt man Erfahrungen durch Experimentieren mit computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS), die für die realen Arbeitsprozesse tauglich sind? Sicher scheint bislang nur: Voraussetzung für Erfahrungsbildung beim Umgang mit komplexen technischen Systemen ist selbstständiges Handeln und Erproben von vielfältigen Situationen der abgebildeten Realität. Vor diesem bildungstechnologischen¹⁶ Hintergrund ist ein besseres Verstehen der kognitiven Zusammenhänge bei Lernenden um das Verständnis der Modelle komplexer regelungstechnischer Systemzusammenhänge ohne höhere Mathematik seitens der Lehrenden notwendig und eine Weiterentwicklung der Gestaltung geeigneter Lernumgebungen in den Bereich von systemischem beziehungsweise kontextuellem Lernen hinein notwendig.

Den Abschluss bildet in Kapitel 5 die Diskussion und die Bewertung der Befunde.

¹⁶ Zum Begriff der Bildungstechnologie vgl. auch IHBE 1996, 1997, 1998 oder IHBE/SIMMERT 1998

2 Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen - Konzeptualisierung, Funktion sowie Grundlagen ihrer Entwicklung und Erfassung

2.1 Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen - Ein Schlüssel zum Verständnis komplexer Problemlöseleistungen

Bis zum Zeitpunkt der Einführung von Lernfeldern in den KMK-Rahmenlehrplänen für den berufsbezogenen Unterricht der Berufsschule sowie der Einführung von Lernmodulen im Rahmen des Fachschulunterrichts in Rheinland-Pfalz wurde in der berufsbildenden Schule das für die spätere berufliche Tätigkeit notwendige Wissen und Können ausschließlich in Unterrichtsfächern vermittelt, die sich didaktisch durch ihren Bezug zu den Wissenschaftsdisziplinen auszeichnen. Dabei geht das fachgebundene Lernen stets mit dem Erwerb umfassender Kompetenzen einher. Diese Synthese aus materialer und formaler Bildung schlug sich in den bekannten Curriculumentwicklungen der letzten Jahre nieder und scheint auch heute noch nichts von seiner Aktualität verloren zu haben. Die Vermittlung fachübergreifender und Fächer verbindender Ziele wird in der Berufspädagogik noch heute als ein bedeutender und wertvoller Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung junger Menschen angesehen (OTT 2002).

In Anbetracht rapider Veränderungen in der Arbeits- und Lebenswelt erscheint es zusehends problematischer, in den Lehrplänen einen Kanon von Bildungszielen zu definieren, der diesen Anforderungen gerecht wird. Ausgehend von der Arbeitsmarkt- und Qualifikationsforschung hat daher zunächst im berufsbildenden und dann auch ansatzweise im allgemeinbildenden Schulwesen die Idee an Popularität gewonnen, so genannte „Schlüsselqualifikationen“ seien die eigentlich bedeutsamen Resultate von Bildung und Ausbildung. „Gemeinsam ist allen Schlüsselqualifikationskonzepten die Sichtweise, dass der Auszubildende mit einem universellen Schlüssel „auszustatten“ ist, der im Arbeitsmarkt der Gegenwart und Zukunft möglichst viele Türen öffnet und den einzelnen befähigt, berufliche, gesellschaftliche wie auch individuelle Probleme selbständig zu lösen.“ (DÖRIG 1996, S. 81)

Viele Lehrkräfte sahen daraufhin „eine Lösung des ewigen Problems der Didaktik, indem sie glaubten, es ließen sich einige wenige, allgemeingültige und überdauernde Qualifikationen ermitteln, auf die sich Lehrpläne und Unterricht reduzieren lassen, wodurch die Schule nicht nur zukunftsgerichteter wird, sondern auch ein Weg zu einem umfassenden Wissensabbau gefunden sei“. (DUBS 1996, S. 50) Durch die Konzentration auf die Förderung von Schlüsselqualifikationen, so die Hoffnung, bleibt das Wissen der Lernenden nicht mehr „träge“, sondern wird auch außerhalb der Unterrichtswelt aktiv anwendbar. Diese Hoffnung erfüllte sich jedoch nicht. Die Vorstellung, bereichsspezifische Kompetenzen („Schlüsselkompetenzen“) könnten durch einen generischen Satz von hoch transferierbaren Schlüsselkompetenzen ersetzt werden, ist nach psychologischen Befunden illusionär (WEINERT 1999). „Andererseits ist Bildung ohne die Idee des Transfers und der Generalisierung von Kompetenzen auf breite Situationsklassen, das heißt, ohne die Idee der formalen Bildung, die materiale Bildung begleitet, nicht denkbar.“ (KLIEME ET AL. 2001, S. 182)

Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen als Leitidee in der aktuellen bildungswissenschaftlichen Debatte sind dabei mit überaus unterschiedlichen theoretischen und normativen Auffassungen beziehungsweise Haltungen verknüpft. KLIEME/ARTELT/ STANAT

(2001, S. 204) bündeln sie in einer ersten Umschreibung folgendermaßen: Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen

- werden in verschiedenen Fächern beziehungsweise Lerngebieten gefordert und/oder gefördert.
- helfen bei der erfolgreichen Bewältigung komplexer, lebens- und berufnaher Aufgaben in realistischen Kontexten.
- können auf neuartige, nicht explizit im Lehrplan enthaltene Anforderungssituationen transferiert werden.
- lassen sich als allgemeine individuelle Fertigungs- und Fähigkeitsdimensionen identifizieren.

Mit welchen hohen pädagogischen oder bildungspolitischen Erwartungen das Konzept der fachübergreifenden und Fächer verbindenden Kompetenzen belegt ist, wird durch diese Umschreibung deutlich. Vor allem WEINERT (1998a, 1999) hat aber davor gewarnt, die Übertragbarkeit der häufig theoretisch unscharf und mehrdeutig beschriebenen Schlüsselqualifikationen auf neue Situationen nicht zu überschätzen.

2.1.1 Problematik einer Begriffsdefinition

Für die Einführung des Kompetenzbegriffs in die bildungstheoretische Diskussion trifft eine Feststellung von BADER (1990, S. 2) in besonderem Maße zu: „Begriffe der Didaktik werden wohl nur ganz selten explizit eingeführt und dann mit gleicher Bedeutung in der wissenschaftlichen und schulpraktischen Diskussion verstanden und verwandt. Meist fließen in die Begriffsbildung bildungstheoretische, psychologische, bildungspolitische und vielfach gerade auch alltagstheoretische Begriffselemente ein und werden semantisch miteinander verwoben.“

Die Definition von Indikatoren oder Kriterien zum Fördern und Erfassen einer komplexen Problemlösefähigkeit von Lernenden muss dabei am Kompetenzbegriff ansetzen. Es gilt zwangsweise zu klären, was unter Kompetenz zu verstehen ist, welche Reichweite die jeweilige Kompetenz besitzt und welche Bereiche von Kompetenz voneinander abzugrenzen sind. Die Erfassung von Kompetenz setzt ein theoriegeleitetes und für operationale Zwecke zugängliches funktionales Verständnis von Kompetenzen voraus (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, KLIEME ET AL. 2001). Aus wissenschaftlicher Perspektive stehen deshalb Kriterien, Instrumente und Verfahren einer Kompetenzerfassung und -bewertung im Vordergrund. Beiträge hierzu sind aus unterschiedlicher disziplinärer Sicht relevant und einzubinden (WEISS 1999, S. 435). Andere Zugangsebenen, wie zum Beispiel die der Bildungspolitik, bei der es vordergründig um die Frage geht, mit welchen Zielen oder Interessen ihre Erfassung erfolgt oder die betriebliche Perspektive, bei der es um eine optimale Nutzung und Weiterentwicklung von Kompetenzen geht, sollen dabei ausgeblendet bleiben. (Ebd.)

Die nachfolgende Untersuchung zum Kompetenzbegriff in der Bildungswissenschaft sowie die Darlegung ihrer Ergebnisse orientiert sich an drei Leitfragen:

- 1 Wie wird Kompetenz (fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz, im weitesten Sinne berufsübergreifende Schlüsselqualifikation) definiert?
- 2 Welche theoretischen Konzepte liegen den Kompetenzen als Bildungsziele zugrunde?
- 3 Welche Reformtendenzen von Bildungsprozessen sind bei der Kompetenzentwicklung erkennbar?

Der Entwicklung einer Problemlösekompetenz zum Erfassen und Beherrschen von komplexen technischen Systemen mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation ging eine umfassende Literaturrecherche voraus. Im folgenden Kapitel 1.2 sollen die zentralen Ergebnisse der Literaturlauswertung vorgestellt werden, die sich an diesen drei Fragestellungen orientieren.

2.1.2 Vielfalt disziplinärer Zugangsmöglichkeiten

Bei dem Kompetenzbegriff handelt es sich um kein einheitliches Konstrukt. Der Begriff befindet sich noch inmitten eines breiten, wissenschaftlich geprägten Such- und Definitionsprozesses. Er ist in erster Linie gekennzeichnet durch seine inhaltliche Unschärfe. „Kompetenz und Kompetenzentwicklung sind mehrdimensional, komplex und dynamisch.“ (FLASSE/STIELER-LORENZ 2000, S. 219) In der Tat ist das Spektrum an Definitionen beziehungsweise Beschreibungen von Kompetenz bunt und breit. Die nachfolgende Diskussion soll einerseits die Vielfalt der Definitionen veranschaulichen und andererseits die Notwendigkeit einer Systematisierung verdeutlichen. Voraussetzung für das Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz in dieser Arbeit ist eine abschließende Klärung, oder zumindest ein von Wissenschaft und Praxis getragener Konsens sowie eine begriffliche Abgrenzung.

Kompetenzen sind im Sprachgebrauch vieler Wissenschaften zu finden und werden dort auch spezifisch definiert. Das Verständnis variiert je nachdem, ob zum Beispiel ein soziologischer, arbeitswissenschaftlicher, berufspädagogischer, verhaltens-, entwicklungspsychologischer, psychodiagnostischer, pädagogischer, wirtschaftswissenschaftlicher, epidemiologischer oder bildungstheoretischer Bezugszusammenhang diskutiert wird. Je nach dem, aus welcher Perspektive man den Kompetenzbegriff betrachtet, wird zum Beispiel der Aspekt intrapersonaler Vorgänge, die Verwendbarkeit von Kompetenzen oder auch die Fähigkeit zur Selbstorganisation als konstitutive Eigenschaft hervorgehoben.

In der Alltagssprache wird unter Kompetenz in der Regel eine Fähigkeit verstanden. Kompetenz entstammt als Partizip Präsens ursprünglich von *competere*, dem lateinischen Wort *competens*, und heißt soviel wie „der Beschaffenheit nach stimmen, zutreffen“.

Im Wörterbuch der Berufs- und Wirtschaftspädagogik ist zu lesen: „Im allgemeinen Sprachgebrauch bedeutet Kompetenz soviel wie „Zuständigkeit“ oder „Befugnis“ und verweist damit auf einen ursprünglich juristisch-situativen Kontext. Kompetent zu sein im juristischen Sinne bedeutet, mit der Befugnis zur Entscheidung ausgestattet zu sein. Im Unterschied hierzu zielt der Begriff der Kompetenz in pädagogischer Sicht auf menschliche Fähigkeiten, die dem situationgerechten Verhalten zugrunde liegen und dieses erst ermöglichen.“ (KAISER/PÄTZOLD 1999, S. 245 f.) Demzufolge ist derjenige kompetent, der die Verantwortung für eine ihm übertragene berufliche Situation übernimmt: Kompetenz ist Verantwortung und zugleich vermutete Fähigkeit. Kompetent zu sein heißt, die zum Entscheiden und Handeln erforderlichen Kenntnisse und Erfahrungen zu besitzen (LICHTENBERGER 1999).

Gemäß der Enzyklopädie Erziehungswissenschaft besitzt jemand eine Kompetenz, wer handlungsfähig ist beziehungsweise etwas kann. „Er besitzt die Fähigkeit, so tätig zu werden, dass er eine Absicht/ein Ziel/einen Zweck unter Beachtung von Handlungsprinzipien/Normen/Regeln und mit Bezug auf konkrete, die jeweilige Handlungssituation bestimmende Bedingung zu erreichen vermag; er kann auch Situationen bewältigen, die zum Zeitpunkt der Ausbildung der entsprechenden Kompetenz noch nicht eindeutig voraussehen sind. Wer Handlungskompetenz besitzt, kann richtig, erfolgreich, vernünftig tätig werden.“ (MEYER 1986, S. 452) Generell

gehört die Kompetenz damit eher in den Bereich des „Handelns“ als in den Bereich des „Wissens“.

Diese allgemeinen Definitionen beschränken sich im wesentlichen auf die Feststellung, dass (Handlungs-)Kompetenz die Voraussetzung ist, um „richtig, erfolgreich, vernünftig tätig zu werden“. Sie greifen aber für eine Erfassung von Kompetenz zu kurz.

Bereits in den siebziger Jahren forderte man vor allem im anglo-amerikanischen Sprachraum eine neue Form der Beschreibung menschlicher Leistungsfähigkeit, die nicht auf kontext-unabhängigen Fähigkeitskonstrukten basieren sollte und stattdessen die Bewältigung anspruchsvoller Lebenssituationen in den Mittelpunkt der Betrachtung stellte. Der Kompetenzbegriff schien hierfür geeignet. 1990 griff BANDURA (1990, S. 315) den Begriff in ähnlichem Kontext wieder auf: „There is a marked difference between possessing knowledge and skills and being able to use them well under diverse circumstances, many of which contain ambiguous, unpredictable, and stressful elements.“ Er deutete diese Kompetenzen funktional und bereichsspezifisch. Ähnlich bezeichnen in der Sozialpädagogik wie auch in der Erwachsenenbildung Kompetenzen „die Fähigkeit einer Person, Anforderungen in einem mehr oder weniger eng umschriebenen Bereich gewachsen zu sein. So spricht man zum Beispiel von kognitiver Kompetenz (Fähigkeit zur Bewältigung intellektueller Anforderungen) oder sozialer Kompetenz (Fähigkeit, sozialen Anforderungen genügen zu können).“ (MEYER 1986, S. 243)

In der psychologischen Forschung ist der Kompetenzbegriff eng mit dem Wissensbegriff verknüpft. Dieser beinhaltet sowohl Erwerb als auch Anwendung von Wissen (SPADA/MANDL 1988) und umschließt prozedurale¹⁷ und deklarative¹⁸ Anteile. Kompetenz wird als Umgang mit Wissen definiert. Die Rolle bei der Bewertung, Strukturierung und Aneignung von neuem Wissen ist substantiell. Zur Bewältigung komplexer technischer Aufgaben beziehungsweise zum Lösen komplexer Probleme kann auf umfangreiches Wissen daher nicht verzichtet werden. Für GRUBER (2001b, S. 312) scheint „der Einfluss des Wissens [...] alle anderen Merkmale (zum Beispiel kognitive Fähigkeiten, generelle Problemlösestrategien, metakognitives Wissen und metakognitive Kontrollstrategien) zu überlagern.“ KLIEME/ARTELT/STANAT (2001, S. 204) raten, aus wissenspsychologischer Sicht von einer allgemeinen Kompetenz nur dann zu sprechen, wenn man tatsächlich den Erfolg bei einer breiten Palette von Aufgabenstellungen aus unterschiedlichen Inhaltsbereichen auf eine gemeinsame Fähigkeitsdimension zurückführen kann.

Arbeitswissenschaft und Berufspädagogik sehen in der Beschreibung von Kompetenz in erster Linie eine Abgrenzung zum Qualifikationsbegriff, der kennzeichnet, was Menschen „können“ müssen, um gestellten (Arbeits-)Anforderungen gerecht zu werden¹⁹. Kompetenz bezeichnet „mit gegenwärtig bester Annäherung das Zusammenwirken von Befähigung (i. w. S. Handlungsfähigkeit) und Motivation (i. w. S. Handlungsbereitschaft) zur selbstständigen Erweiterung von Wissen und Können für die Erfüllung von Aufgaben beziehungsweise die Lösung komplexer Probleme“. (PLATH 2000a, S. 586) Ähnlich versteht FREY (2002, S. 37) unter beruflicher Kompetenz „körperliche und geistige Dispositionen, die eine Person benötigt, um anstehende Aufgaben oder Probleme zielorientiert zu lösen, die Lösungen zu bewerten und

¹⁷ Prozedurales Wissen (auch Handlungswissen genannt; „Wissen, wie“) „stellt man sich in der kognitiven Psychologie vielfach als System von Prozeduren (auch Produktionen genannt) vor. Diese bestehen aus einem „Wenn“-Teil, der die Anwendungsbedingung der Prozedur spezifiziert, und einem „Dann“-Teil, der die Handlung repräsentiert.“ (RENKL 1996, S. 83)

¹⁸ Deklaratives Wissen („Wissen, dass“) bezieht sich auf die Kenntnis von Konzepten und Fakten. Die einzelnen Wissens-elemente stellt man sich in der Regel - über Assoziationen verbunden - in einem Netzwerk organisiert vor.

¹⁹ Vgl. MERTENS 1974 zu den Schlüsselqualifikationen und die sich daran anschließende Diskussion und Weiterentwicklung in Richtung Handlungsorientierung und Handlungskompetenz.

das eigene Repertoire an Handlungsmustern weiterzuentwickeln“. Hierzu werden von einer Person fachliche, methodische und insbesondere soziale Kompetenzen benötigt.

In der Pädagogik gewann der Kompetenzbegriff im Zuge der Schlüsselqualifikationsdebatte²⁰ (zum Beispiel MERTENS 1974, REETZ/REITMANN 1990, WILSDORF 1991, ARNOLD 1993, GEISLER/ORTHEY 1993, LEHMKUHL 1994, GONON 1996, BECK 1997) speziell im Zusammenhang mit der Frage nach der Förderung von Kompetenzen zur erfolgreichen Bewältigung zukünftiger beruflicher Anforderungen an Bedeutung. Zentrales Merkmal dieser Schlüsselqualifikationen ist nach MERTENS ihre hohe Transferierbarkeit. „Wäre es möglich die Ausbildung auf derartige Kompetenzen zu konzentrieren, würde es der nachwachsenden Generation ermöglicht, im Berufsleben auch neuartige und komplexe Anforderungen zu bewältigen, die in der Ausbildung noch gar nicht trainierbar waren.“ (BAUMERT ET AL. 2001a, S. 300) Die rasante technologische Entwicklung und durchgreifende Umstrukturierungen der Arbeitsorganisation leiteten deutlich veränderte Strukturen der Tätigkeitsfelder für die Beschäftigten sowohl im gewerblich-technischen als auch im kaufmännischen Bereich ein. „Während unter dem Primat des Taylorismus die Arbeit des Einzelnen meist auf wenige auszuführende Handgriffe reduziert war [...], steht heute - infolge der Automatisierung einfacher Arbeiten und der Einführung moderner Informations- und Kommunikationstechniken - komplexe und vernetzte Arbeitsabläufe im Zentrum menschlicher Tätigkeit.“ (BLUM ET AL. 1995, S. 11)

Diese veränderten Qualifikationsanforderungen führten zu einer Neubestimmung der Ziele beruflicher Bildung, die in den 1987 erlassenen Ausbildungsverordnungen einen vorläufigen Höhepunkt erreichten: „Die in dieser Rechtsverordnung genannten Fertigkeiten und Kenntnisse sollen so vermittelt werden, dass der Auszubildende [...] zur Ausübung einer qualifizierten beruflichen Tätigkeit befähigt wird, die insbesondere selbstständiges Planen, Durchführen und Kontrollieren einschließt.“ (VERORDNUNG ÜBER DIE BERUFSAUSBILDUNG IN DEN INDUSTRIELLEN METALLBERUFEN 1987, S. 4) Damit war ein grundlegender Wandel in der Zielbestimmung beruflicher Ausbildung von der bloßen Funktionstüchtigkeit zur beruflichen Handlungsfähigkeit vollzogen. Vom pädagogischen Standpunkt aus zielt der Begriff der Kompetenz dabei auf menschliche Fähigkeiten, „die dem situationsgerechten Handeln zugrunde liegen und dieses erst ermöglichen. So wird mit beruflicher Handlungskompetenz zum Beispiel das reife Potenzial beruflicher Fähigkeiten bezeichnet, das es dem Menschen erlaubt, entsprechend den Leistungsanforderungen, die in konkreten beruflichen Situationen gestellt werden, zu handeln.“ (REETZ 1999a, S. 38)

Die Pädagogische Psychologie benutzt den Kompetenzbegriff häufig im Zusammenhang mit der Entwicklung individueller (menschlicher) Dispositionen. Nach KRAPP/PRENZEL/WEIDENMANN (2001, S. 22) beinhaltet der Dispositionsbegriff unter anderem dabei die Vorstellung, „dass bestimmte strukturelle Merkmale (Persönlichkeitseigenschaften) vorhersagen können, wie sich eine Person in einer bestimmten Situation verhalten wird“. Dispositionen beschreiben damit Verhaltensweisen, über die Individuen potenziell verfügen können. Kompetenzen beziehen sich ihrer Meinung nach dagegen eher auf den Prozess der Handlungssteuerung. „Kompetenzen liefern die Basis für das Generieren oder „Erfinden“ von Aktivitäten; sie ermöglichen einen flexibleren Umgang mit den jeweiligen situativen Bedingungen einer Problemsituation.“ (Ebd.) Beide Begriffe beschreiben letztendlich Veränderungen menschlichen Verhaltens, wo-

²⁰ „Ausgangspunkt der Diskussion war die Frage, wie das Bildungssystem angesichts der sich stetig verkürzenden „Halbwertszeit des Wissens“ und trotz einer mit Mängeln behafteten Bedarfsprognose marktgerechte Qualifikationen vermitteln könne.“ (BLUM 1995, S. 18)

bei der Erziehungswissenschaft an einer Nachhaltigkeit, das heißt an einer zeitlich stabilen beziehungsweise dauerhaften und nicht nur kurzfristigen (und damit möglicherweise situationsbezogenen) Verhaltensänderung - und ihrer Diagnostik - interessiert ist.

Kompetenzen werden auch häufig in einem wirtschaftspädagogischen Kontext beschrieben. Dabei steht der Begriff Kompetenz „für körperliche wie geistige Fähigkeiten (Gesamtheit der zur Ausführung einer bestimmten Leistung erforderlichen Bedingungen), Kenntnisse (gespeicherte und aktualisierte Wissensbestände) und Fertigkeiten (aufgabenbezogene automatisierte Aktivitäten) einer Person zur Bewältigung einer Aufgabe oder Funktion.“ (FREY 1999, S. 30) Folglich bestimmen Kompetenzen das von Betrieben und Einrichtungen erwartete Leistungspotential einer Person zur erfolgreichen Bewältigung einer Aufgabe oder beruflichen Situation.

Bildungspolitisch ist der Kompetenzbegriff in erster Linie mit dem Deutschen Bildungsrat verbunden. Dieser wurde maßgeblich von HEINRICH ROTH's beiden Werken zur *Pädagogischen Anthropologie* geprägt. Damals erfolgte der erste Versuch einer „Operationalisierung in Sach-/Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz unter dem Hinweis auf deren wechselseitige Bedingtheit. Didaktik als auch Methodik müssen nach Auffassung des DEUTSCHEN BILDUNGSRATS (1974, S. 49) dazu beitragen, „den jungen Menschen auf die Lebenssituationen im privaten, beruflichen und öffentlichen Bereich so vorzubereiten, dass er eine reflektierte Handlungsfähigkeit erreicht.“

Die Definition des Sekretariats der ständigen Vertretung der deutschen Kultusministerkonferenz (KMK) verdeutlicht das Verständnis von Erziehung, die durch die pädagogisch-anthropologische Theorie der Persönlichkeitsentwicklung HEINRICH ROTH's geprägt ist, und die Persönlichkeitsentwicklung als Befähigung zu mündigem Handeln ansieht und sich als fach-, sozial- und wertgerechtes Handeln ausdifferenziert. Sie definiert in Anlehnung an die Position des Deutschen Bildungsrates Kompetenz (in Abgrenzung zur Qualifikation) aus pädagogischer Sichtweise als „den Lernerfolg in Bezug auf den einzelnen Lernenden und seine Befähigung zu eigenverantwortlichem Handeln in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen. Demgegenüber wird unter Qualifikation der Lernerfolg in Bezug auf die Verwertbarkeit, das heißt aus der Sicht der Nachfrage in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen verstanden.“ (KMK 2000a, KMK 2000b)

CZYCHOLL (2001, S. 172) betrachtet Kompetenzen in Bezugnahme auf die Definition der KMK als grundsätzliche Denk- und Handlungsfähigkeit von Menschen: „Kompetenz [...] gründet sich auf persönlich-charakterliche Grundfähigkeit und Einstellungen, die sich bei jedem Menschen im Rahmen seiner biographischen Entwicklung und Sozialisation in unterschiedlichem Maße aufbauen. Dazu zählen Wissen, Fähigkeiten, Einstellungen und Grundhaltungen, die sich aus dem Antriebssystem (zum Beispiel Leistungsmotivation), dem Wertungssystem (zum Beispiel Verantwortungsbewusstsein), dem Orientierungssystem (zum Beispiel allgemeine Sprachfähigkeit und spezielle Denkfähigkeiten, wie u. a. die Fähigkeit zum Abstrahieren und Generalisieren), dem Steuerungssystem (zum Beispiel Aufrechterhaltung von Interesse und Ausdauer) und dem Lernsystem (zum Beispiel Fähigkeit zur Konstruktion und Umstrukturierung von Handlungsschemata und Begriffen) heraus entwickeln.“

Weitgehendes Einvernehmen besteht bei nahezu allen Autoren dabei darüber, dass sich Kompetenz nicht nur auf berufliche, sondern auch auf außerberufliche Lern- und Handlungssituationen bezieht. „Die Grenzen zwischen beiden Bereichen sind fließend, da im privaten Bereich erworbene Kompetenzen unter Umständen beruflich verwertet werden können und um-

gekehrt berufliche Kompetenzen auch im privaten Bereich relevant sein können.“ (WEISS 1999, S. 440) In dem Maße, in dem sich der Kompetenzbegriff aber von der Bewältigung konkreter beruflicher Arbeits- oder Handlungssituationen löst und in den Bereich funktionsübergreifender Anforderungen übergeht, desto mehr nähert sich der Kompetenzbegriff und die Kompetenzentwicklung dem erziehungswissenschaftlichen Verständnis von Persönlichkeitsentwicklung an.

Insgesamt wird die Diskussion um Kompetenzen und ihre Entwicklung in letzter Zeit wieder intensiver geführt. „Wurde Kompetenz in den siebziger und achtziger Jahren vornehmlich in Bezug auf „pädagogische Handlungskompetenz“ [...] beziehungsweise „kommunikative Kompetenz“ [...] diskutiert, so hat dieser Terminus seit Mitte der neunziger Jahre mehr und mehr in die Diskussion innerhalb der beruflichen Weiterbildung Eingang gefunden.“ (VONKEN 2001, S. 503)

Ungeklärt scheint bei einigen Autoren nach wie vor das Verhältnis von Kompetenz und Qualifikation. Begrifflich hängen beide eng miteinander zusammen. Auf der einen Seite werden beide Begriffe im selben Sinnzusammenhang gebraucht (NEGT 1990) oder durch Wandel der Bedeutung gleichgesetzt, auf der anderen Seite werden Kompetenzen streng von Qualifikationen unterschieden. So sieht zum Beispiel ARNOLD (1998, S. 502) zwischen Kompetenzen und Qualifikationen keinen grundsätzlichen Unterschied. Seiner Meinung nach arbeiten die Anhänger eines explizit kompetenzorientierten Ansatzes mit einem überholten Qualifikationsbegriff, der die berufspädagogischen Entwicklungen der letzten Jahre ignoriere. Den Grund für die mangelnde Berücksichtigung sozialwissenschaftlicher und berufspädagogischer Erkenntnisse sieht er darin, dass die „kompetenzorientierte Wende“ vor allem in der Tradition wirtschaftswissenschaftlicher und arbeitspsychologischer Konzeptionen steht, deren Beiträge sich vorrangig auf das „beruflich-betriebliche Handlungsfeld“ beziehen (ARNOLD/SCHÜSSLER 2001, S. 60).

Als Bildungsziel für die Berufsschule behandelt demgegenüber BADER (1990, S. 8) Qualifikationen im Zusammenhang mit Handlungskompetenz als „Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die erforderlich sind, um eine vorgegebene Aufgabenstellung bearbeiten zu können“. Qualifikationen leiten sich nach diesem Verständnis aus - in der Regel bekannten - Aufgaben- und Problemstellungen ab und werden in - ebenfalls bekannten - Bearbeitungsschritten abgehandelt. Individuelle Dispositionen bleiben in diesen Vorstellungen unberücksichtigt. Für BADER entstammt der Qualifikationsbegriff damit der Frage nach der Ökonomie von Bildung, hinter der wiederum die Frage steht, „wie das Bildungssystem passend für die Anforderungen des Beschäftigungssystems ausbilden kann“. (Ebd.)

Allgemein werden in der Berufs- und Arbeitspädagogik Qualifikationen als verwertbare Fähigkeiten angesehen, die sich aus jeweils nachgefragten und aktuell verwertbaren Leistungsanforderungen („Arbeitsqualifikationen“) ergeben. „Aus pädagogischer Sicht wird aus dem grundsätzlich vorhandenen Potential eines Menschen (Kompetenz) nur der für die Bewältigung einer Arbeitssituation gerade erforderliche Teil (Qualifikation) abgefordert.“ (CZYCHOLL 2001, S. 173) Damit wird deutlich, dass der Qualifikationsbegriff als Zielbegriff für Berufsbildung in dieser Form defizitär ist, „weil er zum einen die im Subjekt angelegten Dispositionen für neue Handlungsfolgen und zum anderen autonomes Handeln mit eigenen Zielsetzungen weitgehend ausblendet“. (BADER 1990, S. 9)

LICHTENBERGER (1999, S. 287) hebt hervor, dass Kompetenzen eine individuelle Bestimmtheit aufweisen: „Während die Qualifikation die Fähigkeiten umfasst, die für eine Beruf-

gruppe typisch ist, stehen bei der Kompetenz die Unterschiede zwischen den Einzelnen im Vordergrund. Sie spiegelt den persönlich geprägten Charakter einer Handlung wieder, sie ist kennzeichnend für einen Stil.“ Für VONKEN (2001) zielen Qualifikationen damit nicht auf das Subjekt beziehungsweise die Persönlichkeit des Lernenden, sondern mehr auf sein berufliches Handeln (zum Beispiel Fertigkeiten, Wissen usw.). Für ihn liegt in LICHTENBERGERS Beschreibung daher ein funktionales Verständnis zugrunde, das keine Persönlichkeitsaspekte beinhaltet und Qualifikationen als objektiv beschreibbar ansieht. „Aus der pädagogischen Perspektive [...] bilden die abgeforderten Qualifikationen [...] nur einen Teil des Potenzials, das mit beruflicher Handlungskompetenz umschrieben wird. Der Kompetenzbegriff ist also gegenüber dem Qualifikationsbegriff nicht nur umfassender, er bringt auch die jeweilige Fähigkeit zur Erzeugung von Verhalten auf Basis von individueller Selbstorganisation stärker zum Ausdruck.“ (REETZ 1999b, S. 38 ff.)

Ähnlich sieht ERPENBECK (1997) im Unterschied zu anderen Konstrukten wie Können, Fertigkeiten, Fähigkeiten, Qualifikation usw. beim Kompetenzbegriff als Disposition personenbezogene Aspekte wie die Selbstorganisationsfähigkeit des Individuums im Vordergrund stehen.

Der Begriff der Kompetenz unterscheidet sich auch bei WITTWER (2002, S. 73) von dem (Schlüssel-) Qualifikationsbegriff durch seine subjektbezogene Dimension. Er versteht unter dem Konstrukt Kompetenz „ein subjektbezogenes, in wechselnden Situationen aktivierbares Handlungssystem [...] , das auf den ganz persönlichen Ressourcen eines Individuums, seinen Besonderheiten beziehungsweise Stärken basiert“ und nimmt auf dieser Grundlage seine analytische Differenzierung in zwei Dimensionen vor:

- 1 Kernkompetenzen: Fähigkeiten und Fertigkeiten, die von Lernenden im besonderen Maße beherrscht und individuell benutzt werden.
- 2 Veränderungskompetenzen: Fähigkeiten, auf die unterschiedlichsten Aufgaben und Probleme im Umgang mit beruflichen Anforderungen eingehen und verarbeiten zu können.

Damit erfährt der Lernende die eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten nicht mehr als Resultat der an ihn gestellten beruflichen Anforderungen, sondern als personenbezogene Kompetenz, die er in der jeweiligen Situation fachübergreifend und Fächer verbindend einsetzen kann.

Die Entwicklung von Kompetenzen ist demzufolge als lebensbegleitender Verlauf zu verstehen und erfolgt durch „individuelle Entwicklungsprozesse und unterschiedlich strukturierte und verortete Formen des Lernens“. (DEHNBOSTEL 2001a, S. 76) Die angesprochenen Entwicklungsprozesse räumen dabei dem selbst gesteuerten Lernen eine maßgebliche Stellung ein, da sich Kompetenz - und letztlich die Kompetenzentwicklung - auf individuelle Lernprozesse bezieht und nur zum Teil von außen beeinflussbar ist. „Dies trifft gleichfalls auf berufliche Kompetenzen zu, also besonders auf Fähigkeiten, Wissensbestände und Einstellungen, die das umfassende fachliche und soziale Handeln des Einzelnen in einer berufsförmig organisier- ten Arbeit ermöglichen.“ (Ebd.)

Um die entsprechenden Lernprozesse stärker in den Blickpunkt zu rücken, die zu der gewünschten Entwicklung der Persönlichkeit führen, wird auch in der Weiterbildung vom bislang rein funktional definierten Begriff Abstand genommen und der Begriff der „Kompetenzentwicklung“ betont. Im Unterschied zu den Schlüsselqualifikationen geht es nicht mehr darum, Qualifikationen mit längerer Haltbarkeitsdauer zu vermitteln; über die Förderung geeigneter Persönlichkeitsmerkmale soll eine erhöhte Selbstorganisations- und Selbstlernfähigkeit ausgebildet werden.

Kompetenzentwicklung erscheint in der beruflichen Weiterbildung immer mehr als zentraler Begriff in Theorie und Praxis. In Anknüpfung an die Position des Deutschen Bildungsrats wird Kompetenzentwicklung dort ebenfalls als Erwerb einer umfassenden beruflichen Handlungskompetenz, in den Dimensionen von Fach-, Sozial- und Humankompetenz, verstanden (BADER 1990, KMK 2000). Die Kompetenzbereiche Methodenkompetenz, Lernkompetenz und kommunikative Kompetenz sind diesem Verständnis folgend subsumiert.²¹

Abschließend gibt BADER (1990, S. 9) zu bedenken, dass unter handlungstheoretischer Perspektive ein so verengter Qualifikationsbegriff zumindest die Gefahr birgt, „zu übersehen, dass Handlungsfolgen nur auf der Basis individuell verschiedener Handlungsschemata möglich sind, ein Sachverhalt, der die Annahme völlig personenunabhängiger Handlungsfolgen bei der Bearbeitung von Aufgaben als unrealistisch erscheinen lässt“.

2.1.3 Methodische Probleme beim Erfassen von Kompetenzen

Neben einer einheitlichen Beschreibung und Definition scheint auch die theoretische Fundierung hinsichtlich der Erfassung von Kompetenz bislang unzureichend geklärt. So stellt FAULSTICH (1998, S. 82) fest, „es gäbe weder ein geeignetes Instrumentarium für die Beschreibung, Bewertung noch zur Anleitung und Weiterentwicklung von Kompetenzen“. Die Unterscheidung von Kompetenzen im bekannten Kompetenztrias (Methoden-, Sozial-, Humankompetenz) darf nicht darüber hinweg täuschen, dass deren Operationalisierung noch immer eine ungelöste Aufgabe darstellt (REETZ 1999b). REETZ gibt daher zu bedenken, dass „es sich dabei nicht um die gleiche Art der Operationalisierung handeln kann, die die seinerzeit vorherrschende behavioristische, also performanzorientierte Lernzielprogrammatik bestimmte, liegt an der Komplexität des Kompetenzbegriffes, dessen Auftreten zu Beginn der 70er Jahre ja zugleich auch ein sich änderndes Lern- und Lernziel-Verständnis mit sich brachte, nachdem der Deutsche Bildungsrat 1974 Kompetenzen als Ziele von Lernprozessen herausgestellt hatte“. (Ebd., S. 40)

Die Sprachwissenschaft hat bereits frühzeitig hinsichtlich der Funktionalität des Wissens differenziert und grenzt Kompetenz von Performanz ab. Sie versteht unter Performanz das empirisch erfassbare Verhalten. Kompetenz umfasst dagegen das inhaltlich-qualitative, nicht direkt beobachtbare, theoretische Konstrukt zur Beschreibung, Erklärung und Prognose von Performanz-Beobachtungen (SAXER 1998). Hilfreich erscheint in diesem Zusammenhang auch die von CHOMSKYS Untersuchung in den siebziger Jahren ausgegangene Diskussion um Sprachkompetenz und Performanz zu sein. Er unternahm damit für den Bereich der Linguistik²² den ersten theoretischen Rekurs auf Kompetenzen und definierte sie als abstraktes Wissen, das zum allgemeinen Gebrauch - der Performanz - einer Sprache befähigt. CHOMSKY'S Unterscheidung von Kompetenz und Performanz geht davon aus, dass der Performanz als so genanntem Oberflächen-Verhalten beim Sprechen in der Tiefenstruktur einer Person ein

²¹ Für eine weitergehende Klärung zur Handlungskompetenz als übergeordnetem Zielbegriff beruflicher Bildung sei an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. LAUR-ERNST 1989, BADER 1990, HÖPFNER 1991, FLOTHOW 1992, SONNTAG/SCHAPER 1992, BERNHARDT 1993, PAPROTTKA 1994, DEUTSCHER BILDUNGS RAT 1974, STARK ET AL. 1995, BLUM ET AL. 1995, FREY 1999, KAUFFELD 2000, EULER 2001, STARK ET AL. 2001, BADER/MÜLLER 2002).

²² Ebenso als Begriff zum Beispiel in der Sportpädagogik gebräuchlich.

Sprachpotenzial (Kompetenz) zugrunde liegt, das es ermöglicht, mehr Sätze zu bilden, als tatsächlich jemals geäußert werden.²³

Überträgt man diese Vorstellungen des Kompetenzbegriffs zum Beispiel auf die (berufliche) Fachkompetenz, dann ergibt sich in Analogie zu den Regeln beim Generieren korrekter grammatikalischer Sätze, dass die Beherrschung der Regeln eines Berufes die berufliche Kompetenz darstellt. „Mit Beherrschung kann in diesem Zusammenhang nicht das Aufsagen der „Regeln“ gemeint sein, sondern die (durchaus auch implizite) Beherrschung der korrekten Anwendung der „Regeln“ eines Wissens- und Handlungsbereiches.“ (RÖBEN 2001, S. 2). RÖBEN schließt weiter: „Da die Regeln im Unterschied zur Linguistik nicht explizit bekannt sind und auch eine andere Rolle spielen als in der Grammatik, bedarf es des Studiums des empirischen Auftretens der Kompetenz. Die empirisch fassbare Äußerung der Kompetenz ist die Expertise, beziehungsweise die Performanz.“

In Analogie zu diesem Verständnis lassen sich Kompetenzen nur in ihrem Vollzug, zum Beispiel bei der Ausübung einer bestimmten Tätigkeit, beobachten und sind dadurch stets situationsgebunden. Folglich werden Kompetenzen auch nur in der konkreten Handlung erworben und (weiter-)entwickelt. KAUFFELD (2000, S. 36) erweitert aus diesem Grunde die Kompetenzdefinition von WEINBERG (1996) um den Aspekt der Performanz: „Kompetenz ist somit das, was ein Mensch kann, weiß und zeigt.“ Kompetenzen lassen sich zwar allgemein definieren, sie lassen sich für ihn jedoch nicht abstrakt, sondern stets nur situationsspezifisch, das heißt im Kontext einer speziellen Domäne, überprüfen.

Wenn Kompetenz als eine sowohl an das Individuum mit seinen Fähigkeiten und Bereitschaften gebundene Größe ist, zum anderen aber ihre Ausprägung, ihr Einsatz, das heißt ihr „Sichtbarwerden“, und ihre Weiterentwicklung ebenso geprägt sind von den organisationalen, systemischen Bedingung, unter denen die Individuen handeln, dann müssen folglich beide Seiten bei einer Erfassung und Bewertung von Kompetenz und Kompetenzentwicklung unter Beachtung ihrer wechselseitigen Bedingungen berücksichtigt werden. Ähnlich sehen auch WITTEW (2002, S. 73), REETZ (1999b, S. 44), DETTBARN-REGGENTIN (1995, S. 39), oder DEHNBOSTEL (2001b, S. 255 ff.) Kompetenzen als von zwei Seiten her bestimmt an: von der Aufgaben- oder Problemsituation (Anforderungsseite) und von der Person (persönliche Ressourcen). Die Beschreibung einer Kompetenz oder deren Entwicklung ist demnach stets in ihrem sozialen Kontext zu sehen und erfolgt niemals isoliert davon.

Bei fast allen Autoren herrscht Einvernehmen darüber, dass Kompetenzen - wie auch immer sie definiert werden - als solche nicht direkt messbar sind. Für KLIEME/ARTELT/STANAT (2001, S. 218) lassen sich Kompetenzen nicht durch einen universellen Indikator erfassen und damit messen. Für ERPENBECK (1997, S. 311) sind sie „nur aus der Realisierung der Dispositionen erschließbar und evaluierbar“. FLASSE/STIELER-LORENZ (2000, S. 206) fällt auf, „dass die meisten Wissenschaftler die Auffassung vertreten, dass Kompetenzentwicklung sowohl einen auf die Individuen gerichteten Bezug hat als auch einen Bezug zu der Tatsache, dass Kompetenzen sich nur unter konkreten organisationalen Bedingungen in Verbindung mit Arbeit/Tätigkeit herausbilden, weiter entwickeln und so auch nur in der Tätigkeit (Arbeit/Handlung) beobachtbar und analysierbar sind“. Gleichsam sieht LICHTENBERGER (1999, S. 287 f.) Kompetenzen nur in konkreten Situationen als bestimmbar an, „denn sie

²³ Im Unterschied zu CHOMSKY geht man in der Pädagogik jedoch davon aus, dass die der Kompetenz zugrunde liegende Tiefenstruktur nicht angeboren, sondern durchaus erlernbar ist.

steht mit der tatsächlichen Anwendung und nicht mit der bloßen Fähigkeit [...] in Zusammenhang“.

Dagegen setzt BAITSCH (1996) Kompetenz nicht mit der erfolgreichen Bewältigung einer bestimmten Aufgabe gleich. Für ihn steht Kompetenz für die Qualität der die Handlung regulierenden psychischen Steuerung. Er stimmt zwar zu, dass sich Kompetenzen nicht direkt beobachten lassen, sieht aber die Möglichkeit, sie über ihre Manifestationen in Handlungen interpretierend zu erschließen. Gleichmaßen handelt es sich auch für WEISS (1999, S. 482) bei Kompetenzen „ihrem Charakter nach um theoretische Konstrukte, die nur indirekt zum Beispiel über Beobachtung oder Befragung erschlossen werden können“.

Eine Erfassung und Bewertung von Kompetenzen muss aber letztlich auch wissenschaftlichen Testansprüchen an entwickelte und eingesetzte Messverfahren genügen. Neben messtechnischen Gütekriterien wie Objektivität, Reliabilität und Validität ist für die Verwendung des Kompetenzbegriffs im Unterricht auf zusätzliche pragmatische Anforderungen (zum Beispiel Relevanz, Fairness, Ökonomie usw.) zu achten. So hätte etwa die Erzeugung einer Vielzahl von Daten, Kennziffern oder Indikatoren der Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz für die unterrichtliche Nutzung durch die Lehrkraft nur eine geringe Relevanz. Der letztlich erzielte Nutzen muss die erbrachten unterrichtlichen Aufwendungen übersteigen, um dem Aspekt der Unterrichtsökonomie zu genügen.

Vor diesem Hintergrund überrascht es wenig, wenn bei eingesetzten systematischen Verfahren wie zum Beispiel Prüfungen, Testverfahren, Einsatz von Assessment Centern usw. die ermittelten Kenngrößen der Hauptgütekriterien bescheiden ausfallen (KLEINMANN/STRAUSS 1996). „Kompetenzmessung vollzieht sich zu einem großen Teil auf informellem Wege und ohne Reflexion wissenschaftlicher Standards.“ (WEISS 1999, S. 448) Nach BJØRNÅVOLD's (1997, S. 69) Einschätzung liegt dies daran, dass „informelle Bildungswege (prinzipiell) individuell und die so erworbenen Kenntnisse prinzipiell situiert und kontextgebunden sind“.

Die durch Beobachtung gewonnenen Daten sind ihrem Charakter nach demzufolge nicht nur quantitativ sondern auch qualitativ zu bewerten. Verhaltensdispositionen wie zum Beispiel die komplexe Problemlösekompetenz sind bei einer Kompetenzmessung jedoch stets nur im Hinblick auf deren Merkmalsausprägung in Form von Indikatoren beobachtbar. Eine Auswahl, der die Kompetenz repräsentierenden Indikatoren, muss daher theoriegeleitet erfolgen, da sich komplexe Dispositionen nicht durch nur eine Kennzahl beziehungsweise einen Indikator beschreiben lassen. Die der Auswahl zugrunde liegende theoretische Struktur der Disposition verhindert dabei, dass einer „willkürlichen“ Verwendung Tür und Tor geöffnet wird. Eine Erfassung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen sollte also möglichst in authentischen Situationen erfolgen, in deren Kontext eine spätere Verwendung gedacht und möglich ist.

Je variabler oder komplexer zum Beispiel die Anforderungen zur Problemlösung in konkreten Handlungssituationen sind, desto problematischer wird aber auch die Forderung nach Operationalisierung einer entsprechenden Problemlösekompetenz. „Konsequent umgesetzt hätte eine Operationalisierung eine Festlegung, ja Normierung des Verhaltens und einen kurzsichtigen Bildungs-Taylorismus zur Folge. Sie steht damit im Gegensatz zum Anspruch auf Selbststeuerung und Selbstorganisation, der mit dem Kompetenzbegriff verbunden ist.“ (WEISS 1999, S. 450) Angesichts der aufgezeigten Zusammenhänge bei der Erfassung und Bewer-

tung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen erscheinen Abstriche an die Zuverlässigkeit und Gültigkeit bei der Messung vielen Forschern als unumgänglich.

LICHTENBERGER (1999, S. 301) stellt die bedeutungsvolle Frage nach der Reichweite einer Kompetenz: „A priori ist eine Kompetenz an eine Klasse von Situationen gebunden. Sie existiert nicht als solche losgelöst vom Individuum. Sie kann allerdings in ähnlichen Situationen reaktiviert werden und so ihrem Träger ermöglichen, sich weiterzuentwickeln.“ Dies impliziert die Frage nach der Verallgemeinerbarkeit und Übertragbarkeit einer Kompetenz und damit die Frage nach der Beschaffenheit von Situationen, in denen sie zum Ausdruck kommt. „Eine bestimmte Kompetenz eines Individuums wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach in einer identischen Situation reproduzieren lassen. Ausgehend davon kann sie auf dauerhaftere Weise als eine Fähigkeit dieses Individuums zur Beherrschung dieser Art von Situationen anerkannt werden.“ (Ebd.)

Liegen also einer Situation nicht sehr ähnliche, relativ charakteristische und damit formalisierende Bestimmungsfaktoren zugrunde, ist nicht ohne weiteres davon auszugehen, dass die Kompetenz übertragbar ist. Erst nach erfolgreicher Bewältigung domänenspezifischer Aufgaben in Situationen, in denen Variabilität oder unvorhergesehene Umstände dominieren, kann davon ausgegangen werden, dass der beobachteten Kompetenz keine situative Leistung zugrunde liegt, es sich folglich um eine reproduzierbare und stabile Kompetenz einer bestimmten Person handelt.

Ohne eine Festlegung formalisierender Bestimmungsfaktoren müssten die vielen Elemente, die neben einer Kompetenz, das heißt neben der dauerhaften Fähigkeit, eines Individuums beobachtbar sind (zum Beispiel kognitive Ressourcen, emotionale, motivationale und volitive Faktoren usw.), bestimmt werden. Um festzustellen, ob eine Kompetenz aufrechterhalten werden kann, muss demzufolge versucht werden zu ermitteln, was an die Befähigung gebunden und was an das Umfeld gebunden war.

2.1.4 Konzeptuelle Grundlagen und Vorschlag zur Systematisierung der Begriffsdefinitionen

Wie aufgezeigt werden konnte, ist der Versuch, Kompetenzen als Zielbegriff in der beruflichen Bildung möglichst präzise zu beschreiben beziehungsweise zu definieren, mit einigen Schwierigkeiten behaftet. Sie liegen zusammengefasst darin begründet, dass

- der Begriff Kompetenz nicht explizit und daher als kohärentes, in einer Theorie verankertes Konzept in die Berufsbildung eingeführt wurde, sondern sich primär aus der Beobachtung veränderter Qualifikationsanforderungen in der Arbeitswelt entwickelte.
- didaktische Zielbegriffe - das gilt beispielsweise auch für die so genannten Schlüsselqualifikationen - mit zunehmender Verwendungshäufigkeit zu ungenau bestimmten programmatischen Schlagwörtern werden²⁴, die einen breiten Spielraum an Interpretationen zulassen aber möglicherweise gerade deshalb konsensfähig sind.

Substanzielle Fortschritte bzgl. einer einheitlichen Klärung des Kompetenzbegriffs sind in neuerer Zeit im wesentlichen von der beruflichen Weiterbildung sowie den nationalen und interna-

²⁴ Vgl. die Entwicklung des Begriffs der Schlüsselqualifikationen: DIDI ET AL. 1993 haben in ihrem Gutachten des Instituts für Bildungsforschung im Auftrag des Bundesinstituts für Berufsbildung insgesamt 654 unterschiedliche Begriffe in der deutschen berufspädagogischen Literatur gefunden, die als „Schlüsselqualifikationen“ bezeichnet werden. „Diese begriffliche Unschärfe führt dazu, ihn praktisch unbeschränkt inhaltlich zu füllen.“ (BLUM ET AL. 1995, S. 19)

tionalen Schulleistungsstudien ausgegangen. Diese Fortschritte sollen im folgenden ausführlicher dargestellt werden. Zuvor wird jedoch die Rolle von Kompetenzmodellen als Mittler zwischen abstrakten Kompetenz- und konkreten Aufgabenbeschreibungen näher eingegangen. Sie stellen die Grundlage für die Operationalisierung von Kompetenzen als Bildungsziele dar und bilden die Basis für deren empirische Erfassung.

2.1.4.1 Ausgewählte Kompetenzmodelle aus pädagogischer und psychologischer Sicht

Gemäß einer vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Auftrag gegebenen Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards (KLIEME ET AL. 2003) beschreiben Kompetenzmodelle fächerbezogen die Lernerträge von Schülern für bestimmte Jahrgangsstufen. Nach ihrem Verständnis nehmen sie die Aufgabe wahr, die Ziele, die Struktur und die Ergebnisse fachlicher Lernprozesse zu beschreiben. Dabei bilden sie in Stufen die Kompetenzentwicklung der Lernenden ab und sollen somit eine Orientierung für schulisches Lehren und Lernen bieten. Aus bildungstechnologischer Sicht betrachtet, bilden Kompetenzmodelle die Grundlagen für deren Operationalisierung beziehungsweise empirische Erfassung über Testaufgaben. Die Umsetzung der Kompetenzen in Testaufgaben soll es erlauben, den Leistungsstand von Schülern kriteriumsorientiert (das heißt bezogen auf das definierte Kriterium²⁵) zu beschreiben (Ebd.). Kompetenzmodellen wird damit die schwierige Aufgaben zugeschrieben, zwischen den in der Regel abstrakt beschriebenen Kompetenzen als Bildungszielen und konkreten²⁶ in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebettete und computergestützte Testaufgaben zu deren Erfassung zu vermitteln.

Allgemein werden Kompetenzmodellen nachfolgende Zwecke zugeschrieben (Ebd., S. 61):

- Sie beschreiben das Anforderungsgefüge, dessen erfolgreiche Bewältigung von den Lernenden erwartet wird (Komponentenmodell).
- Sie liefern wissenschaftlich begründete Vorstellungen darüber, welche Abstufungen eine Kompetenz annehmen kann beziehungsweise welche Grade oder Niveaustufen sich bei den Schülern feststellen lassen (Stufenmodell).

Für die Autoren helfen solche Modellvorstellungen über Entwicklung und Förderung von Kompetenzen nicht nur bei der Gestaltung geeigneter computergestützter realitätsnaher Simulationsszenarien, „sondern bieten zugleich Anhaltspunkte für eine Unterrichtspraxis, die an den Lernprozessen und Lernergebnissen der Schülerinnen und Schüler im jeweiligen Lernbereich orientiert ist und nicht allein an der fachlichen Systematik von Lehrinhalten“. (Ebd., S. 58)

Die Schlüsselqualifikationsdebatte als auch die Ergebnisse der pädagogisch-psychologischen Forschung haben die starke Bindung zwischen einer allgemeinen Kompetenz (zum Beispiel Methoden-, Sozial-, Personalkompetenz) und ihrer fachlichen Bindung aufgezeigt. Aufgrund der beherrschenden Rolle fachbezogenen Wissens und Könnens sind Kompetenzen in erheblichem Maße domänenspezifisch. Für viele Autoren lässt sich die Frage nach der Reichweite von Kompetenzen²⁷ daher auch nicht durch eine Einteilung in zum Beispiel fachbezogen versus fachübergreifend beziehungsweise Fächer verbindend beantworten. Für sie bilden fach-

²⁵ Diese kriteriumsorientierte Beschreibung von Kompetenz „benennt also konkrete Anforderungen, die auf einer bestimmten Kompetenzstufe bewältigt werden können, und beschreibt zugleich jene Tätigkeiten und Wissensinhalte, die noch nicht beherrscht oder erreicht sind“. (KLIEME ET AL. 2003, S. 112)

²⁶ Im Sinne dieser Arbeit

²⁷ - und damit auch die Frage nach der Reichweite der Kompetenzmodelle -

bezogene Kompetenzen die notwendige Grundlage für fachübergreifende Kompetenzen (vgl. Kapitel 2.1.1 und 2.1.2).

In der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Auftrag gegebenen Expertise zieht man deshalb die Konsequenz, dass die Operationalisierung einer Kompetenz in einer entsprechenden beruflichen Domäne beziehungsweise in einem Fach erfolgen muss und begründen daraus die Notwendigkeit, „bei der Entwicklung von Kompetenzmodellen auf dem Theorie- und Erkenntnisstand der Fachdidaktiken aufzubauen“. (Ebd., S. 62)²⁸ Kapitel 3 1 greift diesen Ansatz später wieder auf. Dabei soll - in Erweiterung dieses Ansatzes - aufgezeigt werden, dass zum Entwickeln und Erfassen von Kompetenzen in der beruflichen Erstausbildung es nicht ausreicht, allein die Fachwissenschaften und die Fachdidaktiken zu berücksichtigen, sondern dass auch das domänenspezifische Arbeitsprozesswissen (vgl. Kapitel 3.1) in ausreichender Form mit einbezogen werden muss.

Neben der Fach- beziehungsweise Domänenspezifität und der Komponentenstruktur der Kompetenzmodelle, stellt für die Autoren der Expertise die Bezugnahme auf Kompetenzstufen ein zentraler Aspekt zu deren Erfassung dar. Diese bieten für sie die Möglichkeit einer kriteriumsorientierten Interpretation von Testergebnissen. Jede Kompetenzstufe zeichnet sich durch kognitive Prozesse und Handlungen mit charakteristischer Qualität aus, die nur von Schülern auf dieser Stufe bewältigt werden können - nicht aber von Lernenden der niedrigeren Stufen. Für die Autoren der Expertise fällt allerdings die Systematik der Beschreibung von Kompetenzstufen je nach Domäne sehr unterschiedlich aus.²⁹

Im Idealfall lassen sich für sie die Stufen eines Kompetenzmodells auch als Schritte beim Erwerb von Kompetenzen auffassen. Das heißt, dass in diesem Fall ein Kompetenzmodell Aussagen darüber macht, wie in einer individuellen Lernbiographie der Kompetenzerwerb verläuft. „Die Kompetenzmodelle von TIMSS und PISA sind beispielsweise dezidiert nicht als Entwicklungsmodelle gedacht, sondern als Beschreibung von Niveaustufen der Kompetenz innerhalb der untersuchten Schülerpopulation.“ (KLIEME ET AL. 2003, S. 64)³⁰

Abschließend sollen die bereits angesprochenen Kompetenz-Facetten dieser Modelle aufgeführt werden. Demnach kann von Kompetenz im dargelegten Sinne gesprochen werden, wenn (Ebd., S. 61)

- gegebene Fähigkeiten der Lernenden genutzt werden.
- auf bereits vorhandenes Wissen aufgebaut werden kann beziehungsweise die Möglichkeit gegeben ist, sich dieses Wissen zu beschaffen.
- die Schüler über die zentralen Wissens Elemente einer fachlichen beziehungsweise beruflichen Domäne verfügen.
- diese Wissens Elemente auch bei der erfolgreichen Bewältigung von Problemen Berücksichtigung finden.
- die Durchführung der mit der Problemlösung verbundenen Handlung verbunden ist mit bereits verfügbaren Fertigkeiten.

²⁸ Für KLIEME ET AL. (2003, S. 62) rekonstruieren Fachdidaktiken schulische Lernprozesse in ihren fachlichen Systematiken und zugleich in ihrer spezifischen, domänenabhängigen Logik des Wissenserwerbs und der damit verbundenen Kompetenzentwicklung.

²⁹ Betrachtet man die in der Expertise dargelegten Kompetenzmodelle näher, so wird deutlich, was ein zum Beispiel auf die Förderung von Kompetenzen zielendes Curriculum leisten muss. Es kann nicht darum gehen, kleinschrittig Inhalte zu beschreiben, sondern es kommt darauf an, diese Inhalte in einen Anwendungskontext einzubinden.

- dies mit der Nutzung der Gelegenheit zur Exploration des Problemraumes verbunden ist.
- infolge hinreichender „handlungsbegleitender Kognitionen“ ausreichend Motivation für eine erfolgreiche Problembewältigung beziehungsweise für ein gebührendes Handeln gegeben ist.

2.1.4.2 Kompetenzorientierter Ansatz der beruflichen Weiterbildung

1995 legte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit dem Forschungs- und Entwicklungsprogramm *Kompetenzentwicklung für den wirtschaftlichen Wandel - Strukturveränderungen betrieblicher Weiterbildung* den Grundstein für die Gründung der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V. (ABWF). Mit der Arbeit der ABWF begann eine systematische Aufarbeitung der mit dem Kompetenzbegriff verbundenen Theorie-traditionen. In Zuge dieser Arbeit hat sich der Kompetenzbegriff weiterentwickelt und sich dabei stetig einem allgemeinen Verständnis von Bildung angenähert.

Bei WEINBERG (1996, S. 3) liest man: „Unter Kompetenzen werden alle Fähigkeiten, Wissensbestände und Denkmethode verstanden, die ein Mensch in seinem Leben erwirbt und betätigt.“ Auch für KAUFFELD (2000, S. 35) werden in diesem Sinne „Berufliche Kompetenzen [...] oft zusammenfassend als diejenigen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Wissensbestände des Menschen, die ihn in seiner beruflichen Tätigkeit sowohl in vertrauten als auch in neuartigen Situationen handlungs- und reaktionsfähig machen“, bezeichnet. Sie sieht wie WEINBERG (1996, S. 3) im Zusammenhang mit Abschlussprüfungen von Bildungsgängen Kompetenz, im Unterschied zum formalisierten Qualifikationsprofil, als das „was ein Mensch wirklich kann und weiß“.

ERPENBECK (1997) betrachtet Kompetenz in grundsätzlicher Weise als menschliche Disposition (Anlagen, Motivationen, Fähigkeiten), selbstorganisiert zu handeln. Dieser Ansatz ist nicht neu und wird von vielen Autoren getragen (SONNTAG/SCHAPER 1992, BULLINGER/GIDION 1994, GEIßLER 1994, SONNTAG 1996, BERGMANN 1999). BERGMANN versteht unter der „Fähigkeit zur Selbstorganisation, dass das Individuum selbst Ziele setzt, Pläne und Strategien zu ihrer Verwirklichung erprobt und aus dabei entstehenden Erfahrungen lernt“. (Zitiert nach KAUFFELD 2000, S. 35) Selbstorganisiert werden für ERPENBECK/HEYSE „in der Regel Handlungen, deren Ergebnisse aufgrund der Komplexität des Individuums, der Situation oder des Verlaufs (System, Systemumwelt, Systemdynamik) nicht oder nicht vollständig voraus-sagbar sind“. (Ebd.)

Das Kompetenzkonzept der Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM) erweitert das Qualifikationskonzept der betrieblichen Weiterbildung damit um individuelle Persönlichkeitskriterien: „Kompetenzen umfassen immer auch notwendiges Wissen. Sie umfassen aber wesentlich mehr als dieses, schließen es in verfügungs- und handlungsrelevante Beziehungen ein. Komponenten jeder Kompetenz sind: die Verfügbarkeit von Wissen, die selektive Bewertung von Wissen und seine Einordnung in umfassendere Wertbezüge, die wertgesteuerte Interpolationsfähigkeit, um über Wissenslücken und Nichtwissen hinweg zu Handlungsentscheidungen zu gelangen, die Handlungsorientierung und Handlungsfähigkeit als Ziel von Kompetenzentwicklung, die Integration all dessen zur kompetenten Persönlichkeit, die soziale Bestätigung personaler Kompetenz im Rahmen von Kommunikationsprozessen als sozialfunktional sinnvolle, aktualisierbare Handlungsdispositionen und schließlich die Abschät-

³⁰ Für weitergehende Ausführungen wird an dieser Stelle auf BAUMERT ET AL. 2000, 2001a, 2001b, WEINERT 2001, KLIEME/NEUBRAND/LÜDTKE 2001, KLIEME/STEINERT 2002, TERHART 2002, KLIEME ET AL. 2003 verwiesen.

zung der entwickelbaren und sich entwickelnden Dispositionen im Sinne von Leistungsstufen der Kompetenzentwicklung.“ (ERPENBECK 1997, S. 311 f.)

VONKEN schließt deshalb: „Alles in allem wird daraus deutlich, dass mit diesem Kompetenzbegriff letztlich der Mensch als ganzes gemeint ist, mit seinem Wissen, seinen Fertigkeiten, seinem Willen, kurz: seiner Persönlichkeit. In diesem Sinne bedeutet der dazugehörige Terminus der *Kompetenzentwicklung* die Entwicklung der Persönlichkeit des Menschen.“ (VONKEN 2001, S. 505)

Obschon die vielen unterschiedlichen Zugänge zum Kompetenzbegriff (pädagogisch, verhaltenspsychologisch, soziologisch, epidemiologisch, psychodiagnostisch, bildungstheoretisch etc.) auf den ersten Blick kein einheitliches Bild vermuten lassen, analysieren ERPENBECK/HEYSE (1996, S. 37 f.) auf der Grundlage der vorgestellten Definition folgende gemeinsame Komponenten der Kompetenz

- Verfügbarkeit von Wissen (zum Beispiel schnelle Erschließbarkeit)
- selektive Bewertung von Wissen (zum Beispiel Brauchbarkeit, Handlungsbedeutung, zeitliche Stabilität)
- Einordnung von Wissen in umfassendere Wertbezüge (zum Beispiel personelle Werte, übergreifende soziale Wertvorstellungen)
- Interpolationsfähigkeit, um über Wissenslücken und Nichtwissen hinweg zu Handlungsentscheidungen zu gelangen (zum Beispiel Kreativität, implizite Erfahrung, Risikoabschätzung)
- Handlungskompetenz als Integral aller anderen Kompetenzen
- Handlungsfähigkeit als Zielpunkt aller Kompetenzentwicklung (zum Beispiel Entscheidung unter Unsicherheit, Organisieren in selbstorganisierenden Systemen)
- Integration aller kognitiven, emotional-motivationalen und volitiven Fertigkeiten und Strategien zur Bewältigung der Umweltaforderungen zur kompetenten Persönlichkeit
- soziale Bestätigung personaler Kompetenz im Rahmen von Kommunikationsprozessen als sozialfunktional sinnvolle, aktualisierbare Handlungsdispositionen.

Für beide steht damit eindeutig für den Kompetenzbegriff - im Unterschied zu anderen Konstrukten wie Können, Qualifikation etc. - die Selbstorganisationsfähigkeit des Lernenden im Vordergrund. Deshalb erscheint es für sie unsinnig, Wissenserwerb und Kompetenzerwerb gegeneinander zu stellen. „Kompetenzentwicklung setzt eine angemessene - und sich exponentiell verbreiternde - Wissensentwicklung voraus. Sie erschöpft sich aber nicht darin. Sie ordnet vielmehr das notwendige Wissen und die entsprechenden Erfahrungen in einen wertend-normativen Bezug ein, der individuelle [...] und allgemein gesellschaftliche Werte und Normen umfasst und seinerseits letztlich auf die Sicherung der Handlungsfähigkeit auch über Wissenslücken, Wertunsicherheiten und Risiken hinweg gerichtet ist. Letzteres wird jedoch, aufgrund der zunehmenden Komplexität von Unternehmen, Märkten und gesellschaftlichen Entwicklungen und der daraus resultierenden chaotisch-selbstorganisativen Dynamik, mehr und mehr zum Normalfall.“ (Ebd., S. 39)

Kompetenzen werden demzufolge als Voraussetzungen charakterisiert, in Situationen von Unsicherheit und Unbestimmtheit „selbstorganisiert schöpferisch Neues hervorzubringen. Sie sind, als Dispositionsbestimmungen, aus der Realisierung der Selbstorganisationsfähigkeiten erschließbar und sie sind subjektzentriert.“ (ERPENBECK/SAUER 2000, S. 303 f.)

Die von ERPENBECK/HEYSE angesprochenen Veränderungen bewirken einen Wechsel in der Betrachtung und Bewertung von Lernprozessen, der gekennzeichnet ist durch einen Wandel von mechanistisch-rationalen hin zu kybernetisch-komplexitätsorientierten Modellen. So

diskutieren sie zum Beispiel das selbstgesteuerte beziehungsweise selbstorganisierte Lernen im Zusammenhang mit systemtheoretischen, interdisziplinär ausgerichteten Ansätzen, die generell Selbstorganisation als eine wesentliche Eigenschaft komplexer Systeme verstehen. Das Prinzip des Reduktionismus, welches das Ganze als Summe seiner Teile beschreibt, geht über in ein Verständnis von Ganzheitlichkeit, in dem das Ganze mehr ist als die Summe der einzelnen Bestandteile.

Komplexe (nicht-lineare, chaotische) Systeme, die in unserem Leben eher die Regel denn die Ausnahme darstellen, sind extrem sensibel bezogen auf ihre Anfangsbedingungen. „Das heißt, dass nur das *schwache* Kausalitätsprinzip (gleiche Ursache → gleiche Wirkung) gilt. [...] Die Berücksichtigung nicht-linearer Dynamik setzt das *starke* Kausalitätsprinzip (ähnliche Ursache → ähnliche Wirkung) außer Kraft.“ (SEMBILL 1999, S. 160) „Der Objektivismus, der die (empfundene) Wirklichkeit als authentisches Abbild der Realität verstand, wird abgelöst vom Konstruktivismus, der (empfundene) Wirklichkeit als eine bestimmte Perspektive von Realität begreift. [...] Fremdgesteuerter Determinismus wird zunehmend ersetzt bzw. ergänzt durch Prinzipien der Selbstorganisation.“ (HENNING/ISENHARDT/ZWEIG 1999, S. 216)

Seit der konstruktivistischen Wende (SIEBERT 1999, 2000) hat sich die Auffassung von der Selbststeuerung als Grundprinzip bei Lernprozessen durchgesetzt. Lernen lässt sich nach dieser Auffassung weder verordnen noch strikt vorausplanen. Entscheidend ist die Eigeninitiative der Lernenden. Der Entwicklung entsprechender Lernumgebungen zur Förderung der Selbststeuerungsfähigkeit des Einzelnen ist bei der Planung von Unterricht demnach stärker Rechenschaft zu tragen. „Es wäre als ein eindeutiger Rückschritt zu werten, wenn nunmehr unter dem Anspruch der Messung der in informellen Lernprozessen erworbenen Kompetenzen erneut eine behavioristische Verkürzung Platz greifen würde.“ (WEISS 1999, S. 450)

2.1.4.3 Kompetenzorientierter Ansatz ausgewählter nationaler und internationaler Schulleistungsstudien

Aus erziehungswissenschaftlicher Sichtweise betrachtet erscheinen die Ergebnisse der letzten Jahre nationaler und internationaler Schulleistungsstudien (zum Beispiel DESI: **D**eutsch-**E**nglisch-**S**chülerleistungen-**I**nternational; MARKUS: **M**athematik-Gesamterhebung **R**heinland-Pfalz: **K**ompetenzen, **U**nterrichtsmerkmale, **S**chulkontext; PISA: **P**rogramme for **I**nternational **S**tudent **A**ssessment; SCHOLASTIK: **S**chulorganisierte **L**ernangebote und **S**ozialisation von **T**alenten, **I**nteressen und **K**ompetenzen; TIMSS: **T**hird **I**nternational **M**athematics and **S**cience **S**tudy) substanziell, um das in dieser Arbeit beschriebene Untersuchungsziel „Entwicklung und Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz“ theorie- und konzeptionsgeleitet zu erreichen.

Speziell im Rahmen des „Programme for International Student Assessment“ (PISA) wurden so genannte Basisqualifikationen (Lesen und Textverständnis, Mathematik, Naturwissenschaften) auf ein geändertes Verständnis hin auf bereichsübergreifende Kompetenzen (Cross-Curricular Competencies) ausgeweitet (BAUMERT ET AL. 2001b). Da mit der PISA-Untersuchung auch die Zielsetzung verbunden war, solche fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen als so genannte Ertragsindikatoren für Bildungsprozesse den teilnehmenden Ländern zur Verfügung zu stellen, war es auch dort unerlässlich, den zugrunde gelegten Kompetenzbegriff auf bildungs- und qualifikationstheoretische Theorieansätze und psychologische Konzeptualisierungen zu beziehen. Ohne eine solche theoretische Verankerung wäre man dort sonst ebenso Gefahr gelaufen, dass dem Kompetenzbegriff ein ähnliches Schicksal beschieden ge-

wesen wäre wie die zuvor angesprochenen zahlreichen Aufzählungen von Schlüsselqualifikationen (DIDI ET AL. 1993) in der pädagogischen Literatur oder wie es zur Zeit in der Psychologie mit der inflationären Zunahme von Intelligenzen (emotionale Intelligenz, soziale Intelligenz usw.) geschieht. (zur Kritik vgl. DUBS 1995b.)

Die Aufgabenstellung des Erfassens fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen orientieren sich bei PISA nicht mehr an traditionellen curricularen beziehungsweise schulischen Lernzielen und -inhalten.³¹ Der verwendete Rahmen legt der Untersuchung ein kognitives Verständnis von Kompetenz zugrunde, „der sich auf prinzipiell erlernbare, mehr oder minder bereichsspezifische Kenntnisse, Fertigkeiten und Strategien bezieht. Solche Kompetenzen werden in der kognitiven Psychologie und Wissenserwerbsforschung als unterschiedliche Formen des Wissens aufgefasst, und als solche sind sie mittel- und vermittelbar.“ (BAUMERT ET AL. 2001b, S. 285)

Nach WEINERT (1998b) lassen sich fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen, die über eine vergleichsweise breite Spanne von Situationen und Aufgabenstellungen hinweg einsetzbar sind, dem allgemeinen Kompetenzbegriff subsumieren. Hierzu zählen unter anderem die Inhalte einer basalen Allgemeinbildung sowie muttersprachliche und mathematische Kenntnisse und Fertigkeiten. In einer Überblicksarbeit - einer von der OECD dem Max-Planck-Institut für psychologische Forschung in Auftrag gegebene Studie zur Auswahl und Definition von Kompetenzen - konnte WEINERT (1999) zeigen, dass in der Literatur eine Vielzahl verschiedener Kompetenzbegriffe parallele Verwendung finden und dass sie dabei gleichzeitig eine breite Inhaltsspanne abdecken. Diese reicht von Persönlichkeitsdispositionen - wie zum Beispiel Intelligenz oder Talent - bis hin zu erworbenen Qualifikationen, erworbenem Wissen, fachübergreifenden Eignungen oder fächerbezogenen Fertigkeiten. Mit dieser Studie wurde erstmals eine in die aktuelle pädagogisch-psychologische Diskussion eingebettete Übersicht über sozialwissenschaftliche Kompetenzbegriffe vorgelegt. Demnach ergeben sich folgende fünf Konzeptualisierungen des Kompetenzbegriffs (zitiert nach KLIEME ET AL. 2001, S. 182):

- 1 Kompetenzen als allgemeine intellektuelle Fähigkeiten im Sinne von Dispositionen, die eine Person befähigen, in sehr unterschiedlichen Situationen anspruchsvolle Aufgaben zu meistern.
- 2 Kompetenzen als funktional bestimmte, auf bestimmte Klassen von Situationen und Anforderungen bezogene kognitive Leistungsdispositionen, die sich psychologisch als Kenntnisse, Fertigkeiten, Strategien, Routinen oder auch bereichsspezifische Fähigkeiten beschreiben lassen.
- 3 Kompetenz im Sinne motivationaler Orientierungen, die Voraussetzungen sind für die Bewältigung anspruchsvoller Aufgaben.
- 4 Handlungskompetenz als Begriff, der die ersten drei genannten Kompetenzkonzepte umschließt und sich jeweils auf die Anforderungen und Aufgaben eines bestimmten Handlungsfeldes, zum Beispiel eines Berufes, bezieht.
- 5 Metakompetenzen als Wissen, Strategien oder auch Motivationen, die Erwerb und Anwendung von Kompetenzen in verschiedenen Inhaltsbereichen erleichtern.

Als Vorschlag einer sprachlichen Übereinkunft plädiert WEINERT für eine Definition von Kompetenz, die sich aus der Expertiseforschung heraus gebildet hat (vgl. Kapitel 2.2.5.2). Die Ex-

³¹ Die PISA zugrunde liegende Philosophie richtet sich „auf die Funktionalität der [...] erworbenen Kompetenzen für die Lebensbewältigung im jungen Erwachsenenalter und deren Anschlussfähigkeit für kontinuierliches Weiterlernen in der Lebensspanne“. (BAUMERT ET AL. 2001b, S. 285)

perten-Novizen-Forschung untersucht Expertenleistungen in einem bestimmten Fach beziehungsweise Gegenstandsbereich („Domäne“). Der dort verwendete Kompetenzbegriff wird von BAUMERT ET AL. (2001a) im Zusammenhang mit internationalen Vergleichsarbeiten und der Diskussion um Bildungsstandards KLIEME ET AL. (2003) wieder aufgegriffen, weil er sich ausgezeichnet auf den schulischen Bereich übertragen lässt. Demgemäß sind Kompetenzen „Systeme aus spezifischen, prinzipiell erlernbaren Fertigkeiten, Kenntnissen und metakognitivem Wissen, die es erlauben, eine Klasse von Anforderungen in bestimmten Alltags-, Schul- oder Arbeitsumgebungen zu bewältigen.“ (KLIEME ET AL. 2001, S. 182)³² Neben motivationalen und handlungsorientierten Merkmalen stehen bei Beschreibung und Erfassung von Kompetenzen hauptsächlich kognitive Merkmale wie fachbezogene Gedächtnisleistungen, domänenspezifisches Wissen oder prozeduralisierte Handlungsabläufe im Vordergrund.

Aus der Sicht von KLIEME ET AL. (2001, S. 183) „ist die Frage, wieweit eine Disposition reicht, das heißt wie breit eine Kompetenz gefasst werden kann, letztendlich nur jeweils für bestimmte Kompetenzkonstrukte und bestimmte Zielpopulationen empirisch zu beantworten“. Für sie dient im Kontext der pädagogisch-psychologischen Diskussion um eine Erfassung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen, ihre Einordnung in komplexe Kompetenzmodelle sowie die Überprüfung schulischer wie außerschulischer Einflüsse nicht zuletzt dem Ziel, (zu) anspruchsvolle Erwartungen an Schule einer Realitätskontrolle zu unterziehen (Ebd.). Dieses Verständnis rührte 1997 aus den sehr unbefriedigenden Ergebnissen der bereits angesprochenen und im Auftrag der OECD durchgeführten internationalen Pilotstudie zur Erfassung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen (OECD 1997). Dabei ergab sich, dass die entwickelten und eingesetzten Fragebögen zu unzuverlässig, die Testinstrumente insgesamt zu schwierig und objektiv nicht auszuwerten waren. Insgesamt mangelte es an einer auf den Paradigmen der Pädagogik und Psychologie aufbauenden theoriegeleiteten Gesamtkonzeption.

2.1.5 Konzeptionelle und funktionelle Definition für das Forschungsvorhaben

Die vorangestellte Diskussion und Darstellung der Beschreibungs- und Definitionsversuche von Kompetenz zeigt, dass weder ihre Beschreibungsmöglichkeiten noch ihre theoretische Fundierung bislang ausreichend entfaltet wurden. Eine abschließende theoretische Betrachtung kann auch im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden; dennoch sind anhand der synoptisch zusammengestellten Definitionsvorschläge die Charakteristika des Kompetenzbegriffs herausgearbeitet worden. ARNOLD/SCHÜSSLER (2001, S. 65) weisen zurecht darauf hin, dass diese in bisherigen Beschreibungen oder Definitionen von Kompetenz feststellbaren Charakteristika auf ein spezielles Problem hinweisen, das sich im Zusammenhang mit deren empirischen Erfassung - im Hinblick auf Entwicklung und Bewertung von Kompetenz im Lernerfolg - zeigt: „Wenn Kompetenzen letztlich individuell erworbene (Handlungs-)Dispositionen sind, die ihrem Träger meist nur unbewusst als implizites Wissen zur Verfügung stehen, an konkrete Tätigkeiten, Anforderungen und Problemstellungen gebunden und somit kaum verallgemeinerbar sind, dann stellt sich die Frage, ob und, wenn ja, wie ein Kategoriensystem beschaffen sein müsste, das zur Klassifizierung von Kompetenzen eingesetzt werden könnte.“

³² Kompetenzen stellen nach diesem Verständnis menschliche Dispositionen dar, die Individuen dazu befähigen, bestimmte Arten von Problemen in einer Domäne erfolgreich zu lösen. Die damit verbundenen Fähigkeiten, Erfahrungen, Motivationen beziehungsweise das Wissen, Verstehen, Können und Handeln stellen die Facetten von persönlicher Kompetenz dar. (vgl. KLIEME ET AL. 2003, S. 59)

Obwohl bislang noch keine allgemein akzeptierte und operational-präzise Definition von Kompetenz vorgelegt werden konnte, existiert doch eine Reihe von Verfahren, mit deren Hilfe sich Kompetenzen im Rahmen von Arbeitsprozessen erfassen lassen. Beispielfähig seien das „Kasseler-Kompetenz-Raster“ (KKR) (KAUFFELD 2001), der „17-Skalen-Fragebogen“ (FREY 1999), der „Test zur beruflichen Orientierung und Planung (TOP-Test)“ (LANG-VON WINS ET AL. 1995), das „Kompetenzrad“ (NORTH 2003), „Arbeitsproben und situative Fragen zur Messung arbeitsplatzbezogener Kompetenzen“ (SCHAPER 2003), das „Leistungsmotivationsinventar“ (LMI) (SCHULER/PROCHASKA 2000) sowie das „Tätigkeitsanalyseinventar“ (FRIELING ET AL. 1993) genannt.

Die Schwäche all dieser Methoden liegt allerdings darin begründet, dass sie nur in begrenztem Maße Rückschlüsse auf eine spezifisch ausgewählte Kompetenz zulassen. Sie differenzieren nicht hinreichend zwischen den an das Individuum mit seinen Fähigkeiten und Bereitschaften auf der einen Seite sowie den objektiven, das heißt an die jeweils rein situativen Anforderungen gebundenen, Bedingungen auf der anderen Seite. Sie erfassen daher in der Regel nur solche Kompetenzen, die für die Bewältigung der jeweiligen Handlung erforderlich sind. Die in der betrachteten Handlungssituation nicht relevanten Fähigkeiten bleiben indessen ausgeblendet.

Angesichts des Untersuchungsvorhabens dieser Arbeit „Entwicklung einer Problemlösekompetenz zum Erfassen und Beherrschen von komplexen technischen Systemen durch computergestützte Modellbildung und Simulation“ erscheint ein funktionaler Zugang zum Kompetenzbegriff daher am attraktivsten. In Übereinstimmung mit der zweiten, der insgesamt fünf von WEINERT (2001, S. 27) vorgeschlagenen Definitionen zum Kompetenzbegriff (vgl. S. 32) wird den anschließenden Ausführungen folgende funktionale Arbeitsdefinition zugrunde gelegt: Kompetenzen beschreiben „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“.

Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen werden damit nicht nur als kognitive Funktionen angesehen, sondern als komplexe Handlungskompetenzen. Dies besagt, dass neben kognitiven Leistungen auch Faktoren wie Motivation (Interessen, Selbstbewertungen und Zielorientierungen etc.) und Volitionalität (Bereitschaft, Handlungsabsichten in konkrete Handlungen umzusetzen) berücksichtigt werden (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001).

Bei der Festlegung auf diese Arbeitsdefinition sind zusammenfassend vor allem sieben Merkmale entscheidend (WEINERT 1996a, 1999, 2000; KLIEME ET AL. 2001; BREUER 2004):

- 1 Kompetenzen beschreiben so genannte allgemeine intellektuelle Fähigkeiten (menschlichen Dispositionen, Subjektbezug).
- 2 Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen sind funktional definiert, das heißt Indikator einer Kompetenz ist die erfolgreiche Bewältigung bestimmter Anforderungen (bereichsspezifische Fähigkeiten, Performanzbezug).
- 3 Der Begriff der fachübergreifenden und Fächer verbindenden Kompetenz ist für kognitive Fähigkeiten, Fertigkeiten, Handlungen usw. belegt (wissensbasiert). Motivationale Orientierungen werden davon getrennt erfasst (Motivation als Voraussetzung für die Bewältigung komplexer Aufgaben).

- 4 Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen sind prinzipiell bereichsspezifisch begrenzt, das heißt stets kontext- und situationsbezogen zu bewerten (Domänenbezug).
- 5 Fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen sind als Dispositionen verstanden und damit als - begrenzt - verallgemeinerbar. Das heißt Kompetenz geht über die Erfassung einer einzelnen konkreten Leistung (Performanz) hinaus.
- 6 Metakognitive Fähigkeiten sind für Erwerb beziehungsweise Entwicklung und für die Anwendung von Kompetenzen notwendige Voraussetzung (Mehrdimensionalität).
- 7 Kompetenzen sind lern- und erfahrungsabhängig. Sie berücksichtigen unterschiedliche Entwicklungsstufen beim Kompetenzerwerb (Niveaustufen).

Kompetenzen werden folglich als Verbindung von Inhalten einerseits und Handlungen an beziehungsweise mit diesen Inhalten andererseits aufgefasst. Umgesetzt in realitätsnahe Simulationsszenarien computergestützter Testaufgaben erlauben es diese Arbeitsdefinition dann auf der Basis von Kompetenzmodellen, „den Leistungsstand von Schülerinnen und Schülern kriteriumsorientiert zu beschreiben, und das nicht nur im Vergleich mit dem Leistungsstand anderer, sondern bezogen auf das definierte Kriterium“. (KLIEME ET AL. 2003, S. 112)

Der Zusammenhang zwischen einer Kompetenz und ihrer konkreten Ausprägung³³ lässt sich also daraus aufzeigen, dass die Kompetenz das gesamte Spektrum aller vorhandenen Verhaltensmuster und dem dazugehörigen Wissen umfasst, während Performanz nur bestimmte Ausschnitte (Situationsbezug) dieser Gesamtheit darstellt. Kompetenz bezeichnet „die gesamte Fähigkeitsausstattung des Organismus, die er als Repertoire potenzieller Handlungs- und Orientierungsmuster bereithält“ (FISCHER/MANDL 1983, S. 266), während man unter Performanz³⁴ lediglich alle jene „Prozesse oder Resultate von Prozessen subsumiert, die als Realisierung, Aktualisierung von Kompetenz gelten können“. (Ebd.)

Diese Arbeitsdefinition zu Kompetenz unterscheidet sich von der aus der so genannten Schlüsselqualifikationsdebatte. Dort wird der Kompetenzbegriff im Kontext eines Faches eher als Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten angesehen: Für jedes Unterrichtsfach wird aufgeführt, welchen Beitrag es zu einer am Ende der Ausbildung stehenden beruflichen Handlungsfähigkeit (zum Beispiel im Sinne von Sach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz) leistet. Jedes dieser Unterrichtsfächer erfüllt seinen Beitrag zur Entwicklung angesprochener Kompetenzen, die sich als allgemeine, fachübergreifende Bildungsziele verstehen.

Ferner wird durch diese Arbeitsdefinition den bislang vorliegenden Forschungsergebnissen der Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management zur Kompetenzentwicklung Rechenschaft getragen: Sie nimmt sowohl Bezug auf den Lernenden selbst, hat aber auch einen auf die Tatsache gerichteten Bezug, dass Kompetenzen sich nur unter konkreten instruktionalen Bedingungen in Verbindung mit der erfolgreichen Bewältigung komplexer, lebens- und berufsnaher Aufgaben in realistischen Kontexten herausbilden, weiterentwickeln und so auch nur in der konkreten Handlung beobachtbar und analysierbar sind. Im Kern deckt sie sich mit der ebenfalls funktionalen Intention des Kompetenzbegriffs der PISA-Experten der OECD und in der Folge auch dem mit der der Forschungsgruppe zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards (KLIEME ET AL. 2003). Damit teilt sie die Stärken und Schwächen der

³³ Auch Realisierungen; zum Beispiel in Form von beobachtbaren (Handlungs-)Prozessen

³⁴ Im Sinne von FISCHER/MANDL beschreiben Performanzen erfassbare kognitive Verhaltensmuster von Lernenden, die auf das Vorhandensein grundlegender mentaler Prozesse schließen lassen. (Beziehungsweise, falls diese sich der direkten Beobachtung entziehen, deren kognitive Produkte.)

Konzeptionalisierung eines Kompetenzbegriffs, der letztendlich mit dem philosophischen Pragmatismus verwachsen ist.

Aufbauend auf diese Arbeitsdefinition soll im anschließenden Kapitel 2.2 am Beispiel der komplexen Problemlösekompetenz vier grundlegenden Fragen nachgegangen werden:

- 1 Wie lässt sich komplexe Problemlösekompetenz für Erfassungs-/Messzwecke operationalisieren?
- 2 In wie weit ist eine komplexe Problemlösekompetenz wirklich bereichsübergreifend?
- 3 Lässt sich komplexe Problemlösekompetenz von anderen kognitiven Grundfähigkeiten unterscheiden?
- 4 Ist die computergestützte Modellbildung und Simulation ein geeignetes Mittel, um komplexe Problemlösekompetenz zu erfassen und zu befördern?

2.2 Komplexes Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz

Dieses Kapitel greift einschlägige psychologische Forschungstraditionen zum komplexen Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz auf, um sie anschließend in Kapitel 3 für die verschiedenen Untersuchungsinstrumente aus der komplexen Problemlöseforschung für die Zielgruppe der Prozessleitelektroniker adaptieren zu können. Zu diesem Zweck soll ein kurzer Überblick zum komplexen Problemlösen gegeben werden. Wichtige Grundbegriffe des Problemlösens werden eingeführt und komplexe Probleme als eine Variante von Problemklassen vorgestellt. Dies ist in der vorliegende Arbeit von Interesse, weil auch die Regelungstechnik - ohne das Hilfsmittel „Höhere Mathematik“ (vgl. Kapitel 3) - als komplexe Problemanforderung kategorisiert werden kann. Im Anschluss werden Forschungsergebnisse zum Lösen komplexer Probleme und zur Steuerung komplexer Systeme vorgestellt. Dabei wird auf einige Determinanten sowie auf methodische Probleme beim Umgang mit sowie beim Erfassen komplexer Problemlöseleistungen eingegangen. Die weitestgehend noch ungeklärten Fragen der mentalen Repräsentation von Individuen über komplexe Systeme (FUNKE 1986, 1992; FÜRSTENAU 1994, HILLEN 2004), soweit sie nicht für das Untersuchungsziel dieser Arbeit von direkter Bedeutung sind, bleiben ohne nähere Berücksichtigung. Auch auf die Nähe der Konzeption komplexer Systeme zur Systemtheorie und zur Kybernetik soll im Rahmen dieser Arbeit nur am Rande eingegangen werden.

Ziel des Einsatzes computergestützter Modellbildung und Simulation zum Erfassen (CMS) und Beherrschen komplexer Systeme im Unterricht ist es, Schüler angemessen im Umgang mit derartigen Problemsituationen in Arbeitswelt und Privatleben vorzubereiten (DÖRNER ET AL. 1983, S. 58). Sowohl das System beruflicher Bildung als auch das allgemein bildende Schulsystem weisen diesbezüglich Defizite auf (ACHTENHAGEN 1996, S. 107). Die vorherrschenden Lehr-Lern-Prozesse im Unterricht der Schulen befähigen die Lernenden all zu oft eher zu ausführender Arbeit als zur Übernahme von Verantwortung beziehungsweise zu einer kooperativen Problemlösefähigkeit. Unterricht ist zu sehr wissensorientiert und zu wenig problem- und anwendungsorientiert (WEINERT 1998a, 1998b). Computergestützte Modellbildungen und Simulationen wollen dem entgegenwirken, in dem sie zum Beispiel (FÜRSTENAU 1999, S. 136)

- Lernen in einem relevanten und realitätsnahen Problemkontext stattfinden lassen.
- komplexe Grundzusammenhänge technischer Prozesse verdeutlichen.

- Handlungen von der Planung bis zur Reflektion der Ergebnisse ganzheitlich ausführbar beziehungsweise gedanklich nachvollziehbar machen.
- Auswirkungen eigener Entscheidungen (ohne die umwelttechnischen, sicherheitstechnischen Konsequenzen der Wirklichkeit) vergleichsweise schnell sichtbar machen.
- Eigenaktivität und Selbstständigkeit fördern.

2.2.1 Begrifflichkeit und Abgrenzung

Komplexes Problemlösen ist die Bezeichnung für eine etwa 20 Jahre alte psychologische Forschungstradition, die sich mit der Beschreibung und Erklärung von Phänomenen befasst, wie sie beim Umgang von Personen mit dynamischen und vernetzten Systemen auftreten. Diese Untersuchungen erhielten durch die Bamberger Arbeitsgruppe von DIETRICH DÖRNER eine neue Qualität in der Forschungssystematik und begründen damit parallel zur internationalen Forschung - zum Beispiel den Arbeiten der Oxforder Arbeitsgruppe um BROADBENT oder der „Systems-Dynamics“-Gruppe am MIT - weitere nationale Forschungsschwerpunkte (zum Beispiel von PUTZ-OSTERLOH in Bayreuth oder KLUWE in Hamburg).

Viele Benennungen der postulierten Fähigkeit existieren scheinbar gleichbedeutend nebeneinander her. So findet man bei FUNKE (1992) beispielsweise nachfolgende Begrifflichkeiten: „heuristische Kompetenz“, „komplexe Problemlösefähigkeit“, „Fähigkeit zum Umgang mit komplexen, vernetzten Systemen“, „Problemlösekompetenz“, „operative Intelligenz“, „Fähigkeit zu vernetztem Denken“, „Fähigkeit zu systemischem Denken“, „Fähigkeit zu ganzheitlichem Denken“ und „Fähigkeit zu systemadäquatem Handeln“.

Neben einer begrenzten Präzisierung und unbefriedigenden theoretischen Verankerung fällt bei vielen Begriffsverwendungen hingegen der hohe Anspruch auf, komplexe Problemlösekompetenzen als so genannte Schlüsselkompetenz für eine bestimmte Menge von Anwendungssituationen in Anspruch zu nehmen. Ähnlich wie beispielsweise von Konflikt- oder auch Teamfähigkeit gesprochen wird, ohne zu differenzieren, für welche Konfliktarten beziehungsweise Teamsituationen entsprechende Kompetenzen entwickelt werden sollten. Kapitel 2.2.2 wird versuchen aufzeigen, dass diese Erwartung eine Überforderung der Aussage- und Gestaltungskraft von Schlüsselkompetenzen darstellt.

Diese Hoffnung besitzt verständlicherweise im Hinblick auf die Frage nach der persönlichkeitsbezogenen Kompetenzentwicklung einen gewissen Reiz. Denn, so zum Beispiel EULER (2001, S. 348), würden entsprechende Schlüsselkompetenzen die erwünschte universelle Anwendungsbreite besitzen, dann wären sie nicht nur in betrieblichen Arbeitssituationen, sondern zugleich auch für die Bewältigung privater Lebenssituationen nutzbar. „Der Gegensatz von Arbeit und Beruf auf der einen sowie Freizeit und Privatleben auf der anderen Seite wäre zumindest unter Kompetenzaspekten aufgehoben - berufliche Kompetenzentwicklung wäre gleichzeitig auch außerberufliche Kompetenzentwicklung und umgekehrt.“ (Ebd.)

KLIEME/ARTELT/STANAT (2001, S. 205) stellen fest, dass in der psychologischen Forschung eine umfangreiche Literatur zu Problemen und Lösungsprozessen vorliegt, während gleichzeitig dabei das Konzept einer Problemlösekompetenz weniger klar verankert ist. Manche Autoren setzen es gar mit einem sehr breit verstandenen Begriff von Intelligenz gleich. STERNBERG/KAUFMANN (1998) unterscheiden zum Beispiel drei Teilkomponenten von Intelligenz, die alle auch mit Problemlösekompetenzen zu tun haben:

- 1 analytische Fähigkeiten, die man nutzt, um Problemsituationen zu verstehen oder Lösungsstrategien zu bewerten;
- 2 kreative Fähigkeiten, die helfen, Problemlösungen in realen Kontexten anzuwenden;
- 3 praktische Fähigkeiten, die benötigt werden, um Problemlösungen in realen Kontexten anzuwenden.

Besonders in der deutschsprachigen Psychologie wurden in den vergangenen Jahren nachhaltiger speziell komplexe Problemlöseleistungen untersucht (FRENSCH/FUNKE, 1995). „Beispielsweise simuliert man am Computer ein Ökosystem oder die kaufmännischen und technischen Zusammenhänge einer Fabrik; der Arbeiter muss diese Simulation erkunden und möglichst erfolgreich steuern. Problemlösekompetenz gemessen am erfolgreichen „Überleben“ in solchen Szenarien ist durchaus mit Intelligenz korreliert, geht aber nicht vollständig darin auf“. (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 205)

Eine wichtige Konsequenz aus der Situationsgebundenheit des problemlösenden Handelns ist es daher, beim Entwickeln und Erfassen einer Problemlösekompetenz ihren Situationskontext in die Konzeptualisierung mit einzubeziehen. Dementsprechend kann ihre Entwicklung nur sehr schwer universell erfolgen und ist erheblich stärker auf mehr abgegrenzte Situationstypen auszurichten. Zentral für dieses Verständnis einer komplexen Problemlösekompetenz ist die Prämisse, dass sich der Aufbau und die Anwendung komplexer, problemlösender Teilkompetenzen immer im Kontext einer mehr oder weniger typischen Situation ereignet. Entsprechend erfolgt die Bestimmung und Präzisierung von Problemlösekompetenzen in zwei Schritten³⁵:

1. Basis für die spätere Kompetenzerfassung stellt eine konzeptionelle Grundlage für das komplexe Problemlösen dar, das situationsübergreifend die wesentlichen Komponenten einer Handlungssituation erfasst und so die Grundlage für die Bestimmung von Handlungsanforderungen und darauf bezogene Kompetenzen zur deren erfolgreichen Bewältigung schafft.
2. Erfassen und Präzisieren einer komplexen Problemlösekompetenz wird durch konkretisierende Interpretation dieses Grundmodells auf spezifisch-charakteristische Situationstypen vorgenommen.

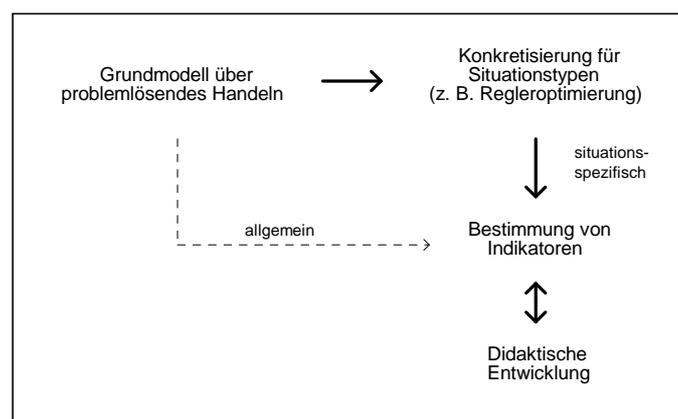


Abbildung 1: Schritte der Bestimmung und Präzisierung von Problemlösekompetenzen (in Anlehnung an EULER 2001, S. 349)

³⁵ In Anlehnung der Entwicklung von Sozialkompetenzen (vgl. zum Beispiel EULER 2001, S. 348)

Die Forschungsarbeit zum Lösen komplexer Probleme ist im Vergleich zur traditionellen Problemlöseforschung allerdings mit besonderen Schwierigkeiten verbunden (SÜSS 1996, 1999; FUNKE 1986, 1990, 1991, 1992, 1999, 2001). FÜRSTENAU (1994, S. 28) charakterisiert ähnlich wie auch REINKENSMEIER (2001, S. 43) in diesem Zusammenhang drei Hauptprobleme:

- 1 Fehlen einer elaborierten Theorie zum komplexen Problemlösen; statt dessen existieren nur explorative empirische Studien.
- 2 Die Einschätzung der Lösungsgüte ist bei komplexen Problemen schwierig, da in der Regel kein normativ verbindlicher Maßstab, wie etwa ein vollständiger Problemraum, herangezogen werden kann. Häufig vermischen sich Personen- mit Systemeigenschaften, so dass der Endzustand eines Indikators nicht mehr allein auf die Problemlösekompetenz einer Person zurückzuführen ist, sondern situativ auf spezifischen Systemeigenschaften beruht.
- 3 Zur Generalisierung der Ergebnisse aus der Forschung zum komplexen Problemlösen - speziell zur Systematisierung der Problemtypen - fehlt es an einer entsprechenden Taxonomie. Hauptproblem dabei ist, dass der Umgang mit komplexen Systemen von sehr vielen personen- und situations-/problembezogenen Faktoren abhängt (vgl. Kapitel 2.2.3). Für MÜLLER (1993, S. 8) müsste eine solche Taxonomie „eine zufriedenstellende Theorie des komplexen Problemlösens [...] und prüfbare Aussagen zu einer enormen Anzahl von Variablen und deren Relationen enthalten. Eine solche anspruchsvolle Theorie existiert bislang nicht.“

Bei der Steuerung komplexer Systeme liegt ein besonderer Interessenschwerpunkt in der Erforschung der Bedingungen des Steuerungsprozesses. „Aufgrund der situativen Bedingungen - zum Beispiel Art und Güte der Instruktion - und der persönlichen Bedingungen - zum Beispiel Motivation, Kreativität, Intelligenz - können individuell unterschiedliche Vorgehensweisen beim Problemlösen auftreten.“ (REINKENSMEIER 2001, S.43)

Bei den Forschungsarbeiten zum komplexen Problemlösen steht neben der Problemlöseleistung dementsprechend auch der Prozess der Problembearbeitung im Zentrum des Interesses, der sich in sechs verschiedene Problemlösephasen unterscheiden lässt (SCHAUB/REIMANN 1999)

- 1 Zielelaboration
- 2 Erstellen eines Systemstrukturmodells
- 3 Hintergrundkontrolle
- 4 Handeln
- 5 Kontrollieren und
- 6 Aktualisieren.

Üblicherweise folgen reale Problemlöser zum Beispiel bei der Steuerung komplexer Systeme jedoch nicht diesen (idealtypischen) Abläufen. Ihr Verhalten zeigt ein mehr oder weniger ungeordnetes Hin- und Herspringen zwischen den einzelnen Phasen. Teilweise bleiben auch einzelne Schritte davon komplett unbeachtet.

2.2.2 Konzept und psychologische Grundlagen: Vom analytischen Problemlösen zum komplexen Problemlösen

2.2.2.1 Analytisches Problemlösen

Das Lösen von Problem wird grundsätzlich als ein Prozess der Informationsverarbeitung von Personen aufgefasst (DÖRNER 1979, 1995; SELL 1990; EDELMANN 1996). Stark beeinflusst

wurde diese Vorstellung von der allgemeinen Computerentwicklung und den darauf aufbauenden Arbeiten zur Künstlichen Intelligenz. Folglich steht eine Person am Beginn des Löseprozesses eines Problems, wenn sie ein Ziel hat, aber die ihr zu Verfügung stehenden Mittel zur Zeit nicht ausreichen, das Ziel zu erreichen.

KLIX (1971, S. 639) und DÖRNER (1987, S. 10) schreiben einem Problem dabei drei Komponenten zu:

- 1 einen unerwünschten Anfangszustand
- 2 einen erwünschten, noch nicht erreichten Zielzustand und
- 3 eine Barriere, die die Transformation des Anfangs- in den Endzustand erschwert oder verhindert.

Problemlösen gehört inzwischen zu den relativ gut erforschten Gegenständen der Psychologie (BAUMERT ET AL. 2001a, S. 301). Die Arbeiten zum Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz in PISA³⁶ haben einschlägige psychologische Forschungstraditionen aufgegriffen. KLIEME ET AL. (2001, S. 185) beschreiben in Anlehnung an MAYER/WITTRÖCK (1996) Problemlösen als zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine routinierten Vorgehensweisen verfügbar sind, der Problemlöser ein mehr oder weniger gut definiertes Ziel vor Augen hat, aber nicht unmittelbar weiß, wie es zu erreichen ist. „Die Inkongruenz von Zielen und verfügbaren Mitteln ist konstitutiv für ein Problem. Das Verstehen der Problemsituation und deren schrittweise Veränderung, gestützt auf planendes und schlussfolgerndes Denken, sind konstitutiv für den Prozess des Problemlösens.“ (Ebd.) Ihre Definition grenzt sich damit von Alltagsvorstellungen oder auch sozial-psychologischen Konzepten, in denen Problemlösen mit der Klärung emotionaler und sozialer Konflikte verbunden ist, ab. Problemlösen wird als ein kognitiver Prozess verstanden, der sich eindeutig auf kognitiv-analytisches Problemlösen bezieht.³⁷

Nach LÜER (1990, S. 256) zeichnet sich das angesprochene Problemverständnis durch drei wesentliche Aspekte aus:

- 1 Lösen von Problemen kann als interaktiver Prozess zwischen Individuum und Außenwelt verstanden werden.
- 2 Individuelle Problemräume einer Person, das heißt die interne Repräsentation beziehungsweise die individuelle Wahrnehmung von Barrieren oder Lücken, bestimmt, ob eine Anforderung als Problem erkannt wird oder nicht. Eine bestimmte Anforderung kann somit nie objektiv als Problem kategorisiert werden.
- 3 Probleme könne durch verschiedene Lücken im Problemraum entstehen, zum Beispiel durch Wissensdefizite bezüglich verschiedener Problemzustände oder bezüglich der zu verwendenden Operatoren.

Auch für KLIEME ET AL. (2001, S. 185) bestimmt sich die Qualität des Problemlösens primär durch das Verständnis der Problemsituation. Denkprozesse bei der Problembearbeitung sowie die Angemessenheit der erreichten Lösung werden hiervon substantiell beeinflusst. „Auch wie systematisch jemand vorgeht - ob er beispielsweise einzelne Komponenten der Problemsituation in kontrollierender Weise untersucht, ob er den Lösungsprozess „global“ oder „lokal“ plant, ob er alternative Lösungsschritte gezielt ausprobiert, ob er Feedback sucht und nutzt -, ist ein

³⁶ Getragen wurden diese Arbeiten von einer nationalen Expertengruppen um E. KLIEME, der auch J. FUNKE, D. LEUTNER, P. REIMANN und P. FRENSCH angehörten.

³⁷ Für KLIEME ET AL. (2001, S. 185) spielt allerdings auch hierbei der soziale Kontext eine Rolle: zum Beispiel wenn Problemstellungen interaktiv geklärt und kooperativ Lösungen gesucht werden und wenn motivationale Faktoren sowie thematisches Interesse und Zielorientierung den Problemlöseprozess beeinflussen.

wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Personen, ein wesentlicher Teil ihrer Problemlösekompetenz.“ (Ebd.) Die Problemlöseprozesse des klassischen Ansatzes der Problemlösepsychologie werden häufig durch Auflistung von Phasen beschrieben, etwa in folgender Weise (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 205)

- Bestimmung der Ziele
- Analyse der Ausgangssituation und Aufbau einer mentalen Repräsentation (vgl. Kapitel 2.2.3.2), eines Situationsmodells
- Bestimmung des Lösungsplans, begleitende Kontrolle und gegebenenfalls Modifizierung der Lösung
- Evaluation der Lösung.

Die Problemlöser werden dabei mit der Darstellung einer Problemsituation und mehr oder weniger wohldefinierten Zielen konfrontiert. Von Interesse ist, wie die Bearbeiter die Problemsituation erfassen und welche Schlussfolgerungen und Handlungsplanungen sie zur Problembearbeitung vornehmen. „Ähnlich wie bei anspruchsvollen Aufgaben in fachbezogenen Tests steht das Suchen, Erfassen, Systematisieren, Ordnen, Evaluieren, schlussfolgernde Verarbeiten und Kombinieren von Informationen und das Planen im Vordergrund. Hierzu kann mit „statischen“ Problemstellungen gearbeitet werden, die schriftlich zu bearbeiten sind.“ (Ebd. S. 206)

Die Beschränkung der schriftlichen Verfahren liegt allerdings für die Autoren darin, dass durch diese Art der Problembearbeitung nur das „Produkt“, das heißt der Problemlöseerfolg (zum Beispiel gemessen als Anzahl korrekt bearbeiteter Aufgabenstellungen), erfasst wird. Sie offenbaren zudem eine hohe Überschneidung mit klassischen Tests zum „schlussfolgernden Denken“. Der dadurch erfasste Aspekt einer Problemlösekompetenz wird von ihnen daher zurecht einschränkend als „analytisches Problemlösen“ bezeichnet.

2.2.2.2 Komplexes Problemlösen

2.2.2.2.1 Besonderheiten beim Lösen komplexer Probleme

Die Unterscheidung zwischen einfachen, komplizierten und komplexen Problemen wird in der Literatur nicht trennscharf vorgenommen. Entsprechend besteht auch keine Einigkeit darüber, wie der Begriff „Komplexes Problemlösen“³⁸ zu definieren ist (FRENSCH/FUNKE 1995). Für KLUWE (1995, S. 14 f.) liegt das charakteristische Merkmal eines komplexen Problems in der Zahl der miteinander verknüpften Variablen beziehungsweise in der Zahl der für die Entwicklung einer Problemlösung erforderlichen kognitiven Operationen. GOMEZ/PROBST (1999, S. 15 f.) ziehen dagegen als Maßstab die Eigendynamik als das entscheidende Charakteristikum komplexer Problemsituationen heran. Für sie unterscheiden sich komplizierte von komplexen Problemstellungen dadurch, dass komplizierte Probleme zwar durch eine Vielzahl verschiedener Einflussgrößen beeinflusst sind, die zudem relativ stark miteinander verknüpft sind, aber dass diese Strukturen zeitlich stabil sind beziehungsweise nur eine sehr geringe Dynamik aufweisen. Bei komplexen Problemen tritt für sie als entscheidendes Kriterium die (sich laufend verändernde) Interaktion zwischen den sich gegenseitig beeinflussenden Größen hinzu. Das heißt „Art und Intensität der Beziehungen können sich verändern, Einflussfaktoren dazu stoßen oder wegfallen“. (GOMEZ/PROBST 1999, S. 22)

³⁸ DÖRNER (1986) verwendet auch den Begriff der „operativen Intelligenz“. Er versteht darunter all das, was die „Verlaufsqualitäten“ von geistigen Prozessen determiniert. Verlaufsqualitäten sind beispielsweise solche Merkmale eines kognitiven Prozesses, die mit Begriffen wie „planvoll“, „flexibel“, „umsichtig“, „weitsichtig“ bezeichnet werden.

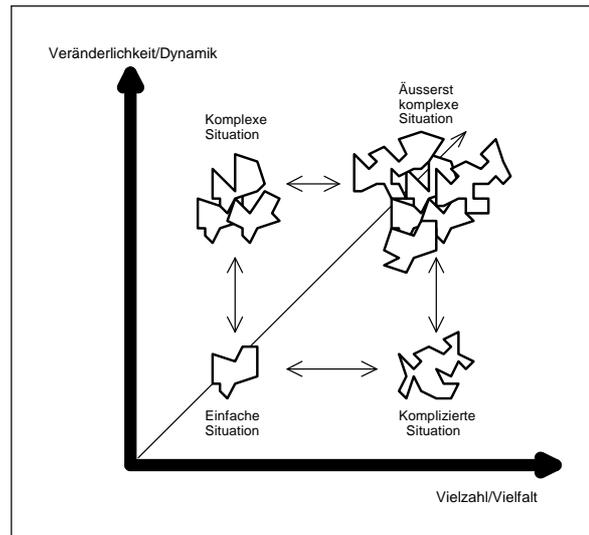


Abbildung 2: Lokalisierung einer Problemsituation (in Anlehnung an ULRICH/PROBST 1995, S. 61)

In letzter Zeit hat sich die Problemlösepsychologie verstärkt komplexen, dynamischen beziehungsweise authentischen Problemen größerer Reichweite zugewandt. Forschern wie REIMANN (1998) geht es dabei nicht mehr nur darum, wie wohl definierte Probleme (so genannte „Reasoning“ Aufgaben) durch Anwendung gegebener Operatoren gelöst werden, sondern um deren Erfassen und erfolgreiche Bewältigung durch Experten in der jeweiligen beruflichen Domäne. Auch FRENSCH/FUNKE (1995) betonen, dass es in ihren Studien primär um das Verständnis von Planungs- und Problemlöseprozessen in Alltagskontexten beziehungsweise um das Steuern von komplexen ökologischen, ökonomischen oder technischen Systemen geht. Infolgedessen wurde auch die Intelligenzdiagnostik einer starken Kritik unterzogen (vgl. Kapitel 2.2.5). „Aufbauend auf den Nullkorrelationen zwischen herkömmlichen Intelligenztests und Leistungsparametern beim Umgang mit computersimulierten Szenarien, wie sie damals etwa Dörner und Kreuzig (1983) oder Putz-Osterloh (1981; vgl. auch Putz-Osterloh & Lüer, 1981) berichteten, wurde erstmals die Behauptung vertreten, bislang nicht gestellte, aber für die Diagnostik der „operativen Intelligenz“ (Dörner 1986) wichtige Anforderungen realisiert zu haben.“ (FUNKE 2001, S. 89)

Für FUNKE (Ebd., S. 90) liegt einer der Hauptgründe für die Beschränktheit der bisherigen Intelligenztests in der Ignoranz der Testautoren gegenüber zwei wichtigen Merkmalen der natürlichen Umwelt: Dynamik und Vernetztheit. Beide Eigenschaften hält er für charakteristisch für beinahe alle ablaufenden Prozesse in lebensweltlich relevanten Systemen, und so wundert es ihn daher kaum, wenn die meisten neuen Studien genau auf diese beiden Eigenschaften abheben. FUNKE fragt sich vielmehr, wie Instrumente aussehen müssen, die diese beiden Eigenschaften der Vernetztheit und Dynamik abzubilden in der Lage sind. Die Antwort darauf fällt simpel aus: „Diese neuen Instrumente sollten in der Lage sein, unterschiedliche Grade von Vernetztheit und Dynamik in einer Aufgabenstellung darzubieten und beide zum Gegenstand der (kognitiven) Aktivität einer Testperson werden zu lassen.“ (Ebd., S. 91) Aus Sicht der Problemlöseforschung ist mit diesen Instrumenten eine neue Qualität von Problemstellungen gegeben, die sich durch hohe Komplexität und insbesondere durch Dynamik charakterisieren lassen (FRENSCH/FUNKE 1995). Der dynamische Charakter bietet wesentliche

Vorteile im Sinne der psychologischen Anforderungen an Testverfahren, die durch „Papier- und-Bleistift-Aufgaben“ (statische Aufgaben der klassisch-analytischen Problemlöseforschung) nicht abgedeckt werden können. KLIEME ET AL. (2001, S. 188) erkennen vier unabhängig voneinander nutzbare Vorteile, die es für sie insgesamt angeraten erscheinen lassen, komplexe Problemlöseleistungen mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation zu erfassen:

- 1 Der Prozess des Lösens komplexer Probleme beziehungsweise des Steuerns komplexer Systeme zwingt den Bearbeiter durch die Interaktion mit dem computergestützten Szenario unausweichlich dazu, die unterschiedlich eingesetzten (unter Umständen zwischenzeitlich wieder modifizierten) Strategien zu evaluieren. Die Anforderungen der klassisch-analytischen Problemlöseforschung werden bei Einsatz computergestützter Szenarien um das aktive Suchen und kontinuierliche Verarbeiten neuer Systemzustände erweitert.
- 2 Computergestützte Modellbildungen und Simulationen bilden Problemsituationen sowohl hinsichtlich ihrer Wirklichkeitstreue und Realitätsnähe³⁹ als auch hinsichtlich ihrer kognitiven Anforderungen wesentlich authentischer ab.
- 3 Es wird nicht nur das Resultat der Systemsteuerung beziehungsweise des Problemlöseprozesses erfasst, sondern auch die Verlaufsmerkmale während des Problemlöseprozesses.
- 4 Aus den Verlaufsmerkmalen lassen sich wiederum Indikatoren zur Abbildung der Problemlösekompetenz gewinnen (zum Beispiel Systematik) ableiten. Bei der Verwendung solcher Strategiemasse besteht aber noch weitgehend Uneinigkeit hinsichtlich ihrer empirischen Zuverlässigkeit (vgl. Kapitel 2.2.3).

2.2.2.2 Merkmale komplexer Probleme

Problemtypen lassen sich zum Beispiel danach unterscheiden, wie genau ihr Zielzustand beschrieben ist, oder in wie weit Operatoren zur Überwindung bekannt sind. Kann der Zielzustand dabei präzise beschrieben werden und sind die Operatoren⁴⁰ bekannt, spricht man von Interpolationsproblemen. Ist dagegen das Ziel klar, der Bekanntheitsgrad der Mittel hingegen nicht, spricht man von Syntheseproblemen, bei unpräziser Zielvorgabe von dialektischen Problemen (DÖRNER 1979, S. 14).

³⁹ Als realitätsnah wird ein komplexes System bezeichnet, das einen (in dieser Arbeit: technischen) Realitätsausschnitt so repräsentiert, wie es dem Vorwissen einer Person entspricht. Dagegen gilt ein System als realitätsfern, wenn es zum Beispiel Variablen mit Phantasienamen enthält und die Relationen der Variablen nicht bekannt sind. Zur Steuerung dieser realitätsfernen Systeme können dementsprechend nur vorgegebene Informationen und das während der Bearbeitung erworbene Steuerungswissen herangezogen werden. Bei realitätsnahen Systemen wird dagegen Vorwissen über den Realitätsausschnitt bei der Systemsteuerung aktiviert und bei dessen Anwendung systemspezifisches Wissen erworben (PUTZ-OSTERLOH 1993, S. 342).

⁴⁰ Unter einem Operator versteht DÖRNER 1979 die „allgemeine Form einer Handlung“. Dahingegen stellt eine „Operation die konkrete Realisierung derselben“ dar. Das heißt ein Operator ist ein „allgemeines Handlungsprogramm“, eine Operation die „konkrete Ausführung“ des Handlungsprogramms.

	Klarheit der Ziele hoch	Klarheit der Ziele niedrig
Bekanntheitsgrad der Mittel hoch	Interpolations- problem	Dialektisches Problem
Bekanntheitsgrad der Mittel niedrig	synthetisches Problem	dialektisches und synthetisches Problem

Tabelle 1: Einteilung nach Problemtypen (in Anlehnung an DÖRNER 1979, S. 14 mit modifizierten Bezeichnungen)

Bei den von der klassischen Problemlöseforschung bisher untersuchten Problemtypen handelte es sich in aller Regel um Syntheseprobleme, die sich durch eindeutig definierte Ausgangs- und Zielzustände charakterisierten. Untersucht wurde dabei, wie die damit verbundenen Aufgaben gelöst wurden, wenn die zur Lösung erforderlichen Operatoren fehlten oder wenn nicht bekannt war, wie die verfügbaren Mittel zur erfolgreichen Problembearbeitung eingesetzt werden müssen. Neue Forschungsarbeiten heben hervor, „dass vielfach in realen Situationen gerade über den Zielzustand nur sehr vage Vorstellungen existieren (dialektische Probleme); meistens sind kaum mehr als vage globale Kriterien dafür vorhanden, wohin der Zielzustand verändert werden soll“. (FRISCH/WOLF 1990, S. 12) Für FUNKE (2001, S. 89) gehören zu diesen neuen Anforderungen speziell die „aktive Informationsbeschaffung über Zustand und Struktur eines dynamischen Systems, mit dem man als Versuchsperson (Vp) konfrontiert wird (Aspekt des Wissenserwerbs, Identifikation eines Systems), wie auch die Tatsache, dass nicht einzelne Urteile oder Entscheidungen zu fällen sind, sondern im Rahmen einer Steuerungsanforderung eine mehrstufige, über einen großen Zeitraum sich erstreckende Anzahl von zielführenden Entscheidungen zu treffen ist (Aspekt der Wissensanwendung, Kontrolle eines Systems)“. SÜSS (1996, S. 5) beschreibt Probleme infolgedessen als komplex, wenn sie „als dynamische Systeme vernetzter Variablen beschrieben werden können, und [...] in Form von computersimulierten Szenarien dargeboten werden“.

DÖRNER (1986, S. 297) charakterisiert für komplexe dynamische Problemsituationen zusammenfassend vier für ihn wesentliche Anforderungen, die sich darüber hinaus voneinander nicht isolieren lassen. „Die Anforderungen

- 1 Informationsgewinnung und -integration,
- 2 Zielausarbeitung und -balancierung,
- 3 Maßnahmenplanung und Entscheidung,
- 4 Selbstmanagement

bedingen einander und treten ohne einander nicht auf. „Zeitdruck“ isoliert gibt es nicht!“

Zurückgehend auf DÖRNER (1979) sowie DÖRNER ET AL. (1983) und der Forschung mit komplexen, realitätsnahen Problemen beziehungsweise computersimulierten Szenarien wurden dabei folgende fünf Eigenschaften als charakteristisch bezeichnet:

Merkmal a: Komplexität

Merkmal b: Vernetztheit

Merkmal c: Dynamik

Merkmal d: Intransparenz und

Merkmal e: Polytelie.

Diese Eigenschaften spielten in der klassischen Problemlöseforschung bis zu diesem Zeitpunkt kaum eine Rolle, da entsprechende Untersuchungsinstrumente dafür nicht bekannt waren (FUNKE 1992, S. 7). Die angegebene Aufstellung dieser fünf Eigenschaften ist allerdings im Großen und Ganzen unverändert von den anschließenden Forschungsarbeiten übernommen worden, „ohne je einer genaueren Prüfung unterzogen worden zu sein; allenfalls die seinerzeit ausgetragene Kontroverse über eine Taxonomie von Systemen und Anforderungen (Funke, 1990, 1991; Hussy, 1984, S. 122 f.; Strohschneider, 1991) hat sich mit dieser Frage beschäftigt“. (FUNKE 2001, S. 90, vgl. auch FORTMÜLLER 1997)

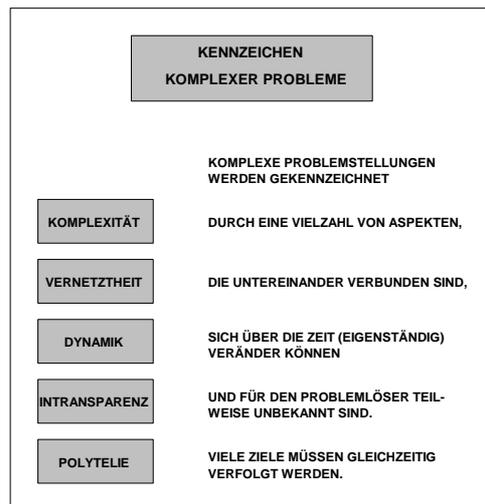


Abbildung 3: Kennzeichen komplexer Probleme (aus HASSELMANN 1993, S. 37)

Unter Vernetztheit (auch Grad der Vernetzung) versteht man, dass die Variablen nicht isoliert nebeneinander stehen, „sondern sie beeinflussen sich gegenseitig über Verbindungen unterschiedlicher Richtung, Charakteristik und Stärke. Die Vernetztheit hat zur Folge, dass Maßnahmen häufig nicht nur den intendierten Haupteffekt haben, sondern es zu Nebenwirkungen (unbeabsichtigte Veränderungen anderer Variablen) und Fernwirkungen (unbeabsichtigte langfristige Auswirkungen) kommt.“ (VON DER WETH 2001, S. 124) „Ferner ist es denkbar, dass manche Variablenveränderungen erst in Kombination mit der Änderung anderer Variablen wirksam werden, oder dass - umgekehrt - die Wirkung einer Variablen durch die Veränderung einer anderen Variablen wieder aufgehoben wird.“ (FORTMÜLLER 1997, S. 294)

Für DÖRNER stellt die „Vielzahl der Variablen“ beziehungsweise der „Umfang“ eines Problems keine eigenständiges Merkmal dar. Er subsumiert die Zahl der Variablen unter der Komplexitätsdimension „Vernetztheit“: Der Grad der Vernetztheit eines Systems wird für ihn sowohl durch den Typus der vernetzten Variablen als auch durch deren Anzahl operationalisiert (DÖRNER ET AL. 1983).

Unter Intransparenz verstehen die meisten Autoren, dass unter den zeitlichen Rahmenbedingungen komplexe Systeme oder komplexe Probleme selten vollständig durchschaubar sind. „Es kann unklar bleiben, welche Aspekte überhaupt zum Problem gehören und welche nicht (Variablenintransparenz), es kann unklar bleiben, wie sich die Variablen gegenseitig beeinflussen (Strukturintransparenz) und es kann unklar bleiben, in welchem Zustand sich diese Variablen zum gegebenen Zeitpunkt befinden (Zustandsintransparenz).“ (VON DER WETH 2001, S. 125) Intransparenz bedeutet für den Problemlöser in der Regel, unter Unsicherheit

handeln zu müssen, da die eigentlich notwendigen Informationen für eine sichere Entscheidung nicht bekannt sind.

Im Gegensatz zu statischen Problemen versteht man unter der Dynamik (auch Eigendynamik) komplexer Probleme deren Veränderung auch ohne Eingriffe von außen. „Sei es, dass bestimmte Variablen nicht konstant bleiben (Zustandsdynamik), sei es, dass sich die Beziehungen zwischen den Variablen über die Zeit ändern (Strukturdynamik). Bei manchen computer-simulierten Problemen verschlechtert sich der Zustand über die Zeit, so dass auch von daher Zeitdruck resultiert.“ (Ebd.)

Bei der Bearbeitung komplexer Problemsituationen stellt man häufig fest, dass nicht nur eine, sondern gleichzeitig mehrere Zielsetzungen zu beachten sind (Polytelie). Dies führt unter anderem zur „Notwendigkeit, auf vieles gleichzeitig achten zu müssen. Besondere Schwierigkeiten liegen in dem oftmals kontradiktorischen Verhältnis der Teilziele.“ (DÖRNER ET AL. 1983, S. 21)

Bei VON DER WETH (2001, S. 124) findet man als weiteres Merkmal komplexer Probleme darüber hinaus noch den „Umfang“ (eines Problems) beziehungsweise die Vielzahl von Gegebenheiten (Variablen). Dieser bezieht sich auf die große Zahl von Variablen, die bei einer Systemsteuerung beachtet und kontrolliert werden müssen, und deren Zustand der Problemlöser kennen sollte. Sie findet sich zum Beispiel auch bei FORTMÜLLER (1997, S. 293 f.) als weitere Komplexitätsdimension: „Ein wesentliches Kennzeichen von als „komplex“ bezeichneten Situationen besteht darin, dass eine Vielzahl von Gegebenheiten (Variablen) vorliegt, die im Rahmen des Problemlöseprozesses zu berücksichtigen sind.“

FUNKE (2001, S. 90 f.) hat diese inhomogene Merkmalsliste einer genaueren und kritischen Betrachtung unterzogen und kommt dabei im wesentlichen zu folgenden drei Schlüssen:

- 1 Da die Merkmale (a) Komplexität und (b) Vernetztheit (vgl. Seite 45) angesichts der unklaren Definition des Komplexitätsbegriffs konzeptuell kaum voneinander zu unterscheiden sind, schlägt er vor, sich den operational besser fassbaren Begriff der Vernetztheit zunutze zu machen. Vernetztheit ist ein kennzeichnendes Merkmal komplexer Systeme und weist darauf hin, dass mehrere Variablen einander beeinflussen. Für FUNKE richtet sich hieraus die Forderung an die Vp, sich nicht nur über einzelne Variablen sondern über die Struktur des Gesamtsystems einen Überblick zu verschaffen.
- 2 Neben der Vernetztheit handelt es sich bei Merkmal (c) Dynamik um die zweite bedeutsame Eigenschaft komplexer Systeme. Vernetztheit beschreibt insbesondere die strukturellen Aspekte des Systems. Dynamik rückt dagegen den prozessualen Aspekt eines Systems in Form seiner zeitlichen Charakteristik in den Blickwinkel des Betrachters. Hieraus resultiert für ihn die Anforderung an die Vp, sich Gedanken über die zeitliche Entwicklung des Systems zu machen. Insbesondere gilt es, neben den kurzzeitigen auch längerfristige Auswirkungen bestimmter Eingriffe zu bedenken.
- 3 Bei den Merkmalen (d) Intransparenz und (e) Polytelie handelt es sich für FUNKE nicht um Merkmale, die einem System inhärent sind, sondern um die Frage, wie das System versuchsleiterseitig einer Vp zugänglich gemacht wird beziehungsweise mit welcher Zielsetzung die Versuchsperson an die Steuerung und Kontrolle des Systems herangesetzt wird. So wird in einer intransparenten Situation die Systemstruktur und der Systemzustand nicht direkt zugänglich gemacht. In einer polytelischen Situation wird indessen die Kontrolle des Systems nicht auf eine isolierte Zielvariable beschränkt, sondern auf diverse gleichzeitig zu steuernde Größen. FUNKE schlägt daher vor, diese beiden Merkmale als unabhängig von

dem jeweiligen System zu betrachten, da sie ja auch unabhängig von dem gewählten System manipuliert werden können, im Unterschied zu den Merkmalen (b) Vernetztheit und (c) Dynamik, die als zwei zentrale Bestimmungsstücke eines komplexen Systems angesehen werden, da sie die systemseitig gegebenen Anforderungen repräsentieren.

FUNKE kommt daher abschließend zu nachstehenden Schlussfolgerungen: „Von den fünf als charakteristisch für komplexe Szenarien erachteten Merkmalen bleiben für ihn im Wesentlichen zwei Aspekte übrig, die als zentrale systemseitige Merkmale herangezogen, mit „Papier- und-Bleistift“-Techniken nicht realisiert werden können und zu ihrer Realisierung geradezu einen Computereinsatz verlangen: Vernetztheit und Dynamik. „Die beiden anderen charakteristischen Anforderungen (Polytelie und Intransparenz), die im Kontext komplexer Mikrowelten besondere Aufmerksamkeit verdienen, können auch unabhängig von computersimulierten Szenarien realisiert werden und sollen hier nicht weiter verfolgt werden, da sie keine prinzipiell neuen Verfahren darstellen.“ (Ebd.)

2.2.3 Besonderheiten des Problemlösens beim Umgang mit komplexen technischen Systemen

Nicht nur aus technologischer Perspektive heraus gewinnt die Auseinandersetzung mit dem Phänomen Komplexität als einem bedeutenden Kennzeichen unserer Lebensumwelt an Beachtung. „Täglich kontrollieren und steuern Menschen schwierige, umfangreiche technische Systeme und Prozesse. Entscheidungen von Menschen beeinflussen Zustände und Prozesse in Anlagen.“ (KLUWE 1991, S. 311) Solche Systeme gibt es in verschiedenen Bereichen der Realität: in der Energiewirtschaft, im Transportwesen, in Produktions- und Fertigungsanlagen, in der Medizin usw. Von den Menschen, die im Kontrollraum großer Kraftwerke oder Raffinerien diese Prozesse kontrollieren und steuern (genauer: „leiten“), oder die für die Verkehrslenkung zu Wasser, Land und in der Luft oder gar im Weltraum verantwortlich sind, die in Krankenhäusern medizinisch-technische Geräte zur Versorgung von Patienten bedienen, sagen wir, dass sie mit komplexen (technischen) Systemen umgehen (KLUWE 1997). Die damit verbundenen Aufgaben sind unterschiedlicher Art. Sie können reichen von der Herstellung und Einhaltung optimaler Zustände in technischen Prozessen oder der Sicherstellung, dass der Prozess im bestimmungsgemäßen sicheren Zustand abläuft, über eine Systeminitiierung beziehungsweise -koordinierung ausgewiesener Prozessvariablen, das System lediglich zu überwachen oder gar mit dem System zur Erreichung gewisser Ziele zu interagieren.

Um die Verfügbarkeit, den aktiven Umweltschutz sowie die Wirtschaftlichkeit moderner Produktionssysteme zu gewährleisten, ist besonders eine effiziente Diagnose und Behebung von Störungen durch qualifiziertes Fachpersonal ein entscheidender Faktor. SONNTAG/SCHAPER (1997, S. 9) heben hervor, dass insbesondere die diagnostischen Aufgaben hohe Anforderungen an die Mitarbeiter als Problemlöser stellen. Um Störungsursachen effizient zu erkennen und geeignete Schritte zu ihrer Beseitigung einzuleiten, so die Autoren weiter, sind anspruchsvolle Wissens- und Problemlöseleistungen zu erbringen, „da die Anlagen durch eine hohe Komplexität und Intransparenz der steuerungstechnischen Abläufe gekennzeichnet sind und die auftretenden Störungen eine hohe Variabilität und unterschiedlichste Schwierigkeitsgrade aufweisen.“

Vor diesem Hintergrund sind aus bildungstechnogischer Sichtweise Ansätze gesucht, die es ermöglichen, die zunehmende Komplexität technischer Prozesse zu bewältigen (SONNTAG/SCHAPER 1997, KLUWE 1997, HOLLNAGEL 1990). Grundannahme kognitionspsychologi-

scher Forschung oder Theoriebildung dabei ist, dass Realitäts- oder Problembereiche der Umwelt vom menschlichen Informationsverarbeitungssystem intern abgebildet werden. Gespeicherte Verfahren, zum Beispiel Problemlösungsstrategien, werden aktiviert und unter Verwendung gespeicherter Wissensstrukturen auf die intern repräsentierte Problemsituation übertragen und angewandt. Handelt es sich dabei um die interne Repräsentation komplexer, technischer Systeme, wird in der kognitions- wie auch in der ingenieurpsychologischen Literatur dafür häufig der Begriff des mentalen Modells (vgl. Kapitel 2.2.3.2) verwendet (KLUWE/HAIDER 1990, S. 173). Die Autoren listen in diesem Zusammenhang folgende Merkmale komplexer technischer Sachverhalte auf (Ebd.):

- Sie sind umfangreich, das heißt sie bestehen aus zahlreichen Komponenten, die vielfältig und kompliziert miteinander verknüpft sind.
- Sie können nicht vollständig vom Nutzer eingesehen werden.
- Es besteht eine als Kontrolle und Steuerung bezeichnete Interaktion zwischen einem oder mehreren Individuen und dem System (Nutzer, Operator).
- Das Ziel der Kontrolle und Steuerung ist in der Regel präzise vorgegeben: zum Beispiel einen Systemzustand einhalten.⁴¹

Kognitionspsychologische Forschung hat in diesem Zusammenhang aber auch speziell das Wissen zum Gegenstand, das Personen erwerben und anwenden, das mit der Steuerung komplexer Systeme verbunden ist. „Dies herauszufinden ist deshalb wichtig, weil die Analyse der Wissensvoraussetzungen zu unserem Verständnis von Fehlern, von interindividuell unterschiedlich sicherer und erfolgreicher Steuerungstätigkeit wesentlich beitragen kann.“ (KLUWE 1991, S. 311)

2.2.3.1 Interne Repräsentation

KLUWE (1990, S. 124) betont, dass sowohl der Verlauf als auch das Ergebnis von Problemlöse- und Entscheidungsprozessen davon bestimmt sind, wie die vorliegende Situation durch das Individuum intern repräsentiert wird. „Unzulänglichkeiten und Fehler der internen Repräsentation wirken sich über die Informationsverarbeitung auf den Ausgang der Entscheidung und der Lösungssuche aus.“ (Ebd.) Durch mehrjährigen Umgang mit den Sachverhalten einer Domäne entwickeln Personen die Fähigkeit, komplexe Sachverhalte und Situationen relativ ökonomisch und informationsreduzierend im Vergleich zum Beispiel zu Anfängern in dieser Domäne abzubilden. „Experten, also Menschen, die in einem Bereich viel Wissen und Routine über Jahre hinweg erworben haben, weisen spezifische Merkmale bezüglich der internen Repräsentation der ihnen vertrauten Situationen und Sachverhalte auf.“ (Ebd.; vgl. auch Kapitel 2.2.5.2) Dort wo Menschen mit komplexen technischen Systemen oder Anlagen zu tun haben, spielt die Untersuchung ihrer „mental Modelle“ eine wichtige Rolle (HOYOS/ZIMOLONG 1990). „Wie man annimmt, determiniert die Beschaffenheit des individuellen mentalen Modells bezüglich des Systems den Umgang damit, das Verständnis von Zuständen, die Entscheidungen über Eingriffe, Informationssuche usw.“ (KLUWE 1990, S. 126) Eines der bekanntesten Beispiele mentaler Modelle ist die Untersuchung von GENTNER/GENTNER (1983) über elektrischen Strom. Die Autoren konnten zeigen, dass die Qualität der Problemlöseprozesse maßgeblich mit der Qualität der zugrundeliegenden mentalen Modelle einher geht. Mentale Modelle sollen im Folgenden näher erläutert werden, da ihnen gerade für den Umgang mit komplexen technischen Systemen zentrale Bedeutung zugeschrieben wird. Für die schulische und

⁴¹ Beispiele hierfür sind die Kontrolle und Steuerung von Anlagen zur Produktion, zur Energieversorgung, zur intensivmedizinischen Versorgung, zur Führung von Verkehrsmitteln usw.

betriebliche Aus- oder Weiterbildung spielt die Untersuchung der mentalen Modelle dort eine wichtige Rolle, wo Menschen komplizierte technische Systeme zu steuern und zu kontrollieren haben.

KLUWE/SCHILDE/FISCHER/OELLER (1991, S. 305 ff.) weisen darauf hin, „dass die Komplexität eines Problems mit der Frage nach der individuellen internen Abbildung dieser Komplexität verknüpft werden muss“. Sie fanden in diesem Zusammenhang heraus, dass die durch einen externen Beobachter einem Problem zugeschriebene hohe Komplexität nicht notwendigerweise einschließt, dass die interne Abbildung dieses Sachverhaltes oder Prozesses ebenfalls komplex sein muss. Es kann durchaus sein, so die Autoren weiter, dass ein als komplex beschriebenes System intern höchst einfach abgebildet wird, dass lediglich selektierte, individuell für wichtig gehaltene Stichproben des Systemverhaltens und der Systemstruktur Berücksichtigung finden. Daher folgern sie, dass die von außen registrierbare Komplexität noch keinen Schluss der Art zulässt, dass die interne Abbildung ebenfalls komplex sei und dass deshalb bestimmte kognitive Aktivitäten erforderlich seien. Die Vermutung, komplexe technische Systeme würden demzufolge umfangreichere kognitive Anstrengung verlangen, kann folglich nicht ohne Bezug auf die interne Abbildung (mentales Modell) solcher komplexer Problemsituationen erfolgen. Mentale Modelle und ihre Bedeutung für die Steuerung komplexer Systeme werden im Folgenden genauer untersucht.

2.2.3.2 Mentale Modelle

Das Konzept der mentalen Modelle weist eine grundsätzliche Relevanz für Lehr-Lern-Prozesse und hier insbesondere für mediendidaktische Aspekte auf. Das wird an vielen Beispielen in der entsprechenden Literatur deutlich (GENTNER/STEVENS 1983, KLUWE 1990, KLUWE/HAIDER 1990, KLUWE/MISIAK/HAIDER 1988 und 1989, LEUTNER 1992, OPWIS 1985 u. a. m.). Leider wird der Begriff der mentalen Modelle in der Literatur in sehr unterschiedlicher Bedeutung verwendet. Sie reicht von der Betonung einer „strukturellen Analogie“ zwischen der eigentlichen mentalen Repräsentation und dem korrespondierenden Sachverhalt (JOHNSON-LAIRD 1983) bis zur Einbeziehung von Simulationen in digitaler Form (OPWIS 1985).

Für den Begriff mentales Modell lässt sich keine eindeutige Definition finden. Er wird in der Literatur sehr unterschiedlich verwendet. Darum erscheint es wichtig, auf die unterschiedliche Verwendung der mentalen Modelle hinzuweisen. Der Begriff mentales Modell im aktuellen Sprachgebrauch geht auf NORMAN zurück. Er wurde von ihm 1983 für die Beschreibung von Wissensrepräsentationen eingesetzt, die Personen im Umgang mit technischen Geräten entwickelten. „Die zentrale Annahme dieser Theorie besagt, dass Menschen innere Modelle der äußeren und inneren Realität aufbauen [...]. Die Struktur eines mentalen Modells ist - analog zur Struktur des korrespondierenden Sachverhaltes so, wie dieser wahrgenommen oder vorgestellt wird.“ (MANDL/FRIEDRICH/HRON 1988, S. 146)

„Ausgangspunkt der Konzeption mentaler Modelle ist die Annahme, dass Menschen von ihrer Umwelt und sich selbst interne Modelle konstruieren, die von den Absichten des Abbildenden abhängen, einen unterschiedlichen Differenzierungsgrad aufweisen können und wahrscheinlich ganzheitlich analog sind. Analog besagt nicht notwendig ikonische Ähnlichkeit, sondern kann ebenso auch strukturelle oder funktionale Ähnlichkeit bedeuten.“ (VAN DER MEER 1996, S. 219) Für KLUWE (1990, S. 125) stellen mentale Modelle eine Variante individueller Wissenseinheiten dar, die am Aufbau interner Repräsentation beteiligt sind. Er geht davon

aus, dass diese Wissenseinheiten in längeren Lern- und Instruktionsprozessen entwickelt und bei der Lösung von Problemen eingesetzt werden. Der Begriff „mentales Modell“ wird dabei vor allem zur Umschreibung eigener Sichtweisen bezüglich komplexer Systeme verwendet (zum Beispiel Computer, elektrischer Strom, Wärmeaustauschsystem, Kraftwerk) (GENTNER/STEVENS 1983).

Nach BAUMGARTNER/PAYR (1994) ist ein mentales Modell eine gedankliche Konstruktion des interessierenden Sachverhaltes, die uns beim Handeln anleitet. FRIELING/HILBIG (1990) diskutieren im gleichen Zusammenhang Auswirkungen rechnergestützter Arbeitsmittel auf den arbeitenden Menschen unter dem Mentalen-Modell-Begriff. Sie erfassen darunter Repräsentationen des konkreten Wissens, die sich auf das „Verstehen der Welt“ beziehen, um damit Handlungszielen, Ausführungsbedingungen oder Transformationsmaßnahmen gerecht zu werden. Mentale Modelle repräsentieren dabei nicht nur statische, sondern auch dynamische Prozesse. Damit können entsprechende Vorgänge mental simuliert werden und sozusagen vor dem „geistigen Auge“ ablaufen (SCHNOTZ 1994). Diese Modelle stellen den Sachverhalt keinesfalls nur aus einer Perspektive dar, sondern in unterschiedlich feinen Auflösungsstufen an Genauigkeit. Nach LARKIN (1983) konstruieren Schüler bei der Bearbeitung komplexer Sachverhalte zunächst einmal mentale Modelle, die eher oberflächliche Eigenschaften eines neu zu betrachteten Systems widerspiegeln. Während bei vertieftem Umgang mit dem Lerngegenstand durch Modifikationen die strukturellen und funktionalen Eigenschaften in das dann vorhandene mentale Modell integriert werden.

Auch für WIDDEL (1990) hat sich der Begriff des mentalen Modells im engeren Feld des Mensch-Maschine-Systems und der anwendungsbezogenen Informationstechnik durchgesetzt. Wesentlich erscheint dabei, dass sowohl Verlauf als auch Ergebnis von Problemlöse- und Entscheidungsprozessen davon bestimmt sind, wie die vorliegende Situation durch das Individuum intern repräsentiert wird, da Unzulänglichkeiten und Fehler der internen Repräsentation sich über die Informationsverarbeitung auf den Ausgang der Entscheidungen und der Lösungssuche auswirken. ANZAI/YOKOYAMA (1984) weisen in einer Serie von sieben Experimenten nach, dass sich Experten und Novizen qualitativ darin unterscheiden, wie sie mentale Modelle bilden und verändern. Für einige physikalische Probleme konnten sie zeigen, dass die Bildung und Veränderung mentaler Modelle vor allem durch aufmerksamkeitsleitende Hinweisreize sowie durch bestehende Wissensstrukturen beeinflusst werden können. Wissenserwerb lässt sich demnach als Erweiterung und Verfeinerung mentaler Modelle beschreiben.

Jedoch ist für einige Autoren der Mentale-Modell-Begriff sowohl theoretisch, durch den bereits erwähnten terminologischen Aspekt, als auch empirisch, durch die fehlende Prüfbarkeit der Aussagen, problembehaftet. So sieht beispielsweise VAN DER MEER (1996) Schwierigkeiten in der Annahme, dass mentale Modelle sowohl Gedächtnisstrukturen als auch kognitive Prozesse umfassen sollen und vermutet hinter diesem Begriff Sachverhalte verborgen, die bereits anderen Orts untersucht sind. NEBER (1996) bezeichnet Wissensstrukturen mentaler Modelle als Fehlkonzeptionen (misconceptions), wenn sie nicht mit dem Begriffs- und Regelwissen des jeweiligen Bereichs übereinstimmen und sich somit beim Problemlösen leistungsmindernd auswirken.

Wichtig erscheint BREUER/BERENDES/HILLEN (2000a, 2000c) die Funktionalität mentaler Modelle. Sie verweisen in diesem Zusammenhang zum einen auf KLUWE/HAIDER (1990), für die mentale Modelle funktional sind, „wenn sie das Verständnis von Sachverhalten anleiten

und den Umgang mit ihnen bestimmen“ und zum anderen auf FÜRSTENAU (1994, 1999), der mentalen Modellen eine „handlungsleitende Funktion“ im Problemlöseprozess unterstellt.

Mentale Modelle unterscheiden sich von konzeptuellen⁴² oder idealen Modellen eines Ausgangssystems durch Kennzeichnung nachfolgender Merkmale (NORMAN 1983, S. 8): Mentale Modelle

- sind unvollständig: Sie weisen nicht alle strukturellen Merkmale des korrespondierenden Sachverhaltes auf.
- sind in ihren oberflächlichen Eigenschaften stabil: Es besteht die Bestrebung bestehende, jedoch unter Umständen fehlerhafte, mentale Modelle beizubehalten. Damit werden Lernfortschritte beziehungsweise verhindert.
- sind in ihren hochgradig strukturellen und funktionalen Eigenschaften instabil: Personen vergessen Details des abgebildeten Systems, wenn es längere Zeit nicht mehr benutzt wurde.
- sind unwissenschaftlich: Personen neigen dazu, Verhaltensmuster aufrecht zu erhalten, auch wenn diese unlogisch oder fachlich unkorrekt sind.
- sind sparsam: Der angemessene kognitive Umgang mit komplexen Systemen wird häufig durch physische Operationen ersetzt.
- haben keine festen Grenzen: Parallel genutzte mentale Modelle weisen Überschneidungen auf. Bei komplexen Sachverhalten werden multiple, einander ergänzende mentale Modelle gebildet und durch so genanntes mapping aufeinander bezogen. Jedes Modell repräsentiert Eigenschaften, die von anderen nicht ausreichend erfasst werden.

Trotzdem oder gerade auf Grund der geschilderten Kennzeichen steuern Menschen komplexe technische Systeme. Wesentlich ist dabei: Eigene mentale Modelle müssen keineswegs korrekte oder vollständige Repräsentationen der zugrunde liegenden komplexen technischen Systeme anzeigen. Gleichwohl können sie hinreichend funktional sein (NORMAN 1983). Personen können komplizierte technische Systeme auch auf Basis unwissenschaftlicher oder unvollständiger mentaler Modelle steuern. BAINBGIDGE (1981) belegt dies mit empirischen Analysen aus ingenieurwissenschaftlichen Fachbereichen, wonach Bedienungspersonal in Leitwarten komplexe technische Systeme auf Basis sehr einfacher Wissensstrukturen und ohne Einsicht in zugrunde liegende strukturelle Prozessdynamik steuern konnten. Wie KLUWE/MISIAK/HAIDER (1989) in einer Simulationsstudie zeigten, reichten zur Steuerung eines komplexen (computersimulierten) Systems neben deklarativem Wissen lediglich einige wenige Regeln zu dessen Steuerung aus (vgl. auch RINGELBAND/MISIAK/KLUWE 1990). Diese Schlüsse versperren sich bzgl. den üblichen Ansichten der Problemlöseforschung, wonach für eine aussichtsreiche Steuerung komplexer technischer Systeme ein vollständiges mentales Modell Voraussetzung ist. So ist zum Beispiel für DÖRNER ET AL. (1983) für die Steuerung eines komplexen technischen Systems die Entfaltung eines möglichst kompletten und exakten Modells des Systems in Form von Strukturwissen notwendige Voraussetzung.

Entstehung Mentaler Modelle

Derzeit ist noch wenig über die Entstehung und die Beschaffenheit subjektiver mentaler Modelle von technischen Systemen bekannt. So wie der Begriff der mentalen Modelle in der Lite-

⁴² Nach NORMAN (1983) hat ein konzeptuelles Modell die Eigenschaft, dass es das Bezugssystem in angemessener Weise repräsentiert und es korrekt, konsistent und vollständig darstellt. FÜRSTENAU (1994) verweist darüber hinaus darauf, dass es sich bei konzeptuellen Modellen häufig um formalisierte, wissenschaftliche Darstellungen

ratur unterschiedlichen Gebrauch findet, unterscheiden sich auch die Annahmen hinsichtlich der Entwicklung mentaler Modelle. Die Mehrzahl der Autoren legen ihrer Existenz keine bestimmten Repräsentationsformate zugrunde. Es liegen neben analogen sowohl propositionale als auch deklarative Repräsentationen zugrunde. In aller Regel werden sie als hybride Gebilde klassifiziert, aus denen sich folglich auch keine operationalisierbaren Rekonstruktionsregeln ableiten lassen (OPWIS/LÜER 1996, JOHNSON-LAIRD 1983, GENTNE/STEVENS 1983).

Folgende Annahmen lassen sich jedoch formulieren (KLUWE 1990):

- Verschiedene Lernprozesse führen zu unterschiedlichen mentalen Modellen: Es macht einen Unterschied aus, ob ein Schüler selbstständig an einem Problem arbeitet, oder ob der Lehrer oder seine Lerngruppe ihn auf dem Weg der Problemlösung begleitet.
- Verschiedene mentale Modelle führen auch zu unterschiedlich guten Ergebnissen bei der Steuerung komplexer technischer Systeme. Zwar ist es möglich, Systeme auf Basis geringen Wissens und nur mit Hilfe weniger einfacher Regeln zu steuern, jedoch erreichen einfachere mentale Modelle schneller ihre Grenzen; speziell, wenn vom Normalbetrieb abweichende Situationen wie Alarmer, Grenzwertüberschreitungen oder Ähnliches auftreten. Das mentale Modell liefert dann keine geeignete Basis mehr zur Fehlerdiagnose und Problemlösung.
- Verschiedene mentale Modelle verlangen unterschiedliche Lernarrangements: Je nach Auflösungsgrad und Komplexität des individuellen mentalen Modells bezüglich des betrachteten Wirklichkeitsbereiches sind unterschiedlich weitreichende Hilfen zum Beispiel bei Entscheidungen, Fehlerdiagnosen oder Problemlösungsprozessen erforderlich.

Nach FORTMÜLLER ist davon auszugehen, dass durch eine geeignete - die mental zu repräsentierenden Zusammenhänge deutlich aufzeigende - Gestaltung der Lernumgebung entscheidend zur entsprechenden Entwicklung eines strukturell adäquaten mentalen Modells anleitet. Expressive oder explorative Zugänge zur Regelungstechnik, die keine mathematische Modellbildungen in den Vordergrund stellen, scheinen hierzu einen geeigneten Weg darzustellen, da dadurch neben den propositionalen noch als zweite Grundlage - ein durch Wahrnehmungsprozesse aufgebautes - „physikalisches Modell“ für die Entwicklung eines abstrakteren „konzeptionellen Modells“ zur Verfügung steht (FORTMÜLLER 1997, S. 136 f.). Der Lehrer kann bei der Planung und Realisierung z. B. eines regelungstechnischen Lernarrangements auf Basis seines eigenen konzeptuellen Modells, das heißt dem Modell, das er vom zu erwartenden mentalen Modell des Schülers hat, die Bildung des mentalen Modells des Schülers beschleunigen oder ein bereits bestehendes modifizieren. Die sich in der Ausbildung entwickelnden mentalen Modelle von Regelkreisen können somit, dies ist die Annahme, als Maß für die Qualität eines komplexen Problemlösungsprozesses angesehen werden. Qualität und Güte kognitiver Prozesse, so die weitere Konsequenz, hängen in großem Maße davon ab, welche funktionale Bandbreite und Differenziertheit das verwendete mentale Modell der Lernenden besitzt. Die spätere berufliche Betätigung der Schüler zum Beispiel in hochkomplexen technischen Systemen der Prozessindustrie (Mensch-Maschine-Interaktion) spiegelt sich entsprechend auch in der Ausbildung wider. Sie findet in der Lehr-Lern-Forschung ein mehr grundlagen-orientiertes Äquivalent im Bereich des Systemdenkens⁴³.

handelt und damit geeignet sind, aufgrund ihrer Eigenschaft als Idealtypus die Auseinandersetzung von Personen mit Bezugssystemen zu verstehen und zu beurteilen.

⁴³ Diese Forschungsrichtung untersucht Denkleistungen in komplexen kognitiven Strukturen jedoch in (vorwiegend) nichttechnischen Bereichen.

Die Entwicklung eines angemessen differenzierten mentalen Modells der Regelungstechnik von Lernenden im Unterricht als auch von Facharbeitern in der Aus- und Weiterbildung wird durch verschiedene Aspekte erheblich erschwert. Der hohe Automatisierungsstandard der Prozessindustrie, dessen Integrationsgrad beständig mächtiger wird, führt dazu, dass der Anteil der Häufigkeiten von Handeingriffen als aktive Eingriffe in das Prozessgeschehen immer geringer wird und damit auch die Erfahrungen, speziell beim Bewältigen von Störfällen, abnimmt. Manuelle Eingriffe sind meistens nicht vorhersagbar, erfolgen aber oft unter Zeitdruck. Ihre Tragweite ist in vielen Fällen groß und häufig sind diese Eingriffe erst nach Verarbeiten einer voluminösen Informationsmenge möglich. Zudem sehen sich die zukünftigen Facharbeiter am Arbeitsplatz mit einem Gesamtsystemverhalten prozesstechnischer Anlagen konfrontiert, das sich mit jeder neu eingeführten regelungs- beziehungsweise prozessleittechnischen Komponente in ihrem Gesamtverhalten wieder verändert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Während Kognitionswissenschaft bemüht ist, diejenigen Prozesse zu beschreiben und plausibel zu machen, die der Entwicklung mentaler Modelle zugrunde liegen, obliegt der Pädagogik, den Prozess der Entwicklung mentaler Modelle effizient zu machen. Dies wird in aller Regel durch Unterstützungen und Anregungen in entsprechenden Lernarrangements gefördert. „Veranschaulichung ist dabei jedoch nur das Hilfsmittel für das Denken: Es steht nicht eine bloße Internalisierung von Strukturen der äußeren Welt zur Debatte, wie sie durch spezifische Medien zugänglich gemacht werden, sondern es wird begründet davon ausgegangen, dass im Mittelpunkt die Konstruktion mentaler Modelle aus Zusammenschluss von sensorischen Daten und Wissensbeständen steht.“ (DÖRR/SEEL/STRITTMATTER 1986, S. 178). Aus mediendidaktischer Sicht ist es entscheidend, wie die Darbietung von Umweltgegebenheiten in einem Medium erfolgen soll, damit die Konstruktion mentaler Modelle erleichtert und günstiger Einfluss auf das Ergebnis von Problemlöseprozessen genommen wird.

Mentale Modelle sind Einheiten der Wissensrepräsentation. Sie werden deshalb stets auch mit anderen Konzeptualisierungen (wie zum Beispiel Schemata, Vorstellungsbilder, Propositionen usw.) in Beziehung gebracht. Jedoch kommt die Konzeption der mentalen Modelle, anders als zum Beispiel Schemata, das als Abstraktion und Verallgemeinerung einer großen Klasse von Exemplaren zugeordnet werden, vornehmlich für einen spezifischen Vorgang oder Sachverhalt zur Wirkung (zum Beispiel als alltagstheoretische Plausibilität oder als naive, häufig implizite Repräsentation). Als Anwendungsbereiche kommen aber grundsätzlich alle allgemeinen Problemaufgaben in Betracht, zum Beispiel „in Technik oder Wirtschaft, wo auch „falsche“, das heißt aus wissenschaftlicher Sicht völlig unzureichende oder den wissenschaftlichen Erkenntnissen und Theorien widersprechende Modelle subjektive Plausibilität erzeugen“. (Ebd. 1986, S. 187) Die Pädagogik übernimmt damit die wichtige Aufgabe, im Unterricht diesen falschen beziehungsweise unzureichenden mentalen Modellen wirksam zu begegnen. Hierzu müssen sie jedoch erst einmal enthüllt werden, um sie anschließend in einer Diskussion auch reflektieren zu können. Wie dies am besten geschehen kann, ist wissenschaftlich noch weitgehend ungeklärt. Medien scheint jedoch dabei eine bedeutungsvolle Rolle zuzukommen. Werden mentale Modelle der Lernenden doch augenscheinlich speziell in den Bereichen entwickelt, die den Lehrern in ihrer unmittelbaren Wahrnehmung nur schwer zugänglich sind.

Grundsätzlich verkörpern „mentale Modelle eine Integration von spezifischen Informationen aus der Umwelt und Vorwissenskomponenten des Menschen. Daraus resultiert eine (im Idealfall) kohärente, ganzheitliche Wissenskonfiguration, die Interferenzen, Verstehensprozesse, Entscheidungsfindungen bis hin zur mentalen Simulation von Ereignissen, Handlungsvollzügen

gen und Systemveränderungen einschließt.“ (VAN DER MEER 1996, S. 219) „In den Beschreibungen mentaler Modelle komplexer, technischer Systeme findet unterschiedliches Wissen des Individuums Berücksichtigung.“ (KLUWE/HAIDER 1990, S. 175) Kernproblem dabei ist die Identifikation der angesprochenen Wissenskomponenten subjektiver mentaler Modelle. Erschwerend kommt hinzu, dass sie nur unvollständig verbalisierbar sind und damit Befragungen von Schülern lediglich ein sehr unvollkommenes und damit wenig zuverlässiges Bild deren mentaler Modelle liefern würde. Erste Orientierungen liefern jedoch Modellbildungen und deren Simulationen als Version von so genannten „Kognitiven Tools“⁴⁴.

2.2.3.3 Wissenstaxonomie bei der Steuerung komplexer technischer Systeme

2.2.3.3.1 Wissensformen

In der Kognitionspsychologie unterscheidet man viele Arten von Wissen. MANDL/SPADA (1988) führen in dem Sachverzeichnis der „Wissenspsychologie“ alleine fünfzehn verschiedene Wissensarten an. „Aber leider scheinen diese Begriffe zum Teil von verschiedenen Autoren zu verschiedenen Zwecken immer wieder etwas anders verwendet zu werden; die Untersuchungen liegen zudem auf verschiedenen Dimensionen, so dass die (ohnehin unscharfen) Klassen sich in verschiedenster Weise überschneiden.“ (CRANACH/BANGERTER 2000, S. 235)

Die meisten der vorliegenden Untersuchungen zum Wissenserwerb bei der Steuerung komplexer dynamischer Systeme befassen sich insbesondere mit der Frage, welche Bedeutung dem Wissen über Systemvariablen und deren Relationen (Systemidentifikation) für die Steuerung realitätsnaher (zum Teil auch realitätsferner) computergestützter Szenarien zukommt (BROADBEND/FITZGERALD/BROADBEND 1986, PUTZ-OSTERLOH 1988, 1989, 1993; KLUWE/HAIDER 1990; KLUWE 1991, PREUSSLER 1996, 1998; SÜSS 1996, 2001a; SCHOPPEK 1996, 1997; FORTMÜLLER 1997). Vor diesem Hintergrund unterscheidet FUNKE (1992) drei Arten von Strukturwissen:

- Relationswissen bezieht sich auf die Art des Zusammenhangs zwischen den Variablen eines komplexen Systems.
- Vorzeichenwissen bezieht sich auf das Vorzeichen im Wirkungszusammenhang zwischen den Variablen (positive/negative Relationen).
- Wirkstärkewissen bezieht sich auf die Präzisierung des Gewichtungsfaktors.

Als weitere Wissensart bei der Steuerung komplexer technischer Systeme kommt dem Eingriffswissen (auch Kontroll- und Steuerungswissen genannt) besondere Bedeutung zu. Mit Eingriffswissen ist die Kenntnis spezifischer Steuerungsprozeduren gemeint (KLUWE 1997, KLUWE/HAIDER 1990). Im Gegensatz zum Strukturwissen ist das Eingriffswissen „in hohem Maße situationsspezifisch: Ein Transfer dieses Wissens auf ein verändertes Problem ist folglich kaum möglich.“ (PREUSSLER 1998, S. 219) Will man die Reichweite von Eingriffswissen erhöhen, müssen die Relationen zum Strukturwissen verstärkt werden. DÖRNER ET AL. (1983) führen im Zusammenhang mit der Steuerung eines sozio-ökonomischen Systems ebenfalls den Begriff des Steuerungswissens ein. Sie definieren es als interne Repräsentation von Verknüpfungen zwischen Systemvariablen.

Eingriffs- als auch Strukturwissen wird dem deklarativen Wissen zugeordnet und ist folglich prinzipiell mitteilbar. Bei der Steuerung komplexer technischer System im „Laborbetrieb“, also

⁴⁴ Ansätze zur Erfassung mentaler Modelle finden sich bei FÜRSTENAU 1994 und bei BREUER/BERENDES/HILLEN 2000b

zum Beispiel bei der Verwendung computergestützter Modellbildung und Simulation im Unterricht der Berufsschule, ist darüber hinaus davon auszugehen, dass es nicht zu Effekten der Automatisierung von Steuerungsprozeduren - und damit zum Erwerb von nicht mehr verbalisierbarem prozeduralem Wissen - kommt. Mit einer möglichen Überführung deklarativer in prozedurale Wissensanteile (zum Beispiel aufgrund extensiver Einübung) ist hier nicht zu rechnen. Das erforderliche Ausmaß an Übung ist im schulischen Kontext in aller Regel nicht gegeben.

In Anlehnung an NEWELL's (1982) Vorschlag der Systemebenen als kognitives Modell für die Steuerung komplexer Systeme unterscheidet KLUWE (1991) folgende Formen deklarativen und prozeduralen Wissens im Umgang mit technischen Systeme (vgl. Abbildung 4).

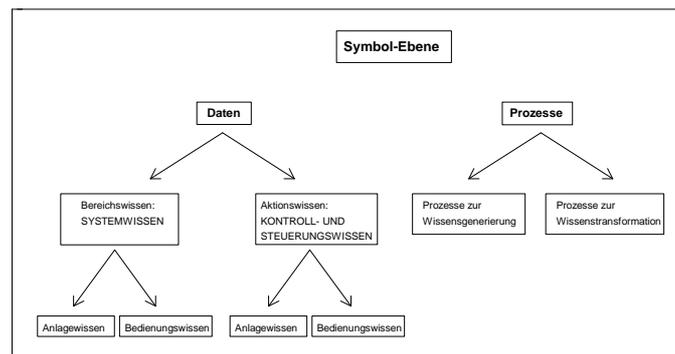


Abbildung 4: Formen deklarativen und prozeduralen Wissens für technische Systeme (nach KLUWE 1991, S. 314)

Beide Ebenen - Daten- und Prozessebene - bilden gemeinsam die Grundlage für menschliche Aktivitäten bei der Steuerung (oder Kontrolle) komplexer technischer Systeme, die nach KLUWE wiederum Basis für die Wissenszuschreibung ist. Dabei wird deklaratives Wissen über ein System in Form von Bereichs- und Aktionswissen von prozeduralem Wissen unterschieden. KLUWE (1991) und KLUWE/HAIDER (1990) spalten die bereichsspezifischen Anteile des Fakten-Wissen über ein technisches System auf in so genanntes Systemwissen und in Aktionswissen. Systemwissen umfasst demnach mitteilbare Kenntnisse über Beschaffenheit sowie Verhalten komplexer Systeme (zum Beispiel Komponenten, strukturelle Organisation, Funktionsmerkmale) und wird in der Regel in Form semantischer Netzwerke dargestellt. Die Autoren weisen in diesem Zusammenhang auf das so genannte „Funktionswissen“⁴⁵ als eine besondere Form des Systemwissens hin. Mit Funktionswissen ist Wissen über „systeminterne Ursache-Wirkungszusammenhänge“ gemeint. Aktionswissen bezeichnen sie dagegen als „Kontroll- und Steuerwissen“. „Es sind mitteilbare Kenntnisse über die Interaktion mit dem System, d. h. über Eingriffe in das System und deren Auswirkungen.“ (KLUWE/HAIDER 1990, S. 176) Es ist die dominierende Wissensform über ein komplexes System und „setzt zumindest einfaches Wissen über einzelne Systemkomponenten voraus: x ist ein Regler; x zeigt Temperatur an; x erhitzt Bindemittel.“ (Ebd.) Dagegen sind mit den Prozessen der Wissensgenerierung und Wissenstransformation „implizite geistige Operationen“ gemeint, die eine

⁴⁵ KLUWE/HAIDER (1990) bezeichnen dieses Wissen als Funktionswissen, PUTZ-OSTERLOH (1993) als Strukturwissen. Strukturwissen definiert sie dabei als das Wissen, das sich auf die Variablen eines komplexen Systems und deren Wirkungszusammenhänge bezieht. Darunter subsumieren sich alle Kenntnisse darüber, wie ein System funktioniert.

Erzeugung neuen System-, Kontroll- und Steuerungswissens leisten und somit die Wissensbasis transformieren.

„Eine verbreitete Annahme geht nun dahin, dass für eine erfolgreiche und adäquate Prozess- oder Systemkontrolle, ein möglichst adäquates Abbild des Systems, insbesondere seiner Struktur zu erwerben sei.“ (KLUWE 1991, S. 314) Hingegen sind aber auch Hinweise aus Feldstudien und experimentellen Untersuchungen zur System- und Prozesskontrolle zu finden, wonach zum Beispiel erfahrene Operateure komplexer technischer Systeme eher eine gering ausgeprägte oder sogar unvollständige beziehungsweise stark vereinfachte (deklarative) Wissensbasis ausgebildet haben (Ebd.). Dies steht im Widerspruch zu Aussagen anderer Autoren (zum Beispiel DÖRNER ET AL. 1983 oder auch DÖRNER 1989), wonach möglichst umfangreiches und vollständiges Systemwissen für die Steuerung oder Kontrolle komplexer Systeme erforderlich sei. PUTZ-OSTERLOH (1993) lässt zum Beispiel ein semantikfreies komplexes System von Probanden steuern und finden heraus, dass die Probanden ihr vorgegebenes Strukturwissen nicht zur Systemsteuerung verwenden; also auch nicht zum Wissenserwerb bei der Steuerung mit einsetzen. Das Fehlen einer spontanen Verwendung vorgegebenem Strukturwissens interpretiert sie so, dass Strukturwissen zwar die Steuerleistung verbessern kann, sein effizienter Einsatz jedoch gezielter Instruktionsmaßnahmen bedarf. Insgesamt erwarten die meisten Autoren zwischen dem - meistens mit verbalen Methoden diagnostizierten - Wissen und der Steuerleistung positive Korrelationen. Treten diese nicht auf, wird dies so interpretiert, dass das Strukturwissen implizit und folglich nicht verbalisierbar sei (PREUSSLER 1996, S. 400).

2.2.3.3.2 Steuerleistung und implizites Wissen

Als Verdienst der Forschung zum komplexen Problemlösen ist die Tatsache anzusehen, mannigfache Evidenzen für eine Dissoziation zwischen Wissen und Handeln hervorgebracht zu haben (FUNKE 1992). So stellte man in Untersuchungen zur Steuerung komplexer Systeme häufig fest, dass das Maß des mitteilbaren Wissens bei dessen Elaboration nicht bezeichnend mit der beobachtbaren Steuerleistung korrelierte (BROADBEND/FITZGERALD/BROADBEND 1986, LEUTNER 1992): Ohne viel Wissen über ein System explizieren zu können, zeigten dessen ungeachtet viele Personen dennoch gute Steuerleistungen. „Dieses Ergebnis - neben experimentellen Befunden zum Erlernen von Grammatiken (zum Beispiel REBER 1967) - führte einige Autoren zur Annahme impliziten Wissens, welches zwar zur Handlungssteuerung genutzt, jedoch nicht mitgeteilt werden kann.“ (RENKL 1996, S. 83)

Vereinfacht formuliert handelt es sich beim impliziten Wissen also um vermutetes Wissen, das bei der Steuerung eines komplexen Systems zwar nicht unmittelbar beobachtbar ist, das aber dennoch im Umgang damit zum Einsatz kommt. BROADBEND/FITZGERALD/BROADBEND (1986) fanden in entsprechenden Studien heraus, dass Personen, die ein System gut steuern konnten, keineswegs in gleichem Maße in der Lage waren, besser als weniger erfolgreich steuernde Personen Fragen zum System zu beantworten. Sie führten deshalb den Begriff der „Dissoziation von Performanz und verbalisierbarem Wissen ein“ (KLUWE 1991, S. 316). Implizites Wissen ist für die Autoren nicht bewusstseinsfähiges Wissen und damit auch nicht verbalisierbar. Es wird ihrer Meinung nach auch implizit erworben und ist damit nicht gesteuert oder gerichtet. Explizites Wissen wird im Gegensatz dazu zielgerichtet erworben, ist bewusstseinsfähig und damit grundsätzlich verbalisierbar.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um implizites und explizites Wissen werden vielfach Parallelen zu der Diskussion um deklaratives und prozedurales Wissen gesehen. Deklaratives Wissen wird als das von einer Person explizierbare Wissen definiert (FORTMÜLLER 1997). Implizites Wissen sensu BROADBENT/FITZGERALD/BROADBENT (1986) wird indessen als Teilmenge von prozeduralem Wissen angesehen. Nach SÜSS's (1996) Auffassung sollte mit implizit nur diejenige Teilmenge des prozeduralen Wissens bezeichnet werden, die sich Personen nicht durch zum Beispiel Selbstbeobachtung bewusst machen können. Er sieht insbesondere die Möglichkeit, dass Personen durch Selbstbeobachtung ihrer kognitiven oder motorischen Prozesse durchaus zu Beschreibungen und Erklärungen gelangen können. Diese Prozesse fasst er dann als Ausdruck prozeduralen Wissens auf: Da „es jedoch möglich ist, aus ihnen deklaratives Wissen mit demselben Informationsgehalt abzuleiten, handelt es sich nicht um implizites Wissen.“ (Ebd., S. 64)

In Modellen zum impliziten Wissen nehmen im Gegensatz zum Beispiel zu ANDERSONS'S ACT*-Theorie (1989) viele Autoren nicht an, dass zuvor deklaratives Wissen erworben werden muss, um es später in Handlungswissen überführen zu können. „Handlungswissen kann vielmehr vor dem expliziten Wissen vorhanden sein.“ (RENKL 1996, S. 83) Von manchen Autoren wird sogar bezweifelt, ob implizites Wissen überhaupt für die Steuerung komplexer dynamischer Systeme notwendig ist (HAIDER 1992, DIENES/FAHEY 1995). DIENES/FAHEY gehen beispielsweise davon aus, dass bei der Steuerung komplexer Systeme ein implizites Lernen von „Situations-Eingriffs-Verknüpfungen“, so genannter „lookup tables“, stattfindet (BROADBENT/FITZGERALD/ BROADBENT 1986, SCHOPPEK 1996). Die von den Autoren genannten Studien enthalten jedoch nur Systeme mit einer kleinen Anzahl von Variablen, „was das zugrunde liegende Erklärungsmodell für Steuerleistungen als auch für den Umfang von lookup tables in Grenzen hält“. (SCHOPPEK 1996, S. 270) Im Einklang mit diesen Annahmen konnten FUNKE (1992), MÜLLER (1993) und BECKMANN (1994) unabhängig von einander in Studien zu umfangreichen semantikkfreien komplexen computergestützten Systemen signifikante Zusammenhänge zwischen Strukturwissen und Steuerleistung nachweisen.

KLUWE (1991, S. 322) vermeidet deshalb auch bewusst den Begriff des impliziten Wissens in diesem Zusammenhang. Denkbar wäre für ihn stattdessen „eine Verwendung des Begriffs impliziten Wissens in Anlehnung an die von NEWELL⁴⁶ (1982) unterschiedenen Systemebenen: Implizites Wissen ist demzufolge jenes Wissen, das einer gegebenen Datenstruktur und einer Menge von Regeln implizit ist, das potenziell durch Interferenzregeln aus ihr generiert werden kann.“

2.2.3.3.3 Zur Diagnose

SÜSS (1996, S. 71 f.) listet drei Kernprobleme der Wissensdiagnostik im Zusammenhang mit der Steuerung komplexer Systeme auf:

- Implizites Wissen lässt sich nicht direkt, sondern nur indirekt und nur nach Ausschluss jeder anderen Wissensart als Erklärung für erbrachte Steuerleistungen messen. Dieser Nachweis ist jedoch nur sehr schwer zu erbringen.
- Systemwissen kann bei Menschen unterschiedlich repräsentiert sein. Darüber hinaus können Transformationen diese Repräsentationen nach einer gewissen Zeit verändern. Abhängig von den kognitiven Ressourcen, insbesondere der menschlichen Verarbeitungskapazität.

⁴⁶ Auf der Grundlage von Modellen der Informationsverarbeitung führte NEWELL 1982 eine Beschreibung intelligenter Systeme mit unterschiedlichen System-Ebenen ein. Er unterschied zwischen der Wissens-Ebene (Wissen: [Zustand; Ziel] / Aktion) und der Symbol-Ebene (Datenstrukturen; Prozesse).

pazität, können Fragen im Zusammenhang der Wissensdiagnostik unterschiedlich gut beantwortet werden.

- Die Befragung einer Person bzgl. ihres Vorwissen könnte dazu führen, dass dabei für den Umgang mit dem komplexen System zusätzlich relevantes Wissen aktiviert wird und damit das Steuerungsverhalten und letztendlich die Steuerungsleistung beeinflusst würde.

Unabhängig dieser aufgeführten theoretischen Probleme sind sich die meisten Autoren darüber einig, dass systemspezifisches Eingriffswissen eine notwendige Voraussetzung für die Steuerung komplexer Systeme darstellt. Über die Bedeutung von Strukturwissen ist man sich dahingehend noch nicht einig. FUNKE (1985) versucht Strukturwissen explizit im Zusammenhang mit der Erfassung der Steuerleistung von Personen beim Umgang mit komplexen Systemen zu messen. Dieses Strukturwissen ließ sich aber im Umgang bei der Systemsteuerung nur dort eindeutig ermitteln, wo Personen im Vorfeld darauf hingewiesen wurden, auch auf dieses Strukturwissen zu achten, weil man sie später darauf hin ansprechen wollte. Wurde nicht auf den Zusammenhang des Strukturwissens hingewiesen, ließen sich auch nur in außerordentlich geringem Umfang Verknüpfungen zwischen den einzelnen Systemvariablen verbalisieren (KLUWE/MISIAK/HAIDER 1989, KLUWE/HAIDER 1990, KLUWE 1991).

PREUSSLER (1996, S. 401) sieht grundsätzlich ein Problem in den bisherigen Korrelationsstudien, die zur Diagnose der Zusammenhänge zwischen Strukturwissen und Steuerleistung eingesetzt wurden. Sie kritisiert, dass die ursächlichen Zusammenhänge zwischen beiden Wissensformen damit nicht eindeutig belegt werden können und fordert Experimente, in denen das Strukturwissen systematisch variiert wird. Studien, die sich gezielt mit den Effekten unterschiedlichen Strukturwissens beschäftigen, liegen jedoch in ihren Augen bislang kaum vor. Bislang existierende Befunde einschlägiger Studien legen es nahe, dass positive Beziehungen zwischen der Steuerleistung und dem Wissen nur dann zu erwarten sind, wenn der Erwerb von Strukturwissen zuvor explizit angeregt wird oder wenn der Problemlöser durch intensive Übung mit dem computergestützten System dieses Strukturwissen erlernen kann (PREUSSLER 1998, S. 219)

Geht man davon aus, dass komplexes Problemlösen den Prozess des Erwerbs und der Anwendung von Wissen durch Handeln zum Gegenstand hat und dass außerdem angenommen werden kann, dass bei der Steuerung eines komplexen Systems deklaratives Wissen erworben wird und der Umfang dieses Wissens die jeweilige Steuerleistung einer Person wesentlich bestimmt, ist folglich der Hypothese von BRODADBENT/FITZGERALD/BROADBEND (1986) im Zusammenhang mit der Dissoziation von verbalisierbarem Wissen und der Steuerungsleistung zu widersprechen. Eine von SÜSS (1996, S. 79) durchgeführte Literatursichtung hat ergeben, „dass die Befundlage zur Frage des Assoziation oder Dissoziation von verbalisierbarem Wissen und Steuerleistung keinesfalls eindeutig ist und die vorliegenden Ergebnisse, mit denen die Dissoziationshypothese gestützt wird, auch anders erklärt werden können“.

2.2.3.3.4 Taxonomie der Wissensbegriffe

Taxonomische Gesichtspunkte für eine präzise Beschreibung von Wissen im Umgang mit komplexen technischen Systemen lassen sich bei Sichtung der einschlägigen Fachliteratur in einer großen Vielzahl finden. Je nach Autor werden allerdings andere Merkmale beziehungsweise Klassifikationsgesichtspunkte zugrunde gelegt. Bei OPWIS/LÜER (1996, S. 348) findet sich zum Beispiel folgende Auflistung für Wissen:

- deklaratives vs. prozedurales Wissen (RYLE 1969)
- epistemisches vs. heuristisches Wissen (MC CARTHY/HAYES 1969, DÖRNER 1979)

- episodisches vs. semantisches Wissen (TULVING 1972)
- sprachlich-begriffliches („symbolisches“) Wissen vs. praktisches („enaktives“) Handlungswissen vs. bildhaft-anschauliches („ikonisches“) Wissen (AEBLI 1980, 1981)
- Datenwissen (Wissen, was) vs. Methodenwissen (Wissen, wie) versus Kontroll- oder Metawissen (Wissen, wann; LAUBSCH 1985)
- Wissen über Sachverhalte, Fakten und Situationen vs. Handlungswissen vs. Wissen über die Verwendung von Wissen (SPADA/MANDL 1988).

Nachfolgend soll eine Taxonomie der Wissensarten, die zur Beschreibung der Steuerleistung von Personen im Umgang mit komplexen Systemen als geeignet angesehen wird, kurz vorgestellt werden. Zum einen werden dadurch begriffliche Einordnungen vereinfacht, auf der anderen Seite erleichtert sie die Gegenüberstellung theoretischer Erklärungsmodelle von menschlichen Steuerleistungen im Umgang mit komplexen Systemen. Folgende Wissensarten sollen im folgenden in Anlehnung an SÜSS (1996, S. 62 ff.) dabei unterschieden werden: deklaratives und prozedurales Wissen⁴⁷ sowie Sach- und Handlungswissen.

Deklaratives versus prozedurales Wissen

„Über das, was man unter Wissen versteht, gibt es in der Wissenspsychologie zwar keine einheitliche Theorie, aber eine Art von Grundkonsens, der bestimmte Unterscheidungen von Wissen postuliert.“ (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 291) Die wohl bekannteste davon ist die von RYLE (1969) übernommene Unterscheidung von prozeduralem („knowing how“) und deklarativem Wissen („knowing that“).

„Unter deklarativem Wissen ist das Faktenwissen zu verstehen, das Personen im Gedächtnis gespeichert haben, das sie sich bewusst machen können und das sie in der Regel zu verbalisieren vermögen. Prozedurales Wissen bezieht sich auf die kognitiven Mechanismen, die Personen dazu in die Lage versetzen, komplexe kognitive und motorische Handlungen durchzuführen, ohne dabei die einzelnen Bestandteile dieser Handlungen bewusst kontrollieren zu müssen.“ (OSWALD/GADENNE 1984 zitiert nach VON CRANACH/BANGERTER 2000, S. 235). SCHNOTZ (1994, S. 36) sieht in der „Unterscheidung zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen keine Differenzierung nach dem Wissensinhalt, sondern eine Differenzierung nach der Funktion der betreffenden Datenstrukturen innerhalb des kognitiven Systems: „Während die deklarativen Datenstrukturen als Repräsentation von Fakten, Methoden, Prozessen usw. fungieren, dienen die prozeduralen Datenstrukturen innerhalb des Systems als Anweisung für den Vollzug eines Prozesses und sind ausführbar.“ In diesem Sinne sieht SCHNOTZ zum Beispiel Wissen über Verfahren, Prozeduren oder Handlungen nicht als prozedurales, sondern als deklaratives Wissen an.

Während zum Beispiel für ANDERSON (1989) der Erwerb deklarativen Wissens stets dem Erwerb prozeduralen Wissens vorausgeht, sehen andere Autoren eine Überführung prozeduralen in deklaratives Wissen durchaus als möglich an. Für SÜSS (1997, S. 63) ist „prozedurales Wissen [...] in dem Maße deklarierbar (mitteilbar), in dem der Informationsgehalt einer Prozedur auch als deklaratives Wissen repräsentiert ist“. Er hält dies für möglich, wenn zum Beispiel von einer Person deklarative Wissensanteile, die der Bildung prozeduralen Wissens vorangingen, noch erinnert werden (präskriptives Handlungswissen) oder indem diese Person durch Selbstbeobachtung „bei der Ausführung einer Prozedur den Informationsgehalt in deklaratives Wissen transformiert“ (hypothetisches Handlungswissen).

⁴⁷ In der Alltagssprache entspricht dieser Differenzierung im wesentlichen die zwischen Wissen und Können.

Sach- versus Handlungswissen

In Zusammenhang mit Bewusstsein und Gedächtnis wird der Wissensbegriff auch häufig in der Aufteilung nach Sach- und Handlungswissen konzeptualisiert und analysiert (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 291). Sachwissen wird dabei definiert als das Wissen über Sachverhalte in einem Realitätsausschnitt und Handlungswissen als das Wissen über adäquate Handlungen beziehungsweise kognitive Operationen in einer Situation im Hinblick auf das Steuerungsziel (SÜSS 1996). Damit vorhandenes Sachwissen nutzvoll zur Steuerung eines komplexen Systems eingesetzt werden kann, muss es zunächst in Handlungswissen transformiert werden. SÜSS (2001b, S. 255 f.) setzt prozedurales Wissen nicht mit Handlungswissen gleich und begründet dies damit, dass Wissen, wie eine Handlung auszuführen ist, nicht bedeutet, diese Handlung auch erfolgreich ausführen zu können. Andererseits kann prozedurales Wissen aber Sachwissen widerspiegeln, zum Beispiel bei der Identifikation von Objekten, bei Schaltplänen, Schaltungen oder der Antizipation dynamischer Abläufe durch eine mentale Simulation. Bereits ANDERSON (1989) modellierte den Erwerb komplexer kognitiver Fertigkeiten als einen Prozess der Prozeduralisierung von Wissen durch Handeln und Üben („learning by doing“)⁴⁸ und FUNKE (1992) unterteilt Sachwissen im Zusammenhang mit computergestützter Modellbildung und Simulation in

- Variablenwissen (Wissen über Variablen des Systems)
- Relationswissen (Wissen, wie die Variablen in Verbindung stehen) und in
- Wissen um die Eigenschaften des zu steuernden Systems (im Sinne eines Kausalmodells).

Dagegen definiert SCHELTEN (2000, S. 85) Handlungswissen als das Wissen, das ein Handeln direkt und indirekt steuert und beeinflusst, und unterscheidet dabei (Ebd., S. 26)

- Verfahrenswissen (Wissen WIE, prozedurales Wissen)
- Faktenwissen (Wissen WAS, deklarativ-faktisches Wissen) und
- Begründungswissen (Wissen WARUM, deklarativ-kausales Wissen).

Damit lassen sich unter Handlungswissen demzufolge auch alle Strategien im Sinne zielgerichteter Denk- und Handlungsabläufe subsumieren. Zusammenfassend ergeben sich vier unterschiedliche Wissenskategorien, die bei der Steuerung komplexer Systeme potenziell bedeutsam sein können (vgl. Tabelle 2).

	deklaratives Wissen	prozedurales Wissen
Sachwissen	deklaratives Sachwissen (zum Beispiel Variablenwissen, Relationswissen, Wissen über Eigenschaften)	prozedurales Sachwissen
Handlungswissen	deklaratives Handlungswissen (zum Beispiel Strategien, Heuristiken)	prozedurales Handlungswissen

Tabelle 2: Taxonomie der Wissensbegriffe im Umgang mit komplexen Systemen (nach SÜSS 1996, S. 66)

⁴⁸ Die Bedingungen, unter denen eine solche Prozeduralisierung eintreten kann, sind jedoch Thema von Skillerwerbtheorien, die im Rahmen dieser Arbeit nicht dargestellt werden.

Neben den dargestellten lassen sich in der Literatur natürlich noch weitere kategoriale Ergänzungen dieser Wissensarten finden, wie zum Beispiel der Allgemeinheitsgrad oder die Präzision von Wissen. Der Allgemeinheitsgrad bezieht sich dabei auf die Breite des Anwendungsbereichs der Wissens Elemente⁴⁹. Bei der Präzision des Wissens wird zwischen qualitativem, semiquantitativem und quantitativem Wissen unterschieden. Aus Sicht der Steuerung komplexer technischer Systeme spielen diese aber nur eine untergeordnete Rolle. Daher wird an dieser Stelle auf die weiterführende Literatur verwiesen (SCHNOTZ 1994, SÜSS 1996, FORTMÜLLER 1997).

2.2.4 Problemklassifikation beim Umgang mit komplexen Systemen

Computersimulierte Modellbildung und Simulation (CMS) baut auf einem Systemgedanken⁵⁰ auf, der in der Systemtheorie und der Kybernetik näher beschrieben und behandelt wird. Der Begriff Kybernetik wurde 1948 von WIENER eingeführt und beschreibt den wissenschaftlich-methodischen Umgang der Kontrolle und Steuerung von Maschinen, aber auch von belebten Systemen. Wesentlicher Bestandteil des kybernetischen Systemansatzes ist einerseits die Trennung zwischen System und Wirklichkeit sowie die Unterscheidung der System-Struktur und des System-Verhaltens andererseits. „Während es bei der Struktur eines Systems um die inneren Eigenschaften und Beziehungen geht (interner Aspekt), bezieht sich der Verhaltensaspekt auf die Beziehung zwischen System und Umwelt (externer Aspekt).“ (FUNKE 1992, S. 13) Ein informationstechnischer Austausch zwischen beiden erfolgt über Signale, die hinsichtlich ihrer strukturellen Eigenschaften durch die von SHANNON und WEAVER⁵¹ 1949 entworfenen Informationstheorie beschrieben werden können (vgl. die Konkretisierung des Systembegriffs am Beispiel eines Regelkreises in Kapitel 3.2.1.1).

In der Kognitionspsychologie versteht man unter komplexen Systemen „eine Kategorie von Problemstellungen, die meist in der Form von Szenarien, implementiert auf Computern, vorgegeben werden“. (KLUWE ET AL. 1991, S. 291 f.) Dass es sich dabei typischerweise um computersimulierte Szenarien handelt, liegt daran, dass sich sehr komplizierte, dynamische und realitätsnahe Systeme, in die ein Akteur zielgerichtet eingreifen soll, hierdurch am geeignetsten darstellen und simulieren lassen. Modellbildungen und Simulationen haben sich als Mittel zur Untersuchung komplexer Problemlöseleistungen bewährt. „In Interaktion mit dem Computer exploriert der Bearbeiter das simulierte System, entwickelt und testet (mehr oder weniger methodisch) Hypothesen über Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten, erwirbt Wissen und kann schließlich durch gezielte Eingriffe den Zustand des Systems steuern.“ (KLIEME ET AL. 2001, S. 187) Zahlreiche Aufgaben zum Lösen komplexer Probleme wurden bislang in Form von Computerprogrammen realisiert, ohne dass dieser Realisationsform seither definierender Charakter für die Aufgabenstellung beikommt (KERSTING 1999). In aller Regel wird dabei mit realitätsnahen Modellbildungen und Simulationen hoch vernetzter technischer oder ökologisch-ökonomischer Systeme gearbeitet aber auch mit kleineren diskreten Systemen (Theorie Finiter Automaten; BUCHNER 1999).

Die Fähigkeit, komplexe Probleme erfolgreich zu bearbeiten, hängt sowohl von personen- und situationsbezogenen Merkmalen als auch von Merkmalen des zu steuernden Systems selbst

⁴⁹ KLUWE/HAIDER (1990) sprechen in diesem Zusammenhang von der Reichweite des Wissens.

⁵⁰ Zum Systembegriff vgl. HAYEK 1972, BÖSSER/ROHR 1985, BÖHLE/ROSE 1992, KLUWE ET AL. 1991, BOSSEL 1994, VESTER 1999, KERSTING 1999, MAINZER 1999

⁵¹ Vgl. The mathematical theory of communication. SHANNON/WEAVER 1976

ab (vgl. Kapitel 2.2.2 sowie 2.2.3). FUNKE (1986, S. 127) hat auf Basis der Arbeiten von DÖRNER ET AL. (1983) und HUSSY (1984) die entscheidenden Einflussfaktoren beim Umgang von Personen mit komplexen, computersimulierten Realitätsbereichen neu systematisiert. Voraussetzung für den diagnostischen Einsatz computergestützter Problemlöseszenarien ist eine gründliche didaktische Analyse der fachwissenschaftlichen Aufgabenmerkmale des der Modellbildung und Simulation zugrunde liegenden Sachverhaltes (vgl. Kapitel 3.1). Nur unter Beachtung dieser Voraussetzung kann die Varianz im Lösen komplexer Probleme - speziell in der Steuerung komplexer Systeme - auf interindividuelle Unterschiede zurückgeführt werden (KERSTING 1999, S. 26).

Infolgedessen kommt den situativen und inhaltlichen Aufgabenmerkmalen ein wesentlicher Einfluss auf das Problemlöseverhalten beziehungsweise die Steuerleistung beim Umgang mit komplexen Systemen zu und es gilt, speziell die Beeinflussung des Ergebnisses aus dem Problemlöseprozess durch das Vorwissen zu erfassen. Der Zusammenhang von Wissen und Problemlösen wird daher weiter unten in Kapitel 2.2.5 gesondert vertieft.⁵²

1990 stellte FUNKE eine Taxonomie „objektiver Merkmale“ computersimulierter Systeme vor, die noch heute - mehr oder weniger unverändert - Gültigkeit besitzt. Er ging von der Annahme aus, dass der Umgang von Personen mit komplexen, dynamischen Systemen von diesen Merkmalen wesentlich determiniert wird und identifizierte drei allgemeine Klassen von Einflussgrößen: Personen-, Situations- und Aufgabenmerkmale (auch Systemmerkmale genannt)⁵³. Tabelle 3 zeigt die drei Determinanten Personenmerkmal, Systemmerkmal und Merkmal der Untersuchungssituation. Diese Merkmale sind zu den wesentlichen Bestimmungstücken zu zählen, die den Umgang mit komplexen, computersimulierten Realitätsbereichen⁵⁴ determinieren.

<p>1 PERSONENMERKMALE</p> <p>1.1 Traits: Gedächtnis, Wissen (Faktenwissen, Operationswissen), Intelligenz, kognitive Kompetenzen (zum Beispiel heuristische, epistemische), metakognitive Kompetenzen (zum Beispiel Selbstreflexion), Selbstsicherheit</p> <p>1.2 States: Emotion, Konzentration, Kompetenzeinschätzung</p>
<p>2 SYSTEMMERKMALE (AUFGABENMERKMALE)</p> <p>2.1 Statische Merkmale: Variablenzahl, Vernetztheit (Problemkomplexität, Barrieretyp, Problemumfang)</p> <p>2.2 Dynamische Merkmale: Stabilitätsverhalten, Sensitivität, Kontrollierbarkeit</p>

⁵² Zur Rolle von Problem- beziehungsweise Situations- und Personenmerkmalen (sowie Aufgabenmerkmalen; FUNKE 1992) beim komplexen Problemlösen vgl. zum Beispiel HUSSY 1985, STRAUSS 1993, FÜRSTENAU 1994, KERSTING 1999.

⁵³ Zur ausführlichen Kritik an Funks Taxonomie wird auf die Kritik von STROHSCHNEIDER (1991) verwiesen.

⁵⁴ Um dem bedeutenden Argument der „Realitätsnähe“ nachzugehen, unterscheidet KERSTING (1999, S. 43), „ob diese Realitätsnähe eines computergestützten Problemlöseszenarios sich auf die Nähe zur Realität des vermeintlich simulierten Systems und/oder ob sich die Realitätsnähe auf die durch die Steuerung des Problemlöseszenarios gestellten *psychologischen Anforderung* (im Sinne der ökologischen Validität) bezieht.“ Im ersten Fall plant man die simulierten Modelle in ihrer Funktionalität entsprechend der Realität; im zweiten Fall wird von dem simulierten Modell lediglich erwartet, dass an den Problemlöser bei der Simulation beziehungsweise Problemlösung die gleichen Anforderungen wie in der Realität gestellt werden. Dabei ist es nur zweitrangig, „ob man von der Arbeitsweise und Strukturierung des Modells auf das Original schließen kann oder nicht“. (Ebd.)

3	MERKMALE DER UNTERSUCHUNGSSITUATION (SITUATIONSMERKMALE)
3.1	Systempräsentation: Art (grafisch, numerisch, sprachlich), Umfang (ein Simulationstakt vs. Zeitreihe)
3.2	Transparenz: Zugänglichkeit zu statischen/dynamischen Systemdaten, Bekanntheit der Bewertungskriterien, Art der Zielvorgabe
3.3	Weitere äußere Merkmale: Individual- vs. Gruppenbearbeitung, VI-Einfluss

Tabelle 3: Determinanten des Umgangs mit komplexen, computersimulierten Realitätsbereichen (nach FUNKE 1986, S. 127)

Unter den Personenmerkmalen aus Tabelle 3 versteht man alle Eigenschaften und Kenntnisse, die eine Person in die Situation mitbringt, sowie solche, die sie in der Situation erwirbt. Hierzu gehören kognitive Merkmale im Sinne DÖRNER (1979), emotionale und motivationale Merkmale (DÖRNER ET AL. 1983) und Persönlichkeitsmerkmale im engeren Sinne (zum Beispiel sogenannte „traits“ wie etwa Selbstsicherheit, Ängstlichkeit etc., ebd.). Unter dem Aspekt Personenmerkmal spielen zum einen Prozesse der Speicherung und Anwendung von Wissen eine Rolle; zum anderen wirken sich aber auch Strategien der Lösungssuche und Entscheidungsfindung auf den Erfolg aus. Diese können beim Bearbeiten komplexer Systeme durch die Konzeption mentaler Modelle (JOHNSON-LAIRD 1983, FÜRSTENAU 1994, SEEL 1991, BREUER/BERENDES/HILLEN 2000a, 2000c) beschrieben werden. FÜRSTENAU (1999) fand heraus, dass mentale Modelle Wissen über Systemkomponenten, deren qualitative Zustände und kausale Abhängigkeiten enthalten und dadurch Erklärungen und Vorhersagen von realen und simulierten Phänomenen ermöglichen. Zudem können, so die Autorin weiter, auf dieser Basis Funktions- und Wirkungszusammenhänge mental simuliert werden, da mentale Modelle sowohl Grundlage als auch Ergebnis der Informationsverarbeitung in Problemlöse- und Entscheidungsprozessen sind. Dementsprechend geht sie davon aus, dass sich die mentalen Modelle in Abhängigkeit der Situationsbedingungen und in Abhängigkeit der Expertise der Vp verändern. Veränderungen können dabei unterschiedlichen Prinzipien, wie zum Beispiel der Vereinfachung oder der Erweiterung, folgen. Des Weiteren lassen Variablenwerte für sie Rückschlüsse auf die Verwendung bestimmter Lernmodi zu: So verwenden Novizen ihren Lernmodus hauptsächlich mit dem Ziel, möglichst viel Wissen über das System zu explorieren. Experten dagegen verfolgen das Ziel, ein System angemessen zu steuern.

System- oder auch Aufgabenmerkmale (FUNKE 1992, S. 143 f.) dienen der Charakterisierung des zur Modellbildung und Simulation eingesetzten Systems. Sie können nach formalen beziehungsweise inhaltlichen Aspekten unterschieden werden:

- Formale Aspekte dienen zur Beschreibung abstrakter Systemeigenschaften. Sie bestimmen ganz wesentlich die Schwierigkeit der Aufgabe.
- Inhaltliche Aspekte beziehen sich dagegen auf die semantisch-systemische Einbettung. Neben den Systemvariablen gehört hierzu auch der Untersuchungskontext, in dem die Variablen stehen.

Gemeinsam bestimmen Situations- und Aufgabenmerkmale die Anforderungen an eine Vp beim Steuern eines komplexen Systems. Situationsmerkmale charakterisieren im Unterschied zu Personenmerkmalen dabei die unterschiedlichen Kontexte, in denen ein System eingebettet

tet sein kann. Hierzu zählen insbesondere die Transparenz beziehungsweise die Zugänglichkeit des simulierten Modells sowie die Aufgabenstellung, unter der die Vp das komplexe System (Modell) simuliert. So kann zum Beispiel das Ziel der Systemsteuerung darin bestehen, einen vorgegebenen Zielzustand zu erreichen oder aber, das System auch zu identifizieren⁵⁵.

Ist eine Situation beim Problemlösen dadurch charakterisiert, dass die Lernenden ein komplexes System zu steuern haben, so können sie sich dieser Aufgabe eigenständig oder in Kleingruppen stellen. Untersuchungen zur Auswirkung einer Gruppenstruktur auf die Problemlöseleistung haben ergeben, „dass zentralisierte Strukturen bei einfachen Aufgaben überlegen sind, sich aber bei komplexen Problemen nachteilig auf die Leistung auswirken. Dort ist ein integratives Vorgehen im Sinne der gemeinschaftlichen Entwicklung einer übergreifenden Problemsicht angezeigt.“ (FÜRSTENAU 1999, S. 140)

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Der Umgang mit dynamischen Systemen ist abhängig von objektiven Systemeigenschaften, Anforderungen an den Problemlöser (entsprechend der Aufgabenmerkmale) sowie dessen individuellen Kompetenzen (FUNKE 1992, S. 149).

2.2.5 Komplexe Problemlösekompetenz und Wissen

In einem kurzen Aufsatz weist WEINERT (1990, S. 67) auf den Umstand hin, dass es lange Zeit bei Fachleuten und bei Laien als unbestritten galt, dass persönliche intellektuelle Kompetenzunterschiede den größten differenziellen Einfluss auf den Lernprozess haben. Die eingehende Beschäftigung mit diesem Thema zeigte ihm zu seiner Überraschung eine „große Zahl konsistenter empirischer Befunde, dass durch Intelligenzunterschiede kaum mehr als 25% der Leistungsdifferenzen aufzuklären sind, und dass es dabei zusätzlich eine erhebliche Variationsbreite der korrelativen Zusammenhänge in Abhängigkeit von den verwendeten Intelligenzmaßen, den gestellten Lernanforderungen und den benutzten Leistungstest gibt“. In Folge der sogenannten „kognitiven Revolution“ kam es jedoch zu einer pädagogisch-psychologischen Umorientierung. Für ihn erwiesen sich in diesem Zusammenhang insbesondere die Arbeiten zur Novizen-Experten-Forschung von zentraler Bedeutung: „In einer großen Zahl von Untersuchungen konnte überzeugend demonstriert werden, dass sich Experten von Anfängern in einem Leistungsbereich nicht durch allgemeine Fähigkeiten, sondern durch die Verfügbarkeit spezifischen Wissens unterscheiden.“ (Ebd.)

„Die traditionelle Intelligenzforschung hat häufig mit dem Problem zu kämpfen, dass die (akademische) Intelligenz nur unbefriedigend die spätere berufliche Entwicklung vorhersagen kann.“ (GRUBER/MANDL 1996b, S. 22) Bei der praktischen Intelligenz geht es vornehmlich um das Können von Experten (vgl. Kapitel 2.2.5.2). Speziell interessiert dabei deren Fähigkeit, aufgrund der gemachten Erfahrung in einer beruflichen Domäne ihr Wissen auch in Alltagssituationen anwenden zu können. Praktisches Wissen zeichnet sich nach GRUBER (2001a) entsprechend durch nachfolgende Merkmale aus: Praktisches Wissen ist

- erfahrungsbasiert: Das heißt es wird vornehmlich beim Lösen komplexer realer Probleme unter ständig reflexiver Kontrolle des vorhandenen Wissens über mehrere Jahre hinweg in authentischen Kontexten konstruiert.
- subjektiv und persönlich. Das heißt es handelt sich dabei nicht um objektives (fachwissenschaftlich orientiertes) Wissen, sondern um individuell konstruiertes Wissen.

⁵⁵ Die Identifikation eines Systems lässt sich unterteilen in die Identifikation der beteiligten Variablen sowie in die Identifikation von Beziehungen zwischen diesen Variablen. Wobei das Erkennen kausaler oder funktionaler Systemzusammenhänge eine höhere Aufgabenanforderung darstellt.

- vorwiegend prozedural. Das heißt es umfasst eher dynamisches beziehungsweise anwendungsfähiges Wissen als statisches Faktenwissen.
- kontextuell gebunden. Das heißt das Wissen ist an den situativen (realen, komplexen) Kontext gebunden, in dem es erworben wurde.
- zum Teil implizit. Das heißt es kann nicht vollständig von seinem Inhaber verbalisiert und damit auch nicht ohne weiteres empirisch erfasst werden.

Der Erwerb praktischen Wissens erfolgt in aller Regel über erfahrungsorientiertes Lernen zum Beispiel in Arbeits- oder arbeitsähnlichen Situationen. STERNBERG/KAUFMANN (1998) vertreten in diesem Zusammenhang ein sehr breites Konzept von Intelligenz und setzen es im Kern gleich mit einer allgemeinen Fähigkeit zum Lösen von Problemen. Sie gehen davon aus, dass praktische Intelligenz von klassisch-psychometrisch erfassbarer Intelligenz -dem klassischen IQ - deutlich abgrenzbar ist. KLIEME ET AL. (2001, S. 186) sehen jedoch im Erfassen oder gar Messen praktischer Aspekte der Intelligenz beziehungsweise einer Problemlösefähigkeit eine bislang ungelöste Aufgabe. Sie vermuten, dass sich auch beim komplexen Problemlösen praktische und analytische Anteile vermischen oder dass sich, wie WEBER/WESTMEYER (2001, S. 254) betonen, alltägliche Real-Life-Probleme im Unterschied zu den in psychometrischen Intelligenztests gestellten Aufgaben dadurch auszeichnen, dass sie häufig nicht oder nicht klar formuliert sind, Informationen zu ihrer Lösung fehlen, es unterschiedliche „korrekte“ Lösungen und unterschiedliche Strategien zu ihrer Bewältigung gibt.

In diesem Zusammenhang kann auf eine Arbeit von SCHMIDT/HUNTER verwiesen werden, über die SÜSS (1996) berichtet. SCHMIDT/HUNTER erstellten auf der Basis einer messfehlerkorrigierten Korrelationsmatrix aus Mata-Analysen ein Pfadmodell zur Vorhersage beruflicher Leistung. Sie erfassen und extrahieren dabei Zusammenhänge zwischen

- Berufserfahrung
- tätigkeitsspezifischem Wissen
- Allgemeiner Intelligenz
- beruflichem Leistungspotenzial und
- Vorgesetztenratings der beruflichen Leistung (siehe Abbildung 5).

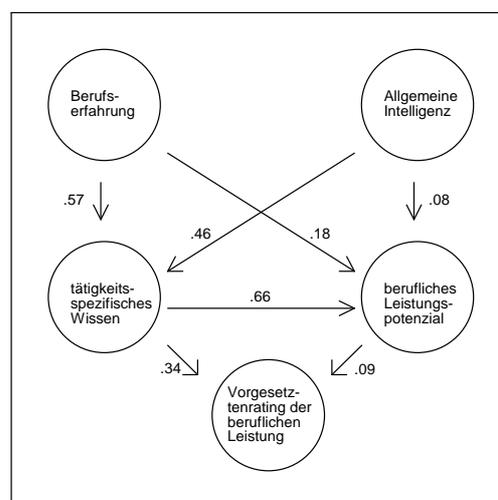


Abbildung 5: Pfadmodell zur Vorhersage beruflicher Leistung (nach SCHMIDT 1992, zit. in SÜSS 1996, S. 32)

Das Pfadmodell zeigt zum einen die Erklärbarkeit beruflicher Handlungskompetenz durch Wissen (.66) und zum anderen, dass eine substanzielle Verbindung (direkter Pfad) zwischen Intelligenz und beruflicher Leistung (.08) nicht besteht. Allerdings wirkt die Allgemeine Intelligenz, ähnlich wie die Berufserfahrung, jeweils indirekt (.46 beziehungsweise .57) über das berufsspezifische Wissen auf die beruflichen Leistungen ein. SÜSS (1996, S. 33) weist zwar darauf hin, dass das Pfadmodell nur korrelative Zusammenhänge aufzeigt, „doch verdeutlicht es das Erklärungspotenzial, das hier mit undifferenzierten Tests zur Allgemeinen Intelligenz ganz sicher nicht ausgeschöpft ist“.

2.2.5.1 Theoretische Überlegungen zum Zusammenhang von Wissen und komplexem Problemlösen

Nicht erst mit, wohl aber verstärkt durch die Diskussion um die „Trägheit des Wissens“ (vgl. Kapitel 2.2.6.2) und die „Situiertheit des Lernens“ (vgl. Kapitel 2.2.6.3 ff.) der letzten Jahre ist in der Berufs- und Wirtschaftspädagogik die Bedeutung des Wissens auch in den Brennpunkt des Interesses beim Lösen komplexer Probleme beziehungsweise der Steuerung dynamischer Systeme gerückt (RESNICK 1987, SPIRO ET AL. 1988, COLLINS/BROWN/NEWMAN 1989, DUBS 1993 und 1995a, MANDL/GRUBER/RENKL 1994, GERSTENMAIER/MANDL 1995, RENKL 1996, THE COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT 1999, LAW 2000). Wie vorangegangen dargestellt, beschreiben die vorliegenden theoretischen Erklärungsmodelle für das komplexe Problemlösen den Problemlöseprozess als einen Prozess des Wissenserwerbs und des Wissensgebrauchs (DÖRNER 1988, DÖRNER/SCHAUB/STROHSCHNEIDER 1999, FUNKE 1985, 1992, BROADBEND/FITZGERALD/BROADBEND 1986, KLUWE 1990, 1991, 1997a, KLUWE/HAIDER 1990, KLUWE ET AL. 1991).

Allerdings führt auch das einseitige Aneignen und Vorhandensein von domänenspezifischem, deklarativen Wissen nicht notwendigerweise zu einer damit verbundenen beruflichen Kompetenz, sondern stattdessen häufig zu Problemen der fehlenden Wissensanwendung beziehungsweise des trägen Wissens (COLLINS/BROWN/NEWMAN 1989, RENKL 1996, MANDL/GRUBER 1996, GRUBER/MANDL/RENKL 2000). Stattdessen spielt der gemeinsame Einsatz von Wissen und Können bei der Bewältigung komplexer beruflicher Anforderungen eine bedeutende und häufig unterschätzte Rolle. Zudem herrscht in der aktuellen bildungstechnologischen Diskussion kein einheitliches Verständnis über das Verhältnis von Wissen und Können. Oftmals wird Wissen gleichgesetzt mit Faktenwissen (zum Beispiel in Fachbüchern oder in Lehrplänen); und selbst wenn Lernende über dieses Wissen verfügen, bleibt es oftmals „träge“ (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, 1997; RENKL 1996; REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, 2001; GRUBER/MANDL/RENKL 2000). Das heißt, dass das Wissen außerhalb der Lernsituation, in der es erworben wurde, nicht angewandt wird, obwohl es nachweislich vorhanden ist. Demzufolge stellt es auch keine hinreichende Basis für erfolgreiches Problemlösen beziehungsweise für ein kompetentes Handeln in komplexen beruflichen Situationen dar.⁵⁶

Moderne Theorien der Pädagogischen Psychologie oder der Kognitionsforschung über den Zusammenhang zwischen Wissen und Können leisten in diesem Zusammenhang wertvolle Hilfen. Dort geht man von einem erheblich breiteren Wissensbegriff aus, der nicht auf die Kenntnis reinen Faktenwissens beschränkt bleibt. „Einige Theorien nehmen an, dass Wissen zunächst als deklaratives Wissen (explizites, verbalisierbares Wissen über Sachverhalte) er-

⁵⁶ Damit wird zum Beispiel auch der Bildungsauftrag (nicht nur) der Berufsschule mit dem Ziel der Förderung lebenslangen Lernens oder der Übernahme gesellschaftlicher Verantwortung untergraben.

worben werden muss und dann zunehmend prozeduralisiert, das heißt in automatisch zugängliche Verknüpfungen und Abläufe, überführt wird. Prozeduralisiertes Wissen muss nicht in jedem Anwendungsfall explizit und bewusst rekonstruiert werden, sondern ist wie eingeschlifene Bewegungsmuster und Gedankenfolgen automatisch verfügbar.“ (KLIEME ET AL. 2003, S. 65) Für die Autoren ist hiermit eine Regel bestimmt, die zur Entwicklung und Abgrenzung von Kompetenzniveaus verwendet werden kann⁵⁷ (vgl. Kapitel 2.1.4.1): „Höhere Kompetenzniveaus in einer Domäne wären durch immer stärkere Prozeduralisierung von Wissen charakterisierbar. In klassischen Begriffen bedeutet dies: Wissen geht auf höheren Niveaustufen in Können über.“ (Ebd.)

Verschiedene Personen zeigen unterschiedliche Herangehensweisen an komplexe Situationen. Je nach Strategie werden sodann ungleiche Wissensstrukturen aufgebaut, die entsprechend unterschiedlich handlungsleitend für den individuellen Problemlöseprozess sind. Manche Personen werden erst dann mit der Steuerung eines komplexen Systems beginnen, wenn sie ein Maximum an Wissen über das zu steuernde System exploriert haben (beobachtend-abwartende Herangehensweise, expliziter Wissenserwerb). Andere wiederum werden sofort mit der Systemsteuerung beginnen, in der Überzeugung, dass man sich schon auf die eine oder andere Weise dem Ziel annähern wird (Wissenserwerb steht im Hintergrund, impliziter Wissenserwerb, vgl. SCHAUB/REIMANN 1999).

Analysiert man die bekanntesten Erklärungsmodelle zum Umgang mit Wissen bei der Steuerung komplexer Systeme, so fällt auf, dass sich diese im wesentlichen in drei Aspekten unterscheiden:

- 1 In den Wissensarten, die bei der Systemelaboration von Personen erworben werden;
- 2 in den Wissensarten, die bei den Personen für die Systemsteuerung handlungsleitend sind;
- 3 bei der Frage, wie vollständig dieses Wissen bei den Personen vorliegt.

Bei den zur Untersuchung des Verhaltens von Personen speziell in komplexen Problemsituationen eingesetzten Szenarien handelt es sich meistens um spezielle, realitätsnahe Modelle, wie sie zum Beispiel in Wirklichkeit beim Leiten eines chemischen Prozesses, bei der Fehler-suche in einem elektronischen Steuerungssystem oder aber bei der Entscheidungsfindung in politischen Systemen oder bei unternehmerischen Fragen existieren. Im Unterschied zu den Aufgabenanforderungen der traditionellen (analytischen) Diagnostik zum Problemlösen, auf der Grundlage von Informationsverarbeitung und schlussfolgerndem Denken, zeichnen sich komplexe realitätsnahe Probleme insbesondere dadurch aus, dass durch ihre semantische Einbettung bei den Problemlösern Vorwissen aktiviert wird, das zum Lösen der Probleme erforderlich ist. „Probanden unterscheiden sich im Umfang und in der Struktur ihres Vorwissens, das zudem mehr oder weniger kompatibel zu dem Wissen ist, das zum Lösen des simulierten Problems gebraucht wird. Neben den intellektuellen Fähigkeiten hängt der Erfolg beim Problemlösen also maßgeblich von der Verfügbarkeit und der Kompatibilität des Vorwissens ab.“ (SÜSS 1999, S. 223) Auch MÜLLER (1993, S. 209 f.) konnte in seiner Arbeit einen hohen Zusammenhang zwischen Systemwissen und Systemsteuerung aufzeigen. Er weist deshalb darauf hin, „dass systemspezifisches Vorwissen [...] eine entscheidende Determinante von Leistungen beim komplexen Problemlösen ist“.

⁵⁷ Als weitere Prinzipien des Kompetenzaufbaus stellt für die Autoren beispielsweise die zunehmende „Vernetzung von Wissens-elementen, die Bildung von Meta-Wissen (Wissen über das eigene Wissen, seinen Aufbau, seine Anwendung usw.) und abstrakterem Wissen dar. Es wäre beispielsweise zu erwarten, dass auf höheren Kompetenzstufen in einer Domäne die Fähigkeit vorhanden ist, das eigene Vorgehen beim Bearbeiten von Problemen zu reflektieren und argumentativ darzustellen.“ (KLIEME ET AL. 2003, S. 65)

Die empirische Befundlage zu Bedeutung von Wissen und komplexem Problemlösen allerdings erscheint insgesamt als disparat. Sowohl in den Studien der Oxforder Forschergruppen um BROADBEND zeigte sich eine Dissoziation als auch in den Ergebnissen von KLUWE (1990, 1991), KLUWE/HAIDER (1990), KLUWE ET AL. (1991), STROHSCHNEIDER/SCHAUB (1991), RENKL ET AL. (1994) und PREUSSLER (1996) ließ sich kein kohärenter Zusammenhang feststellen. Hingegen berichten PUTZ-OSTERLOH (1985a, 1987), REICHERT/DÖRNER (1988), MÜLLER (1993), BECKMANN (1994), FUNKE (1985, 1999) und SÜSS (1996) über positive Zusammenhänge zwischen Wissen und komplexem Problemlösen. Die einflussreiche Rolle des Vorwissens, insbesondere die Art der Aufgabenrepräsentation, konnte in zahlreichen Studien belegt werden. „Das Vorwissen bewirkt jedoch selten einen völligen Null-Transfer, sondern es erleichtert die Aufgabenlösung (positiver Transfer) oder erschwert diese (negativer Transfer).“ (MACK 1999, S. 146)

Eine Klassifikation von Problemlösewissen im Zusammenhang mit der Steuerung komplexer Probleme wurde bereits in den Kapiteln 2.3.3.4 und 2.4 eingehend diskutiert⁵⁸. Die unterschiedlichen Differenzierungen von Wissensarten oder Wissensmerkmalen zeigt grundsätzlich, wie wichtig die Untersuchung der Rolle von Wissen für den Kompetenzerwerb durch epistemologische Überlegungen ist. „Nur dann, wenn es gelingt, die angestrebte Kompetenz in Bezug auf die dabei verfolgten Wissensformen zu klassifizieren, können instruktionale Maßnahmen angemessen erfolgen. Dazu ist nicht nur Kenntnis der verschiedenen Wissensarten und -merkmale vonnöten, sondern auch Kenntnis des Zusammenspiels beider Dimensionen, um die Entstehung desjenigen Wissens zu fördern, das im Verlauf des Kompetenzerwerbs angesteuert wird.“ (GRUBER 2001a, S. 28 f.)

Insgesamt betrachtet scheinen Erfahrung und Vorwissen einen besseren Prädiktor der Problemlösefähigkeit beziehungsweise der Steuerleistung komplexer Systeme darzustellen als zum Beispiel Intelligenztestleistungen. PUTZ-OSTERLOH (1987) und DÖRNER (1989a) konnten zeigen, dass erfahrene Personen (Experten) einer Domäne bei der Lösung komplexer Aufgaben gegenüber unerfahrenen Personen (Novizen) eine klar überlegene Problemlösekompetenz aufzeigen, die sich nicht durch Intelligenzunterschiede erklären lassen. Aus den Vergleichsarbeiten von Experten und Novizen beim Lösen komplexer Aufgaben ragen Studien von PUTZ-OSTERLOH (1987) und SCHAUB/STROHSCHNEIDER (1989) hervor. Beide untersuchten Expertise nicht bezogen auf eine spezielle Wissensdomäne, sondern im Umgang mit komplexen Systemen allgemein, wodurch es möglich wurde, „Aufschlüsse über jene Komponenten des Expertenwissens zu erhalten, die relativ unabhängig von domänenspezifischem Wissen existieren, aber an Strukturmerkmale von Problemen gebunden sind“. (ROTHER/SCHINDLER 1996, S. 45) GRUBER (2001a, S. 24) weist in diesem Zusammenhang auf den engen Zusammenhang zwischen Wissensstrukturen und Problemlöse- und Lernprozessen von Personen hin, die besonders umfangreiches Wissen besitzen. Sie sind darüber hinaus in der Lage, „dieses prozedurale heuristische Wissen zur Lösung von strukturgleichen Problemen in verschiedenen Sachgebieten erfolgreich anzuwenden. Experten besitzen eine strategi-

⁵⁸ Zur differenzierten Charakterisierung von Wissen eignen sich grundsätzlich drei verschiedene Klassifizierungssysteme. Diese werden häufig unterschiedlichen Gruppen zugeordnet: Klassifizierung nach (1) formalen Merkmalen, (2) strukturellen Merkmalen und (3) semantischen Merkmalen des Wissens.

DE JONG/FERGUSON-HESSLER (1996) haben das wohl bislang elaborierteste Wissensklassifikationssystem beschrieben: Das gesamte System ist in einer Matrix mit den beiden voneinander unabhängigen Wissensdimensionen „Wissensart“ und „Wissensmerkmal“ dargestellt. Insgesamt werden vier Arten von Wissen [(1) situationales, (2) konzeptuelles, (3) prozedurales und (4) strategische Wissen] sowie fünf Merkmale von Wissen [(1) hierarchischer Status, (2) innere Struktur, (3) Automatisierungsgrad, (4) Modalität und (5) Allgemeinheitsgrad] und damit insgesamt 20 Wissensformen unterschieden.

sche Flexibilität, die offensichtlich darauf beruht, dass sie Verhaltensweisen bereichsunabhängig beurteilen können.“ (ROTHE/SCHINDLER 1996, S. 46)

Aus den vorliegenden Untersuchungen zum Zusammenhang von Wissen und komplexem Problemlösen wird ungeachtet dessen deutlich, dass menschliches Problemlöseverhalten allein durch die Beschreibung von Wissensstrukturen nicht hinreichend erklärt werden kann. Das Ausschlaggebende ist, dass im Umgang mit komplexen Systemen Experten andere Problemlösungsstrategien bevorzugen oder anwenden als Novizen.

Die Bedeutung von Wissen sowie der strategische Umgang damit beim erfolgreichen Umgang mit komplexen Problemen wird nicht zuletzt auch im Bereich der Expertiseforschung deutlich. Die Expertiseforschung konnte sich in der Kognitiven Psychologie als eigenständiger und florierender Forschungsbereich inzwischen etablieren. Die Ergebnisse der Experten-Novizen-Forschung im Zusammenhang von Wissen und Problemlösekompetenz sollen im nachfolgenden Kapitel eingehender untersucht werden.

2.2.5.2 Expertiseforschung

Überblicke über die Expertiseforschung liefern zum Beispiel die Sammelbände von CHI/GLASER/ FARR (1988) und ERICSSON/SMITH (1991) sowie unter jeweils besonderer Perspektive REIMANN (1998), GRUBER/MANDL (1996a/b), ROTHE/SCHINDLER (1996) und GRUBER (2001a/b). Die Expertiseforschung greift wesentliche Fragen der Wissenspsychologie auf und versucht sie neu zu beantworten. GRUBER (2001a, S. 22) geht dabei folgenden zentralen Fragen nach:

- Worin unterscheidet sich das Wissen von Experten gegenüber Nicht-Experten?
- Warum ist Expertenwissen Anwendungswissen?
- Verändert sich Expertenwissen mit der Zeit?
- Gibt es bislang zu wenig beachtete Wissensformen?
- Wie können unterschiedliche Wissensformen erfasst werden?

Die verbreitetste Definition von „Expertise“ oder „Experte“ geht indes auf POSNER (1988, zitiert nach GRUBER/ZIEGLER 1996, S. 8) zurück, „der ihn als eine Person fasste, die in einer Domäne dauerhaft (also nicht zufällig und singulär) herausragende Leistungen erbringt“. Im Gegensatz dazu wird eine Person als Novize bezeichnet, die nur unzureichende Leistungen erzielt, wobei die Gründe hierfür in einer mangelnden Übung, Praxis oder Erfahrung liegen können. Diesen beiden Definitionen liegen zumindest zwei bedeutsame theoretische Annahmen zugrunde: Zum einen wird durch den gegenüberstellenden Vergleich von Experten und Novizen der erfahrungsbezogenen Komponente des Wissenserwerbsprozesses eine zentrale Bedeutung zugewiesen, zum anderen ist damit eine explizite Akzeptanz des Performanzkriteriums verbunden (GRUBER/ZIEGLER 1996). Als Kriterien von Expertise als überragende Fähigkeit in einer Domäne findet man

- eine große Wissensbasis
- reichhaltige Erfahrung im Umgang mit domänenspezifischen Aufgaben und Problemen
- überdurchschnittliche Leistungen beim Erkennen und Bearbeiten von Problemen
- metakognitive Kontrolle über Handlungen
- Effizienz, Zuverlässigkeit, hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit und große Gründlichkeit im Umgang mit der Lösung von komplexen Problemen
- hohe Flexibilität gegenüber neuen Problemkonstellationen (GRUBER/MANDL 1996b).

Während das Hauptaugenmerk der Expertiseforschung anfangs auf die Untersuchung der Unterschiede zwischen Experten und Novizen gerichtet war, wird in letzter Zeit verstärkt der Frage nachgegangen, wie die Expertise überhaupt entsteht und wie sie sich gezielt fördern beziehungsweise entwickeln lässt (GRUBER 1994, GRUBER/ZIEGLER 1996, GRUBER/MANDL 1996a/b, GRUBER 2001b). In diesem Kapitel wird die Expertiseforschung allerdings nur insoweit dargestellt, wie sie mit dem Lösen komplexer Probleme befasst ist.

Bei den Untersuchungen zur Expertiseforschung werden typischerweise Verhalten und Leistungen zweier Extremgruppen (hohe vs. niedrige/keine Erfahrung) in einem Bereich verglichen. Unterschieden wird dabei Expertise aufgrund von fachspezifischem Wissen und Expertise aufgrund von generellen Problemlösefähigkeiten (SCHAUB/REIMANN 1999, S. 174). PUTZ-OSTERLOH (1987) zum Beispiel verglich Experten (Professoren der Wirtschaftswissenschaften) mit Novizen (Studierenden unterschiedlicher Fachdisziplinen) hinsichtlich ihres Verhaltens bei der Steuerung komplexer Systeme. Dabei führt sie die Unterschiede zwischen Experten und Nichtexperten weniger auf eine Abhängigkeit vom bereichsspezifischen Wissen, als vielmehr auf die effektiveren heuristischen Strategien zur Bewältigung von Intransparenz seitens der Experten zurück. Sie sieht die gemeinsame Berücksichtigung konträrer Zielvariablen durch die Experten dabei als generellen bereichsspezifischen Wissenseffekt an. Die Laien zeigen im Vergleich zu den Experten weniger Verhaltensweisen, die eine erfolgreiche Problembewältigungsstrategie charakterisieren: Sie generieren zu wenige fehlerfreie Hypothesen, analysieren nur ungenügend vorhandene Variablen-Verknüpfungen, elaborieren zu wenig Systemwissen und generieren des Weiteren zu wenig Hypothesen. RÖBEN (2001, S. 5) fand in diesem Zusammenhang heraus, dass Anfänger dazu neigen, sehr frühzeitig eine Hypothese aufzustellen und dann, ausgehend von der Hypothese, prüfen, ob alle Fakten zur Hypothese passen. Experten lassen sich dabei deutlich mehr Zeit. RÖBEN konnte auch zeigen, dass Experten für jede Entscheidung mehr Informationen einholen und mehr zusammenhängende Maßnahmen treffen. Besonders deutlich werden die Unterschiede zwischen beiden, wenn man die Leistungen beim Umgang mit der Steuerung komplexer Simulationsprogramme betrachtet. Hierbei weisen die Experten signifikant bessere Selbstkontrolle und selbstkritisches Verhalten auf. Dies hat bereits DÖRNER (1989a) hervorgehoben: Mit dem hohen Können erfolgreicher Problemlöser korrespondiert eine realistische Selbsteinschätzung.

Über Unterschiede zwischen beiden Versuchsgruppen auf strategischer Ebene berichten auch STROHSCHNEIDER/SCHAUB (1991). Im Rahmen ihrer Untersuchungen bei der Steuerung eines „fachfremden“ komplexen Systems zeigen Experten demnach eine ausgeprägte Problemexploration. Sie steuern ein System überlegter, aufmerksamer und vorsichtiger und greifen seltener und behutsamer in das System ein. Ihre Strategie erweist sich dadurch insgesamt als angemessener und erfolgreicher und zeigt letztendlich auch besseren Problemlöseerfolg. Bei der Steuerung eines thematisch vertrauten Systems wiederholten sich die gemachten Beobachtungen. Dies deuten sie als „strategische Konstanz“ und interpretieren den Unterschied in der Auseinandersetzung mit den Szenarien als hauptsächlichen Effekt des unterschiedlichen heuristischen Wissens (Ebd., S. 338 f.).

KERSTING (1999, S. 54) verweist im Zusammenhang mit einer eignungsdiagnostischen Verwendung von computergestützter Modellbildung und Simulation zum Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz kritisch darauf hin, dass die meisten vorliegenden Experten-Novizen-Vergleiche bislang im Ganzen recht unterschiedliche Befunde gezeigt haben. Sie folgert daraus, dass computergestützte Problemlöseszenarien daher insgesamt weder als Beleg der Realitätsnähe und Validität für die eingesetzten Szenarien noch als Beleg für die

praktische Relevanz des gezeigten Verhaltens bei der Steuerung des komplexen Systems gewertet werden können. Sie empfiehlt, mögliche Effekte einer Vorwissensaktivierung genau zu kontrollieren, da diese sich je nach Fragestellung entweder als hinderlich oder auch förderlich erweisen können.

MACK (1999, S. 142) konnte bei seinen Vergleichsstudien zwischen Experten und Novizen aufzeigen, dass Unterschiede in der Verfügbarkeit, Quantität, aber vor allem Qualität von bereichsspezifischem Wissen mit deutlichen Leistungsunterschieden einhergehen. Wissensstrukturen werden deshalb vielfach als entscheidende Determinante kognitiver Leistungen angesehen. Die Relevanz dieser Position führt er unter anderem darauf zurück, dass Wissen zu einem bestimmten Zeitpunkt immer als Vorwissen aufgefasst werden kann, das stets in Aufgabenbearbeitung und Lernen eingeht (Transfer). „Aus der Lern- und Trainingsforschung ist seit langem bekannt, dass unterschiedliches Vorwissen innerhalb einer Domäne zu unterschiedlichen Lernverläufen führt [...], weswegen es als wesentlicher Prädiktor künftiger Leistungen in Rechnung zu stellen ist.“ (Ebd.)

Für DÖRIG (1996, S. 82) steht fest, dass sich Experten von Anfängern einer beruflichen Domäne nicht allein durch allgemeine Fähigkeiten (zum Beispiel logisches, schlussfolgerndes Denken etc.) unterscheiden, „sondern durch die Menge und Beschaffenheit (Elaboration) an fachspezifischem Wissen. [...] Experten verfügen über eine hochdifferenzierte und sehr flexible Organisation ihrer Wissensbestände.“ KREMS (1990, in Anlehnung an ROTHE/SCHINDLER 1996) nennt zusammenfassend drei komplexe Kriterien, die Personen erfüllen müssen, um in einer Domäne Expertise zu erlangen:

- 1 Effizienz: Experten zeichnen sich dadurch aus, dass sie dauerhaft überdurchschnittlich viele Aufgaben mit minimalen kognitiven Ressourcen bewältigen.
- 2 Bereichsspezifisches Wissen: Experten besitzen ein umfassendes und anspruchsvolles Wissen über Sachverhalte und Gesetzmäßigkeiten einer Domäne. Sie besitzen darüber hinaus auch effizientere Methoden und Prozeduren zur erfolgreicherer Umsetzung dieses Wissens bei der Bearbeitung komplexer Probleme.
- 3 Erfahrung: Voraussetzung für Expertise ist der Erwerb qualifizierenden und umfangreichen Wissens, dem in der Regel eine langjährige (etwa acht bis zehn Jahre) Auseinandersetzung mit Aufgaben und Problemen in einer Domäne vorausgeht.

Dass die besseren Gedächtnisleistungen von Experten nichts mit einem konstitutiv besseren Gedächtnis zu tun haben, konnte in vielen Studien mit so genannten Gedächtnisspanneaufgaben gezeigt werden: Beim Erinnern von Informationen einer fachfremden Domäne zeigten Experten keine signifikant besseren Gedächtnisleistungen als die Novizen. „Die überlegene Mustererkennung und Gedächtnisleistung von Experten hängt mit ihrem großen Wissen und wohlgeordneten anwendungsnahen Wissen in der jeweiligen Domäne zusammen, womit die Struktur des Wissens eminent für die Analyse von Kompetenzerwerbsprozessen ist.“ (GRUBER 2001a, S. 26) Bereits bei der Aufnahme von Informationen, so Gruber weiter, werden von den Experten zugleich die (bereits bekannten oder potenziell möglichen) Anwendungsbedingung mit gespeichert, die später, im Unterschied zu den Novizen, eine viel raschere Wiedergabe des Wissens aus dem Gedächtnis beschleunigen. Gruber sieht den entscheidenden Vorteil bei der Speicherung neuer Information seitens der Experten darin, dass diese nicht isoliert, sondern eng mit der Anwendungssituation verknüpft werden. So wird bereits beim Einbau neuen Wissens in bestehende Wissensstrukturen ein späterer Abruf des neuen Wissens als Handlungsvorschlag implizit mit gespeichert. Damit ist das Wissen von Experten nicht träge, und kommt beim Lösen komplexer Probleme auch leichter und folglich besser zur

Anwendung. Als Charakteristika expertenhaften Problemlösens nennt die einschlägige Literatur zusammenfassend folgende Befunde⁵⁹: Experten

- verwenden mehr Zeit auf die Problemanalyse und erstellen folglich eine differenziertere Problemrepräsentation, bevor sie mit dem eigentlichen Lösen des Problems beginnen.
- entwerfen dennoch rasch adäquate Pläne, die für das weitere Problemlösen handlungsleitend sind.
- verwenden in der Regel im Gegensatz zu Novizen so genannte starke (wissensabhängige) Problemlösestrategien.
- verwenden zur Problemlösung häufig die Strategie der Vorwärtssuche, Novizen hingegen die der Rückwärtssuche.
- engen ihre Suche bereits frühzeitig ein, während Novizen relevante Informationen oftmals nicht beachten; was dazu führt, dass Experten zwar insgesamt nicht über quantitativ, dafür aber über qualitativ mehr Informationen verfügen.
- evaluieren den eingeschlagenen Problemlöseprozess öfter und kritischer als Novizen. Sie erweisen sich dadurch als flexibel, wenn es darum geht, bestehende Wissensschemata zu verändern.

Die Lehr-Lernforschung der letzten Jahre hat versucht, Antworten auf die Frage zu geben, worin die Ursachen zu sehen sind, dass Lernende zwar über umfangreiches Wissen über Sachverhalte und Gesetzmäßigkeiten nachweislich verfügen können, dieses Wissen aber nicht zur Lösung von Aufgaben und Problemen anwenden können (träges Wissen, vgl. RENKL 1996, GERSTENMAIER/MANDL 1995, 2000a). Unterrichtsmodelle auf Grundlage eines gemäßigt-konstruktivistisch inspirierten Lernbegriffs der situierten Kognition heben 6 essentielle Elemente bei der Gestaltung von (unterrichtlichen) Lernsituationen für den Prozess des Wissenserwerbs hervor⁶⁰:

- Neues Wissen sollte stets unter Anwendungsgesichtspunkten vermittelt werden, da es immer kontextuelle Bezüge aufweist; Lernende sollten daher mit realistischen Problemen und authentischen Situationen konfrontiert werden. Der Erwerb neuen Wissens ist an den spezifischen Kontext gebunden und somit situativ.
- Wissen wird immer individuell konstruiert: Neue Wissensstrukturen können nur dauerhaft erworben werden, wenn sie in die bestehende Wissensstruktur eingebaut und vor diesem Hintergrund persönlicher Erfahrung interpretiert werden. Jeder Lernprozess ist damit konstruktiv.
- Um die kontextuelle Gebundenheit von Wissen zu vermeiden, sind neue Wissensstrukturen unter multiplen Perspektiven und Zielsetzungen zu erwerben.
- Die Aufnahme neuer Wissensstrukturen erfolgt stets auch unter gesellschaftlich-normativen und soziokulturellen Einflüssen und ist nicht nur das Resultat eines individuellen Konstruktionsprozesses. Dem Lernen in kooperativen Situationen kommt daher eine tragende Rolle zu.
- Der Erwerb neuen Wissens ist nur über eine aktive Beteiligung der Lernenden möglich. Motivation und Interesse am Lernprozess oder Lerngegenstand sind dabei substanziell.
- Lernprozesse ohne jeglichen Selbststeuerungsanteil sind nicht möglich: Wissenserwerb unterliegt stets einer gewissen Steuerung und Kontrolle durch den Lernenden selbst.

⁵⁹ Für eine ausführliche Diskussion wird z. B auf GRUBER/MANDL (1996a) verwiesen.

⁶⁰ Für eine erschöpfende Darstellung der Ansatzpunkte zur Förderung des Wissenserwerbs wird auf REIMANN-ROTHMEIER/MANDL (1998) verwiesen.

Den stärksten Bezug zwischen den Ergebnissen aus der Expertiseforschung und einer Einbettung in Unterrichtsmodelle weist die Situierte Kognition mit dem Ansatz des „Cognitive Apprenticeship“ (COLLINS/BROWN/NEWMAN 1989) und der instruktionspsychologischen „Cognitive Flexibility-Theory“ (SPIRO ET AL. 1988) auf (vgl. Kapitel 2.2.6.5 ff.). Die entscheidende Technik von Cognitive Apprenticeship dabei ist, Lernende durch Teilnahme an authentischen Handlungen und sozialen Interaktionen in die Kultur von Experten mit aufzunehmen. Mit einem Experten als Vorbild werden Lernende in komplexe realitätsnahe Problembereiche eines Faches eingeführt. Mit zunehmend breiterem Wissen und größeren eigenen Fähigkeiten ausgestattet, können die Lernenden dann sukzessive unabhängiger arbeiten. Der Experte nimmt sich in gleichem Maße dabei in seiner instruktionalen Funktion zurück. Ziel von Instruktion nach dem Ansatz der Gruppe um SPIRO ist es, über multiple Zugänge zum Lerngegenstand flexible Repräsentationen bei den Lernenden (angehenden Experten) zu erzeugen, indem sie in einer Vielzahl von domänenspezifischen Kontexten zum Problemlösen herangeführt werden. Die Konstruktion von Wissen in einer Anwendungssituation, die zur Problembewältigung geeignet erscheint, kann infolgedessen als zentrales Element der Cognitive Flexibility-Theory aufgefasst werden. Die Autoren gehen darüber hinaus davon aus, dass das Vorwissen nicht als fertig vorhandene Einheit, das heißt als geschlossene Einheit, abgerufen wird, sondern entsprechend der jeweils situativen Anforderung für die Problemlösung spezifisch konstruiert wird. Während es bei den Anfängern im Anwendungsbereich der Cognitive Flexibility-Theory noch darum geht, Grundwissen in Form einfacher Konzepte zu verstehen und anzuwenden zu können (Der Umgang mit Komplexität und Dynamik wird von ihnen noch nicht erwartet.), rücken Komplexität und Dynamik im Umgang mit den Problemen als Zielkategorie sukzessive in den Mittelpunkt der Lernprozesse. GRUBER/MANDL (1996a, S. 607) weisen in diesem Zusammenhang auf folgende Beziehung hin: „Unterrichtsprinzipien, die bei wohldefinierten Domänen erfolgreich sind, sind beim fortgeschrittenen Wissenserwerb womöglich kontraindiziert, zum Beispiel die Zerlegung von Wissen und Problemen in Einzelkomponenten, die Vermittlung abstrakter Prinzipien oder die möglichst einfache Repräsentation eines Sachverhaltes.“ Beide sehen dagegen die Notwendigkeit, kognitive Flexibilität zu erlangen, die auf eine gegebene Problemsituation passt, und meinen damit die Fähigkeit, aus verschiedenen Wissens-elementen eine adäquate Repräsentation zu konstruieren. Für sie ist kognitive Flexibilität speziell in schlecht definierten Domänen letztlich „eine notwendige Bedingung expertenhaften Problemlösens, weil kein einzelnes Schema komplex genug sein kann, um auf die große Zahl von im Expertenalltag relevanten Problemen passen zu können.“ (Ebd.)

Im Zentrum des Interesses der Expertiseforschung stand bislang vornehmlich die Analyse und Beschreibung von Merkmalen der Personen, die ihre Expertiseentwicklung bereits hinter sich liegen haben. Dagegen gibt es bislang nur sehr wenig, Studien, die die Rolle der Erfahrung auf das Lernen zu modellieren versuchen. Entsprechend wenig ist demzufolge über Möglichkeiten der instruktionalen Gestaltung entsprechender Lernumgebungen bekannt⁶¹. Man weiß zwar, dass die Quantität des Wissens für die Expertiseentwicklung notwendig und an vielfältige Erfahrungsprozesse gekoppelt ist, man hat aber auch erkannt, dass sie alleine nicht ausreicht, die Expertise vollständig zu erklären. Viele Komponenten wie zum Beispiel kognitive Fähigkeit, generelle Problemlösungsstrategien, schlussfolgerndes Denken, metakognitives Wissen und Kontrollstrategien sind hierbei für die Erklärung der Entstehung von

⁶¹ Ansätze hierzu stellen zum Beispiel die „Anchored Instruction“ (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1999), das „Cognitive Apprenticeship“ (COLLINS/BROWN/NEWMANN 1989) oder die „Cognitive Flexibility Theory“ (SPIRO ET AL. 1988) dar.

Expertise relevant. Der Einfluss des Vorwissens auf die Fähigkeit, speziell in schlecht definierten Domänen komplexe Probleme überdurchschnittlich gut lösen zu können, scheint jedoch alle anderen Merkmale zu überlagern.

Im abschließend Kapitel 2.2.6 sollen aktuelle empirische Befunde zu Lernumgebungen, die der Entwicklung einer komplexen Problemlösekompetenz förderlich sind, näher untersucht und zusammenfassend dargestellt werden.

2.2.6 Theoretische Grundlagen für die Gestaltung computergestützter Lernumgebungen zur Förderung komplexer Problemlösekompetenz

Wenn es darum geht, Lernende sich neues Wissen erschließen zu lassen, um deren komplexe Problemlösekompetenz zu fördern, gibt es zunächst die beiden (sich ergänzenden) Alternativen, beim Lernenden direkt oder bei der Gestaltung der Umgebungsfaktoren anzusetzen⁶² (MANDL/FRIEDRICH/HRON 1988, DUBS 1995a). Viele Möglichkeiten zur Gestaltung von Lernumgebungen lassen sich dabei nach dem Prozess des Wissenserwerbs gliedern. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass damit der im allgemeinen sehr komplexe und schlecht strukturierte Wissenserwerbsprozess in seine wesentlichen, untereinander vernetzten Aspekte aufgelöst werden kann und auf diese Weise überschaubar wird (LEINHARDT 1993). In der einschlägigen Literatur findet man zahlreiche theoretische und empirische Befunde, von denen im Anschluss vorrangig solche ausgewählt und diskutiert werden sollen, die explizit Möglichkeiten der Gestaltung computergestützter Lernumgebungen (speziell computergestützte Modellbildung und Simulation) mit einbeziehen oder diesbezüglich zumindest implizite Schlussfolgerungen zulassen.

2.2.6.1 Prozessmerkmale des Wissenserwerbs

Eine effektive Gestaltung von Lernumgebungen setzt Kenntnisse über den Prozess des Wissenserwerbs voraus, um auf dieser Grundlage entsprechende unterrichtliche Methoden und Prinzipien entwickeln zu können. Entscheidende Bedeutung erlangen damit alle psychologische Forschungsschwerpunkte, die sich mit „Fragen des Erwerbs von Wissen, seiner Repräsentation im Gedächtnis, seines Abrufs, seiner Anwendung beim Entscheiden, im Denken und Handeln und seiner damit einhergehenden Veränderung“ (MANDL/SPADA, 1988, S. 1) beschäftigen. Neben primär kognitionspsychologischen Aspekten müssen dabei auch motivationale, soziale und soziokulturelle Aspekte miteinbezogen werden. Wissen darf nicht vereinfachend als objektiver, transformationsloser Gegenstand angesehen werden, der „in die Köpfe von Lernenden hinein transportiert“ werden kann (WEINERT 1994). Wissen ist vielmehr als das Ergebnis von Konstruktionsaktivitäten der Lernenden anzusehen. Wissen im weitesten Sinne umfasst nach WEINERT (1996, 1997, 2001) unterschiedliche Dimensionen, insbesondere domänenspezifisches Wissen (deklaratives Wissen; Wissen über Sachverhalte), prozedurales Wissen (Wissen, auf dem Fertigkeiten beruhen), strategisches Wissen (Heuristiken und allgemeine Problemlösungsstrategien), metakognitives Wissen (Wissen, das der Kontrolle und Steuerung von Lern- und Denkprozessen zugrunde liegt), verbale Fähigkeiten sowie soziale Fertigkeiten und Kompetenzen. „Die Konstruktion von Wissen umfasst immer und notwendigerweise individuelle Konstruktionsleistungen seitens des Lernenden, die von außen - von Lehrenden oder von der Lernumgebung - in unterschiedlicher Qualität und Ausprägung ange-

⁶² Als theoretische Basis für die Gestaltung der Lernumgebung kann dabei gegenwärtig von einem „gemäßigten Konstruktivismus“ (BRETTSCHEIDER ET AL. 2000) als pragmatischer Kombination der beiden oben genannten Lernparadigmen ausgegangen werden.

regt, unterstützt oder angeleitet werden können.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 457)

Im folgenden wird allerdings nicht auf alle genannten Ziele und Inhalte, die mit einem Wissenserwerb verbunden sind, eingegangen, sondern es soll die Nutzung des Wissens als Bedingung dafür betrachtet werden, dass bei Lernenden ein Wissenserwerb stattgefunden hat (Viabilität).⁶³ Ziel ist es, Schüler ihr Wissen auch in realen Situationen bei beruflich relevanten Aufgaben- und Problemstellungen aktiv nutzen lassen zu können. Authentische Lernsituationen, abgebildet durch computergestützte Modellbildung und Simulation, sollen darum von Lernenden bereits in der Schule weitestgehend eigenständiges und verantwortungsvolles Analysieren, Informieren, Entscheiden, handelndes Ausführen und anschließendes Kontrollieren und Bewerten in realitätsnahen Anwendungssituationen fordern. Unterrichtliche Ansatzpunkte zur Förderung des Wissenserwerbs in komplexen Problemsituationen darf sich aber nicht nur an „Inhalten und Zielen orientieren, sondern muss vor allem auch an den Prozessen des Wissenserwerbs ansetzen. Nur wenn Erkenntnisse zum Prozess des Wissenserwerbs in praktisch nutzbarer Form vorliegen, ist es möglich, einzelne Aspekte des Wissenserwerbsprozesses mit Hilfe effektiver Maßnahmen differenziell und gezielt zu fördern.“ (Ebd., S. 459) Vor diesem Hintergrund betrachten die beiden Autoren den Erwerb von Wissen als einen aktiven, selbst-gesteuerten, konstruktiven, situativen und sozialen Prozess. Nachfolgende Erläuterungen zu den Prozessmerkmalen verstehen sie als Thesen (Ebd.; vgl. auch SCHNURER/STARK/MANDL 2003): Wissenserwerb als

- *aktiver* Prozess: Der Erwerb neuen Wissens ist nur über die aktive Beteiligung des Lernenden möglich. Besondere Charakteristika dieser für das Lernen unabdingbaren Aktivität sind Motivation und/oder Interesse am Prozess oder Gegenstand des Wissenserwerbs.
- *selbst gesteuerter* Prozess: Jede Art des effektiven Lernens und Verstehens erfordert ein Minimum an Eigenaktivität (WEINERT 1982, 1994, 1996, 1997). Die Bereitschaft und Fähigkeit zum selbstgesteuerten Lernen (STRAKA 2001a/b, STRAKA/MACKE 2002) wird bereits von vielen bekannten historischen Vorgängern problemorientierten Lehrens und Lernens betont (MAIER 1931, DUNCKER 1945). Wissenserwerb unterliegt dabei stets einer gewissen Steuerung und Kontrolle durch den Lernenden. Das Ausmaß dieser Selbststeuerung und Selbstkontrolle ist je nach Lernsituation und Lernumgebung sehr unterschiedlich; Wissenserwerb ohne jeglichen Selbststeuerungsanteil ist allerdings nicht denkbar (WEINERT 1994, 1998a). Selbststeuerung zielt dabei nicht nur auf den Akt des Lernens selbst ab, sondern auch auf entsprechende Strategien der Vorbereitung, Steuerung, Koordination und Organisation des Lernprozesses. „Insofern ist die Selbststeuerung nicht „nur“ Voraussetzung, sondern auch erklärtes Ziel problemorientierten Lernens.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 152)
- *konstruktiver* Prozess: Wissen ist immer konstruiert: Jeder Lern- und Wissenserwerbsprozess ist damit konstruktiv. Die verschiedenen Formen des Wissens können nur erworben und letztlich auch genutzt werden, wenn sie in bestehende Wissensstrukturen eingebaut und vor dem Hintergrund individueller Erfahrungen interpretiert werden.
- *situativer* Prozess: Wissen weist stets kontextuelle Bezüge auf; der Erwerb von Wissen ist daher an einen spezifischen Kontext gebunden und somit situativ. Diese Kontextualisierung ermöglicht es, dass die Lernenden nicht nur neues Wissen erwerben, sondern auch gleich-

⁶³ Andere Ziele und Inhalte eines Wissenserwerbsprozesses können zum Beispiel sein, neue Wissensstrukturen aufzubauen, bestehende zu verändern, bislang isoliertes mit vorhandenem Wissen zu verknüpfen, neu erworbenes Wissen zur Lösung von Problemen mit einzusetzen oder auf andere Art und Weise anzuwenden.

zeitig die Anwendungsbedingungen dieses Wissens mit erfahren. Die Komplexität und Authentizität des Umweltkontextes bleibt dabei stets aufrechterhalten. „Dem Prinzip der Authentizität liegt die Überlegung zugrunde, dass ein Transfer von Wissen auf neue und komplexe Probleme auch ein Lernen in komplexen Situationen erfordert.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 470)

- *sozialer* Prozess: Auch wenn Lernen auf den ersten Blick vor allem ein individueller Prozess ist, spielen soziale Aspekte eine große Rolle. Wissen ist nicht nur das Resultat eines individuellen Konstruktionsprozesses. Aus der Eingebundenheit des Einzelnen in eine Gemeinschaft ergibt sich, dass Wissen zugleich auch aus sozialen Aushandlungsprozessen erwächst. Damit kommt dem Wissenserwerb in kooperativen Situationen sowie den soziokulturellen Einflüssen auf den Lernprozess eine nicht zu überschätzende Bedeutung zu. „Die soziale Einbettung sichert nicht nur die notwendige Authentizität und Komplexität der zu bearbeitenden Problemstellungen; sie ist auch eine notwendige Bedingung für den aus situierter Perspektive angezielten „Enkulturationsprozess“, das heißt für das Hineinwachsen der Lernenden in eine Gemeinschaft praktischer tätiger Personen.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 153) Bei der Gestaltung einer Lernumgebung sollten daher möglichst oft soziale Lernarrangements integriert werden, um kooperatives Lernen und Problemlösen sowie Prozesse zu fördern, die die Entwicklung einer Lern- und Praxisgemeinschaft fördern. Zu den Rahmenbedingungen der Gestaltung sozialen Lernens (kooperatives Lernen als Voraussetzung und Ziel problemorientierten Lernens) gehört es, dass Problemstellungen so gewählt werden, dass sie aufgrund ihrer Anforderungsstruktur nur arbeitsteilig erfolgreich bewältigt werden können, dass sie über eine motivationale Effekte förderliche Anreizstruktur verfügen, einen geeigneten organisatorischen Rahmen besitzen und sowohl situations- als auch Personenmerkmale der Lernenden in ausreichendem Maße berücksichtigen (Ebd.).

Um Lernende auf die Bewältigung komplexer Problemsituationen bestmöglich vorzubereiten, muss die klassische Rollenverteilung zwischen Lehrenden als Wissensvermittler und Lernenden als Wissensempfänger kritisch hinterfragt werden. Unterricht sollte als eine Veranstaltung angesehen werden, in der es darum geht, dass Lehrende Gelegenheiten für Lernende schaffen, Lernprozesse anzustoßen und diese unter Berücksichtigung von Zielen, Interessen und emotionalen Aspekten für die Lernenden zu organisieren. Sollen dabei pädagogische Bemühungen bei der Gestaltung von Lernumgebungen darauf abzielen, Schüler zu selbstständigem verantwortungsvollen Handeln in komplexen Situationen zu befähigen, so erfordert dies deren umfassende Einbeziehung bei Planung, Durchführung und Kontrolle ihrer eigenen Lehr-Lernprozesse. „Diesbezüglich greifen viele in der Unterrichtspraxis eingeführte Ansätze noch zu kurz, da insbesondere Zielreflexionen und Systemkontrolle durchgängig noch zu schwach ausgeprägt sind, um die zielgerichtete, eigentätige Kompetenz- und Persönlichkeitsentwicklung der Lernenden optimal zu unterstützen.“ (SEIFRIED 2003, S. 209) Letztendlich steht sonst gar der Bildungsauftrag der berufsbildenden Schule zur Förderung eines selbstständigen lebenslangen Lernens und zu einer verantwortlichen gesellschaftlichen Mitbestimmung in Frage (KLIEME ET AL. 2003).

2.2.6.2 Das Phänomen „träges Wissen“

Lernende, die unmittelbar nach ihren Abschlussprüfungen nachweislich umfangreiches Wissen erworben haben - möglicherweise sogar soviel wie nie mehr später in ihrem Leben -, sind dennoch meist nicht in der Lage, komplexe Probleme in ihrer jeweiligen beruflichen Domäne erfolgreich zu bearbeiten; sie sind folglich nicht effektiv dazu in der Lage, dieses Wissen in berufliches Handeln umzusetzen. Sie haben in der Berufsschule nicht gelernt, ihr theoretisches Wissen für die Lösung komplexer authentischer Probleme zu nutzen. „Ja mehr noch, sie haben meist so gelernt, dass die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wissensnutzung sogar ungünstig sind.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 139) „Seit einigen Jahren wird das Problem ausbleibenden Wissenstransfers unter dem Stichwort des trägen Wissens diskutiert.“ (SÜSS 2001b, S. 269) Als solches wird Wissen benannt, das nicht zur Anwendung kommt, das mit bestehendem Vorwissen nicht verknüpft oder vernetzt wird und somit in der Folge zusammenhanglos ist (COLLINS/BROWN/NEWMAN 1989, RENKL 1996, RENKL/MANDL/GRUBER 1996, GRÄSEL ET AL. 1997, GRUBER/MANDL 2000).

Vereinfacht ausgedrückt, bezeichnet man mit trägem Wissen das Phänomen, dass Schüler ihr erworbenes Wissen in einem neuen Kontext nicht spontan zur Problemlösung anwenden können (LAW/WONG 1996). Eine der Ursache für dieses Phänomen ist die mit einem traditionellen Lernverständnis verbundene Vorstellung, Informationen zu speichern, ohne gleichzeitig eine entsprechende Auffassung für deren Einbettung in bestimmte Kontexte zu haben. „Befunde instruktionspsychologischer Studien sprechen dafür, dass die wenig anwendungsbezogene, oft abstrakte und systematisierte Form der Wissensvermittlung, die der Komplexität des Alltags nur selten gerecht wird, dazu beiträgt, dass träges Wissen (RENKL 1996) erzeugt wird.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 139) „Durch die wenig anwendungsbezogene, oft abstrakte und „künstlich“ systematisierte Form der Wissensvermittlung, die der Komplexität des Alltags oftmals nicht gerecht wird, soll es zu „trägem Wissen“ (inert knowledge, Whitehead, 1929) kommen. Das gewissermaßen „in vitro“ erworbene Wissen kann zwar im schulanalogen Kontext, in dem es erworben wurde, etwa bei Prüfungen, genutzt werden, in komplexen, alltagsnahen Problemsituationen gelingt die Wissensanwendung jedoch oft nur unvollständig oder überhaupt nicht.“ (STARK ET AL. 1995, S. 290) Somit stellt es auch keine hinreichende Basis für den Erwerb beziehungsweise die Entwicklung einer komplexen Problemlösefähigkeit dar.

Seit nunmehr zehn Jahren befasst sich die Lehr-Lernforschung intensiver mit dem Phänomen des trägen Wissens (GRÄSEL/MANDL 1999). Als Erklärungen für das Ausbleiben der Anwendung vorhandenen Wissens bei der Problemlösung findet man in der Literatur drei Kategorien: Metaprozess-⁶⁴, Strukturdefizit-⁶⁵ und Situiertheitserklärungen (vgl. Kapitel 2.2.6.5). In empirischen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass Schwierigkeiten, die damit verbunden sind, prinzipiell vorhandenes Wissen in realitätsnahen Problemsituationen anzuwenden, tatsächlich bereits in der Art des Wissenserwerbs begründet liegen. Durch diese Forschungen konnten außerdem einige der Ursachen der Entstehung trägen Wissens ermittelt werden. „Als Ursache dieser für das Lehren und Lernen zentralen Probleme identifizieren fast alle Kritiker

⁶⁴ Metaprozessklärungen gehen davon aus, dass das notwendige Wissen zwar vorhanden ist, jedoch aufgrund defizitärer Metaprozesse - Prozesse, die gleichsam über dem anzuwendenden Wissen laufen - nicht zur Problemlösung mit herangezogen wird (zum Beispiel fehlendes Wissen um die Anwendungsbedingungen des in Frage stehenden Wissens).

⁶⁵ Strukturdefiziterklärungen sehen die Mängel im anzuwendenden Wissen selbst angesiedelt. Wissen ist nicht in der Form präsent, die eine Anwendung desselben erlauben würde.

die fehlende Einbettung des Lernens in authentische Kontexte [... und] betonen die Notwendigkeit, den Erwerb von Wissen in dem Kontext zu verankern, der ihm seine Bedeutung verleiht.“ (Ebd., S. 867) „Die Befunde der traditionellen Transferforschung waren häufig inkonsistent und erwartungswidrig, situative Aspekte beim Lerntransfer wurden als Störvariable aufgefasst. Dem aktiven Wissenserwerb wurde zuwenig Rechnung getragen.“ (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 883) GRÄSEL/MANDL (1999) sehen in dieser Haltung gar ein eigenständiges Durchdenken der Lernziele, ihr Vergleich mit eigenen Vorerfahrungen beziehungsweise mit Vorwissen und das Reflektieren von Anwendungsmöglichkeiten erschwert.⁶⁶ „Genau diese aktiven und konstruktiven Lernprozesse sind aber zentral, wenn Wissen erworben werden soll, das in komplexen Situationen angewendet werden kann. Die Passivität der Lernenden in traditionellen Unterrichtsvorstellungen hat aber nicht nur Konsequenzen für die kognitiven Prozesse. Passivität ist darüber hinaus mit einem Absinken an Interesse, intrinsischer Motivation und Eigenverantwortung verbunden.“ (Ebd., S. 55) Des Weiteren werden insbesondere fehlende Berücksichtigung aktiver und konstruktiver Elemente des Lernprozesses sowie fehlende Berücksichtigung der Situationsgebundenheit von Lernen und Wissen für die Entstehung trägen Wissens verantwortlich gemacht (vgl. Kapitel 2.2.6.2). Viele Autoren scheinen also nicht ganz zu unrecht die traditionelle Unterrichtsgestaltung als zentralen Grund für die Entstehung trägen Wissens anzusehen, die den Schwerpunkt auf die Instruktion legt, das heißt auf die Unterweisung der Lernenden. Das Primat der Instruktion fördert nach ihrer Auffassung geradezu eine weitgehend rezeptive Haltung der Lernenden, die ursächlich dafür verantwortlich ist, dass anschließend träges Wissen vermittelt und gelernt wird.

Auch im deskriptiven Vergleich der TIMS-Studie kann eine Evidenz dafür gesehen werden, dass eine Unterrichtsphilosophie vielversprechender ist, die von einer bloß direkten Präsentation des Unterrichtsstoffes absieht. „Neue Konzeptionen des flexiblen Einsatzes verschiedener Sozialformen des Lernens, des Umgangs beziehungsweise Zulassens von Fehlern und Irrwegen beim Ausloten unterschiedlicher Lösungswege für komplexe Probleme, der Inbeziehungsetzung von Wissen mit seinen potenziellen Anwendungsmöglichkeiten usw. könnten also das Problem des trägen Wissens beziehungsweise des fehlenden Transfers durchaus beheben helfen.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 11) Diese Ursachen, Empfehlungen und Ziele deuten daher eine gewandelte Sichtweise von Lehren und Lernen an, die sich nicht darauf beschränkt, „wie Lernumgebungen „effektiver“ zu gestalten sind, sondern sie betrifft auch und im besonderen die Pädagogik und Psychologie des Wissenserwerbs [...]: In den Mittelpunkt rückt zum einen die „Wissenskonstruktion“ [...] des Lernenden und zum anderen die enge Verbindung von Wissenserwerb und Wissensanwendung.“ (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 867 f.) In dieser Auffassung des Wissenserwerbs zeigt sich für die Autoren bereits deutlich ein konstruktivistischer Lernansatz.⁶⁷ Entsprechende unterrichtliche Konzeptionen wurden in den letzten Jahren in konstruktivistisch motivierten Ansätzen situierten Lernens entwickelt. Sie werden im Abschnitt 2.2.6.5 dieses Kapitels dargestellt.

Im Grunde genommen stellt der Transfer von Wissen nichts anderes dar als die Anwendung prinzipiell vorhandenen Wissens in neuen Problemkontexten. Wissen und Handeln stellen

⁶⁶ Das Paradoxe beim traditionellen Unterricht liegt darin, dass ein Lernender häufig gar nicht weiß, wofür er lernt und vor allem wann das Gelernte anwenden soll. GRUBER/MANDL/RENKL (2000, S. 143) fragen in diesem Zusammenhang: „Wie soll man sich auf Situationen vorbereiten, die man gar nicht kennt?“

⁶⁷ Da die konstruktivistische Sichtweise ein uneinheitliches und sich teilweise gar widersprechendes Bild bietet, werden in diesen Kapiteln zunächst der augenblickliche Diskussionsstand um den Konstruktivismus und seine Varianten dargestellt. Erst im weiteren Verlauf erfolgt eine Bewertung der Bedeutung konstruktivistischer Sichtweisen für die Psychologie des Wissenserwerbs (vgl. Kapitel 2.2.6.3 ff.).

inzwischen für viele Forscher keine voneinander trennbaren Prozesse mehr dar. Sie entwickeln sich im Rahmen eines allgemeinen Lernprozesses. „Handeln wird weder durch Wissen kontrolliert, noch sind Handlungen das Produkt von Wissen, das in einem linearen Kodierungs-Enkodierungsmechanismus erzeugt wird.“ (LAW 2000, S. 281) Wissen wird folglich auch nicht als ein Faktor aufgefasst, der Handlungen steuert. Es wird ganz im Gegenteil davon angenommen, dass Wissen aus (in soziale Strukturen eingebettete) Handlungen entsteht; beide Konstrukte bedingen sich gegenseitig. LAW (2000, S. 263) sieht in Übereinstimmung mit VYGOTSKY's und DEWEY's sozialkonstruktivistischer Sichtweise daher Wissen auch nicht ausschließlich im Kopf der Lernenden angesiedelt. Für LAW verteilt es sich zwischen ihnen und ihrer sozialen Umwelt, in der sie agieren: „Wissen wird dynamisch in einer sozial organisierten Aktivität konstruiert, und es verändert sich dialektisch in den Auseinandersetzungen mit den kulturellen Werkzeugen [...]“

Im diesem Kapitel wurden instruktionale Probleme im Zusammenhang der Entstehung von tragem Wissen erörtert, die jeweils typische Prozessmerkmale des Wissenserwerbs erfassen. Der Einsatz einzelner Techniken zur Vermeidung der Entstehung von Wissen mit zu geringer Reichweite in komplexen Problemsituationen ist allerdings nicht ausreichend für die Gestaltung all jener Umgebungsfaktoren, von denen das Lernen abhängig ist. Bei der Gestaltung von Lernumgebungen zur Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz sind darüber hinaus noch Grundorientierungen zu berücksichtigen, die diese Gestaltungen für Lehrende in ihrem Unterricht plan- und umsetzbar machen (vgl. Kapitel 2.2.6.3).

2.2.6.3 Gestalten von Lernumgebungen

Unter den Begriff der Lernumgebung „lässt sich das Arrangement von Methoden und Techniken, Lernmaterial und Medien einschließlich des soziokulturellen Kontextes und der aktuellen Lernsituation subsumieren, die nach unterschiedlichen didaktischen Grundorientierungen ausgerichtet werden kann (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 475). BRETTSCHEIDER Et Al. (2000) verstehen unter didaktischen Grundorientierungen dabei umfangreiche, reichhaltige und anregende Lernwelten, die zum Ausdruck bringen, dass der Prozess des Lernens von vielgestaltigen Umgebungsfaktoren abhängig ist. Sie subsumieren unter dem Begriff Lernumgebung demzufolge auch ganz allgemein „Arrangements von Unterrichtsmethoden und -techniken sowie von Lernmaterialien und Medien“. (Ebd., S. 403) Während also durch direkte Instruktionen versucht wird, den Prozess des Lernens bei Schülern zu steuern, wird bei indirekten Förderansätzen die Lernumgebung so gestaltet, dass sie Lernenden einen größeren Freiheitsgrad für ihre Selbststeuerung einräumt beziehungsweise von den Lernenden einfordert und verstärkt Problemlösen in möglichst authentischen, komplexen und damit wenig strukturierten Aufgabenstellungen verlangt. Unter Lernumgebung wird dann häufig das „Arrangement der äußeren Lernbedingungen (Personen und Institutionen, Geräte und Objekte, Symbole und Medien, Informationsmittel und Werkzeuge) und Instruktionsmaßnahmen (unter anderem Lernaufgaben, Sequenz der Lernschritte, Methoden) verstanden, die Lernen ermöglichen und erleichtern“. (FRIEDRICH/MANDL 1997, S. 258)

Für GERSTENMAIER/MANDL (1995) zielen Lernumgebungen auch auf den Erwerb von Kompetenzen ab, die zur erfolgreichen Bewältigung komplexer Problemstellungen transferiert werden können. Dabei sollen Denk- und Handlungsspielräume für die Lernenden eröffnet werden, die sie zu konstruktiven Problemlöse- und Lernaktivitäten anregen. „Während bei der traditionellen Lehr-Lernauffassung die Instruktion im Vordergrund steht, zeichnet sich die konstruktivistische Auffassung durch das Primat der Konstruktion in dem Sinne aus, dass das

Lehren zugunsten eines aktiv-konstruktiven Lernens in den Hintergrund tritt [...] Die Gestaltung von Lernumgebungen konzentriert sich darauf, Lernen in bedeutungshaltige (Problem-)Situationen einzubetten, weshalb auch von situierten Lernumgebungen gesprochen werden kann.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 366) Es interessiert weniger die Frage, wie Wissen zu vermitteln ist, als vielmehr, wie es konstruiert wird und in welchem Verhältnis Wissen und Handeln bei der Bearbeitung komplexer Probleme zueinander stehen (GERSTENMAIER/MANDL 1995). Zu diesem Zweck definiert die Forschergruppe um MANDL den Begriff der Lernumgebung inzwischen viel breiter und gebraucht ihn synonym zu den Begriffen „Unterricht“ und „Instruktion“: „Der Begriff der Lernumgebung bringt zum Ausdruck, dass das Lernen von ganz verschiedenen Umgebungsfaktoren abhängig ist, die in unterschiedlichem Ausmaß [von außen] planvoll gestaltet werden können.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 603)

Lernumgebungen stellen gleichzeitig aber auch aktuelle zeitliche, räumliche und soziale Lernsituationen dar und beziehen letztlich auch den jeweiligen kulturellen Kontext mit in das Arrangement ein (Ebd.). „Unabhängig davon, welche konkreten Methoden und Techniken im einzelnen zur Anwendung kommen, kann die Gestaltung von Lernumgebungen zunächst einmal nach verschiedenen Grundorientierungen ausgerichtet werden, denen bestimmte Auffassungen vom Lehren und Lernen zugrunde liegen.“ (Ebd., S. 604) Die Gestaltung von Lernumgebungen hat durch instruktionale Ansätze, „die einer konstruktivistischen Epistemologie des Lehr-Lern-Prozesses verpflichtet sind, in den letzten anderthalb Jahrzehnten große Impulse erhalten“. (BRETTSCHEIDER Et Al. 2000, S. 403) Im allgemeinen findet man drei solcher Grundorientierungen beschrieben, die den Lernenden jeweils charaktertypische Prinzipien für ihre Kompetenzentwicklung und -förderung zur Verfügung stellen

- 1 Adaptive Lernumgebung⁶⁸
- 2 Systemorientierte Lernumgebung⁶⁹
- 3 Problemorientierte Lernumgebung.

REIMANN-ROTHMEIER/MANDL (1997) sehen diese drei Grundorientierungen sich vorrangig darin unterscheiden, auf welchen Annahmen zum Lernen sie basieren. Aus der jeweiligen Annahme lassen sich dann entsprechende Ziele und Leitlinien für die Gestaltung computergestützter Lernumgebungen ableiten. Da sich die problemorientierten Lernumgebungen am stärksten an dem Konzept des explorativen Lernens orientieren und sie damit auch am nächsten an der hier dargestellten Theorie des Erwerbs und der Förderung einer komplexen Kompetenz wurzeln, soll die Gestaltung ihrer Lernumgebung einer näheren Betrachtung unterzogen werden (Kapitel 2.2.6.4).

Für viele Autoren stellt die heute vor allem aus konstruktivistischer Sicht vertretene Auffassung, dass Schüler in problemorientierten Lernumgebungen neue Zusammenhänge selbst entdecken und ihren Lernprozess dabei eigenständig steuern sollten, keinesfalls eine neue Idee des Konstruktivismus dar (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998). Entscheidender Impuls für die Schaffung problemorientierter Lernumgebungen ging ihrer Meinung nach bereits

⁶⁸ Adaptive Lernumgebungen richten sich an Annahmen der individuellen Wissenskonstruktion aus. Die Schüler arbeiten aktiv und weitgehend selbstgesteuert, werden aber von der Lernumgebung unterstützt. Diese ist so gestaltet, dass sie sich optimal an die individuellen Bedürfnisse anpasst (adaptiert). Dabei erwerben die Lernenden sowohl domänenspezifisches Wissen als auch heuristische Fertigkeiten und Strategien, wobei sie gezielt angemessene Unterstützung von außen durch die Lernumgebung erhalten (LEUTNER 1992, 1995).

⁶⁹ Systemorientierte Lernumgebungen gehen von einer rezeptiven Auffassung vom Lernen aus; die Schüler sind daher auch weitgehend passiv. Die Lernumgebung leitet sie vorrangig zum Erwerb von deklarativem Faktenwissen

von BRUNNER und seinem Konzept des entdeckenden Lernens aus. Für ihn war das eigenständige Entdecken neuer Zusammenhänge notwendige Bedingung für den Erwerb von Problemlösestrategien (heuristische und metakognitive Methoden). Methoden und Prinzipien des Lehrens, die aus konstruktivistischen Auffassungen stammen, weisen prinzipiell das Potenzial auf, die im vorgegangenen Kapitel dargestellten Merkmale eines Lernprozesses zu begünstigen und zu unterstützen. Konstruktivistische Lehr-Lern-Verfahren entfalten dabei jedoch nicht automatisch bei allen Lernenden, allen Lernzielen bzw. -inhalten automatisch ihre Wirkung. Ihr Nutzen kommt nur dann zum Tragen, wenn der Einsatz entsprechender Methoden auch indiziert ist. „Bei der Frage nach der Indikation sind wiederum zum einen die Ziele des Lehrens und Lernens und zum anderen die Voraussetzungen, die die Lernenden mitbringen, zu berücksichtigen.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 370) Insgesamt gesehen wächst konstant die Anzahl der Studien, die Effekte konstruktivistischer Ansätze auf das Lernen zum Inhalt haben (GERSTENMAIER/MANDL 1995, 2000c). Empirisch abgesicherte Schlussfolgerungen liegen jedoch zur Zeit nur für sehr eng gefasste unterrichtliche Bedingungskonstellationen vor (WEINERT 1996a, 1997).

Da eine abschließende empirische Bestätigung der konstruktivistischen Lerntheorie noch nicht erfolgt ist, „muss mit der Behauptung der Effektivität dieser noch in Entwicklung befindlichen Unterrichtsmodelle selbstverständlich vorsichtig umgegangen werden.“ (LAW/WONG 1996, 136 f.) REIMANN-ROTHMEIER/MANDL (1997) diskutieren neben empirischen auch noch theoretische und praktische Probleme der konstruktivistischen Lehr-Lernauffassung im Zusammenhang mit deren möglicher Beliebigkeit bei der Gestaltung von Lernumgebungen. Sie warnen vor der Einnahme einer radikalen Sichtweise des Konstruktivismus, da für sie sonst Lehren im Sinne einer Wissensvermittlung wegen der idiosynkratischen Bedeutungskonstruktion im Prinzip gar nicht möglich ist. Stattdessen plädieren sie für die Zulassung äußerer Anregungen für individuelle Konstruktionsleistungen und fordern im Zusammenhang in der Bildungspraxis einen weniger extremen Standpunkt. Ein bislang ungelöstes Problem sehen sie allerdings trotzdem in dem Postulat nach Autonomie und Selbstverantwortung des Lerners für seinen eigenen Lernfortschritt. Es bringt nach ihrer Auffassung die Gefahr, „strukturelle Ungerechtigkeiten und Machtverhältnisse zu übersehen und allein den einzelnen und seine Wirklichkeitssicht für seine [...] Lage [...] verantwortlich zu machen“. (SIEBERT 1994, S. 63)

In der praktischen Umsetzung nimmt die Gestaltung von Lernumgebungen nach konstruktivistischen Prinzipien aufwändig viel Zeit in Anspruch. Sowohl für den Lehrenden als auch für die Lernenden sind traditionelle Vorgehensweisen weit weniger zeit- und anstrengungsintensiv. „Fehlende oder mangelnde Anleitung und Unterstützung beim Lernen anhand komplexer authentischer Probleme kann Lernende [zudem leicht] überfordern, Lernerfolge schmälern und unerwünschte Wirkungen haben. Es wird zunehmend deutlich, dass die Schüler zwar auf der einen Seite genügend Freiraum für konstruktive Aktivitäten brauchen, auf der anderen Seite aber auch gezielte Anleitung und Hilfestellung benötigen.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 371) Auch WEINERT (2000) weist in diesem Zusammenhang auf die Gefahr hin, dass mit solcherart offener Lehr-Lernformen der Erwerb fachsystematisch geordneter Kenntnisse sowie die Entwicklung „automatischer Routinefertigkeiten“ sehr schnell zu kurz kommen kann.

an. Ihr Lernprozess wird stark von außen angeleitet und kontrolliert. Die Lernumgebung erscheint den Schülern als fertiges System von Wissensbeständen (LEHNER 1979).

Dass jedoch die Vorgabe komplexer Lernumgebungen für den Erwerb einer komplexen Problemlösekompetenz besonders geeignet ist, darüber besteht unter den meisten Autoren inzwischen Einigkeit. So proklamiert beispielsweise die cognitive flexibility-Theorie (SPIRO ET AL. 1988, vgl. Kapitel 2.2.6.5.1): „Es wird betont, dass die Lernenden beim Problemlösen multiple Perspektiven einnehmen sollen, um flexibel nutzbares Wissen zu entwickeln. Im - am Lernen in handwerklichen Berufen orientierten - cognitive apprenticeship-Ansatz (COLLINS, BROWN & NEWMAN, 1989) wird die elaborierte Gestaltung des Ausmaßes äußerer Anleitung beim Lernen fokussiert: Ein Experte dient den Lernenden zunächst als Modell und übernimmt eine sehr intensive Anleitungsfunktion; diese wird im Lernprozess immer weiter zurückgenommen, bis die eigenständige Bewältigung relevanter Probleme durch die Lernenden möglich wird.“ (BRETTSCHEIDER ET AL. 2000, S. 403)

Nachfolgende Tabelle 4 fasst zentrale traditionelle und konstruktivistische Annahmen zum Lernprozess zusammen und stellt sie einander gegenüber.

Annahmen zum/zur/zu	Primat der Instruktion	Primat der Konstruktion
Prozess des Lehrens	Beim Lehren findet ein Wissenstransport statt, an dessen Ende der Lernende den vermittelten Wissensausschnitt in genau derselben Form besitzt wie der Lehrende. Bewährte Lehrmethoden können unabhängig von Inhalt, Kontext, Zeitpunkt und Personenmerkmalen wiederholt angewendet werden. Der Prozess des Lehrens ist eindeutig plan- und wiederholbar.	Lehren erfolgt im Sinne einer Anregung, Unterstützung und Beratung der Lernenden. Individuelle Unterschiede von Lernenden sowie die Spezifität jeder Situation reduzieren die Wiederholbarkeit und Planbarkeit von Effekten, die aus der Organisation von Wissenskonstruktionsprozessen resultieren.
Position des Lehrenden	Der Lehrende nimmt die Rolle des „didactic leader“ ein; seine Funktion besteht darin, neue Wissensinhalte zu präsentieren und zu erklären sowie die Lernenden anzuleiten und ihren Lernfortschritt zu kontrollieren beziehungsweise sicher zu stellen.	Der Lehrende hat die Aufgabe, Problemsituationen und „Werkzeuge“ zur Problembearbeitung zur Verfügung zu stellen und bei Bedarf auf Bedürfnisse der Lernenden zu reagieren; er ist Berater und Mitgestalter von Lernprozessen.
Prozess des Lernens	Lernen ist ein weitgehend rezeptiver Prozess, der von „außen“, das heißt von der Lehrperson gesteuert wird; Lernen erfolgt linear und systematisch. Lernen wird wissenschaftlich als Symbolverarbeitungsprozess beschrieben. Lernumgebungen sind nicht situiert und eindeutig an individuellem Lernen orientiert.	Lernen ist ein aktiv-konstruktiver Prozess, der stets in einem bestimmten Kontext und damit situativ sowie multidimensional und systemisch erfolgt. Hierbei wird der umfassende kulturelle Kontext berücksichtigt, in den die konkrete Situation eingebettet ist. Die Ergebnisse des Lernens sind infolge individueller und situationsspezifischer Konstruktionsvorgänge nicht vorhersagbar.

Position des Lernenden	Die Lernenden nehmen eine eher passive Position ein; sie müssen von außen stark angeleitet, unterstützt und kontrolliert werden.	Der Lernende nimmt eine aktive und selbstgesteuerte Position ein und erbringt eigene Konstruktionsleistungen.
Wissen	Wissen wird (metaphorisch) als Produkt von Lernprozessen betrachtet, das wie ein Gegenstand in den Köpfen von Lernenden beschrieben werden kann: Ein Gegenstand, auf den sie zugreifen können oder nicht, den sie speichern, „manipulieren“, anwenden, aber auch vergessen können.	In der situierten Perspektive wird Wissen zwischen Lernenden, Artefakten sowie an ihren Gemeinschaften und Praktiken als distribuiert angesehen; Wissen wird als Termini von Praktiken einer Gemeinschaft und als die Fähigkeit von Individuen angesehen, an diesen Praktiken partizipieren zu können. Unter Bezugnahme auf Ressourcen aller Art verändert sich dieses Wissen ständig durch aktive Konstruktionsprozesse. Wissen kann nicht in Form abgespeicherter, abstrakter und dekontextualisierter Repräsentationen vorliegen.
Inhalten und Zielen	Lerninhalte bzw. -ziele sind Wissenssysteme, die in ihrer Entwicklung abgeschlossen und klar strukturiert sind. Das wichtigste Ziel besteht darin, dass die Lernenden die gesetzten Leistungskriterien erfüllen.	Wissen ist un abgeschlossen und abhängig von individuellen und sozialen Kontexten. Das Ziel des Lehrens (im Sinne einer Lernunterstützung) besteht darin, dass Lernende letztlich denken und handeln wie Experten, wobei sich spezifische Ziele aus der Bearbeitung authentischer Aufgaben ergeben.
Nutzen und Problemlernen	Die Lernenden haben ein umfangreiches Vorwissen auf einem Gebiet und wollen (oder sollen) Informationen über ein neues Spezialgebiet ihres Faches erhalten. Sie verfügen dabei bereits über Praxiserfahrung und Fertigkeiten zur selbstständigen Anwendung des neuen Wissens und wollen (oder sollen) große Stoffmengen bewältigen. Die Lernenden haben wenig Vorwissen und wollen (oder sollen) einen ersten systematischen Überblick über ein neues Gebiet erhalten.	Die Lernenden befinden sich bereits auf einem fortgeschrittenen Wissensniveau und wollen (oder sollen) weitere vertiefende Kenntnisse erwerben und anwenden. Sie haben keine oder kaum Erfahrung mit den neuen Inhalten und wollen (oder sollen) zunächst einmal erkennen, wie die zu lernenden Inhalte mit realen Erfordernissen zusammenhängen. Die Lernenden wollen (oder sollen) neben inhaltlichem Wissen auch Problemlöse- und Selbststeuerungsfertigkeiten entwickeln.

Evaluation	Die Überprüfung des Lernerfolgs ist von größter Bedeutung. Mit vielfältigen Verfahren zur Lernerfolgskontrolle lassen sich die erzielten Unterrichtsergebnisse „messen“ und damit auch vorhersagen. Instruktion und Evaluation sind zwei getrennte Einheiten.	Weniger das Ergebnis als vielmehr der Prozess des Lernens ist Gegenstand von Beurteilungen, wobei die Beteiligung der Lernenden an Beurteilungsprozessen bis hin zur Selbstevaluation angestrebt wird. Als integraler Bestandteil der Instruktion erfordert die Evaluation ökonomisch valide Instrumente zur Erfassung der Anwendung von Wissen, die bislang allerdings nicht in theoretisch ausgearbeiteter und empirisch gesicherter Form zur Verfügung stehen.
-------------------	---	---

Tabelle 4: Vergleich zwischen traditionellen und konstruktivistischen Annahmen zum Lernprozess (REIMANN-ROTHMEINER/MANDL 1997 und SCHNURER/STARK/MANDL 2003)

2.2.6.4 Problemorientierte Lernumgebungen - Möglichkeiten zur Förderung einer komplexen Problemlösefähigkeit?

Der Begriff der Problemorientierung besitzt in der pädagogischen Diskussion eine lange Tradition und scheint daher auch in sehr unterschiedlichen Definitionen gebräuchlich. „Trotz dieser begrifflichen Schwierigkeiten besitzt die Idee der Problemorientierung das entscheidende Potenzial, zum einen einer gemäßigt konstruktivistischen und damit auch erwachsenenadäquaten Sicht des Lernens gerecht zu werden [...] zum anderen die Vorzüge der traditionellen und der konstruktivistischen Auffassung vom Lehren zu nutzen und sinnvoll zu kombinieren.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 379) Unter dem Prinzip der Problemorientierung verstehen vor allem die Vertreter der konstruktivistischen Lernphilosophie (GRÄSEL/MANDL 1999; REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, 2001; DUBS 1995a; LAW/ WONG 1996; LAW 2000; SCHNURER/STARK/MANDL 2003), dass im unterrichtlichen Lehr-Lerngeschehen Ereignisse, Situationen oder Phänomene in den Mittelpunkt gestellt werden, die

- entweder *komplex* sind oder erkennbaren Bezug zu komplexen Situationen oder Ereignissen haben, ohne dabei zu überfordern. Das heißt die Lernumgebungen sollen zentrale Charakteristika ihrer möglichen Anwendungssituationen aufweisen. Die Probleme sollen zudem mehrere unterschiedliche Möglichkeiten anbieten, sich mit ihnen aktiv auseinander zu setzen. Der Komplexitätsbegriff ist mehrdeutig bestimmt: Eine Problemstellung kann immer nur komplex in Bezug auf eine bestimmte (berufliche) Anforderung für eine bestimmte Person sein.
- für die Lernenden *authentisch*, im Sinne einer Berührung ihrer persönlichen Lebenswelt, sind und entsprechend Interesse, Neugier und/oder Betroffenheit wecken. Auch hierzu müssen Probleme ausgewählt werden, die entweder authentisch sind oder erkennbaren Bezug zu authentischen Situationen oder Ereignissen haben. Authentizität umfasst neben der Einbettung problemorientierter Aufgaben in realitätsnahe Kontexte als weiteres Merkmal, dass die Aufgabenstellungen für die Schüler bedeutsam sind, ihnen bei deren Bearbeitung also relevant und interessant erscheinen. Auch der Authentizitätsbegriff ist mehrdeutig

- bestimmt: Eine Problemstellung kann in diesem Sinne immer nur authentisch in Bezug auf eine bestimmte (berufliche) Anforderung für eine bestimmte Person sein.
- insofern Problemcharakter haben, als sie (offene) Fragen aufwerfen, Kontroversen auslösen und verschiedene Interpretationen zulassen (*multiple Kontexte* und *Perspektiven*). Multiperspektivität und Multikontextualität sind nah verwandt und zielen auf eine Reduktion der funktionellen Gebundenheit des neu erworbenen Wissens beziehungsweise auf die Förderung kognitiver Flexibilität ab. Multiple Kontexte fördern einen flexiblen Umgang mit dem Gelernten und unterstützen dessen Transfer. Damit das Lernen anhand konkreter Probleme nicht dazu führt, dass Wissen nur auf einen bestimmten Kontext fixiert bleibt und nur in einer bestimmten Klasse von Situationen angewendet werden kann, betonen Vertreter problemorientierter Lernumgebungen die Notwendigkeit, Lerninhalte in Probleme mit verschiedenen Kontexten einzubetten (zum Beispiel werden unterschiedliche Problemlagen simuliert oder Lernende werden bewusst dazu angeregt, in Rollenspielen oder Szenarien unterschiedliche Sichtweisen einzunehmen).
 - die *Autonomie* des Lerners betonen. Intensive Lernprozesse bedingen, dass Lernende im Vollzug authentischer Lernaktivitäten über entsprechend ausgestaltete Freiräume verfügen.

Problemorientiertes Lernen, das diese Eigenschaften aufweist, ist erfolgreich im Sinne der in Kapitel 2.7.1 aufgeführten Prozessmerkmale des Lernens. Es schließt auf der einen Seite gezielte instruktionale Anleitung und Unterstützung sowie Phasen einer systematischen Wissensvermittlung nicht aus, erlaubt auf der anderen Seite aber auch die Realisierung deren dargelegter Leitlinien. Problemorientierung kann dementsprechend als Leitkonzept für die Gestaltung von Lernumgebungen angesehen werden, dass eine Balance zwischen Instruktion und Konstruktion einfordert (siehe Abbildung 6).

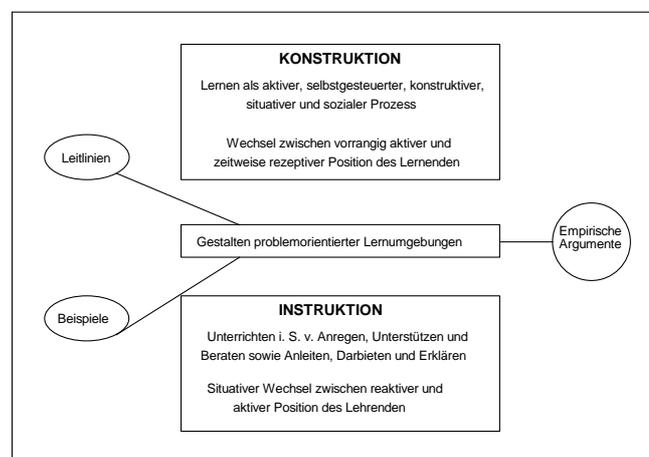


Abbildung 6: Pragmatische Auffassung zur Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen (nach REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 625)

Der Vorteil problemorientierter Lernumgebungen (gegenüber zum Beispiel systemorientierten oder adaptiven Lernumgebungen) ist in der stärkeren Berücksichtigung der Lernaktivität, aber auch der stärkeren Einbeziehung des Lernkontextes und der damit verbundenen Anwendbarkeit des Gelernten beim Gestalten computergestützter Lernumgebungen zu sehen. Gefördert wird ein aktives, verstehendes, selbstgesteuertes und exploratives Lernen. Die Aufgabe der Modellbildungs- und Simulationssoftware beschränkt sich in diesem Fall darauf, die für den Lernprozess notwendigen Aufgabenkonstellationen und Werkzeuge zur Problembearbeitung zur Verfügung zu stellen (LEINHARDT 1993).

Ziel problemorientierter Lernumgebungen ist es, Schüler intensiv sich neue Inhalte konstruieren, flexibel anwendbares Wissen erwerben sowie Problemlösefähigkeiten und andere kognitive Strategien entwickeln zu lassen (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998). Eine einfache Informationsdarbietung, wie sie in klassisch instruktionalen Lernumgebungen erfolgt, ist hierbei nicht ausreichend. Entscheidend ist, dass sich die Lernenden weitgehend selbstständig und eigenverantwortlich mit neuen Inhalten und Problemen auseinandersetzen. Die Kontrolle des Lernerfolges erfolgt bei problemorientierten Lernumgebungen konsequenterweise auch immer „dynamisch im direkten Bezug zum ablaufenden Prozess des Lernens. Es fehlt allerdings noch an ausgearbeiteten und empirisch abgesicherten Evaluationsmethoden, so dass das Problem der Lernerfolgskontrolle bei problemorientierten Lernumgebungen als weitgehend ungelöst betrachtet werden muss.“ (Ebd., S. 480 f.) Auch wenn einige Studien erfolgversprechend ausfallen, bleibt das Problem bestehen, das sich bei der Evaluation der Modelle zum problemorientierten Lernen ergibt, „dass traditionelle Lerntests nicht die Anwendungsqualität von Wissen erfassen. Neue Wege der Evaluation müssen damit erst entwickelt und erprobt werden.“ (RENKL 1996, S. 88)

Vertreter problemorientierter Lernumgebungen sehen sich darüber hinaus mit weiteren Schwierigkeiten konfrontiert: Exploratives Lernen ist sehr zeitaufwändig und kann damit insbesondere bei größeren Stoffmengen unökonomisch werden (Ebd.) Das Erstellen geeigneter Lernmedien, die den Anforderungen problemorientierten Lernens entsprechen, erfordert außerordentlich hohen Aufwand und nicht jede computergestützte Modellbildung und Simulation erfüllt diese Anforderungen quasi von selbst. Die Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen lässt überdies den Schülern viele Freiheitsgrade, wodurch auch die Möglichkeit gegeben ist, ineffektive oder gar unwirksame Lernprozesse zu initiieren. Gerade bei Lernumgebungen, die auf problemorientiertes Lernen fokussieren, ist besonders auf deren richtige didaktische Einbettung zu achten (MANDL/GRUBER/RENKL 1995). SCHNURER/STARK/MANDL (2003, S. 150) warnen denn auch vor einem allzu vereinfachten Umgang mit problemorientierten Lernumgebungen: „Der „gut gemeinte“ Versuch, Prozesse der Wissenskonstruktion mit bestimmten Lernumgebungen auf situierte Weise zu implementieren, resultiert deshalb oft bestenfalls in einer oberflächlichen, wenig reflektierten „Anreicherung“ traditioneller Instruktionselemente mit situierten Elementen.“

Als problematisch kann auch die extrem konstruktivistische Sichtweise der situated cognition-Ansätze (vgl. Kapitel 2.2.6.5 ff.) und deren Schlussfolgerung angesehen werden. Sie geht bei dem Lernprozess davon aus, „dass es keine zu vermittelnde objektive Realität gibt, da Bedeutung immer individuell konstruiert wird“. (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 484) Diese mit der Verabsolutierung des konstruktivistischen Ansatzes verbundene Verneinung der Existenz objektiven Wissens erscheint beispielsweise vor dem Hintergrund curricularer oder berufsrelevanter Verordnungen und Gesetze äußerst fragwürdig. Solche „Annahmen, die als ontologische und epistemologische Überzeugungen bezeichnet werden können, sind hochgradig vernetzt und beeinflussen Wahrnehmung und (subjektive) Theoriebildung gleichermaßen. Sie bilden sozusagen die Linse, durch die Phänomene im Umfeld von Lehren und Lernen wahrgenommen werden beziehungsweise gedeutet und bewertet werden und wirken dabei wie eine Art unbewusstes „Glaubensbekenntnis“.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 150)

Allerdings weisen die meisten Befürworter problemorientierter Lernumgebungen eine weniger radikale Einstellung auf. Sie gehen davon aus, dass es trotz der individuellen Konstruktionsleistungen der Lernenden möglich ist, Lernprozesse von außen zumindest anzuregen. „Doch

auch unter dieser Annahme bleibt das entscheidende Problem der fehlenden oder mangelnden instruktionalen Unterstützung in offenen problemorientierten Lernumgebungen bestehen: Wenn Lernende bei der Bearbeitung komplexer Probleme sehr viel Spielraum haben und im Falle auftretender Schwierigkeiten keine Hilfestellung oder Anleitung erhalten, kann dieser Umstand den Lernerfolg schmälern.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 484) Dies lässt sich auch auf die primär explorativen computergestützten Lernumgebungen übertragen. Werden sie mit dem Ziel der Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz bei Lernenden eingesetzt, so mehren sich Stimmen, die instruktionale Maßnahmen der Unterstützung für unumgänglich halten. „Es wird zunehmend deutlich, dass Lernende zwar auf der einen Seite genügend Freiraum für konstruktive (Lern-)Aktivitäten brauchen, auf der anderen Seite aber auch - in Abhängigkeit von ihren bestehenden Lernvoraussetzungen - Unterstützung benötigen, wenn Probleme auftreten, die für Lernende (ohne Hilfe) die Gefahr der Überforderung mit sich bringen. (Ebd., S. 485)

Es gilt demzufolge stets zu beachten, dass computergestützte, multimediale Lernumgebungen nicht immer automatisch dazu beitragen, die Kluft zwischen Lern- und Anwendungssituation zu minimieren beziehungsweise die Ausbreitung an geleisteter Authentizität zu maximieren. MANDL/GRUBER/RENKL (1995, S. 177) weisen in diesem Zusammenhang auf eine provokative Aussage von VON HENTIG hin, der bereits 1984 die These vertrat, „dass mit einer Überbetonung des Einsatzes von Technologie ein stetiges Verschwinden der Realität impliziert sei“. Um keine Missverständnisse zu erzeugen: Die kritische Gegenüberstellung traditioneller versus problemorientierter beziehungsweise situierter Auffassungen zur Gestaltung von Lernumgebungen will keinesfalls Partei gegen einen integrativen Instruktionsansatz ergreifen, im Gegenteil. Vielmehr wird in Übereinstimmung mit REIMANN-ROTHMEIER/MANDL (1997, 1998, 2001) nachfolgend die unterrichtspragmatische Position vertreten, dass im Einklang mit einer „gemäßigt konstruktivistischen Position“ zum Lernprozess es zum einen weder möglich noch sinnvoll ist, „im Unterricht ständig fertige Wissenssysteme nach feststehenden Regeln vermitteln zu wollen; auf der anderen Seite hätte es wenig Sinn, allein auf Konstruktionsleistungen der Lernenden zu vertrauen.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL, 2001, S. 626)

2.2.6.5 Theoretische Grundannahmen zum situierten Lernen

Historisch gesehen wurde die Bezeichnung „situiert“ vor allem in der soziologischen Literatur bei der Analyse von Beziehungen zwischen Wissen, Identität und Gesellschaft benutzt (LAW 2000). Der Begriff „Situiertheit“ steht daneben aber auch für den Versuch, das Verständnis der Mensch-Computer-Interaktion zu verbessern. Als erster führte SUCHMAN 1987 den Begriff des „situierten Handelns“ in die Kognitionswissenschaft ein. Situiertheitsansätze erscheinen dabei keinesfalls revolutionär; sie entstammen vielmehr klassisch-philosophischen Traditionen. „Die situierte Kognition kann als eine dialektische Synthese des intellektuellen Konflikts zwischen Rationalismus und Empirismus aufgefasst werden. Beide philosophischen Positionen konzeptualisieren in sehr unterschiedlicher Weise Probleme wie etwa den Wissenserwerb.“ (Ebd., S. 258.) Die Theorie der situierten Kognition erscheint bislang insgesamt außerordentlich komplex, da sie mit einigen klassischen pädagogischen und psychologischen Grundannahmen bricht. Zentrale pädagogische Begriffe wie etwa Lehren und Lernen oder der Wissensbegriff werden von Situiertheitstheoretikern anders aufgefasst als etwa in traditionell-kognitiven Theorien (vgl. Tabelle 4). Übergeordnetes Ziel aller Vorstellungen ist hingegen stets, die Lernenden dazu zu bringen, ihre selbstgesteuerte Lernfähigkeit weiter zu entwickeln, das heißt sie ihren eigenen Lernprozess immer mehr selbst steuern zu lassen.

Der Ansatz der situierten Kognition ist auch nicht von Einheitlichkeit gekennzeichnet; vielmehr findet sich in der einschlägigen (ursprünglich meist amerikanischen) Literatur eine ganze Reihe teils sehr unterschiedlicher Facetten. Ihre wissenschaftliche Ausrichtung findet sie im Konstruktivismus. Die Vertreter des Konstruktivismus bilden dabei eine relativ heterogene Gruppe von Forschern unterschiedlichster Fachrichtung: Kognitive Psychologie, Anthropologie, künstliche Intelligenz, Soziologie, Philosophie, Linguistik und Naturwissenschaften. „Es ist schwierig, eine präzise theoretische Analyse des Konstruktivismus zu leisten, weil es sich dabei um viele äußerst unterschiedliche Denkrichtungen handelt, die keineswegs einheitlich sind“⁷⁰. Wenn sich die verschiedenen Ansätze auch in der Grundannahme einig sind, dass Wissen von Lernenden aktiv konstruiert wird und dass das traditionelle Lehrmodell durch ein komplexeres, das Aspekte der Interaktion stärker berücksichtigt ersetzt werden sollte [...], so sind sich die Vertreter der verschiedenen Richtungen des Konstruktivismus keineswegs einig darüber, wie der Prozess der Wissenskonstruktion am sinnvollsten gefördert werden kann und welche Folgen dies für den Unterricht hat.“ (LAW/WONG 1996, S. 121) Daher kann die situierte Kognition „wahrscheinlich am treffendsten als die Untersuchung der Entstehung und Bedeutungszuweisung von Repräsentationen verstanden werden“. (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 873) Unter Bezugnahme auf CLANCEY (1993) stellt das Ziel der Theorie der situierten Kognition für die Autoren dabei den Versuch dar, eine „sich selbst organisierende kognitive Architektur“ zu entwickeln, mit der der Prozess des Wissenserwerbs neurobiologisch als auch kognitionspsychologisch kohärent dargestellt und begründet werden kann. Die meisten der genannten Autoren ordnen die unterschiedlichen Positionen des Konstruktivismus auf einer Skala ein, die von schwach über gemäßigt bis zu radikal reicht. Das situierte Lernen lässt sich dabei am ehesten der Position des gemäßigten Konstruktivismus zuordnen (DUBS 1993, 1995a, MANDL/GRUBER/RENKL 1995, TERHART 1999, GERSTENMAIER/MANDL 2000a, GRUBER/MANDL/RENKL 2000, REIMANN-ROTHMEINER/MANDL 2001, SIEBERT 2001a/b, 2002).

Im folgenden Abschnitt soll die gemäßigte Position des Konstruktivismus in Verbindung mit der Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen näher betrachtet werden. Zum einen, weil sie häufig im Zusammenhang mit der Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz diskutiert wird, zum anderen weil sie die Annahme einer objektiven Realität nicht leugnet und damit als Unterrichtsprinzip grundsätzlich organisierbar erscheint⁷¹. Den weiteren Ausführungen wird daher die Perspektive eines pragmatischen, moderaten Konstruktivismus der Forschergruppe um MANDL zugrunde gelegt, „die sich an die Sozialpsychologie DEWEYS anschließt und das handelnde Subjekt, den aktiven, selbstgesteuerten, selbstreflexiven Lerner in den Mittelpunkt stellt.“ (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 882)⁷²

⁷⁰ Die theoretischen Grundannahmen über den zugrundegelegten Lernprozess unterscheiden sich zum Teil auffallend zwischen den verschiedenen Vertretern der situierten Kognition. Als ihre wichtigsten Vertreter werden genannt (vgl. MANDL/GRUBER/RENKL 1995): JEAN LAVE (kognitive Anthropologie), BARBARA ROGOFF (kognitive Anthropologie), JAMES GREENO (ökologische Psychologie) und LAUREN RESNICK (soziokognitiver Ansatz).

⁷¹ LAW/WONG (1996) sehen Lernen als „generativen Prozess“ an, der grundsätzlich durch die Festlegung von Zielen und deren Kontrolle unterrichtlich organisierbar ist.

⁷² Auf eine, den allgemeinen konstruktivistischen Lernvorstellungen angemessene Darstellung muss dabei allerdings verzichtet werden. Dies würde sonst den (angemessenen) Umfang dieses Kapitel sprengen.

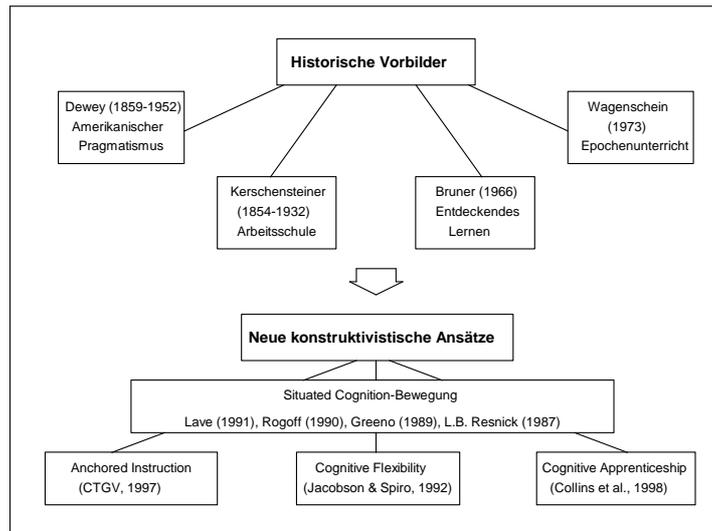


Abbildung 7: Vorläufer und Vertreter situierter Lernumgebungen (aus REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 2001, S. 623)

Die zentrale Annahme der gemäßigten Theorie einer situierten Kognition „besteht in der Auffassung, dass menschliche Kognitionen aus der Interaktion zwischen intelligenten Individuen und deren sozialhistorisch definierten Kontexten entsteht. Sie untersucht, wie die Strukturen der Welt menschliches Verhalten beeinflussen und erzwingen; die wechselseitige Abhängigkeit zwischen Kognition und Kontext, zwischen Wissen und der „Community of Practice“ sowie zwischen Problemlösung und Handlung [...] sind zentrale Themen dieses Ansatzes.“ (LAW 2000, S. 257) Hinsichtlich der Entwicklung und Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz sehen alle Theorien und Ansätze zum situierten Lernen - insbesondere solche mit einer gemäßigt konstruktivistischen Auffassung - zwei wichtige Komponenten als fundamental an: Erstens Lernen findet stets in konkreten Situationen statt, zweitens Lernen stellt in seinen wesentlichen Teilen soziale Kognition dar. „Durch die Berücksichtigung situativer Aspekte des Lernens und dem daraus resultierenden aktiv-konstruktiven Anteil der Lernenden werden pragmatische Aspekte des Lernens zentral, wie zum Beispiel die Ziele und die Motivation der Lernenden.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 143) Alle konstruktivistischen Ausrichtungen und Auffassungen beruhen auf der Annahme, dass Lernen als aktiver Konstruktionsprozess des Lernenden zu konzipieren ist. „Für Konstruktivisten ist das Lernen insgesamt ein Prozess, in welchem sich das Verstehen der Lernenden im Rahmen ihres bisherigen Wissens und Könnens mit neuen Erfahrungen durch Transformation erweitert, das heißt es geht nicht darum, neue Informationen, wie sie bestehen, einfach zu übernehmen, sondern die konkreten Erfahrungen entstammenden Informationen sollen das vorhandene Wissen und Können erweitern (so konstruieren, dass es reichhaltigen und komplexen Situationen gerecht wird).“ (DUBS 1993, S. 452) Nach Auffassung der situierten Kognition beziehungsweise des situierten Lernens kann Wissen daher nicht mehr nur als abstrakte Einheit verstanden werden, die unabhängig von Situationen stets die gleiche Gültigkeit besitzt; sie lässt sich nicht von den Handlungsregeln und dem Sinn ihres Erwerbskontexts lösen (GERSTENMAIER/MANDL 1996). Wissen wird in verschiedenen Situationen von den Lernenden jeweils neu konstruiert und kann daher auch nicht einfach von einer Person auf eine nächste Person übertragen werden, sondern entsteht immer durch einen aktiven Konstruktionsprozess des Lernenden selbst. „Kognition wird nicht als Prozess angesehen, der ausschließlich im Kopf von Individuen stattfindet, sondern vor allem im sozialen Austausch. Lernen und Kompetenzerwerb können dem-

zufolge nicht nur als individueller Fortschritt beschrieben werden, sondern beinhalten zugleich das Hineinwachsen in *eine community of practice*.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 143) „Daher spielt die Situation, in der der Lernprozess stattfindet, eine zentrale Rolle. Das Gelernte kann unter keinen Umständen vom Akt des Lernens und von der Situation getrennt werden, in der gelernt wird (Vosniadou, 1994); damit kann die Grundrichtung der situierten Kognition als eine Synthese aus kognitiven Theorien, die personeninterne Prozesse fokussieren, und Verhaltenstheorien, die ihr Hauptaugenmerk auf situationale Verhaltensdeterminanten richten, angesehen werden (Greeno, 1992). Lernen wird infolgedessen immer als situiert aufgefasst. Es ist stets ein Prozess, in dem personinterne Faktoren mit personexternen, situativen Komponenten in Wechselbeziehung stehen.“ (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, S. 168) Die meisten, der in der Literatur dargestellten Ansätze zur situierten Kognition⁷³ teilen diese wesentliche epistemologische Aussage bezüglich der Rekonzeptualisierung der kognitiven Entwicklung bei Lernenden in Bezug auf Wissen und Handeln; „danach ist Wissen nicht eine Substanz, die gespeichert werden kann, sondern lässt sich als eine emergente Beziehung beschreiben, die aus einer andauernden Interaktion zwischen Körper, Gehirn und Welt entsteht. Wissen ist nicht das Produkt einer sequentiellen Informationsverarbeitung, sondern wird als eine adaptive Praxis verstanden, als Ergebnis von Interaktionen zwischen sozialen und materiellen Systemen.“ (LAW 2000, S. 274)

Fasst man die gemäßigten Ansätze zum situierten Lernen, wie sie von den kognitionspsychologisch und den anthropologisch orientierten Forschern konzipiert wurden, zusammen, so lässt sich eine weitgehende Übereinstimmung mit dem in Kapitel 2.2.6.1 dargelegten Prozessmerkmalen des Wissenserwerbs erkennen: Für gemäßigte Konstruktivisten findet Lernen nicht durch Informationsaufnahme statt, sondern durch deren Interpretation. Erfolgreiches Lernen hängt diesem Verständnis nach von unterschiedlichen Faktoren ab: „von der Lernintention, der metakognitiven Selbstkontrolle, dem Elaborationsniveau und den konstruierten Repräsentationen der individuellen Lerner. Lernende werden als aktiv, selbstgesteuert und reflexiv [...] angesehen.“ (LAW/WONG 1996, S. 125) Dabei kommen stets multiple Lernkontexte zur Anwendung, die das selbe Lerngebiet zu verschiedenen Zeiten, in veränderten Bedingungen, unter anderen Zielsetzungen und aus unterschiedlichen konzeptuellen Perspektiven beleuchtet. „Diese instruktionale Maßnahme zielt darauf ab, die Generierung multipler und damit flexibler Wissensrepräsentationen zu fördern, was eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis komplexer Problemsituationen und den Transfer von Wissen auf neue Situationen darstellt. Zudem soll dadurch die Vernetztheit von Konzepten deutlich gemacht und der gerade in komplexen Domänen häufig beobachtbaren Tendenz zur Übervereinfachung entgegengewirkt werden.“ (MANDL ET AL. 1999, S. 217)

Die Folgerungen für den Unterricht fallen dabei leider nicht so einheitlich und darüber hinaus für deren Umsetzung leider nur auf einem recht allgemeinen Niveau aus. Neben der philosophischen Grundauffassung, dass Kognition und Kultur nicht voneinander trennbar sind, und der Maßgabe, dass zur Planung von Unterricht „Person, Handlung und Setting“ gemeinsam analysiert werden müssen, findet man als unterrichtliche Implikation lediglich die bereits viel diskutierte „epistemologische Grundannahme, dass Wissen aktiv konstruiert und nicht passiv absorbiert wird.“ (Ebd., S.129) Da diese Implikationen der skizzierten Unterrichtsmodelle aber weitestgehend theoretische Bedeutung besitzen, sollen im anschließenden Kapitel 2.2.6.5.1

⁷³ Vgl. SUCHMAN'S Theorie der situierten Handlung und Handlungspläne (1987), GREENO'S Theorie der Situativität (1992), RESNICK'S Theorie des situierten Rationalismus (1987) oder die Theorie der Kopplung von Wahrnehmung, Konzeptualisierung und Handlung von CLANCEY (1993).

Möglichkeiten zur praktischen Umsetzung der Theorien situierter Kognition vor dem beschriebenen Forschungsziel dieser Arbeit einer gesonderten Betrachtung unterzogen werden.

Der Verdienst der nachfolgend dargestellten drei Ansätze zur situierter Kognition ist darin zu sehen, dass sie auf die Vernachlässigung situationaler und sozialer Dimensionen in der bislang dominierenden Kognitionspsychologie hingewiesen haben. Diese definiert Lernverhalten als eine Funktion kognitiver Strukturen bei der situative oder soziale Gegebenheiten nur dann eine Rolle spielen, wenn sie in symbolisch repräsentierter Form vorliegen. „Damit unterscheidet sich das kognitive Paradigma fundamental vom behavioralen Paradigma, das in situativen Merkmalen die primären Verhaltensdeterminanten sieht.“ (RENKL 1996, S. 86) Für ihn weisen in Bezug auf die Effekte ausbleibender Wissensanwendung alle Ansätze der situierter Kognition darauf hin, dass es um einen unzureichenden Erklärungsversuch handelt, das Problem der ausbleibenden Wissensanwendung als Phänomen zu konzipieren, „bei dem ein unabhängig von Situationen existierendes und in den kognitiven Systemen von Individuen lokalisiertes Wissen nicht zur Anwendung gebracht werden kann“. (Ebd.) Die Perspektive der situierter Kognition rückt für ihn wieder verstärkt die Merkmale der Interaktion von der Person des Lernenden und seiner (Lern-)Umwelt sowie aller damit verbundenen sozialen Aspekte in den Mittelpunkt der Betrachtung und gilt es zu berücksichtigen.

Insgesamt, so lässt sich feststellen, hat sich in den letzten Jahren das Interesse der Pädagogik an den Prinzipien und an den Methoden zur Förderung des explorativen Lernens zunehmend verstärkt (STRAKA 2000, 2001b, KLIEME ET AL. 2003). Insbesondere die nachfolgenden drei situated cognition-Ansätze mit ihrer konstruktivistischen beziehungsweise situierter Sicht des Lernens haben den Vorstellungen einer offenen Lernumgebung mit möglichst wenig instruktionaler Steuerung durch den Lehrer zu neuer Aktualität verholfen. Aber auch die konsequente Einführung lernfeldorientierter KMK-Rahmenlehrpläne seit dem Jahr 1996 hat auf curricularer Ebene entscheidend für eine breitere Akzeptanz gesorgt (GAUL/TAUSCHEK 2002): An die Stelle der Instruktion durch den Lehrenden tritt die (Bedeutung-)Konstruktion durch den Lernenden. Dem Lernfeldprinzip der KMK (BADER/MÜLLER 2002, KMK 2000, 2001, SLOANE 2000) als auch den „situated cognition-Ansätzen liegt die Annahme zugrunde, dass Wissenserwerb eine vom Lernenden [...] selbst initiierte und gesteuerte Aktivität ist, die allein von den persönlichen Erfahrungen und Interpretationen des Individuums abhängt. Die Lernumgebung kann dem Lernenden daher lediglich Angebote zum Wissenserwerb machen und Hausforderungen zum Handeln und Problemlösen bieten.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 481 f.)

Die situated cognition-Ansätze haben darüber hinaus gezeigt, dass die neue Computertechnologie zunehmend geeignetere Lernumgebungen dafür liefern kann, realitätsnahe Probleme unterrichtlich zu bearbeiten, neue Situationen zu explorieren und selbst gesteuert neues Wissen und neue Kompetenzen zu erwerben beziehungsweise bereits bestehende weiter zu entwickeln. In Simulationen, die vor allem in domänenspezifischer beruflicher Ausbildung eingesetzt werden, wird entdeckendes Lernen angestrebt sowie ein Lernen an Beispielen hierdurch verstärkt ermöglicht⁷⁴ (MANDL/GRUBER/RENKL 1995). „Versteht man den Konstruktivismus als eine Perspektive und verzichtet [...] auf einen fundamentalistischen Geltungsanspruch, dann bietet er gegenwärtig den vielleicht vielversprechendsten theoretischen Rahmen für eine Analyse und Förderung von Prozessen des Wissenserwerbs“ (GERSTENMAIER/MANDL

⁷⁴ Zu Beachten ist dabei allerdings, dass Simulationen ein hohes Maß an explorativer Kompetenz seitens der Schüler erfordern.

1995, S. 883 f.) nicht nur in den unterschiedlichsten sozialen Kontexten, sondern vor allem bei der Bearbeitung realitätsnaher komplexer Problemsituationen.

2.2.6.5.1 Situierete Ansätze zur Gestaltung von Lernumgebungen und Unterrichtsmodelle

In den letzten Jahren wurden innerhalb der Unterrichtsforschung verschiedene Instruktionsmodelle innerhalb der situierten Kognition entworfen, die sich die Vermittlung anwendbaren Wissens zum Ziel gemacht haben. Im folgenden soll aufgezeigt werden, dass Modelle des situierten Lernens nicht nur dann eine erfolgversprechende Ergänzung traditioneller Wege des Lernens und Lehrens darstellen, wenn man von den Grundannahmen der Modelle der situierten Kognition ausgeht, sondern auch unter anderen theoretischen Vorannahmen zum Problem des trägen Wissens. Das gemeinsame Ziel der drei nachfolgend dargestellten Ansätze zur Gestaltung situierter Lernumgebungen ist darin zu sehen, das kritische und reflexive Denken von Lernenden zu unterstützen. „Der Ausgangspunkt des Lernens sollte dabei ein möglichst interessantes Problem sein, das die Lernenden dazu motiviert, sich bestimmtes Wissen anzueignen, um damit einer Problemlösung näher zu kommen.“ (RENKL 1996, S. 87 f.) Das Wissen wird also nicht in systematischer fachwissenschaftlicher Weise wie im typisch-traditionellen Unterricht, sondern gleich in seinen (möglichen) Anwendungskontext erworben. Im Mittelpunkt der Projekte ruhen sieben Grundsätze, auf deren Fundament die nachfolgend beschriebenen Ansätze zur Gestaltung von Lernumgebungen entwickelt wurden (LAW 2000, S. 279). Die Vertreter aller drei Ansätze wollen zu einer aktiven Auseinandersetzung mit komplexen Problemen in weitgehend authentischen Kontexten anregen (problemorientiertes Lernen) und die Reichweite des aufgebauten neuen Wissens speziell für die Bearbeitung komplexer und realitätsnaher Problemsituationen erhöhen:

- 1 Einbindung von Lernenden in untersuchungsähnliche Aktivitäten, die aus Exploration, Beobachtung, Austausch, Anwendung und Evaluation bestehen
- 2 Bereitstellung einer motivierenden Lernumgebung, in der eine Atmosphäre der Entdeckung neuen Wissens dominiert, in der die Suche nach Verständnis bestärkt und Selbstkritik gern gesehen wird
- 3 Unterstützung von Diskurs und gemeinsamer Wissensaneignung
- 4 Einbettung in eine konzentrierte Untersuchung gut verarbeiteten inhaltlichen Wissens
- 5 Delegation unterschiedlich verteilter Expertise durch kooperative Partizipation
- 6 Instruktionen und Messung von Leistungen im Rahmen geleiteter Praxis mit unterschiedlichen Zonen der proximalen Entwicklung
- 7 „Communities of Practice“, in der Novizen von Experten gemeinsam partizipieren.

Die Eingangs erörterten Probleme zum trägen Wissen werfen die Frage auf, welche instruktionalen Maßnahmen geeignet sind, die Reichweite des erworbenen Wissens zu erhöhen. Da die Kernidee aller drei Ansätze zur situierten Kognition darin besteht, dass Lernende an komplexen und möglichst realitätsnahen Problemen arbeiten sollen und dadurch leicht überfordert werden können, benötigen sie entsprechende instruktionale Hilfen. Die Umsetzung der notwendigen Balance zwischen Instruktion und Konstruktion bei der Gestaltung von Lernumgebungen wird in den nachfolgenden drei Ansätzen am dezidiertesten Rechnung getragen. Vor allem aus diesem Grund setzt sich diese Arbeit vor dem Hintergrund der Förderung einer komplexen Problemfähigkeit bei Schülern intensiver damit auseinander.

Beispiel 1

Ein sehr gutes Beispiel für die Umsetzung der theoretischen Postulate der situated cognition-Ansätze ist das Vorhaben der *Anchored Instruction* (BRANSFORD ET AL. 1991, THE COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT 1991, 1992). Hierbei werden so genannte „Ankerreize“ gesetzt, indem komplexe authentische Problemsituationen per Multimedia präsentiert werden, die die Schüler dazu anregen sollen, sich mit dem dargestellten Problem intensiv auseinander zu setzen⁷⁵. Zentral für eine wirksame Lernumgebungen ist dabei ein narrativer Anker, der bei den Lernenden Interesse erzeugt, ihnen die persönliche Identifizierung und das eigene Definieren von Problemen erlaubt sowie ihre Aufmerksamkeit auf das Wahrnehmen und Verstehen dieser Probleme lenkt (GERSTENMAIER/MANDL 1995). Der Ursprung dieses Konzepts lässt sich in der Beschäftigung einer Forschergruppe um BRANSFORD in Nashville (Tennessee, USA) mit dem Problem des „trägen Wissens finden. „Mit dem Konzept der Anchored Instruction soll dieses Problem der fehlenden Wissensnutzung überwunden werden. Als anchored wird die Instruktion deshalb bezeichnet, weil den Lernenden die bereits angesprochenen Ankerreize in Form von Geschichten (narrative Struktur) geboten werden, die zunächst Interesse wecken und dann die Möglichkeit bieten, eigenständig und explorativ Probleme zu erkennen, zu definieren und zu lösen. Das Bereitstellen von „Makrokontexten“ (ein Problem wird in einen größeren Sinnzusammenhang überführt) wird dabei als entscheidend für den Erwerb anwendbaren Wissens angesehen (LAW/WONG 1996). „Für die Gestaltung narrativer Anker werden Prinzipien wie zum Beispiel videobasiertes Format, narratives Format, generatives Lernformat, eingebettete Daten und Problemkomplexität postuliert.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 368) Bereits in den ersten empirischen Untersuchungen zeigte sich, dass die Bearbeitung vor allem die Strukturierung und Lösung komplexer Probleme fördert und dass die Schüler hoch motiviert sind, diese Kenntnisse zu erwerben (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997).

Die COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT (1999) weist in ihren Arbeiten auf sieben Gestaltungsprinzipien hin, die ihnen im Zusammenhang mit der Entwicklung von Lernumgebungen zur Förderung (komplexer) Problemlösefähigkeiten grundlegend scheinen (vgl. auch REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 482; MANDL/GRUBER/RENKL 1995, S. 173):

- 1 Förderung intrinsischer Motivation und Unterstützung der Entwicklung „mentaler Situationsmodelle“ durch die Verwendung video-basierter Präsentationsformate (videobasiertes Format)
- 2 Verwendung bedeutungsvoller Kontexte und Einbeziehung der Vorwissensbasis der Lernenden durch den Einsatz „Narrativer Formate“ (narrative Struktur)
- 3 Förderung von Kompetenzen zur Problemdefinition durch die Verwendung „Generativer Lernformate“ (generatives Lernformat)

⁷⁵ Die Lernenden werden dabei in Geschichten verwickelt, so dass sie selbst Lernprozesse initiieren, anstatt eine passive Rolle im Unterricht einzunehmen und die Lerninhalte nur zu rezipieren. Die Lernenden müssen versuchen, auftretende Probleme selbst zu entdecken und geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln. Die Geschichten sind so angelegt, dass die Schüler immer wieder auf wichtige Informationen stoßen, denen sie ursprünglich keine Aufmerksamkeit schenken. Diese in die Geschichte eingebetteten Daten und Fakten erweisen sich im Laufe des Problemlösungsprozesses jedoch als wichtig für Entscheidungen über das weitere Vorgehen. Eine Reihe von ausgefeilten Geschichten liegen bereits für den schulischen Einsatz vor (THE COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT 1991, 1992).

- 4 Förderung der Kompetenz zur Auswahl und Suche der zu einer erfolgreichen Problemlösung relevanten Informationen durch die Einbettung aller für die Problemlösung erforderlichen Daten in die Geschichte (eingebettete Daten)
- 5 Förderung der Kompetenz, mit Komplexität umgehen zu können (Problemkomplexität)
- 6 Ermöglichen multipler Problemperspektiven sowie Flexibilisierung der Anwendung erworbener Kenntnisse durch „Paare verwandter Abenteuer“ (Paarbildung der Geschichten)
- 7 Vermeidung einer Wissenskompartimentalisierung durch die Integration von Fächern (Fächerverknüpfung bzw. Fächer übergreifender/verbindender Ansatz).

Mit dem Ansatz der anchored instruction-Theorie werden also komplexe authentische Lernumgebungen kreiert, die insbesondere auf explorierendes, offenes Lernen abzielen. Zur Erhöhung der Reichweite des dabei erworbenen Wissens werden unterschiedliche Anwendungskontexte angeboten; wodurch eine Dekontextualisierung des situiert erworbenen Wissens erzielt wird. „Indem beim situierten Lernen Wissen aus unterschiedlichen Kontexten gewonnen wird, erfährt der Lernende bereits beim Wissenserwerb, welches Wissen übertragbar beziehungsweise situationsspezifisch ist und wie Wissen übertragen wird.“ (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, S. 173) „So wird gleichzeitig Wissen über die Anwendung von Wissen erworben und damit die Flexibilität von Wissen unterstützt.“ (GERTENMAIER/MANDL 1995, S. 876)

Beispiel 2

Die Vertreter der *Cognitive Flexibility*-Theorie⁷⁶ (SPIRO ET AL. 1988), „einem instruktionspsychologischen Ansatz aus der Expertiseforschung (GRUBER/ZIEGLER 1996)“, bemühen sich bei der Gestaltung von Lernumgebungen um eine „Vermeidung von Übervereinfachungen und die Darstellung realer Komplexitäten und Irregularitäten insbesondere in wenig strukturierten Inhaltsgebieten“.⁷⁷ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 369) Die Bedeutung flexibler Zugänge bei dem Aufbau einer komplexen Problemlösefähigkeit wurde bereits in einer Reihe von Ansätzen zum Kompetenzerwerb hervorgehoben, die allesamt ihre Vorläufer in der Gestaltpsychologie haben. „Wenn man in einer einzigen Repräsentation eines Problems gefangen ist, kann es sehr schwierig werden, alternative Lösungsmöglichkeiten zu erkennen. Um dieses Problem zu vermeiden, ist es hilfreich, einen Lerngegenstand in verschiedenen Kontexten zu bedenken.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 144) Beim dabei eingesetzten Verfahren, dem so genannten *Landscape Criss-Crossing*, wird entsprechend dasselbe Konzept zu verschiedenen Zeiten in veränderten Kontexten, unter veränderter Zielsetzung und aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. So soll das Lernen „multidirektional und multiperspektivisch“ ermöglicht werden, „um ein facettenreiches Wissen und dessen flexible Anwendung sicherzustellen“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 369) und zugleich einer Einschränkung auf spezifische Aspekte nur eines Kontextes vermieden werden. Diese instruktionalen Maßnahmen sollen die Generierung multipler und damit flexibler Wissensrepräsentationen befördern, „was eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis komplexer Problemsituationen und den Transfer von Wissen auf neue Situationen darstellt“. (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 144) Die Autoren entwickelten ihren Ansatz allerdings speziell für fortgeschrittene Lernende, die bereits über ein gewisses Maß an (Grund-)Wissen in einer Domäne verfügen.

In der von SPIRO und seinen Mitarbeitern entwickelten Theorie nimmt die Einnahme multipler Perspektiven im Lernprozess eine zentrale Rolle ein. Der Ansatz der kognitiven Flexibilität

⁷⁶ Auch random access theory oder random access instruction der kognitiven Flexibilität genannt

⁷⁷ Z. B. Medizin oder Literaturwissenschaft

geht davon aus, dass die Generierung multipler Repräsentationen umso bedeutsamer ist, je komplexer die Aufgaben und je weniger strukturiert das Lernen in den entsprechenden Domänen sich darstellt. Ziel instruktorischer Maßnahmen ist es, „multiple und damit flexible Repräsentationen zu induzieren, die flexibel in einer Vielzahl von Kontexten herangezogen werden können. Dabei wird angenommen, dass bei der Wissensnutzung das Vorwissen nicht lediglich als geschlossene Einheit abgerufen wird, sondern dass in der Problemsituation mit den multiplen Konzeptrepräsentationen Wissen konstruiert wird, das zur Problembewältigung geeignet ist.“ (GERSTENMEIER/MANDL 1995, S. 876) „Wissen, das anwendbar sein soll, muss im Rahmen seiner kontextuellen Bezüge gesehen werden; insbesondere gilt es als effektiv, wenn der Lernende mit multiplen Kontexten konfrontiert wurde und die Möglichkeit hatte, Probleme von multiplen Perspektiven aus zu betrachten, weil dadurch beim Lernen diverse Anwendungsmöglichkeiten desselben Wissens erfahren werden und damit dessen spezielle Anwendungsbedingungen gelernt werden.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 144)

„Untersuchungen über die Wirkung multiperspektivischen Lernens liegen bislang kaum vor.“ (GERSTENMEIER/MANDL 1995, S. 876 f.) Es zeigte sich jedoch beim *Cognitive Flexibility*-Ansatz, dass das Lernen mit multiplen Perspektiven nur dann die angestrebte Handlungskompetenz fördert, wenn die Lernumgebung gleichzeitig über die Möglichkeit der instruktionalen Anleitung für Schüler erhält (STARK ET AL. 1995, 1996, 2001). Erste empirische Studien weisen bei Experimentalgruppen im Vergleich zu Kontrollgruppen bei Anwendungsaufgaben bessere Transferleistungen auf. Untersucht wurde dabei insbesondere, welche Lernende besonders von Lernumgebungen profitieren, die gemäß der *Cognitive Flexibility*-Theorie gestaltet werden (JACOBSON/SPIRO 1992). Es zeigte sich, dass Lernende, die eine Neigung zur Auseinandersetzung mit komplexen Problemstellungen aufweisen, dabei signifikant bessere Lernerfolge erzielten als diejenigen mit einer Sympathie für gut strukturierte Lernumgebungen.

Beispiel 3:

Das dritte Beispiel einer Lernumgebung, die durch konkrete instruktorische Hilfen die individuelle Wissenskonstruktion fördern will, ist der *Cognitive Apprenticeship*-Ansatz von COLLINS/BROWN/NEWMAN (1989). „Die Autoren vertreten die Meinung, dass die Schule zwar verhältnismäßig erfolgreich umfangreiches Begriffs- und Faktenwissen vermittele, die Schüler dabei aber nicht zur Fachkundigkeit (expertise) führe. Als Grund für dieses Missverhältnis vermuten sie, dass zu wenig beachtet wird, wie Fachleute ihr Wissen erwerben oder einsetzen, wenn sie komplexe und wirklichkeitsgetreue Aufgaben bearbeiten - mit der Folge, dass viele Schüler nur unverbundenes und träges Begriffs- und Problemlösewissen aufbauen.“ (STRAKA/MACKE 2002, S. 122) Der *Cognitive Apprenticeship*-Ansatz betont deshalb besonders „das Explizitmachen kognitiver Prozesse, die somit für Rückmeldung und Reflexion zugänglich werden.“ (LAW/WONG 1996, S. 134) COLLINS ET AL. haben in ihrem Ansatz das Modell der traditionellen Handwerkslehre weiterentwickelt, um es auch für „kognitive Domänen“ (zum Beispiel Mathematik, Lesen) in der schulischen Bildung nutzbar zu machen. „Dabei betonen sie, dass beim Lernen eine Explikation kognitiver Prozesse (zum Beispiel Strategien, Heuristiken) stattfinden sollte. Damit werden kognitive Prozesse annähernd so explizit wie manuelle Tätigkeiten in der traditionellen Lehre und können Gegenstand von Reflexion und Rückmeldung werden.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 145)

„Ausgehend von der Expertiseforschung unterscheiden COLLINS ET AL. (1989) zwischen dem leicht explizierbaren Gegenstandswissen von Experten und dem impliziten strategischen Wissen der Expertenpraxis.“ (GERSTENMEIER/MANDL 1995, S. 877) Implizites Wissen lässt

sich für die Autoren außerhalb komplexer und authentischer Expertenpraxis nur schwierig erklären und sich daher am besten situiert, das heißt in der Interaktion zwischen Lernenden und Experten, erwerben. Die Grundidee dieses Ansatzes besteht darin, „dass die Lernenden nach dem Vorbild der traditionellen Handwerkslehre über authentische Aktivitäten und soziale Interaktionen inhaltliches (domänenspezifisches) Wissen sowie strategisches Wissen (Heuristiken, Kontroll- und Lernstrategien) erwerben und dabei gleichzeitig in die Expertenpraxis eingeführt werden.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 488) Zugleich sind in die Lernumgebung verschiedene Grade und Qualitäten äußerer Anleitung integriert, die dabei Wissen als eine Art Werkzeug betrachten, „das im Kontext des entsprechenden Fachgebietes entwickelt und auf diese Weise auch gleich angewendet wird [...] Anders als in der traditionellen Handwerkslehre stehen im Cognitive Apprenticeship-Ansatz allerdings weniger manuelle als vielmehr kognitive Fertigkeiten im Vordergrund. (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 488)

Hauptanliegen des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes ist es demnach, die von der Handwerkslehre her bekannten und stark anwendungsorientierten Vermittlungsprinzipien auf den Umgang mit komplexen Systemen in kognitiven Wissensgebieten (Domänen) zu übertragen. Die entscheidende Technik des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes ist, „Lernende durch die Teilnahme an authentischen Handlungen und sozialen Interaktionen in die Kultur von Experten aufzunehmen.“ (LAW/WONG 1996, S. 134) Dabei werden die Lernumgebungen zunehmend komplexer und differenziert gestaltet, damit die ursprüngliche Kontextgebundenheit zugunsten einer flexiblen Nutzung neuer Inhalte wieder aufgelöst werden kann (Ebd.). Mit größer werdender Selbststeuerungsfähigkeit ihres eigenen Lernprozesses sowie zunehmend breiterer Wissensbasis bei den Lernenden nehmen sich die Experten dann stetig in ihrer instruktionalen Begleitung aus dem gemeinsamen Arbeiten und Lernen zurück. „Dabei ergibt sich die Schwierigkeit, dass [diese] zunächst nicht sichtbare[n] kognitive[n] Vorgänge sichtbar gemacht werden, also externalisiert werden müssen.“ (GERSTENMEIER/MANDL 1995, S. 877) Als Lösung dieses Problems sieht der Ansatz von COLLINS/BROWN/NEWMAN daher den ständigen Dialog zwischen Lernenden und Experten als außerordentlich bedeutsam für deren Verstehensprozess an. Die verbalisierten kognitiven Prozesse werden ausdrücklich zum Gegenstand unterrichtlicher Reflexion gemacht, „was wiederum zur Induktion allgemeiner und abstrakter Schemata führt“. (LAW/WONG 1996, S. 134)

Im Vergleich zur *Cognitive Flexibility*-Theorie und zum *Anchored Instruction*-Ansatz sehen die Autoren das wirksamste Element des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes in der expliziten Unterweisung von Lernenden und der damit verbundenen instruktionalen Methode. Neben der Anwendung eines spezifischen Methodenrepertoires (modeling, coaching, scaffolding, fading, articulation, reflection, exploration)⁷⁸ gilt das Prinzip, die Lernumgebung zunehmend komplexer und unterschiedlicher zu gestalten. „Dabei werden verschiedene Kontexte herangezogen, um kooperatives Lernen zu fördern. Vor allem die Kooperation [...] soll den Lernenden dabei helfen, sich zu Mitgliedern der Expertenkultur zu entwickeln und unterschiedliche Herangehensweisen, Standpunkte und Sichtweisen etwa bei Problemlösungen kennen zu lernen.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 369 f.) Mittels der „Kognitiven Meisterlehre“ sollen Lernumgebungen so gestaltet werden, dass sie bei den Lernenden gleichzeitig vier Bereiche von Expertenwissen fördern: bereichsspezifisches Wissen, heuristische Strategien, Kontroll- und Lernstrategien (STRAKA/MACKE 2002).

⁷⁸ Für weitergehende Ausführungen wird an dieser Stelle auf COLLINS/BROWN/NEWMAN (1989) oder auf REIMANN-ROTHMEIER/MANDL (1998) verwiesen.

Mit diesem Methodenrepertoire werden den Lernenden realistische Probleme der Expertenpraxis in einer sozial gestalteten Lernumgebung angeboten, in der sie nicht nur Wissen, sondern auch den zugehörigen Anwendungskontext dieses Wissens erfahren. „Mit multiplen Kontexten wird die Abstraktion und der Transfer des Wissens gefördert und damit der Gefahr begegnet, dass das neu erworbene Wissen auf einen Anwendungskontext fixiert bleibt.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 488) Diese Einbindung der Lernenden in eine Expertenkultur⁷⁹ stellt dabei eines der wichtigsten Merkmale des Ansatzes dar. „Zusammen mit der Situietheit des Lernens, durch die der Nutzen und die Anwendbarkeit des neuen Wissens hervorgehoben wird, kann damit der soziale Kontext des Lernens konkret umgesetzt werden. Eine Flexibilisierung und Dekontextualisierung des Wissens soll - ähnlich wie bei BRANSFORD und SPIRO - durch die Einbeziehung von unterschiedlichen Problemkontexten erreicht werden. Dazu kommt noch die Übernahme multipler Perspektiven durch die Ausübung unterschiedlicher Rollen im Prozess des Wissenserwerbs.“ (GERSTENMEIER/MANDL 1995, S. 877 f.)

Als Beleg für die Lernwirksamkeit des cognitive apprenticeship-Ansatzes existieren inzwischen vielfältige Einzeluntersuchungen. Drei solcher Studien mit effektiven Lernumgebungen aus unterschiedlichen Domänen werden zum Beispiel von COLLINS ET AL. (1989) angeführt. Weitere empirische Belege, in denen sich jeweils Komponenten des cognitive apprenticeship finden lassen, weisen die Arbeiten von BEREITER/SCARDAMALIA (1985), PALINCSAR/BROWN (1985), SCHOENFELD (1985) oder GRÄSEL/MANDL (1993) auf. Den endgültigen empirischen Beleg für die Wirksamkeit ihres Ansatzes sind die Anhänger des cognitive apprenticeship allerdings bis heute ebenfalls noch schuldig geblieben (LAW/WONG 1996).

Bei allen drei der vorgestellten praktischen Ansätze zur Gestaltung situierter Lernumgebungen mit dem Ziel der Förderung einer komplexen Problemlösefähigkeit in realitätsnahen Kontexten stehen pädagogische Überlegungen im Vordergrund, bei der Auswahl unterrichtlicher Probleme und Aufgaben den Lernenden gleichzeitig die Vorzüge möglicher (Lösungs-) Techniken oder Methoden mit zu veranschaulichen. Zugleich wird ihnen die Möglichkeit geboten, diese Techniken und Methoden unter verschiedenen Bedingungen anzuwenden. Die Aufgaben und Probleme werden dabei auf die subjektiven und sich ständig verändernden Erfordernisse des Lernens und nicht auf die - äußerlich scheinbar objektiv-fachsystematischen - Arbeits- und Geschäftsprozesse abgestimmt. Anschließend wird besonderer Wert darauf gelegt, das konstruierte Wissen aus seinem Anwendungszusammenhang heraus zu lösen, um es für unterschiedliche Kontexte und Problemkonstellationen anwendbar beziehungsweise einsatzfähig zu machen. Die drei Ansätze zur situierten Kognition machen aber auch deutlich, dass eine Technik des modellhaften „Vorführens“ strukturierter Instruktionen und deren (individuell) angemessenen Rücknahme formalisiert werden kann.

Sie verdeutlichen darüber hinaus aber auch die Rolle computergestützter Modellbildung und Simulation im Zusammenhang mit der Gestaltung von Lernumgebungen. „Rechner eröffnen persönliche Zuwendung in einem Umfang, ohne den eine unterstützende Anleitung (coaching) und ausklingende strukturierte Unterstützung (scaffolding), wie sie in der Lehrlingsausbildung üblich sind, in der Schule nicht realisierbar wäre.“ (STRAKA/MACKE 2002, S. 133) Noch wichtiger erscheint in diesem Zusammenhang allerdings die Vermutung zu sein, dass computerge-

⁷⁹ Durch das gemeinsame Arbeiten und Lernen an komplexen Problemen mit Experten definieren sich die Schüler im Laufe der Zeit selbst als Mitglieder dieser Expertenkultur. Dieses kooperative Lernen bietet ihnen die Möglichkeit, eigene und fremde Problemlösungen zu vergleichen und unterschiedliche Perspektiven einzunehmen.

stützte Lernumgebungen es den Lehrenden ermöglichen, durch eine genauere Beschreibung des Wissenserwerbsprozesses bei den Schülern Schwierigkeiten bei ihrem Lernprozess (auf dem Weg vom Neuling zum Experten in einer Domäne) rechtzeitig zu erkennen sowie deren Lernaktivität in eine optimale Abfolge zu bringen. Für STRAKA/MACKE (2002) birgt diese Art von Wissen nicht nur Implikationen für die Gestaltung computergestützter Lernumgebungen, sondern ganz allgemein für Lehrerbildung, Curriculumentwicklung und deshalb letztendlich auch für die Bildungspolitik.

2.2.6.5.2 Situierte Kognition und Instruktion: Wie wird situierte Kognition gestaltet?

Die Theorie der situierten Kognition kann nach ihren bisherigen (theoretischen) Annahmen als eine Systemtheorie verstanden werden, die den Lernenden selber als ein selbstorganisiertes System beschreibt, das mit seiner sozialen und materiellen Umgebung in Beziehung steht. Damit allerdings die positiven Wirkungen einer konstruktivistischen Lernumgebung eintreten können, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 879):

- Eine Lernumgebung muss dem Lernenden aus situierter Sicht tatsächlich bestehende Freiheitsgrade bieten: Neue Inhalte dürfen nicht als fertiges System beziehungsweise als eine Welt abgeschlossener Erkenntnisse präsentiert werden. Der Lernende muss vielmehr die reale Möglichkeit haben, eigene Wissenskonstruktionen und Interpretationen vorzunehmen sowie eigene Erfahrungen zu machen.
- Der Lernende muss die bestehenden Freiheitsgrade der Lernumgebung auch erkennen können. Eine Lernumgebung, die zwar aus der Sicht ihres Gestalters Freiheitsgrade zur Wissenskonstruktion bietet, die aber aus der Perspektive des Lernenden nicht erkennbar sind, kann nicht als situiert bezeichnet werden. Für das Lernen im situierten Sinne ist lediglich die subjektiv wahrgenommene Situation und damit auch nur der subjektiv wahrgenommene Handlungsspielraum relevant.
- Erst wenn der tatsächlich vorhandene und subjektiv wahrgenommene Handlungsspielraum vom Lernenden genutzt wird, ist die Lernumgebung in dem Sinne situativ, als sie den Prozess der Konstruktion neuen Wissens ermöglicht und fördert.

Die Debatte um die situierte Kognition und ihre konstruktivistische Auffassung über den Lernprozess hat auch Eingang in die Instruktionspsychologie gefunden und zu einer lebhaften Diskussion über die Gestaltung von Lernumgebungen zur Förderung des selbstgesteuerten Lernens sowie der Entwicklung einer komplexen Problemlösekompetenz geführt. Folgende konstruktivistische Grundelemente wurden aus dieser Debatte übernommen (Ebd., S. 874 f.):

- Lernende konstruieren ihr Wissen, indem sie wahrnehmungsbedingte Erfahrungen interpretieren, und zwar in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen, von gegenwärtigen mentalen Strukturen und bestehenden Überzeugungen.
- Was wir wissen, stammt also nicht aus irgendeiner externen Quelle, sondern ist vom Individuum generiert. Generative Verarbeitung beinhaltet, dass neue Informationen mit dem Vorwissen verknüpft werden, um elaborative Wissensstrukturen aufzubauen.
- Zentral für den Wissenserwerb ist das soziale Aushandeln von Bedeutungen, das auf der Grundlage kooperativer Prozesse zwischen Lehrenden und Lernenden erfolgen kann. Gestalter von Lernumgebungen sollten den Lernenden daher weniger eine normative und objektive Realität auferlegen, sondern vielmehr akzeptieren, dass jeder Lernende das gleiche Objekt oder Ereignis etwas anders interpretiert. Dies impliziert auch unterschiedliche Lernergebnisse.

- Wenn Lernenden der Bezug zu einem relevanten Kontext fehlt, dann ist die Information für sie wenig bedeutsam.
- Zur Reflexion beziehungsweise Kontrolle des eigenen Lernhandelns ist der Einsatz metakognitiver Fertigkeiten wichtig.

EULER (2001, S. 367) leitet aus diesen Grundlegungen ab, „dass sich Lernen vorzugshalber in komplexen, authentischen Problemsituationen vollziehen soll, die aus multiplen Perspektiven betrachtet und bewältigt werden“. Alle Instruktionsansätze, die auf situierten Lerntheorien beruhen, weisen diese Forderungen nach Lernen in komplexen (multimedialen) Lernumgebungen auf. Sie haben gemeinsam, „dass Lernen durch die Vorgabe komplexer Probleme motiviert wird, die es ermöglichen, dass [das; Anm. d. Verf.] zu erwerbende Wissen zur Anwendung gelangt und nicht träge bleibt. Um dies zu erreichen, beschränken sich die Ansätze nicht auf die Gestaltung externer Rahmenbedingungen für selbständiges Lernen, sondern beziehen Formen der Anleitung des Lernens in die Gestaltung von Lernumgebungen explizit mit ein.“ (BRETTSCHEIDER ET AL. 2000, S. 403 f.) RENKL (1996, S. 88) sieht durch die Wahl derartiger komplexer, realitätsnaher Ausgangsprobleme als „Lernanker“ die Forderungen der Ansätze der situierten Kognition, welche die Kontextgebundenheit des Wissens betonen, als erfüllt an. „Wenn Wissen an den situativen Kontext der Lernsituation gebunden ist, dann sollte die Lernsituation der Anwendungssituation möglichst weitgehend entsprechen.“ Die Vorgabe ansprechender Ausgangsprobleme motiviert die Schüler dabei intrinsisch. Zudem werden die ausgewählten Probleme von den Lernenden, so RENKL weiter, typischerweise in Situationen materieller und sozialer Kontexte bearbeitet.

Ein bemerkenswertes und wesentliches Merkmal der meisten Ansätze zur situierten Kognition und der damit verbundenen instruktionalen Modelle ist, dass sie explizit in der Verwendung neuer Technologien - speziell im Einsatz von computergestützter Lernumgebungen - geeignete Möglichkeiten zum erfolgreichen Umgang mit komplexen Problemen sehen. „Alle Instruktionsansätze situierten Lernens schlagen Lernen durch aktives Lösen von komplexen Problemen vor; dadurch soll die Anwendungsqualität des erworbenen beziehungsweise konstruierten Wissens erhöht werden.“ (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, S. 170) Die meisten der in der Literatur vorgestellten Ansätze zur situierten Kognition unterscheiden sich in ihren theoretischen Ausarbeitungen allerdings durch die Setzung von eigenen Schwerpunkten voneinander. Gemeinsamkeiten spiegeln sich in den bereits in den Abschnitten 2.2.6.1 und 2.2.6.4 dargelegten grundlegenden Forderungen an die Gestaltung von Lernumgebungen wider hinsichtlich

- komplexer Ausgangsprobleme
- Authentizität und Situirtheit
- multipler Perspektiven
- Artikulation und Reflexion
- Lernen im sozialen Austausch.

„Die meisten dieser Prinzipien verweisen unmittelbar auf die Präferenz zum Einsatz von Multimedia in Lernumgebungen, da die Besonderheiten der Verwendung unterschiedlicher Lernmedien gegenüber traditionellen Lernarrangements mit diesen Prinzipien korrespondieren.“ (MANDL/GRUBER/RENKL 1995, S. 174) Für die meisten Autoren stellen diese Gestaltungsprinzipien an Lernumgebungen Anforderungen dar, denen man durch die bloße Verwendung von Schul- beziehungsweise von Lehrbüchern nur ungenügend gerecht werden kann.

Den Vorzügen solcher Ansätze stehen noch theoretische und praktische Probleme gegenüber, wie sie bereits eingangs in den Kapiteln 2.2.6.3 und 2.2.6.4 diskutiert wurden. Einige der zentralen Grundannahmen der situierten Kognition sehen sich dabei immer wieder der Kritik inkonsistenter empirischer Befunde ausgesetzt (GRÄSEL/MANDL 1993, 1999). So hängen zum Beispiel die Effekte des kooperativen Lernens in authentischen komplexen Lernumwelten von einer Vielzahl von Faktoren ab, „deren Rahmenbedingungen für die Implementation von konstruktivistischen instruktionalen Ansätzen nach wie vor nicht eindeutig sind“ (LAW 2000, S. 279) und zahlreiche empirische Befunde zum Lernen in komplexen Lernumwelten berichten von „ziellos explorierenden oder sich verirrenden“ Schülern (BRETTSCHEIDER ET AL. 2000). Viele Lernende explorieren komplexe Lernumwelten spontan nur unzureichend wenig und in der Folge von Überforderung zudem noch relativ unsystematisch und oberflächlich (GRUBER ET AL. 1993). Die erhoffte Transferwirkung bleibt dann in aller Regel aus. „Liegt ein hohes Ausmaß an Selbststeuerung vor, besteht zudem die Gefahr, dass das Lernen anhand von komplexen Problemen zu Fehlern führt, die von den Lernenden nicht erkannt und daher unverändert in die eigene Wissensstruktur integriert werden.“ (Ebd., S. 404) „Phänomene der kognitiven Überlastung, wie man sie vom Lernen semantisch komplexer Inhalte her kennt [...], dürften durch den Umgang mit komplexen Lerntechnologien noch verstärkt werden: Bevor man in computerbasierten Lernumgebungen zum eigentlichen Lernen - der geistigen Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand - vordringt, sind bestimmte lernorganisatorische (Orientierung in den Lerninhalten, Auswahl von Lerneinheiten usw.) und vor allem auch technologische Probleme (Handhaben des jeweiligen Systems, Navigation innerhalb des Systems, Interpretation von Systemzuständen unter anderem) zu bewältigen.“ (FRIEDRICH/MANDL 1997, S. 266 f.)

Wie in Kapitel 2.2.6.4 aufgezeigt werden konnte, bedürfen problemorientierte Lernumgebungen komplexer und authentischer Problemstellungen. Multiple Perspektiven zu diesen Problemstellungen stellen aber selbst wiederum eine Komplexitätssteigerung dar und Anforderungen, die diese Lernumgebungen in Hinblick auf Selbststeuerung und Kooperation an die Lernenden stellen, erhöhen die Komplexität noch um ein Weiteres. Die Gefahr, Schüler mit situierten Lernumgebungen zu überfordern, ist deshalb als erheblich anzusehen und darf auf keinen Fall unterschätzt werden. Instruktionale Komponenten kommen bei der Gestaltung situierter Lernumgebungen daher besonderes Gewicht bei.⁸⁰

Diese angesprochenen Befunde der Instruktionspsychologie weisen bereits darauf hin, dass bei der Implementation komplexer, offener Lernumgebungen zum Teil „die Rechnung ohne den Lernenden“ gemacht wurde (STARK ET AL. 1995). „Der begründete Verzicht auf Komplexitätsreduktion und systematisch geordnete Präsentation der Lerninhalte führte im Verbund mit der gutgemeinten Absicht, die Konstruktivität und Eigeninitiative der Lernenden möglichst wenig einzuengen, nicht selten zur deren Überforderung.“ (Ebd., S. 294) Zentrale Befunde diverser Studien (GRUBER ET AL. 1993, RENKL ET AL. 1994, MANDL/GRUBER/RENKL 1995, 1997, MANDL ET AL. 1998, MANDL ET AL. 1999, STARK ET AL. 1995, 2001) weisen auf Überforderungen der Schüler beim Lernen unter multiplen Bedingungen ohne instruktionale Unterstützung hin. Diese Befunde legen es nahe, den Einsatz computerbasierter Modellbildung und Simulation zur Förderung komplexer Problemlösefähigkeiten im Kontext

⁸⁰ „Kommen bei der Umsetzung der Design-Merkmale komplexe Technologien wie Computer Based Training (CBT), Simulationen, Planspiele und Hypertext oder Hypermedia und Internet zum Einsatz, die die Lernenden mit zusätzlicher und oft neuartigen Anforderungen konfrontieren, wird die Implementation zusätzlicher instruktionaler Komponenten unverzichtbar.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 155)

der regelungstechnischen Erstausbildung sorgfältig abzuwägen. So effektiv diese Lernumgebungen unter den angegebenen Bedingungen sein können, „ohne instruktionale Unterstützung ist die Gefahr groß, dass dadurch Probleme der Wissensanwendung weniger überwunden als vielmehr erst verursacht werden.“ (MANDL ET AL. 1999, S. 227) Es hat sich gezeigt, dass computerbasierte Modellbildung und Simulation per se die Entwicklung einer komplexen Problemlösekompetenz nicht in dem erwarteten Maße befördert. FRIEDRICH/MANDL (1997) stellen beispielsweise fest, dass Lernende mit wenig ausgeprägten Lernstrategien die ihnen (direkt oder indirekt) zur Verfügung gestellten Lernhilfen häufig gar nicht beachten. Sie beobachteten, dass nur Lernende mit ausgeprägtem Vorwissen und mit guten metakognitiven Fähigkeiten in der Lage waren, die in eine Lernumgebung integrierten Hilfen angemessen zu nutzen. Die bei komplexem Problemlösen für sie typischen Prozesse (zum Beispiel Generieren und Prüfen von Hypothesen) sind ohne zuvor vorgegebene Beispiele nur sehr selten zu beobachten. „Erst die Vorgabe beispielhafter Hypothesen regte die Lernenden an, selbst angemessene Hypothesen zu formulieren. Andere Untersuchungen zeigten, dass [...] Simulationen oft nicht aus sich heraus verständlich sind, sondern in einen curricularen Zusammenhang eingebettet werden müssen.“ (Ebd., S. 265)

Eine endgültige Betrachtung der Möglichkeiten zur Förderung des Lernens in komplexen Situationen „durch Bereitstellung instruktionaler Anleitungen zum Umgang mit komplexen Lernumgebungen ist bisher noch nicht hinreichend erfolgt.“ (BRETTSCHEIDER ET AL. 2000, S. 406) Für die Autoren konzentrieren sich die Arbeiten über Möglichkeiten zum Lernen in komplexen Realitätsbereichen bislang vornehmlich auf die Erforschung subjektiver Informationsverarbeitungsprozesse. Dabei kritisieren sie, dass sich die entsprechenden Forschungsarbeiten bislang allenfalls auf die Untersuchung von Zweiergruppen beschränken. Eine empirisch fundierte Berücksichtigung von Prozessen der Entscheidungsfindung in Kleingruppen wurde nach ihrer Auffassung bislang nur in Ansätzen geleistet. In ihren Arbeiten konnten sie durch das Prinzip der „Unterstützung komplexer Lernprozesse durch Anleitungen“ zum einen die insbesondere mit multiplen Lernbedingungen einhergehende Komplexitätssteigerung kompensieren. Zum anderen ließ sich hierdurch ebenfalls eine systematische, aktive und tiefe Verarbeitung der präsentierten Information fördern (Ebd.).

Damit Lehr-Lernarrangements zur Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz ihr Potenzial entfalten können und den Lernenden die Bewältigung komplexer Anforderungen ermöglicht wird, sehen die meisten Autoren eine instruktionale Begleitung als unabdingbar an. „Sowohl in Hinblick auf die Förderung individueller Problemlösekompetenz als auch in Bezug auf die soziale Kompetenz zum Fällen von Entscheidungen in Kleingruppen haben sich explizite instruktionale Anleitungen zum Umgang mit komplexen Lernumgebungen als überaus hilfreich erwiesen.“ (Ebd., S. 404) Die Ergänzung komplexer Lehr-Lernumgebungen um „anleitende Maßnahmen zum Umgang mit diesen Lernumgebungen“ stellt für sie ein vielversprechender Weg dar, die bislang schulisch unzureichende Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz zu lösen.

Bekanntermaßen stellen für viele Autoren die individuellen Lernvoraussetzungen direkte Prädiktoren der Lernleistung von Schülern dar (WEINERT 1996a, 1997, 1998a, WEINERT/WALDMANN 1988, WEINERT/SCHRADER 1997). In diesen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass vorrangig diejenigen Schüler von einer hoch strukturierten Lernsituation profitierten, die über weniger günstige Lernvoraussetzungen verfügten. Verzichtet man also auf instruktionale Anleitungen oder Unterstützungen bei der Gestaltung von Lernumgebungen, so scheint es, dass „lehrerzentrierte, informationsvermittelnde Instruktionsformen (im Sinne einer

eher traditionellen Lehr-Lernauffassung) [...] offensichtlich effektiver bei ungünstigen Lernvoraussetzungen (zum Beispiel bei geringem Wissen, geringer Intelligenz oder hoher Ängstlichkeit) [sind]; offene Lernumgebungen, die hohe Anforderungen an die Fähigkeit der Lernenden zu Wissenskonstruktion stellen (im Sinn einer eher konstruktivistischen Lehr-Lernauffassung), scheinen dagegen effektiver bei guten Lernvoraussetzungen zu sein.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 378 f.) Die instruktionale Unterstützung seitens des Lehrenden in Form von Modellieren und Anleiten, Unterstützen und Beraten ist demnach von gleich großer Bedeutung wie die Gewährleistung von Authentizität, multiplen Anwendungskontexten und sozialen Lernarrangements. Die Qualität flexibel gestalteter Lernumgebungen hängt sehr stark von dem Maß der bereit gestellten instruktionalen Hilfestellungen ab.

Solcherart Überlegungen zur Vereinbarkeit von Instruktion und Konstruktion vor dem Hintergrund der Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz bei Lernenden weisen gewisse Bezüge zur Gestaltung adaptiver Lernumgebungen auf. Diese haben zum Ziel, eine optimale (dynamische) Anpassung zwischen dem subjektiven Unterstützungsbedarf seitens des Lernenden sowie dem Maß an externer instruktionaler Unterstützung durch die Lernumgebung selbst zu gewährleisten (LEUTNER 1992, 1995). „Basierend auf einer solchermaßen begründeten Vereinbarkeit instruktionaler Anleitung und Unterstützung mit dem Ziel eines aktiv-konstruktiven Lernens lässt sich die Forderung aufstellen, Lernumgebungen weder ausschließlich systemvermittelnd noch rein situiert, sondern flexibel zu gestalten.“ (REIMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997, S. 379) „Kennzeichen solcher Lernumgebungen ist eine gemischte Inhalts- und Prozessorientierung: Inhaltsvermittlung wird zugunsten der Vermittlung solcher Strategien beziehungsweise Prozesse reduziert, die dem Individuum dann später den Erwerb neuen Wissens erleichtern.“ FRIEDRICH/MANDL (1997, S. 273) Das Ziel derart gestalteter Lernumgebungen besteht nicht nur darin, komplexes Problemlösen zu ermöglichen, sondern auch darin, die individuelle komplexe Problemlösekompetenz im Sinne einer fachübergreifenden und Fächer verbindenden Kompetenz zu fördern. Die Möglichkeit, durch gemeinsame Nutzung traditioneller und konstruktivistischer Vorgehensweisen anwendbares Wissen zu fördern, wurden zum Beispiel von STARK ET AL. (1995) oder von BRETTSCHEIDER ET AL. (2000) am Beispiel der kaufmännischen Erstausbildung empirisch untersucht. Bei ihren Forschungen untersuchten sie die Wirkung instruktionaler Unterstützung (in Form von Selbsterklärungsaufforderungen) auf den Lernerfolg beim Lernen mit multiplen Kontexten (in Form multipler Beispiele). Als multiple Beispiele wurden detaillierte Beispielaufgaben (samt Lösungen) verwandt, deren positive Effekte auf ein anwendungsbezogenes Lernen unter anderem auch durch Befunde der psychologischen Forschung zum Expertiseerwerb gestützt waren⁸¹. Die Vorteile dieses integrativen Ansatzes zur Förderung des Erwerbs anwendbaren Wissens bei der Lösung komplexer Probleme sehen sie dabei in der Verbindung zwischen den Problemlösungsprinzipien und der Problemstellung („Prinzipieninstantiierung“) sowie in der gleichzeitigen Ermöglichung der Abstraktion vom eingesetzten Problemlöseschemata („Schema-induktion“).

Wenn also eine erfolgreiche selbstständige Bearbeitung komplexer Probleme nicht von allen Schülern erwartet werden kann, bedeutet das dem ungeachtet nicht, auf problemorientiertes Lernen verzichten oder die Komplexität der eingesetzten Lernumgebung reduzieren zu müssen. Vielmehr können durch die Einnahme dieser integrativen Position zusätzliche Angebote

⁸¹ „Damit die Lernenden die ausgearbeiteten Beispielaufgaben auch verstehen und effektiv aus ihnen lernen können, erfolgt zusätzlich eine instruktionale Unterstützung, indem die Lernenden zur aktiven Selbsterklärung einzelner Lösungsschritte aufgefordert werden.“ (Ebd., S. 378)

in problemorientierte Lernumgebungen eingepasst werden, die die Lernenden unterstützen. Folgende Formen instruktionaler Unterstützung haben sich darüber hinaus als effektiv erwiesen (GRÄSEL/MANDL 1999):

- Anleitung zur Problemlösung
- Modell-Lösung von Experten
- Mappingverfahren
- Einbettung in eine Lernkultur.

„In Abhängigkeit von dem Kontext, in dem dieser integrative Ansatz implementiert wird, und den jeweiligen Spezifika der Anwendungssituation, die sich natürlich während der Anwendung jederzeit ändern können, kann sich diese problemorientierte Balance ganz unterschiedlich gestalten.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 150) Als Beispiele für die unterschiedlichen Gestaltungsmöglichkeiten wird an dieser Stelle auf die Ansätze zur situierten Kognition im vorangestellten Kapitel 2.2.6.5.1 verwiesen.

Im Hinblick auf Selbststeuerung und Kooperation weisen SCHNURER/STARK/MANDL (2003) darauf hin, dass die hierzu erforderlichen Kompetenzen nicht nur als Voraussetzung sondern auch als Ziele problemorientierten Lernens auftreten können. Direkte Strategie-Trainings-Ansätze zur Förderung selbstgesteuerten Lernens stellen für sie Beispiele geeigneter instruktionaler Unterstützungsmaßnahmen für in diesem Zusammenhang beschriebene Fördermaßnahmen dar. Je komplexer die dabei eingesetzte Technologie ist, desto wichtiger erscheinen ihnen zusätzliche Maßnahmen, zum Beispiel in Form von Strukturierungs- und Orientierungshilfen, mit denen Schüler an die neuen Anforderungen herangeführt werden. Das Methodenrepertoire des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes von COLLINS/BROWN/NEWMAN (1989) erscheint Ihnen dabei in besonderem Maße geeignet, „allgemeine Überforderungsprobleme und insbesondere Probleme, die durch den Einsatz neuer Technologien erst geschaffen werden, nicht nur in den Griff zu bekommen, sondern als neue Lernchance zu nutzen.“ (Ebd. S. 156) Den Cognitive Apprenticeship-Ansatz sehen sie darüber hinaus in hohem Maße als adaptiv an, weil er den spezifischen Stärken und Schwächen der Lernenden gezielt Rechnung trägt, indem er Methoden und Lernvoraussetzungen flexibel aufeinander abstimmt. Er stellt für sie ein gutes Beispiel einer gelungenen Balance zwischen Instruktion und Konstruktion dar. Allerdings machen die theoretischen Modelle, die einer situierten Sichtweise zugrunde gelegt werden, bislang nur wenig spezifische Aussagen darüber, wie die notwendigen instruktionalen Unterstützungsmaßnahmen in unterschiedlichen Formen komplexer Lernumgebungen gestaltbar sind. Eine Reihe wichtiger Fragen zum Verhältnis von Konstruktion und Instruktion bleiben bislang noch unbeantwortet (zum Beispiel: Welche pädagogischen Erkenntnisse sprechen für eine graduelle Rücknahme instruktionaler Hilfen oder unter welchen Bedingungen ist welche Form der instruktionalen Unterstützung indiziert?) und müssen erst noch gelöst werden, um zur Möglichkeit einer optimalen Gestaltung von Unterricht im Zusammenhang der Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz zu gelangen. „Dies wird zu einer flexiblen Gestaltung instruktionaler Maßnahmen je nach angestrebter Form der Kompetenzentwicklung führen müssen. Wie die angeführten Studien zeigen, kommen dafür zahlreiche unterschiedliche Instruktionsformen in Betracht.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 153)

Insgesamt kann man davon ausgehen, dass die situierte Sichtweise nachhaltig zum Verständnis und zur Beschreibung der Entwicklung und Förderung einer Problemlösefähigkeit im Umgang mit komplexen technischen Systemen beigetragen hat. Warum diese Sichtweise bislang erst zögerlich Eingang in die schulische Lehr- und Lernpraxis gefunden hat, ist noch unklar. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass Wissenschaftler und Praktiker mit

ihrer bisherigen Methodik und Didaktik von Unterricht fest verwurzelt sind. Einem raschen Einzug damit einhergehender pädagogischer Ideen werden hierdurch große Barrieren in den Weg gestellt. Die Chance, diese Barrieren zu überwinden, wird neben zukünftiger empirischer Befunde auch stark davon abhängig sein, ob es gelingt, überzeugende unterrichtliche Konzepte zu entwickeln.

2.3 Erfassen komplexer Problemlösekompetenz: Methodische und diagnostische Grundlagen

2.3.1 Diagnostik komplexer Probleme

Computergestützte realitätsnahe Problemlöseszenarien sind dabei, sich in der deutschsprachigen Psychologie zu etablieren. Allerdings erfahren sie eine Kritik, die sich neben dem Fehlen einer einheitlichen Taxonomie und einer einheitlichen theoretischen Fundierung vornehmlich auf die Unzulänglichkeit bezüglich der Erfüllung diagnostischer Standards bezieht. So steht häufig die Evaluation gegenüber der Konzeption immer neuer Problemlöseszenarien und Szenarievarianten als Instrumenten-Unikate zurück. Grund ist das Fehlen einer normativ verbindlichen Lösung für das zu diagnostischen Zwecken eingesetzte Szenario bzgl. dessen, wie erfolgreiche Bewältigung komplexer Probleme individuell zu bewerten wäre. KERSTING (1999) kritisiert, dass computergestützte Problemlöseszenarien inzwischen in den unterschiedlichsten Forschungskontexten außerhalb der ursprünglichen rein kognitiven Verwendung häufig ohne ausreichende Evaluation eingesetzt werden. Dabei wird die Grenze ihrer diagnostischen Aussagekraft für sie gerade durch die ermittelten Reliabilitäten und Validitäten essentiell markiert.

Im wesentlichen sind in der aktuellen Problemlöseforschung zwei Richtungen bei der Diagnostik von menschlichem Handeln in komplexen Problembereichen zu beobachten: Eine - in der Forschungstradition von DÖRNER, PUTZ-OSTERLOH oder STROHSCHNEIDER und andere - die versucht, möglichst realitätsnahe Szenarien zu verwenden. Die zweite - zum Beispiel FUNKE, HUSSY, KLUWE - die bestrebt ist, die eingesetzten Simulationen mit mathematisch exakt dargestellten dynamischen Systemen zu betreiben. Beide Wege spiegeln in ihrer zeitlichen Abfolge auch die Geschichte der Problemlösepsychologie wider (ARBINGER 1997, S. 135):

- 1 Erfassen der Resultate beim Problemlösen (ergebnisorientierter Ansatz)
- 2 Erfassen der Prozesse beim Problemlösen (prozessorientierter Ansatz).

Beim resultatorientierten Ansatz interessiert vorwiegend das Ergebnis des komplexen Problemlösens. Maße für die Beurteilung können dabei sein Lösungsgüte (gelöst bzw. nicht gelöst), Lösungsmenge (Anzahl richtiger beziehungsweise falscher Lösungen) und Lösungszeit (Bearbeitungszeit). Im Mittelpunkt des Interesses beim prozessorientierten Ansatz steht dagegen die Frage, wie Personen versuchen, ein komplexes Problem zu lösen. Die dabei ablaufenden Prozesse können entweder durch Beobachten der Personen bei der Problembearbeitung erfasst werden oder zum Beispiel durch die Analyse von Protokollen des lauten Denkens⁸², die während der Problembearbeitung erstellt wurden.

Problemlösekompetenz kann folglich sowohl durch Produkt- als auch Prozessindikatoren dargestellt werden. Dabei kommt den Prozesskennzahlen in der Regel mehr Bedeutung bei, da

⁸² Zur Methode des lauten Denkens vgl. zum Beispiel KLUWE (1988, S. 362 ff.), HUBER/MANDL (1994, S. 81-103).

sie geeigneter sind, den Prozess der Steuerung komplexer Systeme beziehungsweise der Entscheidungsfindung während der Problemlösung besser zu erklären. „Zum anderen ist es gerade aus didaktischer Sicht relevant, Aufschluss über den Prozess zu gewinnen, da Produktmaße (Kennzahlen) zwar eine Einschätzung der Kompetenz erlauben, aber keine Anknüpfungspunkte für didaktisches Handeln bieten.“ (FÜRSTENAU 1994, S. 90) Das heißt jedoch nicht, dass dort, wo es sinnvoll ist, nicht auch Produktkennzahlen in die Bewertung einer komplexen Problemlösekompetenz mit einfließen.

Ein wesentlicher Aspekt der meisten Studien bei der Quantifizierung der Problemlösegüte stellt der Indikator „Steuerleistung“ dar. Er nimmt neben den Gütemaßen zur kognitiven Ebene (Wissensstruktur) und den Verhaltensmaßen eine zentrale Rolle ein. Häufig wird zur Bestimmung des Problemlöseerfolges die Ausprägung der Zielvariablen herangezogen. Für FUNKE (2001, S. 102) sind bei der Bestimmung der Steuerleistung (Handlungserfolg) zwei Aspekte diagnostisch relevant:

- 1 Wie gelingt es einer Person, von einem gegebenen Ausgangszustand in den gewünschten Systemzustand zu kommen?
- 2 Wie gelingt es ihr, den womöglich einmal erreichten Zustand aufrecht zu halten (was für ihn nur bei Systemen mit Eigendynamik, also mit Wirkungen der endogenen Variablen aufeinander, von Bedeutung ist)?

Je nach Systemstruktur, so FUNKE weiter, kann der erste Schritt (Zielerreichung) sequentiell in mehrere Teilschritte zerlegt werden oder muss - wegen der enthaltenen Eigendynamik oder wegen der Nebenwirkungen exogener Variablen - simultan in einem einzigen, gut geplanten Schritt vollzogen werden.

Die Bewertung des „Wissens“ als Indikator für die Problemlösekompetenz wird als zweite Kennzahl für die Problembewältigung herangezogen (MÜLLER 1993, FRENSCH/FUNKE 1995, SÜSS 1996, KERSTING 1999, FUNKE 2001). Bei der Bewertung einer Problemlösekompetenz ist in den meisten Szenarien davon auszugehen, dass Wissen den Problemlöseerfolg bzw. die Qualität der Steuerleistung bestimmt oder dass das Erarbeiten von Wissen über das System sogar explizit als Ziel der Systemsteuerung vorgegeben ist (vgl. Kapitel 2.2.5).

Der Wissenserwerb bezieht sich auf die Identifikation des zu steuernden Systems. Die Wissenserwerbssituation stellt dabei für die bearbeitenden Personen selbst eine komplexe Lernsituation dar, in der es insbesondere gilt, die Vernetztheit und Dynamik des jeweiligen Systems festzustellen. Wissensanwendung bezieht sich dagegen auf die Kontrolle des Systems im Hinblick auf das Erreichen der gesetzten Ziele. Wissensanwendung stellt überdies das vorhandene beziehungsweise erworbene Wissen in einen instrumentellen Zusammenhang: Es soll genutzt werden, um einen bestimmten Systemzustand zunächst herzustellen und dann gegebenenfalls längerfristig aufrecht zu erhalten. Dieser zuletzt genannte Aspekt spielt vor allem bei solchen Systemen eine Rolle, bei denen durch die Eigendynamik des Systems ein stabiler Zustand nur durch ständiges Eingreifen sichergestellt werden kann. Beide Aspekte sind bei der Steuerung komplexer Systeme miteinander verwoben, zumal bereits die ersten Schritte des Wissenserwerbs unter der Vorgabe bestimmter Ziele stehen. Die Erfassung der strukturellen Aspekte eines Systems (zum Beispiel Vernetztheit) kann folglich nicht losgelöst

von der Erfassung der prozessualen Aspekte dieses Systems (zum Beispiel Dynamik) erfolgen, zumal sich die Variablen des Systems nur im zeitlichen Verlauf analysieren lassen.⁸³

Bei der Bestimmung des Problemlöseerfolges aufgrund so genannter Verhaltensmaße werden die Kennwerte der (Ziel-)Variablen über die Zeit der Steuerung als Ausmaß der Problemlösekompetenz herangezogen. Somit lassen sich während der Systemsteuerung Prozessdaten zur Systemsteuerung diagnostizieren. Auf diesen Prozessdaten, die für das Zustandekommen eines erfolgreichen Problemlöseverhaltens verantwortlich sind, gründet sich in der Regel der Anspruch auf Überlegenheit computergestützter Problemlöseszenarien gegenüber herkömmlichen Leistungstests. Die Ableitung prozessbezogener Kennwerte aus der Bearbeitung komplexer Systeme wird in nachfolgenden Kapiteln dargestellt. Wie gut diese bei der Kompetenzerfassung abschneiden, muss aber in jedem Einzelfall über Validitätsstudien erprobt werden.

2.3.2 Methodenprobleme bei der Arbeit mit komplexen Systemen

2.3.2.1 Problemlösegütekriterien

Die Erhebung von Daten zum Erfassen einer Problemlösekompetenz beim Umgang mit komplexen technischen Systemen stellt zum Teil noch ungelöste Anforderungen an die Testkriterien Objektivität, Reliabilität und Validität. Die bei der Verwendung computergestützter Problemlöseszenarien abgeleiteten Indikatoren des Problemlöseerfolges genügen häufig nicht den diagnostischen Anforderungen an eine Messung, was sich in der Vielzahl existierender Operationalisierungen widerspiegelt⁸⁴. HUSSY hat bereits 1985 darauf hingewiesen, dass die Qualität der Problemlöseforschung mit der Frage der Operationalisierung der Maße der Problemlösegüte steht und fällt (HUSSY 1985).

Entscheidende Bedeutung kommt daher der Frage zu, welche Variablen als geeignete Kriterien zur Erfassung und Bewertung der angesprochenen Problemlösekompetenz beim Umgang mit komplexen technischen Systemen anzusehen sind. Eine unmittelbare Ableitung von Kriterien aus der Aufgabenstellung bzw. aus den Zielen der Systemsteuerung heraus erscheint zwar plausibel (und für Leistungsfaktoren selbstverständlich), ist aber nicht zwangsläufig hinreichend. Die Gründe dafür sind vielschichtig: Viele der eingesetzten Simulationsszenarien besitzen keinen eindeutigen beziehungsweise keinen optimalen Zielzustand und damit auch keinen bestmöglichen Lösungsweg zum Erreichen des Ziels. Während in der klassischen Denk- und Problemlöseforschung der Psychologie die Lösungen der eingesetzten Aufgaben eindeutig bekannt und berechenbar sind, ist dies im Gegensatz zu komplexen Aufgaben mit nichtlinearen und dynamischen Komponenten nicht so leicht möglich.

FUNKE (1992) weist dagegen darauf hin, dass sich bei einfachen Problemstellungen auch einfache Indikatoren (zum Beispiel Zugzahl, Lösungszeit etc.) anbieten, die vergleichsweise direkten Aufschluss über eine Person und ihr Lösungsverhalten geben. Bei komplexen Szenarien wirft die Auswahl einfacher Indikatoren (zum Beispiel „Endkapital“ im Szenario

⁸³ Bei der Prozesskontrolle, das heißt der Identifikation eines unbekanntes Systems, ist die Gestaltung der Eingriffe von zentraler Bedeutung. Zu ihrer Erfassung schlägt FUNKE (2001) vor, die Eingriffe am Idealfall des Prinzips der systematischen Bedingungsvariation zu orientieren. Hierfür wird auf jede einzelne Eingriffsvariable (exogene Variable) ein Testinput gelegt (alle anderen Inputvariablen bleiben dabei konstant). Die Auswirkungen dieser Testsignale auf die Zustandsvariablen (endogene Variablen) werden beobachtet, danach lassen sich Hypothesen über die Effekte der exogenen auf die endogenen Variablen bilden. Zur Feststellung und Interpretation möglicher Effekte endogener Variablen untereinander, empfiehlt er, so genannte „Null-Effekte“ (Zeittakte, in denen nicht in das System eingegriffen wird) zu beachten, um mögliche Eigendynamik zu erfassen.

TAILORSHOP) indessen Probleme auf. Für ihn ist in diesem Fall dann nicht mehr klar, was an diesem Indikator zu Lasten der Personenfähigkeit und was zu Lasten von Systemeigenschaften geht.

Die Arbeit mit komplexen realitätsnahen Simulationsszenarien birgt demzufolge noch zahlreiche Methodenprobleme. Die Qualität von Daten zu den Indikatoren und Kennzahlen wird nach SÜSS (1996, S. 9 sowie 1999, S. 221 f.) dabei vorrangig durch nachfolgende Faktoren beeinträchtigt:

- Fehlen einer formalen Beschreibung und Unkenntnis der Systemeigenschaften
- Optimallösung nicht berechenbar bzw. nicht bekannt
- Die gestellten Steuerungsanforderungen hoch komplexer Systeme können rasch zu einer grundsätzlichen Überforderung von Personen führen.
- keine ausreichende theoretische Fundierung des Verhältnisses zwischen Ertrags- und Prozessindikatoren
- keine Standardisierung der Erhebungsbedingungen
- keine oder nur vage Vorgabe der Steuerungsziele
- Vorgabe kontradiktorischer Ziele
- Dynamik der Problemanforderungen.

In diesem Zusammenhang diskutiert SÜSS (1996, S. 10 f.) noch weitere Gründe für das Problem der Bestimmung geeigneter Gütekriterien. Er stellt fest, dass manche Systeme bei der Steuerung in „ausweglose Systemzustände“ manövriert werden können. Problemlöser haben dann in der Regel keine Chance mehr, diesen Zustand rasch wieder zu verlassen, auch wenn der Fehler von ihnen erkannt wird. Die verbleibende Zeit kann dann nicht mehr zur Verbesserung genutzt werden und die Leistungsdivergenz zu anderen Teilnehmern steigt mit jedem Simulationstakt ungewollt an.

Da das Endergebnis einer Systemsteuerung alleine allerdings nur wenig über die Qualität des eigentlichen Problemlöseprozesses aussagt, empfiehlt er daher sogenannte „Leistungsmaße“ für die Bewertung der Problemlöseprozesse. In diesem Zusammenhang schlägt er zum einen vor, so genannte Trendmaße, die für jeden Simulationsakt den momentanen Stand mit Bezug auf das anvisierte Ziel bemessen, zum anderen so genannte Subgütekriterien für das Erreichen von Teilzielen einzuführen. Vor diesem Hintergrund kritisiert er die methodischen Mängel vieler Arbeiten ausdrücklich, da bei diesen für ihn weder der Bezug der gewählten Gütekriterien zum vorgegebenen Ziel diskutiert noch die Frage geklärt wird, in welcher Beziehung die Kriterien zueinander stehen, für welche Teilkonstrukte der Intelligenz ein Zusammenhang erwartet wird und wie hoch die Reliabilitäten der Gütemaße sind (Ebd.).

Neben diesen Leistungsmaßen zur Beurteilung der Problemlösekompetenz differenziert SÜSS daneben noch Verhaltensindikatoren. Diese stehen für ihn bislang in keinem empirisch ausreichend begründeten Verhältnis zum vorgegebenen Steuerungsziel, da es in der Regel nicht geklärt ist, ob es sich bei ihnen um situationsspezifisches Verhalten oder um Indikatoren einer entsprechenden Disposition handelt. Gleiches führt er für Strategiemaße als Leistungsmaße an. „Für manche Autoren gelten sie als Indikatoren für operative Intelligenz (DÖRNER 1986), als wichtigste Information, die andere Testverfahren nicht liefern können und die deswegen das eigentliche „surplus“ beim diagnostischen Einsatz ausmacht.“ (Ebd.) Aber gerade der Status der identifizierten Strategien wird von ihm als ungeklärt betrachtet da, so SÜSS weiter,

⁸⁴ Ein vollständiger Überblick der Operationalisierungsansätze von Komplexität in realitätsnahen computersimulierten Szenarien wird zum Beispiel bei STRAUSS 1993, S. 203 ff. oder bei FUNKE 1986 gegeben.

entsprechende Reliabilitäten der Strategiemaße bislang nicht in zufriedenstellender Weise bestimmt werden konnten.

2.3.2.2 Reliabilität

In Kapitel 2.2 wurde bereits dargelegt, dass es sich bei der komplexen Problemlöseleistung um ein relevantes Personenmerkmal handelt, bezüglich dessen sich Personen unterscheiden können. Bei der Diagnose dieser Personenmerkmale mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation geht man deshalb davon aus, dass die erbrachten Problemlöseleistungen durch zeit- und situationsstabile und diagnostisch erfassbare Dispositionen ausreichend erklärt werden können. Aus diesem Grunde kommt der Reliabilität der Merkmalsindikatoren eine entscheidende Rolle bei.

KERSTING (1999) scheint es eindeutig, dass die Reliabilität von Prädikatoren und Kriterien die Höhe der empirisch feststellbaren Zusammenhänge eindeutig begrenzt. Auch SÜSS (1996, S. 16) sieht bislang „für die Annahme, dass mit den Simulationen eine zeitlich stabile Problemlösefähigkeit erfasst werden kann, zwar einzelne Hinweise, aber keine solide empirische Grundlage“. Wie sie sehen auch viele andere Autoren die Reliabilität ausgewählter Indikatoren komplexer Problemlöseleistungen als „ungewiss“ an (vgl. stellvertretend FUNKE 1992). Verwendet man an Stelle von subjektiven Messverfahren (zum Beispiel Beobachter-Ratings) objektive Verfahren, ist die Frage des Stabilitätsnachweises der Messung (zum Beispiel Test-Retest-Reliabilität) ungelöst. Denn dann ist davon auszugehen, dass bei wiederholter Anwendung eines Simulationsszenarios ein Lerneffekt eingesetzt hat und dieser signifikant die Messergebnisse beeinflussen würde.

Aus diesen Gründen versucht MÜLLER (1993, S. 11) in seiner Arbeit explizit die Frage zu beantworten, welche Reliabilität den Güteindikatoren beim Lösen komplexer Aufgaben zukommt und wie sie sich methodisch adäquat bestimmen lassen. Inhaltlicher Ausgangspunkt für ihn ist dabei die nahezu triviale Hypothese, „dass die Annahmen eines Problemlösers über die kausalen Zusammenhänge in einem dynamischen System wesentlich über seinen Umgang mit dem System entscheiden“. MÜLLER konnte zeigen, dass von einem erreichten „guten“ Systemzustand nicht automatisch auf einen „guten“ Problemlöser geschlossen werden kann. Er schlägt zur Lösung des Reliabilitätsproblems vor, dynamische Systeme so zu konstruieren, dass sie sich aus unabhängigen und äquivalenten Subsystemen zusammensetzen, bestehend aus den beiden Güteindikatoren „Systemwissen“ und „Systemsteuerung“. Ihm gelingt es, für diese beiden Indikatoren in entsprechenden Studien ausreichende Realitätskoeffizienten abzuschätzen. Darin sieht er den großen Vorteil, dass das durch die Systemidentifikation erworbene (System-)Wissen nicht durch andere Faktoren wie zum Beispiel implizites oder prozedurales Wissen ergänzt werden muss, um die Steuerungskompetenz von Problemlösern zu erfassen.

Angesichts der zentralen Bedeutung der Reliabilitätsfrage müssen aber die meisten der vorliegenden empirischen Studien in aller Regel als unzureichend gewertet werden: Sie weisen hinsichtlich der verwendeten Szenarien in der Regel eine zu breite Variation, zu kleine Stichproben, zu unterschiedliche Untersuchungsgruppen sowie unterschiedliche Problemgütemaße auf.

Substanzielle Fortschritte brachte 1999 die Felderprobung bei den PISA-Arbeiten zum Problemlösen. Die nationale PISA-Expertengruppe prüfte dabei in den eingesetzten sechs Testaufgaben die Konstruktvalidität (Aussagekraft) der zentralen Ansätze aus der Problemlösefor-

schung als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz. „Zu diesem Zweck wurden Zusammenhänge der Problemaufgaben untereinander, mit Literacy-Dimensionen und kognitiven Grundfähigkeiten untersucht; der Einfluss von testspezifischem Vorwissen und Interesse, Computererfahrung und Geschlecht wurde kontrolliert.“ (BAUMERT ET AL. 2001a, S. 302) Das nationale PISA-Konsortium wertete aus den Ergebnissen ihrer Konstruktvalidierungsstudie (konvergente und diskriminante Validität) abschließend die Adaption der eingesetzten Instrumente zum Erfassen einer Problemlösekompetenz als gelungen: Im Schwierigkeitsgrad angemessen, befriedigende bis gute Reliabilitäten und keine signifikanten Zusammenhänge mit Computererfahrung, Vorwissen oder Geschlecht. Das Ergebnis evtl. verzerrende Einflüsse konstrukt fremder Variablen (zum Beispiel spezielles Interesse am thematischen Kontext der Aufgaben, Vorwissen etc.) konnte ausgeschlossen werden (vgl. Kapitel 2.3.2.3) und ein als wesentlich erwarteter Vorteil computergestützter Messverfahren bei der Erfassung der Problemlösekompetenz wurde durch diese Studien bestätigt: Die Maße für Vorwissen (speziell Wissenserwerb und Strategie) spielten bei der Lösung komplexer Probleme bzw. bei der Steuerung komplexer Systeme nur eine untergeordnete Rolle.

2.3.2.3 Validität

Unabhängig davon, ob eine eingesetzte computergestützte Modellbildung zur Simulation realer (technischer) Prozesse optimal gelungen ist, bleibt die Frage offen, „ob die psychologischen Anforderungen, die ein simuliertes Problem an den Problemlöser stellt, dieselben sind wie die bei der Bewältigung des entsprechenden realen Problems“. (SÜSS 1996, S. 17) SÜSS weist in diesem Zusammenhang auf einige Unterschiede zwischen realen und simulierten Problemen hin:

- Computersimulationen erlauben nur einen mehr oder weniger abstrakten Zugang zum Problem, dem die konkrete sinnliche Erfahrung fehlt.
- Computersimulationen abstrahieren das Problem von seiner sozialen Einbettung.
- Computersimulationen haben den methodischen Vorteil, dass sie häufig extreme Zeitraffer sind; diese Tatsache unterscheidet die Simulation aber unter Umständen psychologisch signifikant von der Wirklichkeit.
- Problemlöser wissen, dass ihr Handeln in Computersimulationen nur „Trockenübungen“ darstellt, die mehr oder weniger einen Ersatz für reales Handeln sind. Dadurch werden motivationale, volitionale und emotionale Faktoren (zum Beispiel Stress) nicht bedeutsam, was die Ergebnisse unter Umständen verfälscht.

Entscheidend für den Einsatz computergestützter Modellbildung und Simulation zur Erfassung der Steuerleistung beim Umgang mit komplexen Systemen ist jedoch, inwieweit die Frage der Validität zufriedenstellend beantwortet werden kann, wobei es nicht um die Validität des Verfahrens, sondern um die Validität der Interpretation der damit ermittelten Daten geht (LIENERT/RAATZ 1998). „Der eignungsdiagnostische Einsatz von computergestützten Problemlöse-szenarien geht implizit oder explizit davon aus, dass sich in dem beobachtbaren Verhalten der Person beim Umgang mit Problemlöseaufgaben eine latente - nicht unmittelbar beobachtbare - Fähigkeit manifestiert, so dass die aus der Aufgabenbearbeitung abgeleiteten Problemlöse-gütemaße Indikatoren für diese Fähigkeit darstellen.“ (KERSTING 1999, S. 111) Auf diese Weise müssten die aus unterschiedlichen Verfahren gewonnenen Daten zugrundeliegender Indikatoren einer komplexen Problemlösekompetenz miteinander korrelieren. Bislang konnte jedoch in keiner Untersuchung ein eindeutiger Nachweis einer eigenständigen und domänen-unabhängigen also einer allgemeinen komplexen Problemlösekompetenz erbracht werden

(SÜSS 1996, KERSTING 1999). „Um sie empirisch abzusichern, ist jedoch nicht nur der Nachweis erforderlich, dass Experten in einer ihnen fremden Wissensdomäne bessere Leistungen erbringen können als andere Personengruppen. Wichtig wäre vielmehr, dass ihre Überlegenheit bei der Steuerung verschiedener Systeme und bei Systemen mit unterschiedlicher semantischer Einbettung aufgezeigt werden kann. Diese Belege stehen bislang aus.“ (SÜSS 1996, S. 21)

Ähnlich sieht es bei der theoretischen Konzeption einer Problemlösekompetenz der den PISA-Testaufgaben zugrundeliegenden Indikatoren aus. Diese wurden im Rahmen einer Konstruktvalidierungsstudie in eine Strukturanalyse einbezogen. Ihre Interkorrelationen waren hoch signifikant, die Ergebnisse der konvergenten als auch der diskriminanten Validität indessen unbefriedigend. Abbildung 8 zeigt das Muster der Interkorrelation zwischen den Kompetenzfaktoren. Es gelang der nationalen PISA-Forscherguppe „Problemlösen“ somit nicht, „eine allgemeine Problemlösekompetenz zu identifizieren und von anderen Konstrukten zu trennen.“ (KLIEME ET AL. 2001, S. 196) Die in Kapitel 2.2 dargestellten theoretischen Überlegungen werden durch die Ergebnisse des PISA-Feldtests bestätigt. Bei der Problemlösekompetenz handelt es sich um kein einheitliches Konstrukt, sondern um eine aus im wesentlichen zwei Teilkompetenzen bestehende Fähigkeit. Sie weist unterschiedliche Nähe zu kognitiven Grundfähigkeiten auf und kann von so genannten bereichsspezifischen Kompetenzen wie Lesen, Mathematik und Naturwissenschaft abgegrenzt werden (Ebd.).

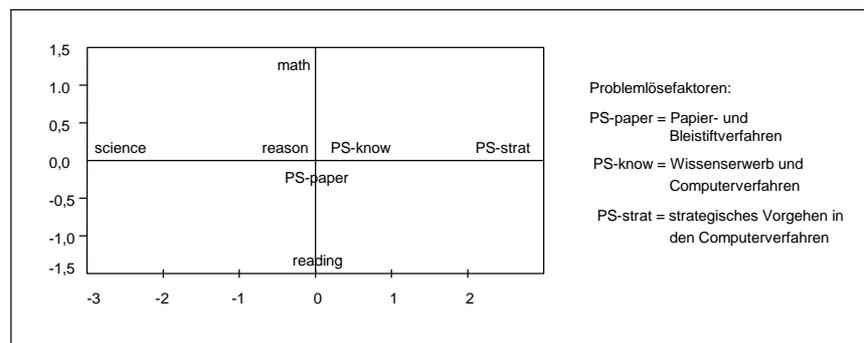


Abbildung 8: Muster der Interkorrelation zwischen Kompetenzfaktoren (nach KLIEME ET AL. 2001, S. 196)

2.3.3 Generalisierbarkeit und Transferierbarkeit

KLIEME/ARTELT/STANAT (2001, S. 207) heben hervor, dass von Experten seit langem für die Diagnostik des Problemlösens komplexe, authentische Testaufgaben gefordert werden, „deren Charakter sich dynamisch mit dem Verhalten des Bearbeiters verändert, so dass neben „fertigen Produkten“ (Lösungen) auch Prozessmerkmale und Strategien erfasst werden können“. Auf der Basis computergestützter Szenarien zum Lösen komplexer Probleme, wie sie zum Beispiel von FRENCH/FUNKE (1995) diskutiert werden, sehen sie diesem Anspruch Rechenschaft getragen. Derartige Prozesse werden für die Autoren am besten mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) erfasst. Dadurch ist es für sie erstmals möglich geworden, einen realitätsnahen Ausschnitt einer sich selbstständig verändernden und auf Eingriffe dynamisch reagierenden Umwelt sozusagen im „Labor“ abzubilden und auf diese Weise der menschlichen Qualität im interaktiven Umgang weitestgehend zu entsprechen. Der Proband simuliert diese Umwelt anhand eines komplexen, dynamischen Systems, in das er

zielgerichtet eingreift. Die Lernenden müssen dabei jedes Mal (vgl. KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 209)

- in einem ersten explorativen Stadium sich zunächst Strukturwissen über den Gegenstandsbereich sowie Wissen über einzelne Wirkungsverknüpfungen (Relationen) innerhalb des Gesamtsystems erschließen;
- im zweiten Stadium bei einem Test zeigen, welches Wissen sie in der ersten Phase erworben haben (Kenntnisse der Systemstruktur);
- im letzten Stadium zeigen, mit welchem Erfolg sie in einer Steuerungsphase den vorgegebenen Zielzustand zu erreichen vermögen.

Auf der Basis dieser Gliederung erfassen die Autoren folgende drei Elemente als Indikatoren der Problemlösekompetenz:

- 1 Prozesskontrolle: Gemeint ist zum Beispiel strategisches Verhalten oder Systematik bei der Systemexploration (Systemidentifikation).
- 2 Wissenserwerb⁸⁵: Gemeint sind Kenntnisse über das System, die beim Explorieren erworben wurden.
- 3 Handlungserfolg: Gemeint ist die Steuerungsleistung bei der Zielerreichung.

Abbildung 9 zeigt die Operationalisierung der Problemlöseleistung. Der Erfolg wird maßgeblich bestimmt von den drei Indikatoren Verhalten/Strategie, Steuerleistung und Wissen. Eine Prüfung im Rahmen des deutschen PISA-Programms zeigte, dass diese drei Indikatoren die Basis einer Fähigkeit zum Lösen komplexer Probleme widerspiegeln (KLIEME ET AL., 2001). „Zudem erwiesen sich die computergestützten Tests auch in einer größeren Stichprobe (30 Schulen mit insgesamt 900 Getesteten) als einsetzbar und zuverlässig.“ (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 208)

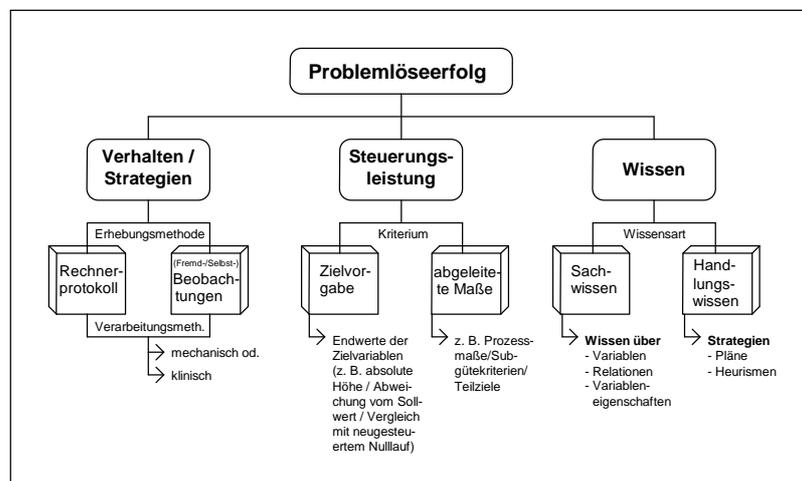


Abbildung 9: Operationalisierungen des Problemlöseerfolges (in Anlehnung an KERSTING 1999, S. 70)

Das bei den Arbeiten zum Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz in PISA eingesetzte und evaluierte Messkonzept erscheint im Zusammenhang mit dem Forschungsziel dieser Arbeit besonders attraktiv: Es bezieht entsprechend der psychologischen Breite seines zugrunde liegenden Problemlösebegriffs auch Problemlöseprozesse mit

⁸⁵ Die Leistungen bei der Systemidentifikation und der Kontrolle eines komplexen Systems werden in kognitions-wissenschaftlicher Terminologie entsprechend als Wissenserwerb und Wissensanwendung bezeichnet.

ein, die sich in ihrer Reichweite und in ihrem domänenspezifischen Kontext hinsichtlich Komplexität und Dynamik unterscheiden. Es werden unterschiedliche Formen von Simulationsszenarien einbezogen. Neben einem „ökologischen Szenario“ kommen ein „Raumfahrerspiel“ sowie ein „Virtuelles Labor“ zum Einsatz.⁸⁶ Alle drei lassen sich dem dynamischen beziehungsweise komplexen Problemlösen zuordnen.⁸⁷ In den unterschiedlichen Simulationsszenarien dieses Messkonzepts zum Problemlösen werden speziell die Möglichkeiten der Erfassung von Strategieparametern genutzt; auch wenn eine endgültige Klärung der methodischen Probleme hinsichtlich einer Interpretation von Strategieparametern im Kontext des zugrunde liegenden kognitiven Verständnisses vom Problemlöseprozess noch aussteht. Fragen der Verlässlichkeit solcher Maße, des Verhältnisses zwischen Strategieparametern und dem Aspekt der Arbeitsgeschwindigkeit als auch der Frage, inwieweit diese Maße über verschiedene dynamische Systeme oder Simulationen hinweg vergleichbar sind, erscheinen allerdings auch hier noch weitgehend ungeklärt und bedürfen einer weitergehenden Überprüfung im Sinne empirischer Gütekriterien.

Die Forschungsergebnisse der Wissens- und Kognitionspsychologie haben gezeigt, dass komplexe Problemlöseleistungen nicht ohne einen entsprechenden Fundus an domänenspezifischem Wissen erbracht werden können. In diesem Zusammenhang betonen KLIEME/ARTELT/STANAT (2001, S. 208), dass Problemlösen Wissen über Konzepte und Sachverhalte (deklaratives Wissen) und Wissen über Regeln und Strategien (prozedurales Wissen) im jeweiligen Gegenstandsbereich voraussetzt. Wie gezeigt werden konnte, bewegt sich die Testentwicklung zum Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz in einem Spannungsfeld zwischen klassisch-psychometrischen Tests zur Erfassung kognitiver Grundfähigkeiten einerseits und der Einbettung der Testaufgaben in realitätsnahe (das heißt komplexe und dynamische) Simulationsszenarien zur Ermittlung fachübergreifender und Fächer verbindender Problemlösekompetenz andererseits. Da eine Duplizierung von Maßen des schlussfolgernden Denkens weder dem dargelegten Konzept der Entwicklung und Bewertung einer Problemlösekompetenz beim Erfassen komplexer technischer Systeme entspricht, noch den diskutierten Ansprüchen ihrer Erfassung gerecht werden würde, lässt sich (wenn kein reales Szenario der Problembewältigung zugrunde liegt) das anvisierte Ziel nur über die Nutzung der Möglichkeiten moderner Diagnostik mittels computergestützter Szenarien erreichen.

Hierzu eignet sich am besten die Entwicklung von in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebettete computergestützte Testaufgaben, die möglichst wenig bereichsspezifisches Wissen voraussetzen und die zur Problemlösung eventuell erforderlichen beziehungsweise relevanten Kontextinformationen in allgemeiner, leicht verständlicher Form vorgeben, damit die Schüler dann aufbauend auf formalen Strategien des schlussfolgernden Denkens ihre Lösung entwi-

⁸⁶ Im deutschen PISA-Projekt wurden drei Szenarien erprobt. Die Systeme beinhalteten dabei die chemische Reaktion in einem Laborexperiment, die Bedingungen des Überlebens in einem bestimmten Ökosystem und die Funktionsmechanismen eines technischen Apparates (vgl. KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 208).

⁸⁷ Die beiden ersten erfassen, wie effizient der Bearbeiter das System elaboriert, welches Wissen er sich dabei erarbeitet und mit welchem endgültigen Ergebnis er die Steuerungsaufgaben bewältigt bzw. wie gut er die simulierte Unternehmung bewirtschaftet. Das Virtuelle Labor erfasst, ob die im Gegenstandsbereich zentralen Hypothesen aufgestellt werden sowie ob der Bearbeiter bei der Problemlösung planvoll und methodisch vorgeht. Insgesamt kamen im Rahmen des PISA-Feldtests drei computergestützte und drei schriftliche Problemlöseverfahren zum Einsatz. Für die Bearbeitung standen jeweils 45 Minuten Zeit zur Verfügung.

Alle sechs Problemlöseszenarien wurden bundesweit im Sommer 1999 in allen Schulformen der Sekundarstufe I im Rahmen einer PISA-Felderprobung eingesetzt und mittels einer Konstruktvalidierungsstudie empirisch geprüft/getestet. Die Stichprobe bestand insgesamt aus 650 Schülern unterschiedlicher Schulen aus vier Bundesländern. Die Ergebnisse der Konstruktvalidierungsstudie sind bei KLIEME/FUNKE/LEUTNER/REIMANN/WIRTH (2001) nachzulesen.

ckeln. Damit kommt man allerdings der traditionellen Intelligenzdiagnostik sehr nahe. Zum anderen kann man jedoch der Vorstellung einer hochgradig generalisierten, domänenunspezifischen Problemlösefähigkeit entsagen und statt dessen ein Profil von Kompetenzen bestimmen.

In der Tat hat sich bei der Erprobung verschiedener Problemlöseinstrumente innerhalb eines deutschlandweiten PISA-Feldtests 1999 gezeigt, dass die hierbei eingesetzten und nur geringes spezifisches Wissen aktivierenden schriftlichen Aufgaben primär schlussfolgerndes Denken und somit keine komplexe Problemlösekompetenz erfasst haben. BAUMERT ET AL. (2001a) sahen folglich die Einheitlichkeit des Konzepts Problemlösekompetenz in Frage gestellt. Die damit verbundene erhöhte Kontextualisierung einer komplexen Problemlösekompetenz bedeutet aber letztendlich nichts anderes, als dass inhaltspezifisches Vorwissen und bereichsspezifische Strategien Einfluss auf Verlauf und Resultat des Problemlöseprozesses nehmen. Den Autoren erscheint es insgesamt als sinnvoller, die Problemlösekompetenz als Profil aufzufassen, das zu einem Teil aus analytischem Problemlösen und zum anderen Teil aus dynamischem bzw. komplexem Problemlösen in verschiedenen Kontexten besteht.

Auch KLIEME ET AL. (2001, S. 189) resümieren: „Die Bemühungen, im Rahmen der Forschungen zum komplexen Problemlösen so etwas wie eine allgemeine, bereichsunabhängige Kompetenz zur Steuerung dynamischer Systeme („operative Intelligenz“) zu bestimmen, waren nicht erfolgreich; die Leistungen im Umgang mit einem solchen System sind nur bedingt auf andere Systeme übertragbar. [...] Die zentrale Kompetenz, die Problemlöseleistungen in unterschiedlichen Inhaltsbereichen gemeinsam zugrunde liegt, ist vermutlich gerade die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken.“ Die Vorstellung nach Fundierung einer universellen, fachübergreifenden bzw. Fächer verbindenden und mit objektiven Kriterien messbaren Problemlösefähigkeit ist deshalb nicht erfüllbar. Somit erscheint die Konzeption einer Problemlösekompetenz als ein einheitliches Konstrukt folglich nicht mehr länger als haltbar.

BAUMERT ET AL. (2001a) leiten aus dieser Erkenntnis ab, dass man verschiedene Aspekte der Problemlösefähigkeit unterscheiden muss: jene, die eher abstrakt-schlussfolgernder Art sind und relativ eng mit schlussfolgerndem Denken zusammenhängen, und jene, die auf komplexe, dynamische, realistischere Problemstellungen ausgerichtet sind und damit unter Umständen stärkeren Kontexteinflüssen unterliegen. Während dessen die computergestützten Szenarien - vor allem die daraus gewonnenen Prozess- und Strategiemaße - eigenständige Kompetenzen abbilden (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001). Wie die Erprobung im deutschen PISA-Programm 1999 zeigte, können sie als Fähigkeit zum Lösen komplexer bzw. dynamischer Probleme - also als „komplexe Problemlösefähigkeit“ - aufgefasst und durch die drei Indikatoren Prozesskontrolle, Wissenserwerb und Handlungserfolg abgebildet werden. Auf Basis der vorgegebenen Anweisungen und Ziele aktivieren die Lernende ihr kontextuelles Vorwissen über das simulierte System, bilden Annahmen über die Systemstruktur und über die Effekte erdenklicher Eingriffe. Umfang und Qualität des Vorwissens sowie insbesondere seine Kompatibilität mit dem Wissen, das für den simulierten Realitätsausschnitt gebraucht wird, bestimmt die Qualität der Hypothesen mit (SÜSS 2001b). Eine abschließende Strukturanalyse dieser drei Indikatoren im Rahmen des PISA-Feldtests zum komplexen Problemlösen ergab, dass die Maße Wissenserwerb und Problemlösestrategie in computergestützten Verfahren nur schwach mit kognitiven Grundfähigkeiten korrelieren; sie lassen sich gegenüber Grundfähigkeiten (Literacy-Dimensionen) klar abgrenzen. Das erfasste Kompetenzprofil wird folglich tatsächlich um neue Aspekte erweitert und kann als komplexe Problemlösekompetenz aufgefasst werden.

Aus der Entwicklung des zugrunde liegenden Kompetenzmodells lassen sich für die anschließende Entwicklung von realitätsnahen computergestützten Testaufgaben einige wichtige Folgerungen ableiten (vgl. KLIEME ET AL. 2003, S. 60):

- Kompetenz kann nur leistungsbezogen erfasst werden.
- Kompetenz verbindet Wissen und Können (vgl. Kapitel 2.1.4) und wird als Befähigung zur erfolgreichen Bewältigung beruflicher Aufgaben- und Problemsituationen angesehen.
- Jede Operationalisierung einer Kompetenz bezieht sich dementsprechend auf konkrete Anforderungssituationen.
- Kompetenzen lassen sich nicht durch einzelne, isolierte Leistungen darstellen oder durch vereinzelte Aufgaben erfassen. Der Bereich von Anforderungssituationen, in denen eine bestimmte Kompetenz zum Tragen kommt, umfasst immer ein breites Leistungsspektrum.
- Schulische und betriebliche Entwicklung und Förderung von Kompetenzen müssen eine hinreichende Anzahl und Bandbreite von Lernkontexten, Aufgabenstellungen und Transfer-situationen umfassen. Entsprechend breit muss auch die Darstellung einer komplexen technischen Problemlösekompetenz gestaltet sein.
- Eine zu eng gefasste Leistungsmessung wird dem Anspruch der dargestellten Kompetenzmodelle nicht gerecht: Dem Erfassen von Kompetenzen liegt ein weiter Aufgaben- bzw. Testbegriff zugrunde, der sich nicht allein in Wissensabfragen erschöpft.

Das Konzept der komplexen Problemlösekompetenz dieser Arbeit ist darauf ausgerichtet, Indikatoren für das Lösen komplexer technischer Aufgaben zu konzipieren, die durch reale Anforderungen und Anwendungsorientierung in computergestützten Simulationsaufgaben gekennzeichnet sind. Diese Indikatoren sollen dann Leistungen, im Sinne des dargelegten Performanzansatzes, erfassen und nicht etwa implizites Wissen. Die solchermaßen in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebetteten Aufgaben zum Erfassen der komplexen technischen Problemlösekompetenz werden somit neben Aspekten der praktischen Intelligenz auch analytische Komponenten miterfassen. Zusammenhänge mit „Reasoning“⁸⁸ sind dann substantiell. Entscheidend ist es jedoch, dass die komplexen Problemlöseindikatoren einen eigenständigen, das heißt nicht durch andere kognitive Grundfähigkeiten erklärbaren, Beitrag zum kognitiven Profil der Schüler erbringen.

Der Abschnitt 2.3.4 macht zum Ende dieses Kapitels 3 anhand unterschiedlicher Zwecke und Ziele von computergestützten Aufgaben- und Testanwendungen sowie den damit verbundenen Implikationen deutlich, dass es nicht um die Entwicklung des einen Testinstrumentes zur Erfassung von Aspekten der Kompetenz von Lernenden geht und das darüber hinaus noch universell einsetzbar wäre. Die letztendliche Testanordnung zum Erfassen einer Kompetenz bestimmt immer auch ihre Qualitätskriterien mit. Es kann daher zum Beispiel sinnvoll sein, für die Individualdiagnostik zur Förderung einzelner Schüler bestimmte Aufgabensammlungen einzusetzen, während bei der Überprüfung von Kompetenzmodellen (das heißt der dem Erfassen der Kompetenz zugrunde gelegten theoretischen Konstrukt) Kompetenzbereiche ausgewählt werden, die mit zusätzlichen Aufgaben genauer und differenzierter erfasst werden. Allen denkbaren Testvarianten liegt jedoch stets das gleiche Konzept zugrunde: Die Leistungserfassung ist inhaltlich nicht an einer willkürlichen Auswahl von Aufgabenstellungen orientiert, sondern an Kompetenzmodellen, die eine Kompetenz letztendlich definieren (KLIEME ET AL. 2003).

⁸⁸ Auch „schlussfolgerndes Denken“ oder „Verarbeitungskapazität“ genannt

2.3.4 Prinzipien computergestützter Aufgaben- und Testentwicklung

Jede verbal beschriebene Kompetenz, die den Anspruch einer diagnostischen Eignung zur unterrichtlichen Verwendung im Arbeitsalltag von Schulen erhebt, bedarf der Konkretisierung durch entsprechende Aufgaben, Tests oder Simulationsszenarien. Die in dieser Arbeit entwickelten und in den Kapiteln 3 und 4 dargestellten Aufgaben wurden in einer schulpraktischen Studie informell in einzelnen Klassen vorerprobt (zum Beispiel im Hinblick auf ihre Deutlichkeit, Verständlichkeit, Klarheit der Konstruktion und der Auswertbarkeit). In einem nächsten Schritt im Anschluss an diese Arbeit, müssten diese computergestützten Testaufgaben zum Fördern und Erfassen einer Problemlösekompetenz im Umgang mit komplexen technischen Systemen einer systematischen Erprobungsstudie („Pilotierung“) unterzogen werden, um vor allem ihre Messqualität (vgl. Kapitel 2.3.2) anhand einer ausreichend großen Anzahl von Schülern abzusichern. Der Vorteil dieser weitergehenden empirischen Untersuchung wäre der Nachweis ihrer empirischen Kontrolle sowie die Überprüfung des zugrunde gelegten Kompetenzmodells. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einzelne Kompetenzstufen innerhalb des Modells festzulegen und abzubilden. Damit wären die Aufgaben nicht nur empirisch kontrolliert, sondern auch gegenüber dem Vorwurf geschützt, sie seien lediglich „am Schreibtisch“ konstruiert. Den Lehrenden steht damit dann ein valides Mess- und Testinstrument für unterrichtspraktische Zwecke zur Verfügung, das darüber hinaus auch zur Unterrichtsevaluation benutzt werden kann.

Generell lassen sich in der einschlägigen Literatur diverse Verwendungsziele im Umgang mit computergestützten Testaufgaben finden und unterscheiden. Eine erschöpfende Diskussion dazu vermag auch diese Arbeit nicht zu leisten. Stattdessen soll kurz auf die unterschiedlichen Verwendungsziele von Testaufgaben hinsichtlich ihrer Implikationen hingewiesen werden. Diese weisen Unterschiede auf bezüglich der

- Entwicklung
- Zusammenstellung in einem Aufgabenpool
- Anwendbarkeit im praktischen Unterricht
- Auswertung.

Zwei, für das Ziel dieser Arbeit bedeutsame Einsatzbereiche standardbezogener und in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebettete computergestützte Testaufgaben sollen am Beispiel der Entwicklung von Testaufgaben internationaler Schulleistungsvergleichsstudien näher dargestellt werden:

- 1 Individuelle Kompetenzdiagnostik zur Förderung einzelner Schüler: Damit verbindet sich zum Beispiel für KLIEME ET AL. (2003) im pädagogischen Alltag die Hoffnung, Aussagen über das individuelle Leistungsvermögen und den jeweiligen Förderbedarf einzelner Schüler zu machen. Die Autoren schlagen vor, lieber einen kleineren Kompetenzbereich detaillierter zu erfassen, als das gesamte Spektrum von Hintergrundfaktoren mit verhältnismäßig wenigen Aufgaben pro Schülern abzudecken.
- 2 Validierung der den in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebetteten computergestützten Testaufgaben zugrunde gelegten Kompetenzmodelle: Entwicklung und Erfassung von Kompetenzen über Testaufgaben müssen theoriegeleitet, auf der Basis von Kompetenzmodellen erfolgen. Um sicher zu sein, dass diese Modelle tatsächlich die Aspekte der Kompetenz von Lernenden, ihre Niveaustufung und ggf. ihre Entwicklung angemessen widerspiegeln, sind empirische Untersuchungen mithilfe Simulationsszenarien und computergestützten Testaufgaben erforderlich (Ebd.).

Unter dem Blickwinkel der Entwicklung und Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz durch computergestützte Modellbildung und Simulation besitzt die Frage, welches die besonderen Bedingungen sind, unter denen der Übertritt von einer niedrigeren zu einer höheren Entwicklungsstufe gefördert werden kann, einen besondere Stellenwert. Im Rahmen der internationalen Vergleichsstudien TIMSS und PISA stellte die empirische Überprüfung der den Kompetenzmodellen als zentraler Bestandteil zugrunde gelegten Kompetenzstufen dann auch eine wesentliche Voraussetzung zur Bewertung der Testergebnisse dar. An den Kriterien zur Unterscheidung der einzelnen Kompetenzstufen wurde letztendlich auch die Aufgabenqualität zur Erfassung der Kompetenzen gemessen. In Kapitel 2.1 konnte jedoch gezeigt werden, dass fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen äußerst abstrakte Vorstellungen der Ziele beruflicher Bildung darstellen, die sich dabei auch noch einer unmittelbaren Beobachtung entziehen. In den oben genannten Vergleichsstudien werden Kompetenzstufen demzufolge in Form von unterschiedlich anspruchsvollen kognitiven Prozessen und Wissensforderungen definiert, deren Beherrschung mit bestimmten Niveaus einer Kompetenzdimension korrespondiert (Ebd.). Für die Autoren stellen sie den Schlüssel dar „zur Konstruktion und Auswertung kriteriumsorientierter Tests, indem sie eine Alternative zur willkürlichen Setzung von Leistungsmarken auf einem Kontinuum bieten“. (Ebd., S. 70)

Die Unterscheidung der Aspekte einer Kompetenz in unterschiedliche Niveaustufen weist damit große Ähnlichkeit bzgl. des von DREYFUS/DREYFUS (1987) vorgestellten Konzepts der Entwicklung vom Neuling zum Experten in fünf aufeinander aufbauende Entwicklungsstufen auf. DREYFUS/DREYFUS erkennen und differenzieren bei der Entwicklung menschlicher Fähigkeiten nachfolgende fünf Stufen:

- Neuling
- fortgeschrittener Anfänger
- kompetenter Akteur
- Professioneller
- Experte.

Sie benutzen diese Entwicklungsstufen ursprünglich zur grundlegenden und anschaulichen Begründung des Unterschieds zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz. Die fünf Stufen lassen sich aber analog auf den Lern- und Entwicklungsprozess vom beruflichen Neuling (Anfänger) zum erfahrenen Experten übertragen. Auf diesem Weg entwickeln Lernende Fertigkeiten und Fähigkeiten „vom analytischen Verhalten eines distanzierten Subjektes, das seine Umgebung in erkennbare Elemente zerlegt und dabei Regeln folgt, hin zu einem teilnehmenden Können, das sich auf frühere konkrete Erfahrungen stützt und auf ein unbewusstes Erkennen von Ähnlichkeiten zwischen neuen und früheren Gesamtsituationen.“ (Ebd., S. 61)

Ähnlich betrachtet es RAUNER (1999, S. 431). Für ihn basieren in diesem Zusammenhang menschliche Fähigkeiten „auf einer holistischen Kompetenz, die die Fähigkeit begründet, auch in neuen und unvollständig beschreibbaren Problemsituationen erfahrungsgelernt situativ kompetent zu handeln“. Die Stufen und Bedingungen der Entwicklung vom Anfänger zum Experten entwickelte er daraufhin zu einem Untersuchungs-Instrumentarium für berufliche Arbeitsaufgaben sowie zur Bemessung der Lernhaltigkeit beruflicher Arbeitsprozesse weiter (RAUNER 1995, 1998, 1999, 2001a/b, 2002a/b). Kriterien zur Unterscheidung der unterschiedlichen Niveaustufen entnimmt er dabei aus der Analyse so genannter Handlungssituationen, Fähigkeiten und konkreter Handlungen jeder einzelner dieser Entwicklungsstufen.

Sind die Zielvorgaben in Form von Kompetenzstufen festgelegt, besteht die anschließende Aufgabe einer computergestützten Testentwicklung darin, valide Indikatoren für das Erfüllen der charakteristischen Anforderungen jeder Kompetenzstufe als Testaufgabe abzubilden. Hierzu ist es erforderlich, so die Autoren der Expertise weiter, Testaufgaben zu entwickeln, die jeweils genau das erfassen, was für eine bestimmte Kompetenzstufe kennzeichnend ist. Für sie ist eine solche systematische, am Modell der Kompetenzstufen orientierte Aufgabenentwicklung deshalb ohne didaktische und psychologische Expertise nicht möglich (vgl. Kapitel 3.3.1). Nach den Erfahrungen der Autoren muss der Aufgabenentwickler darüber hinaus festlegen, welcher Kompetenzstufe jede in diesem Zusammenhang entwickelte Aufgabe entspricht, das heißt welche Prozesse und Wissensinhalte hierzu erforderlich sind. Bei PISA und TIMSS zum Beispiel sind diese Anforderungsprofile der Aufgaben empirisch aufwändig geprüft worden. Dafür konnten sich die Testentwickler jedoch sicher sein, dass ihre Aufgaben auch valide das messen, was im Kompetenzmodell theoretisch zugrunde gelegt wurde. Das individuelle Test- beziehungsweise Simulationsergebnis besagt dann, welche Kompetenzstufe die Schüler im Rahmen eines jeweiligen Kompetenzmodells erreicht haben (KLIEME ET AL. 2003).

Der besondere Charakter solcher Testaufgaben zum Erfassen einer Kompetenz von Lernenden besteht demnach in einer noch stärkeren fachdidaktischen Ausrichtung der Aufgaben an der beruflichen Realität, das heißt an den spezifischen Anforderungen der beruflichen Domäne. Das zur Steuerung komplexer technischer Systeme bzw. zum Lösen komplexer Probleme notwendige Wissen orientiert sich auf diese Weise intensiver an den Arbeitsprozessen und bleibt nicht auf das an den Fachwissenschaften orientierte Wissen beschränkt.

Die Aufgaben zum Erfassen und Beherrschen komplexer technischer Systeme mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation am Beispiel der Ausbildung zum Prozessleit-elektroniker richten sich dezidiert nicht auf die Beherrschung von mathematischen Verfahren oder von regelungstechnischen Faktenwissen und auch nicht auf ein nur schematisches Anwenden dieses Wissens zur Lösung von zum Beispiel klassischen Prüfungsaufgaben während der schulischen Ausbildung. Vielmehr soll mit diesen computergestützten Testaufgaben über Modellbildung und Simulation untersucht werden, inwieweit das erworbene regelungstechnischem Fachwissen funktional, flexibel und mit Einsicht zur erfolgreichen Bewältigung vielfältiger kontextbezogener Probleme in der Domäne Regelungstechnik von den Schülern eingesetzt werden kann. Die Testaufgaben gehen damit von einem Verständnis von Mathematik und von computergestützter Simulation als einem Werkzeug zur Modellierung von realen Problemen einer Domäne im Unterricht der Berufsschule aus (vgl. Ausführungen in Kapitel 3).

3 Erfassen komplexer Problemlösekompetenz über computer-gestützte Modellbildung und Simulation in der Regelungstechnik

3.1 Arbeitsprozesswissen - Bezugspunkt für die Gestaltung beruflicher Kompetenzentwicklung am Beispiel des Erfassens komplexer Problemlösekompetenzen in der Ausbildung zum Prozessleit-elektroniker

Die Entwicklung geeigneter Lernformen zur Förderung erwünschter beruflicher Kompetenzen war zentraler Gegenstand berufspädagogischer Forschung der letzten Jahrzehnte. Für viele Bildungsforscher bewegen sich jedoch die Antworten und Konzepte auf die Frage nach den Lehrinhalten der Ausbildungsverordnungen und an der Fachwissenschaft orientierter Lehrpläne zu sehr im Rahmen einer Berufspragmatik. „Eine auf Mitgestaltung der Arbeitswelt zielende Berufsbildung setzt jedoch eine Entschlüsselung des in der praktischen Berufsarbeit inkorporierten Wissens und eine Identifizierung der die berufliche Entwicklung herausfordernden Arbeitsaufgaben voraus.“ (RAUNER 1999, S. 424) RAUNER hat damit in Reaktion auf die nach seiner Auffassung über Jahre wissenschaftlich vernachlässigte inhaltliche Seite beruflichen Lernens den von der Qualifikationsforschung geprägten Begriff des Arbeitsprozesswissens aufgegriffen (REIER 2002). Er sieht in der Wende der Berufspädagogik hin zum Arbeitsprozesswissen und der implizierten gestaltungsorientierten Berufsbildung die Notwendigkeit, sich mit der Analyse beruflichen Arbeitsprozesswissens auseinander zu setzen (RAUNER 1995, 1999).

Daneben unternimmt FISCHER (1996, 2000b) unter Einbeziehung des von KRUSE (1986) vorgeschlagenen Begriffs des Arbeitsprozesswissens den Versuch, dieses zu einem vielschichtigen Konzept für die Berufspädagogik weiter zu entwickeln. „Für die berufliche Bildung ist die Dialektik der durch (Fach-)Theorie modifizierten Erfahrung und der mit eigener Erfahrung verbundenen Theorie von größter Bedeutung: Das Arbeitsprozesswissen hat in dieser dialektischen Einheit seine Wurzel.“ (RÖBEN 1999, S. 240) Für RAUNER (2002b, S. 322) wurde diese Wende beschleunigt durch die programmatischen Vorgaben der KMK zur Curriculumentwicklung (1999) und zum Bildungsauftrag der Berufsschule (1991) und findet seinen Ausdruck in der breiten Diskussion des von der KMK formulierten Lernfeldkonzeptes.

Eine wichtige Voraussetzung zur Charakterisierung einer komplexen Problemlösekompetenz stellt die Kenntnis des durch reale Anforderungen und domänenspezifische Anwendungsorientierung gekennzeichneten Arbeitsprozesswissens dar. Es kann unter anderem durch eine Verschmelzung von Arbeitserfahrung, Bildung und Qualifikation beschrieben werden. DIEHL (2000) konnte dies durch Befragungen in der chemischen Industrie hinsichtlich der Tätigkeit von Prozessleitelektronikern bestätigen. Dort sind Mess- und Regeltechniker häufig mit der Optimierung der Parameter von Prozessleitsystemen beschäftigt, die der Regelung verfahrenstechnischer Anlagen dienen. Die Regelgrößen dieser Anlagen besitzen meistens sehr große zeitliche Verzögerungen (Regelstrecken höherer Ordnung). „Die automatisierten Prozessleitsysteme waren bisher nicht in der Lage, das „Anfahren“ der Anlage zu regeln, die Beherrschung dieses Vorgangs erforderte die Erfahrung beziehungsweise das Arbeitsprozesswissen der Mess- und Regeltechniker.“ (Ebd., S. 180 f.) Mit dieser Kenntnis stellt das Arbeitsprozesswissen nicht bloß das Wissen über Einzelverrichtungen dar, sondern Wissen

darüber, wie verschiedene Teilarbeiten in den Gesamtprozess beziehungsweise –zusammenhang eingebunden sind. „Damit ist das berufliche Arbeitsprozesswissen kein sekundäres, vom wissenschaftlichen (akademischen) Wissen per didaktischer Reduktion abgeleitetes Wissen, sondern hat eine eigenständige Qualität. Es vermittelt den Zusammenhang zwischen den konzeptionellen Modellen der Arbeitsorganisation und der betrieblichen Interaktionspraxis, zwischen den ingenieurmäßig konstruierten Artefakten und ihren tatsächlichen Eigenarten im Produktionsprozess.“ (FISCHER 2000, S. 37)

Die Bedeutung von Arbeitsprozesswissen für das kompetente Bearbeiten komplexer Arbeitsaufgaben soll im Rahmen dieses Kapitels explizit unterstrichen werden. „Aus berufspädagogischer Perspektive interessieren jedoch weniger die Trennungslinien zwischen Wissen und Erfahrung, zwischen Wissen und Handeln als vielmehr ihr möglicher oder zu fördernder Zusammenhang.“ (FISCHER 2000, S. 36)

Im folgenden Kapitel 3.1.1 wird der Begriff Arbeitsprozesswissen zunächst ausführlicher dargestellt und seine Bedeutung für das Erfassen der komplexen Problemlösekompetenz am Beispiel der beruflichen Domäne Prozessleittechnik aufgezeigt. In diesem Zusammenhang wird auch deutlich, warum er grundlegend ist für ein Verständnis zur Unterscheidung zwischen Aufgaben, die fachwissenschaftliches Wissen dieser Domäne abbilden und Aufgaben, die (computergestützt) eine komplexe berufliche Problemlösekompetenz erfassen.

3.1.1 Zum Begriff des Arbeitsprozesswissens

3.1.1.1 Begrifflichkeiten und Perspektiven

Die Begriffe „Arbeitswissen“ oder „Arbeitsprozesswissen“ haben sich in der einschlägigen berufspädagogischen Literatur der letzten Jahre zunehmend stärker durchgesetzt. Vor allem RAUNER (1995b, 1998, 1999, 2000, 2001a/b, 2002a/b) und FISCHER (1996, 2000b, 2001) haben den Arbeitsprozess im Zusammenhang mit Bildungsansprüchen und -möglichkeiten verstärkt in den Blickpunkt wissenschaftlicher Forschung gerückt. Beiträge von EHRlich (1998, 2002), RÖBEN (1999) DIEHL (2000), DITTRICH (2000), FISCHER (2000b), GOTTSCHALCH/STUBER (2002), DRESCHER (2002) und RÖBEN/SIEBECK (2002) thematisieren insbesondere das spezielle Arbeitsprozesswissen in einzelnen Berufen beziehungsweise Berufsfeldern. Jedoch findet „eine detaillierte theoretische Begriffsauseinandersetzung [...] in diesem Rahmen nicht ausdrücklich statt.“ (PAHL/HERKNER 2000, S. 361)

Nach DIEHL (2000) kann ein Arbeitssystem sowohl statisch als Momentaufnahme als auch dynamisch unter Beobachtung seiner Abläufe betrachtet werden. Erstgenannte Beobachtungsweise führt zur Beschreibung der Elemente des Arbeitssystems respektive deren Eigenschaften und Verknüpfungen. Die dynamische Betrachtung dagegen erbringt Informationen über den Arbeitsprozess selbst. Facharbeiter benötigen für die erfolgreiche Bewältigung der gestellten beruflichen Anforderungen sowohl Kenntnisse und Erfahrungen bezüglich des Arbeitsplatzes als auch des Arbeitsprozesses. Wissen um die dynamischen Abläufe in Arbeitssystemen bezeichnet DIEHL (2000, S. 175) als Arbeitsprozesswissen. Für RÖBEN (1997, S. 56) umfasst das Arbeitsprozesswissen darüber hinaus „alle Momente des Arbeitsprozesses, umschließt also das auf die sinnliche Erfahrung gestützte Erfahrungswissen⁸⁹ ebenso wie das

⁸⁹ PLATH (2000b) definiert Erfahrungswissen als eine „hochentwickelte Form des Handlungswissens.“ (PLATH 2000b, S. 8) Für ihn sind dabei das explizierbare (deklarative) und das implizite Wissen vor dem Hintergrund der erfolgreichen Bewältigung beruflicher Aufgaben weitgehend optimal organisiert und strukturiert. Handlungs- und Erfahrungswissen bestehen folglich nicht nur aus explizitem praktischen, sondern auch aus explizitem theoretischem

Fachwissen, soweit es für die konkrete Ausführung des Arbeitsprozesses tatsächlich angewandt wird.“ In Ergänzung dieser Überlegungen nennt FISCHER (2001, S. 6) das Wissen von Fachkräften im gewerblich-technischen Bereich Arbeitsprozesswissen „zum einen, weil es den betrieblichen Arbeitsprozess zum Gegenstand hat, und zum anderen, um anzudeuten, dass bei den [...] untersuchten ausgebildeten Arbeitskräften weder die bloße Erfahrung⁹⁰ noch die aus den akademischen Disziplinen abgeleiteten Fachtheorien allein maßgeblich ist für das von ihnen entwickelte arbeitsrelevante Wissen“ bei der Bearbeitung komplexer beruflicher Arbeitsanforderungen.

Für RÖBEN (1999) mutet vor dem Hintergrund dieser Bestimmungen das von FISCHER benannte Charakteristikum des Arbeitsprozesswissens, Einheit von Erfahrungswissen und Fachwissen zu sein, allerdings ein wenig merkwürdig an. Er fragt sich, wie so grundverschiedene Wissensarten im Arbeitsprozesswissen aufgehoben werden können und eine Einheit bilden sollen. „In der Tat scheint das Arbeitsprozesswissen zunächst einmal eine Wissenskategorie eigener Art zu sein, die sich durch ihren Inhalt (nämlich das Wissen um den Arbeitsprozess) bestimmt. Um einen Zusammenhang zwischen dem Arbeitsprozesswissen und dem Erfahrungs- und Fachwissen herzustellen, bedarf es daher eines Vermittlungsschrittes, der bislang fehlt und dessen Fehlen zu einer begrifflichen Unschärfe des Arbeitsprozesswissens führen kann, was diesem Begriff ein ähnliches Schicksal eröffnen könnte, wie dem des Kompetenzbegriffs.“ (Ebd., S. 241)

Facharbeiterspezifisches Arbeitsprozesswissen vermittelt für FISCHER/STUBER (1997, S. 30) zukünftigen Facharbeitern den Zusammenhang zwischen konzeptionellen Modellen der Arbeitsorganisation und -planung („ingenieurmäßig konstruierte Artefakte“) und der realen betrieblichen Lebenswelt („reale Situationen, in denen die Artefakte zur Anwendung kommen“). Dieser Zusammenhang ist für sie möglich, weil das eher betriebswirtschaftliche Geschäftsprozess-Wissen um das Wissen über die tatsächlich vorhandenen beziehungsweise zu schaffenden technologischen und sozialen Freiheitsgrade, Restriktionen und Entwicklungsperspektiven ergänzt wird.

Über eine breit angelegte Berufsfeldforschung wird versucht, sich dem Arbeitsprozesswissen von Facharbeitern anzunähern. Hierzu wird im Rahmen einer methodisch erweiterten Qualifikationsforschung deren Wissen gefiltert und systematisiert. Folgende Merkmale des Arbeitsprozesswissens zeichnen sich dabei zur Zeit ab (vgl. RAUNER 1999, S. 424 f.; FISCHER/RÖBEN 1997, S. 247 ff.):

- Fachkräfte verfügen über Arbeitsprozesswissen, wenn sie in beruflichen Handlungsbezügen zielgerichtet tätig sein können.
- Arbeitsprozesswissen ist nur im Kontext eigenständiger Handlung und Erfahrung erlernbar; es lässt sich nicht durch einfache Beobachtung erschließen.
- Arbeitsprozesswissen steht in gewissem Gegensatz zu wissenschaftlichem und fachwissenschaftlichem Wissen.

schen Wissen (technisches, technologisches Wissen, Prozesswissen, Maßnahmenwissen usw.) „und schließt das implizite Wissen über Wirkungszusammenhänge, funktionale Abhängigkeiten usw. ein“. (Ebd.) „Erfahrungswissen bezieht sich sowohl auf Sachverhalte (Wissen, dass ...) als auch auf Vorgehensweisen (Wissen, wie ...)“. (PLATH 2000a, S. 121)

⁹⁰ FISCHER (1996, S. 239) versteht unter dem Begriff der Erfahrung das persönliche Erleben der Zusammenhänge, die für das eigene Handeln bedeutsam sind. Es enthält für ihn zwei wesentliche Voraussetzungen für das Begreifen: das Kennen einer Sache und das Motiv, mit dieser Sache praktisch etwas anzufangen. Er bedauert aber, dass viel zu selten zur Kenntnis genommen wird, worin das Kennen einer Sache besteht und was Lernende mit ihr anfangen wollen, so dass nicht an der tatsächlichen Erfahrung angeknüpft werden kann.

- Arbeitsprozesswissen ist die Folge einer Verschmelzung von Arbeitserfahrung und Bildung/Qualifizierung.
- Arbeitsprozesswissen beinhaltet Erfahrungen zu Zweck und Ablauf betrieblicher Gesamtprozesse.
- Arbeitsprozesswissen wird aus beruflichen Anforderungen aufgebaut, deren erfolgreiche Bewältigung die Zielfindung, Planung und Bewertung von Arbeitsprozessen einschließt.

In diesem Zusammenhang gewinnt vor allem auch eine andere Form praktischer Erfahrung an Bedeutung, die in detaillierten arbeitspädagogischen und sozialwissenschaftlichen Untersuchungen als so genanntes implizites Erfahrungswissen diskutiert worden ist. Erfahrungswissen wird im alltäglichen Umgang mit verfahrenstechnischen Anlagen und der integrierten Prozessleittechnik in Zusammenarbeit mit anderen Fachkräften erworben. Es kennzeichnet ein vielförmiges, subjektives Arbeitsvermögen vor dem Hintergrund einer spezifisch fachlichen Domäne. „Dazu gehört die Fähigkeit, sich aufgrund erinnerter Ereignisse bei der Arbeit zurückliegender Fälle notwendige Handlungsfolgen insgesamt in „mentalen“ Bildern vorzustellen und diese auch auf Prozessabschnitte fokussieren zu können, die besonderer Aufmerksamkeit bedürfen.“ (ROSE/MACHER 1993b, S. 615 f.)

Untersuchungen zum Erfahrungswissen von Chemiefacharbeitern wurden bereits 1992 von BÖHLE/ROSE in die generelle Diskussion über das Erfahrungswissen eingebracht. „Das Erfahrungswissen hat diesen Untersuchungen zufolge in der Prozessindustrie eine große Bedeutung sowohl für die Bewältigung der unmittelbaren Produktionsarbeit als auch bei der Kontroll- und Überwachungsarbeit in der auf hohem Niveau automatisierten verfahrenstechnischen Produktion.“ (RÖBEN 1999, S. 239) Arbeitsprozesswissen von Facharbeitern ist gefragt, wenn Problemsituationen auf der Ebene der Prozessleittechnik (zum Beispiel Störungen in Anlagenteilen oder bei den Produktionsprozessen) durch die Fachkräfte selbst behoben werden sollen. „Arbeitsprozesswissen entfaltet sich [...] in solchen Problemsituationen insbesondere [...] an Kristallisationspunkten betrieblicher Entscheidungen, wenn etwa im Rahmen betrieblicher Innovationsprozesse eine neue Technik eingeführt wird oder bestehende Arbeitsabläufe verändert werden.“ (FISCHER 2000, S. 43) Es erscheint allerdings bei der Bearbeitung komplexer technischer Probleme und den damit verbundenen Entscheidungen nicht ohne weiteres aktivierbar zu sein. „Dies liegt unter anderem daran, dass aufgrund der objektiven Intransparenz und Komplexität der Problemsituation sowie ihrer subjektiven Bedrohlichkeit keineswegs automatisch Arbeitsprozesswissen aufgebaut wird.“ (Ebd.) ROSE/MACHER (1993, S. 615 f.) haben in Zusammenhang mit ihren Untersuchungen zum Erfahrungswissen⁹¹ von Anlagenfahrern darauf hingewiesen, dass diese unter Bezugnahme ihres Erfahrungswissens implizit (Anlagenfahrer umschreiben dies mit: da sie „ungewöhnlich“ sind) entscheiden, aufgrund welcher Prozessdaten Systeme überprüft werden müssen, wie Randbedingungen von Prozessen stabilisiert werden können oder welche möglichen Ursachen für Störungen zu untersuchen sind.

⁹¹ ROSE/MACHER (1993) sehen unter Bezugnahme auf neuere Untersuchungen das implizite Handlungswissen als eine eigenständige Form des Wissens, das sowohl für die Planung als auch für die konkrete Durchführung praktischen Handelns, ebenso wie für die erfolgreiche Bewältigung neuer Arbeitssituationen von Bedeutung ist. Handlungswissen, das auf der Basis von Erfahrung erworben worden ist, stellt demnach gegenüber theoretisch-wissenschaftlich begründetem Wissen keine untergeordnete (Wissens-) Stufe dar, noch lässt es sich hierdurch vollständig ersetzen. Es beschränkt sich, so die Autoren weiter, auch nicht auf bloße Durch- und Ausführung von Handlungen und vorausgegangenen Erfahrungen.

Als abschließende Bilanz ihrer empirischen Forschung haben zehn Institute, die sich zu dem europäischen Netzwerk „Work-Process-Knowledge“ zusammengeschlossen haben, Arbeitsprozesswissen als dasjenige Wissen bestimmt, das

- zum erfolgreichen Handeln in Arbeitsprozessen unmittelbar benötigt wird (im Unterschied zum Beispiel zu einem rein fachsystematisch strukturierten Wissen);
- überwiegend im Arbeitsprozess selbstgesteuert erworben wird (zum Beispiel durch Erfahrungslernen); die Verwendung fachtheoretischer Kenntnisse ist dabei nicht ausgeschlossen;
- einen vollständigen Arbeitsprozess einschließt im Sinne von Zielsetzung, Planung, Durchführung und Bewertung der eigenen Arbeit (FISCHER 2000, S. 36).

3.1.1.2 Zusammenhang zwischen Arbeitsprozesswissen und Lernen in der beruflichen Bildung

„Das Wissenschaftswissen und damit auch das aus ihm abgeleitete Fachwissen weist eine vom Erfahrungswissen fundamental verschiedene Natur auf. Es geht zum größten Teil nicht unmittelbar aus dem eigenen Erleben hervor und wird nicht durch eine zeitliche Struktur geprägt. Stattdessen besitzt es eine logische Struktur und ist situationsunabhängig in institutionellen Lernprozessen erlernbar.“ (RÖBEN 1999, S. 241) Unter Bezugnahme auf die Untersuchungen von SCHUMANN ET AL. 1994 beklagt RÖBEN (1997) gerade die unzureichende Nutzung des zum Beispiel in der Berufsschule auf Vorrat angeeigneten Fachwissens für die Durchführung des konkreten Arbeitsprozesses. Für sie hat die berufliche Bildung dieses Problem bislang nicht zufriedenstellend gelöst.

Viele Autoren sehen im beruflichen Arbeitsprozesswissen die vielversprechende Chance, die Kluft zwischen Theorie und Praxis, zwischen Wissen und Können, zwischen Individuum und betrieblicher Gemeinschaft beim Erwerb beruflicher Kompetenzen zu verringern. Mit den damit verbundenen neuen fachlichen Inhalten wird die Frage aufgeworfen, wo und wie dieses planerische Arbeitsprozesswissen erworben werden soll (FISCHER/STUBER 1997). Für die Einbeziehung und Förderung beruflichen Arbeitsprozesswissens in das organisationale Lernen gibt es bislang insgesamt noch sehr wenige Lösungen, die Arbeitsprozesswissen explizit zum Gegenstand des Lernens machen. „Berufliche Aus- und Weiterbildung enthält häufig entweder bloß die Vermittlung fachsystematischen, aus den akademischen Disziplinen abgeleiteten, Wissens (mit großer Distanz zum konkreten Arbeitsprozess) oder bloß die Vermittlung von technischem Bedienungswissen (mit großer Distanz zum betrieblichen Gesamtarbeitsprozess).“ (FISCHER 2001, S. 19) Arbeitserfahrung allein, dies steht für FISCHER/ STUBER (1997, S. 32 f.) fest, führt nicht zwangsläufig zu kompetentem Arbeitshandeln. Für sie ist ein theoretisches Verständnis neuer betrieblicher Planungsinhalte erforderlich, deren Auseinandersetzung nicht den Zufälligkeiten betriebsindividueller Zugänge überlassen werden darf. „Kurz, es ist eine berufliche Identität gefordert, die zum selbstständigen Planungs- und Organisationshandeln befähigt.“ (Ebd.) Indem Arbeitsprozesswissen aber zum Gegenstand des Lernens gemacht wird, bedarf es der besonderen Anstrengung seitens der Lernenden bei der Explikation, Dokumentation und Reflexion, da Arbeitsprozesswissen im Prozess des Lernens aus verschiedenen Gründen nicht so einfach aktivierbar ist. Für FISCHER ist der Lernprozess daher mehr als eine kognitivistische („prozedurales Wissen“) oder handlungstheoretische Verkürzung („Ausdruck erweiterten Handlungsspielraums“) von Unterricht.

Da Erfahrungswissen vornehmlich im Prozess der Ausführung derjenigen Tätigkeiten entsteht, für deren erfolgreiche Bewältigung es benötigt wird, ist eine ausreichende Dauer der Tätigkeitsausführung und eine sachkundige Begleitung durch bereits erfahrenere Personen von entscheidender Bedeutung. „Praktika sind hierbei in dem Maße hilfreich, in dem die dort gestellten Anforderungen denen von „echten“ Arbeitstätigkeiten möglichst weitgehend analog sind. Dies entspricht der Forderung nach praxisnaher Ausbildung.“ (PLATH 2000b, S. 9) Beispiele aus der Prozessleittechnik finden sich zum Beispiel bei DRESCHER (2002, S. 263 f.): Aus seiner Sicht bestehen für den Instandhalter besonders günstige Situationen zur Aneignung von Anlagenwissen bei Aufbau und Inbetriebnahme, aber auch während der Anlaufphase einer Anlage. „Anlagenwissen wird während der Arbeit mit der Anlage, durch Beobachtungen, Dokumentenstudium und in Gesprächen mit Kollegen erworben.“ (Ebd.) Dort sind nach seinen Untersuchungen die zeitlichen Bedingungen für das Lernen im Arbeitsprozess besonders optimal und sind die Bedingungen für den Informationsaustausch mit und Rückfragen bei kompetenten Ansprechpartnern überaus günstig. DRESCHER gibt aber zu bedenken, dass wegen der laufenden Veränderungen in den Details einer Anlage (angesichts kontinuierlicher Modernisierungs- und Modifizierungsprozesse) die Aneignung von Anlagenwissen ein kontinuierlicher Prozess sein muss.

Wenn der Erwerb von Erfahrungswissen wesentlich von der Art der Vermittlungsweise abhängt, erscheint es nicht als ausreichend, lediglich darauf zu vertrauen, dass sich die Lernenden selbstgesteuert dieses Erfahrungswissen aneignen. PLATH (2000a, S. 122) rät dazu, Lerngelegenheiten zu schaffen, „in denen das in gegenwärtigen und zukünftigen Funktionsfeldern benötigte Erfahrungswissen systematisch vermittelt und erworben wird“. Er verweist darauf, dass dies sowohl in gesonderten Lernfeldern, wie Lernen am Modell oder in Simulationsanlagen usw. als auch durch Lernstationen in realen Herstellungs-, Fertigungs- oder Dienstleistungsprozessen erfolgen kann. In Lernumgebungen, die den Zuwachs von Handlungskompetenzen unterstützen, sieht er darüber hinaus den großen Gewinn, dass dabei intrinsische Motivationen bei den Lernenden angesprochen werden, die den Lernerfolg überaus begünstigen.

FISCHER (1996, S. 239) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass berufliches Wissen und Können nicht einfach bloß Anwenden des Gelernten bedeutet. Für ihn wird die Arbeit auch als eine Art Erfahrungsraum genutzt, in dem Lernende ihr Schulwissen in arbeitsrelevantes Wissen und Können transformieren und zieht daraus die Konsequenz: „Lernende benötigen zur Verarbeitung fachtheoretischer Kenntnisse einen Erfahrungsraum, d. h. die Gelegenheit, Erfahrungen zu machen“ (Ebd.) und plädiert dafür, ihnen mehr Zeit für das Sammeln eigener Erfahrung im Lernprozess einzuräumen. Er fordert, geeignete Medien im Unterricht einzusetzen, die eine größere Nähe zum Erfahrungsgegenstand ermöglichen. Allerdings relativiert FISCHER (Ebd., S. 241) diese Aussage indem er schließt: „Was der Erfahrung zugänglich ist, ist jedoch nicht nur eine Frage des angemessenen Mediums, sondern auch des Kenntnisstands des Lernenden.“

Komplexe berufliche Arbeitsaufgaben kennzeichnen sich durch eine Arbeitsumgebung, die von spezifischen Produktionsprozessen, der eingesetzten Technik sowie der existierenden Form der Arbeitsorganisation charakterisiert ist. Das Aktivieren von Arbeitsprozesswissen ist eine Voraussetzung zur Förderung von Problemlösekompetenz. „Die berufliche Bildung versucht, Facharbeiter zu befähigen, diese spezifischen Gestaltungsräume auszufüllen und gegebenenfalls zu erweitern. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die berufliche Bildung die für Lernende komplexen Handlungsspielräume in ihrer aktuellen Ausprägung kennt und auch

über Entwicklungen informiert ist, die diese Räume verändern oder veränderbar machen.“ (DITTRICH 2000, S. 159)

Nachfolgend sollen die Gestaltungsräume angehender Facharbeiter im Arbeitsumfeld Prozessleittechnik näher untersucht und dargestellt werden. Wie gezeigt werden kann, kommt dabei der Regelungstechnik eine Schlüsselposition zu.

3.1.2 Analyse des Arbeitsprozesswissens von Prozessleitelektronikern

Wie RAUNER (1999, S. 426 f.) klarlegt, orientiert sich das wissenschafts- und fachsystematische Lehren und Lernen an den von den Wissenschaften hervorgebrachten Wissenssystemen. Entsprechend bemühen sich, so RAUNER weiter, die wissenschaftlichen Lehrbücher um fachsystematische Darstellungen der Fächer oder der Fachgebiete in der Weise, „dass der je nächste Schritt im Lehrgebäude einer Wissenschaftsdisziplin auf den vorangegangenen logisch und inhalts-systematisch aufbaut“. Auch in der gewerblich-technischen Berufsbildung folgt die Fachtheorie - fachdidaktisch reduziert - der Logik und den Inhalten der einschlägigen Fachwissenschaften, insbesondere deren besagten Grundlagen. Technik erscheint folglich in der gewerblich-technischen Grundbildung vielfach als angewandte Naturwissenschaft und reduziert diese damit „fachkundlich auf abstrakte Technik, auf die innere Logik des Technischen und bleibt so in ihrem Wesen als unauflösbare Einheit des technisch Möglichen und gesellschaftlich Notwendigen/sozial Wünschbaren unbegriffen.“ (Ebd.) Fachtheorie bezieht sich, so RAUNER´s Kritik, in der Berufsschule auf Fachwissenschaft und nicht auf Facharbeit.

So setzt zum Beispiel die Beschreibung des naturwissenschaftlichen Phänomens der elektrischen Spannung die Kenntnis des Sachverhaltes elektrische Ladung und elektrisches Feld voraus. Überträgt man dieses sich ganz offenbar aus der Sache selbst ergebende Lehrkonzept auf einen spezifischen Bereich der beruflichen Bildung, wie der Regelungstechnik, dann hat dies weitreichende Folgen für die Gestaltung entsprechender Lehr-Lernarrangements. So wird zum Beispiel der Regelkreis als eine besondere (nämlich rückgekoppelte) Form einer Steuerung fachsystematisch zum Gegenstand des Lehren und Lernens, wenn vorher

- Blockschaltbilder
- Grundsaltungen von Operationsverstärkern
- Analyse von Übertragungsgliedern
- Reglergrundsaltungen
- Streckengrundsaltungen
- statisches Übertragungsverhalten
- dynamisches Übertragungsverhalten (Zeitverhalten)
- Verbindungsmöglichkeiten von einzelnen Regelkreisgliedern

behandelt werden. Der Regelkreis als reale (regelungstechnische) Anlage kommt fachsystematisch - wenn überhaupt - erst am Ende dieser Unterrichtssystematik ins Blickfeld. Die Gebrauchswerteigenschaften von Technik (oder mit RAUNER´s Worten: der „Arbeit und Technik“-Zusammenhang), wie er etwa bei der Montage einer pneumatisch angetriebenen Stelleinrichtung zu berücksichtigen ist, sowie der Sicherheitsaspekt der (etwa bei der Berücksichtigung von Explosionsschutzauflagen) bleiben fachsystematisch betrachtet normalerweise ausgeblendet. Die für Prozessleitelektroniker mit diesem Stellglied verbundenen typischen Arbeitsanforderungen (Ersetzen eines defekten Stellungsreglers, Einstellen der Wirkungsrichtung, Bestimmen der korrekten Hilfsenergiezuführung etc.) können (aufgrund fehlender beruflicher Handlungskompetenz) auf diese Weise nicht erfolgreich bewältigt werden. In diesem

Zusammenhang ist RAUNER (1999, S. 426 f.) zuzustimmen, wenn er sagt: „Technik als Gegenstand der Facharbeit wird fachsystematisch v. a. in den Lehrplänen für das berufsschulische Lernen reduziert auf die Aspekte zweckfreier Technik, technologische Prinzipien und ihre naturwissenschaftliche Beschreibung.“ Diese traditionelle, fachsystematische Aufbereitung von Lehrinhalten führt für ihn zu einem dreifach verkürzten, reduktionistischen Technikverständnis, das einer modernen Berufsausbildung im Wege steht (vgl. Ebd.):

- Abstrahiert wird von der im Arbeitsprozess vorfindlichen realen und fassbaren Technik mit allen ihren Gebrauchswerten.
- Technik erscheint (somit auch) nicht als Gegenstand und Werkzeug von betrieblicher Facharbeit.
- Ebenso gerät die Schnittstelle „Mensch-Maschine“ aus dem Blickfeld. Ein Aspekt, der bei der Bearbeitung komplexer betrieblicher Arbeitsaufgaben zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Mit dem Vorbild tayloristischer Arbeitsteilung entstanden in der Folge auf dieser Grundlage in der betrieblichen Berufsbildung in gleichem Zuge Lehrwerkstätten, in denen eine nach Berufsfeldern getrennte Ausbildung - in aller Regel fern von der Produktion - stattfand. HOFMANN/RÖBEN (1997) sehen in dieser Ferne zum Arbeitsprozess und mit seinen spezifischen Anforderungen eine Ausbildung begünstigt, die auf abstrakte Tätigkeiten und Grundfertigkeiten zielt und somit den Sinn konkreter Arbeit entstellt. Berufliche Bildung, ohne die Befähigung zur Bewältigung komplexer beruflicher Arbeitsaufgaben, ist vor dem Hintergrund des Bildungsauftrages der Berufsschule mit dem Ziel der Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz jedoch nicht denkbar.

3.1.2.1 Was ist Prozessleittechnik?

Im Sinne des BUNDESARBEITGEBERVERBAND´S CHEMIE (1992, S. 4) sind moderne Produktionsanlagen verfahrenstechnisch orientierter Industriezweige, wie etwa chemische Industrie und Kraftwerke, mit hochwertigen und komplexen Prozessleiteinrichtungen ausgestattet und garantieren in hohem Maße die Sicherheit der Mitarbeiter, den Schutz der Umwelt, die Qualität der Produkte und das rationelle Arbeiten. Mit ihrer Hilfe, so die Auffassung des Bundesarbeitgeberverband´s weiter, werden verschiedenartige Messwerte, beispielsweise Druck, Temperatur und Durchfluss oder die Zusammensetzung von Stoffen erfasst und verarbeitet. Steuerungen sorgen für einen automatischen Ablauf von Vorgängen und Verfahren; Regelungen dienen dazu, gemessene Größen auf einen gewünschten Wert zu bringen und entgegen Störeinflüssen konstant zu halten. „Zu den Prozessleiteinrichtungen gehören Sensoren, analoge und digitale Einrichtungen zur Übertragung und Verarbeitung der Informationen aus dem Prozessablauf, elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch angetriebene Aktoren und Einrichtungen zur Versorgung der Prozessleittechnik mit Hilfsenergie.“ (Ebd.)

Bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts hinein nahm die Messtechnik innerhalb der Prozessleittechnik eine eindeutig führende und zentrale Rolle ein. Die Prozessleittechnik (PLT) entwickelte sich dabei zunächst aus der Betriebskontrolle dann über die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik) heraus. Aufgabe des Regels und Steuerns wurde damals weitgehend von den Anlagenfahrern wahrgenommen. „Nach Einführung der dezentralen Prozessleitsysteme haben sich aus den vielen Einzelfunktionen in den letzten Jahren drei Aufgabengebiete der Prozessleittechnik herauskristallisiert: das Messen, das Sichern und ein drittes, welches die Regelung, die Steuerung sowie die Kommunikation zwischen Prozess und Betriebsmannschaft umfasst.“ (STROHRMANN 1998, S. 15)

Im Sinne von BOLCH/VOLLATH (1991) wird dabei unter einem Prozess die Umformung und/oder der Transport von Materie, Energie und/oder Information verstanden. Die Eingangs- und Ausgangsgrößen eines technischen Prozesses werden dabei gemessen, gesteuert und/oder geregelt (vgl. Abbildung 10). Ähnliches findet man bei WIDDEL (1990, S. 396): „Unter einem Prozess versteht man den dynamischen Vorgang in einem System, der fortwährend Änderungen des Systems von einem bestimmten Vorzustand in einen Folgezustand herbeiführt. Ein Gesamtprozess kann als Folge sequenzieller Teilprozesse, als Gesamtheit paralleler oder konkurrierender Teilprozesse oder als Mischform realisiert sein.“ Lernende treffen in ihren Ausbildungsunternehmen vorwiegend auf eine Kombination aus diesen Erscheinungsformen.

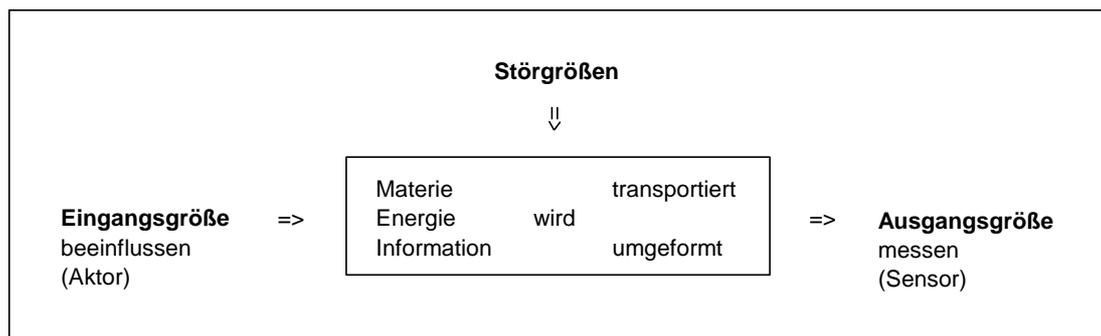


Abbildung 10: Technischer Prozess (in Anlehnung an BOLCH/VOLLATH 1991, S. 20)

Prozesse werden demzufolge durch zielgerichtete Eingriffe in Richtung eines vorgegebenen Zustands beeinflusst. Über- oder Unterschreiten eines vorgegebenen Sollwertes erfordert eine Änderung der Prozessführung. Eine offene Prozesssteuerung liegt vor, wenn sich die Beeinflussung des Prozesses allein an der Zieldefinition orientiert. Eine geschlossene Steuerungsstruktur nach dem Prinzip eines Regelkreises liegt dagegen vor, wenn die Steuerung neben den eigentlichen Zielvorgaben auch aktuelle Prozessvariablen berücksichtigt. Dabei halten Regler aufgrund permanenter Messung Größen auf ihrem vorgegebenen Sollwert. Auf diese Weise können Störgrößen kompensiert oder kritische Prozesszustände beherrscht werden. Zur Überwachung dieser Prozesszustände werden ständig aktuelle Daten aus dem Prozess herangezogen. „Die Steuerungsinformation wird technisch realisiert durch die Umsetzung informationstechnischer Mittel und Gerätekonfigurationen in stofflich-energetische Wirkungen zur Prozessbeeinflussung.“ (WIDDEL 1990, S. 397) In umgekehrter Richtung wird in einem geschlossenen Wirkungskreis der entsprechende stofflich-energetische Zustand eines Prozesses mittels Sensoren informationstechnisch erfasst und zu einer Leitstelle übertragen. Das Bindeglied zwischen Steuereinheit beziehungsweise Regler und dem Prozess ist dabei die Stelleinrichtung. „Sie hat die Funktion, die mit geringem Energieaufwand ausgestattete Stellinformation in einen stofflich-energetischen Zustand meist sehr viel höheren Energieinhalts zum Steuern des Prozesses umzuformen.“ (Ebd.) Stellglieder zur Prozessbeeinflussung können zum Beispiel sein: Ventile, Hähne, Klappen, Schieber, hydraulische Antriebe, Förderbänder, Pumpen, Gebläse.

Nach DIN 19222, Leittechnik⁹² / Begriffe stellt „Leiten“ die Gesamtheit aller Maßnahmen dar, die einen im Sinne festgelegter Ziele erwünschten Ablauf eines Prozesses bewirken. Die an-

⁹² Prozessleittechnik schließt die Kommunikation mit den bedienenden Personen ein. Prozessführungstechnik enthält darüber hinaus noch die Anteile des verfahrenstechnischen Prozesses.

gesprochenen Maßnahmen werden nach Verarbeitung der aus dem Prozess oder aus der Prozessumgebung gewonnenen Daten durch die Leiteinrichtung getroffen (siehe Abbildung 11). Anmerkungen zur DIN 19222 führen die Definition weiter aus: „Im Hinblick auf die zu erreichenden Ziele können zum Beispiel Sollwerte, Sollzustände, deren Verläufe oder Gütekriterien festgelegt werden. Der im Sinne dieser Ziele erwünschte Prozessverlauf kann durch Eingangs-, Zustands- und Ausgangsgrößen und deren Beziehungen untereinander beschrieben werden.“ (STROHRMANN 1998, S. 12) In neuester Zeit wird Prozessautomatisierung dagegen nur noch als der ausschließlich technische Anteil der Prozessleittechnik definiert.

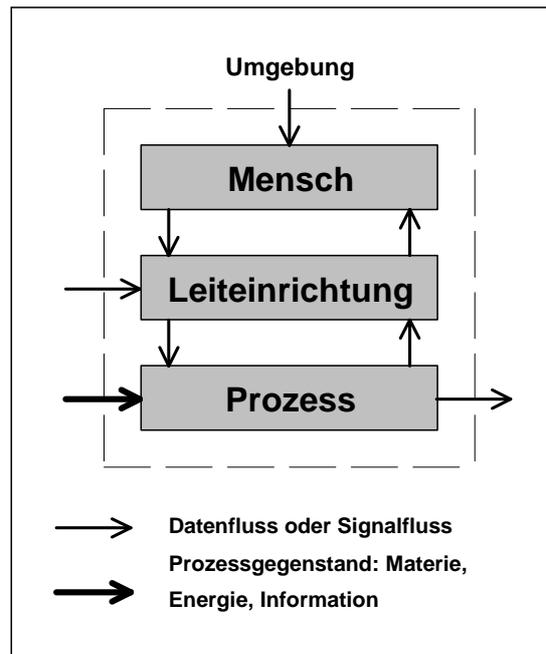


Abbildung 11: Einbinden der Leiteinrichtung nach DIN 19222⁹³ (nach STROHRMANN 1998, S. 13)

Einrichtungen der Prozessleittechnik sind vor allem in verfahrenstechnischen Industriezweigen anzutreffen. Prozessleitsysteme automatisieren dabei mit Hilfe der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik überwiegend Bereiche zum Beispiel in

- Chemie- und Mineralölindustrie
- Kraftwerken
- Stahlwerken und Gießereien
- Nahrungs- und Genussmittelindustrie
- Umweltschutz- und Kläranlagen
- Papier- und Zellstoffindustrie sowie
- Zement- und Glasindustrie.

⁹³ „Leiteinrichtungen integrieren alle für das Leiten verwendeten Geräte und Programme, sie wirken zwischen den Menschen und dem Prozess. Die nach oben gerichteten Daten- oder Signalflusspfeile übertragen Informationen vom Prozess zur Leiteinrichtung (Messwerte und Prozesszustände) und von der Leiteinrichtung zum Menschen (Informationen über die Messwerte, Prozesszustände und daraus abgeleiteter und aufbereiteter Größen wie Wirkungsgrade oder Regelabweichungen). Die nach unten gerichteten Pfeile übertragen Führungsgrößen und Zustandsvorgaben auf das Leitsystem beziehungsweise Stell- und Schaltwerte auf die Stellglieder des Prozesses. Der von links auf die Leiteinrichtung wirkende Pfeil soll andeuten, dass auch von anderen Leiteinrichtungen auf die Leiteinrichtung eingewirkt werden kann.“ (STROHRMANN 1998, S. 13)

Nach STROHRMANN (1998, S. 19) laufen die aufgeführten technischen Prozesse immer dann im bestimmungsgemäßen sicheren Zustand und werden die Produkte unter den vorgegebenen Randbedingungen immer dann in erforderlicher Menge und Qualität mit den geringst möglichen Kosten produziert, wenn die Prozessleittechnik ihre Aufgaben erfolgreich bewältigt. Konkret formuliert als nach DIN 19222 sieht STROHRMANN es als Aufgabe der Prozessleittechnik an, aus Kenntnis der Werte der Messgrößen (Istwerte) und der für den Prozess vorgegebenen Sollwerte entsprechend auf die Stellgeräte einzuwirken und die Betriebsmannschaft über diese Prozesszustände zu informieren. Für die Gestaltung eines entsprechenden unterrichtlichen Lernarrangements zum Fördern und Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz ist eine so pauschal umrissene Aufgabenstellung für Prozessleitelektroniker allerdings noch immer zu unspezifisch beschrieben. Hierzu müssen die Aufgaben prozessspezifischer formuliert werden: So sind zum Beispiel Mess- und Stellorte sowie die Art der Signalverarbeitung festzulegen. Ferner sind über Messbereiche, Produktionszusammensetzungen, Stoffströme und Grenzwerte der Betriebsgrößen zusätzliche Informationen abzusprechen oder anzugeben; aber auch die Reaktion des Prozesses auf Störeinflüsse gilt es zu berücksichtigen (Ebd.).

Im Folgenden soll zunächst das Charakteristische in der praktischen Tätigkeit des Berufes Prozessleitelektroniker (frühere Berufsbezeichnung: Mess- und Regelmechaniker) gekennzeichnet werden, das ihn von allen anderen Elektroberufen wesentlich unterscheidet. Der Beruf des Mess- und Regelmechanikers entstand 1962 hauptsächlich zur Instandhaltung verfahrenstechnischer Automatisierungsanlagen. Er etablierte sich im Laufe der Zeit und wurde 1992 als Prozessleitelektroniker neu geordnet weitergeführt. Nachdem die letzte Ausbildungsordnung für diesen Beruf erst 1981 erlassen worden war, wurde er in die Neuordnung der Metall- und Elektroberufe von 1987 - zunächst - nicht mit einbezogen.

3.1.2.2 Der Beruf Prozessleitelektroniker

3.1.2.2.1 Berufsbildbeschreibung

Spezielle Erfordernisse für die Einrichtung und Instandhaltung von Mess-, Steuer- und Regleinrichtungen in der chemischen Produktion hatten in den 50er Jahren dazu geführt, dass (abgesehen vom damaligen Beruf des Starkstromelektrikers) eine eigenständige berufliche Ausbildung zum Mess- und Regelmechaniker geschaffen und - per Ministererlass vom 20.7.1960 - bundesweit anerkannt worden war. 1972 trat die Stufenausbildung für die industriellen Elektroberufe in Kraft. In diesem Zuge wurde die Ausbildungsverordnung zum Mess- und Regelmechaniker auf Grundlage des Berufsbildungsgesetzes von 1969 ebenfalls überarbeitet und 1982 in Kraft gesetzt. Der Prozessleitelektroniker ist demnach ein Monoberuf ohne Spezialisierungen und ohne Fachrichtungen mit einer 3 ½-jährigen Ausbildungsdauer mit Zuordnung zum Berufsfeld Elektrotechnik. Er besitzt ein sehr komplexes und umfassendes Berufsbild. Gleichzeitig ist er jedoch auch einem klar abgrenzbaren Tätigkeitsfeld zuordenbar (vgl. Kapitel 3.1.2.2.2). 1987 hat man die Stufenausbildung wieder aufgegeben und die industriellen Elektroberufe in überarbeiteter Fassung neu geordnet. Im Zuge der Neuordnung wurde ebenfalls die Ausbildung zum Mess- und Regelmechaniker überarbeitet. Sie ist seit dem 1.8.1992 unter der neuen Berufsbezeichnung „Prozessleitelektroniker/Prozessleitelektronikerin“ in Kraft getreten (BUNDESARBEITGEBERVERBAND CHEMIE E. V. 1992). Im letzten Neuordnungsverfahren für die industriellen und handwerklichen Elektroberufe 2003 löste dann der Automatisierungstechniker den Ausbildungsberuf des Prozessleitelektronikers ab.

Gegenüber der Ausbildungsverordnung zum früheren Mess- und Regelmechaniker sind erhebliche Ausbildungsinhalte deutlich verändert worden. Völlig neu sind zum Beispiel die Ausbildungsinhalte zu den verfahrenstechnischen Grundoperationen und mikroprozessorgesteuerte Automatisierungseinrichtungen. Darüber hinaus haben Instandhaltungstätigkeiten (Schaltungstechnik auf Baugruppenebene, Analysemesstechnik und das Arbeiten mit technischen Unterlagen) an Bedeutung zugenommen. In diesem Zuge sind Werkstoffbearbeitung, Montagechnik sowie die Schaltungstechnik auf der Bauteilebene an Einfluss geringer geworden.

Seit den Anfängen der eigenständigen Ausbildung zum Mess- und Regelmechaniker ist die Differenzierung zwischen diesem Beruf und den anderen Elektroberufen mit jeder Überarbeitung der jeweiligen Ausbildungsverordnungen verstärkt worden. „Bei der jüngsten Überarbeitung der industriellen Elektroberufe ist bewusst alles eliminiert worden, was zum Messen, Steuern und Regeln verfahrenstechnischer Anlagen zählt. Die Elektroberufe betreffen vorrangig das Feld der Erzeugung, Übertragung und Verteilung von elektrischer Energie.“ (Ebd., S. 17)

Mit der Neuordnung der Elektroberufe ging der Prozessleitelektroniker jedoch bereits wieder in einem neuen Ausbildungsberuf (Elektroniker für Automatisierungstechnik) auf. Wesentliche Merkmale des neuen Ausbildungsberufes sind

- Automatisierungssysteme in Betrieb nehmen und übergeben
- Automatisierungssysteme instand halten und optimieren
- Produkte und Prozesse analysieren und bewerten
- Automatisierte Anlagen planen und umsetzen.

Der Prozessleitelektroniker hat, im Gegensatz zu anderen Elektroberufen, ein eindeutig definiertes berufliches Anwendungsfeld und repräsentiert ein Schlüsselsegment von Instandhaltungstätigkeit in der gesamten Verfahrenstechnik. Der Prozessleitelektroniker ist branchenübergreifend in den unterschiedlichsten verfahrenstechnischen Anlagen mit Instandhaltungsaufgaben betraut. Gegenstand der Ausbildung zum vormaligen Mess- und Regelmechaniker und jetzigen Prozessleitelektroniker beziehungsweise Automatisierungstechniker sind Betriebsanlagen der verfahrenstechnischen Produktion. Diese Anlagen weisen in aller Regel eine sehr komplexe Struktur auf und sind in ihren Ausmaßen groß dimensioniert. Darin ablaufende Prozesse werden automatisiert, das heißt verfahrenstechnische Größen wie zum Beispiel Druck, Temperatur, Füllstandhöhe oder Durchfluss werden gemessen, gesteuert und geregelt. „Hinzugekommen ist in jüngster Zeit die Zunahme umweltschonender Techniken mit entsprechender Messtechnik und damit verbunden die Notwendigkeit erweiterter Kenntnisse der verfahrenstechnischen Grundoperationen und der funktionellen Zusammenhänge von Stoff- und Energieströmen in den Produktionsanlagen.“ (Ebd. 1992, S. 18) Prozessleitelektroniker sind dabei die Fachleute für das Leiten dieser Prozesse und folglich mitverantwortlich für deren störungsfreien Produktionsablauf. In diesem Zusammenhang arbeiten sie an Produktionsanlagen, in Schalträumen, Messwarten und Werkstätten und üben ihre Tätigkeit unter Beachtung der einschlägigen Vorschriften und Sicherheitsbestimmungen selbstständig aus. „Ihre Aufgaben umfassen das Erweitern, Ändern und Inbetriebnehmen sowie das Inspizieren, Warten und Instandsetzen von Prozessleiteinrichtungen einschließlich der Suche und Behebung von eingetretenen Fehlern im Störfall.“ (Ebd. S. 4) Hierzu werden elektrische oder verfahrenstechnische Größen gemessen und Zeichnungen, Schalt-, Geräte- und Funktionspläne sowie Fließschemata gelesen. Durchgeführte Arbeiten werden dokumentiert.

Der Ausbildungsberuf Prozessleitelektroniker „erfasst und kontrolliert nicht nur die stofflichen, operationellen und apparativen Parameter der eigentlichen verfahrenstechnischen Prozesse“, sondern er „gibt auch der modernen Verfahrenstechnik ihre ganz spezifische Ausprägung“. (EHRlich 2002, S. 240) Zu dem Aufgabengebiet des Prozessleitelektronikers gehört es insbesondere auch, bei der Neuplanung von Arbeitsprozessen deren regelungstechnische Bearbeitung zu übernehmen. Bei Neuplanungen sind dazu meist folgende Schritte erforderlich (nach SAMAL/BECKER 2000, S. 46 ff.)

- Festlegen der physikalischen Größe, die zu regeln ist
- Prüfen, ob die Regelung der vorgegebenen Größe tatsächlich nennenswerte Vorzüge erwarten lässt und die Kosten für Installation und Wartung der Regeleinrichtung lohnt
- Festlegen eines geeigneten Messortes für die Erfassung der Regelgröße (zum Beispiel bei einer Druckregelung)
- Feststellen, welche Störgrößen in welcher Größe vorhanden sind
- Festlegen einer geeigneten Stellgröße⁹⁴ und eines geeigneten Stellortes
- Festlegen, welche Überschwingweite und Ausregelzeit⁹⁵ beim Erreichen des (neuen) Sollwertes beziehungsweise beim Auftreten einer potenziellen Störung mit Rücksicht auf die Regelstrecke oder die Qualität des Produktes zulässig sind
- Wählen der richtigen Regelgeräte, das heißt der Geräte, die in der Anlage mit dem geringsten wirtschaftlichen Aufwand und erforderlichen Genauigkeit und Zuverlässigkeit die erwünschte Regelgüte ergeben
- Montieren der Regelgeräte: Diese muss unter Berücksichtigung der vom Gerätehersteller vorgegebenen Richtlinien erfolgen, wobei insbesondere bei pneumatischen und hydraulischen Geräten aus Explosionsschutzgründen auf richtige Leitungsführung zu achten ist.
- Inbetriebsetzen der Regeleinrichtung nach den vom Hersteller gegebenen Richtlinien für die einzelnen Geräte.

Um diese komplexen betrieblichen Aufgaben erfolgreich bewältigen zu können, müssen angehende Prozessleitelektroniker nach der Auffassung von EHRlich (2002, S. 250) in noch viel stärkerem Maße in der Dualen Ausbildung systemisches und objektivierendes Arbeitsverhalten entwickeln. Eine regelungstechnische Systematik entsteht nach seiner Ansicht im traditionellen Unterricht und in der Trennung von betrieblicher und schulischer Ausbildung nur unvollkommen. In gewissem Umfang fördert und verfestigt sie sogar - so seine Kritik - falsche Vorstellungen beispielsweise vom Zeitverhalten echter verfahrenstechnischer Anlagen.⁹⁶

Wie zum Abschluss von Kapitel 3.1.2 gezeigt werden soll, ist nicht in allen Fällen eine weitgehende theoretische Durchdringung der zu lösenden Probleme sowie deren mathematische Berechnung erforderlich. In vielen Fällen kommt man bei den beschriebenen regeltechnischen Arbeiten ohne einen großen Rechenaufwand aus und es „genügen schon Überschlagsformeln und die Kenntnis einiger Erfahrungswerte“. (SAMAL/BECKER 2000) Weitaus wichtiger für die erfolgreiche Bewältigung der genannten Aufgaben oder für die anschließende Instandhaltung der Anlage (zum Beispiel Fehlersuche) ist ein ausreichendes Verständnis der sich bei der Regelung vollziehenden dynamischen und rückgekoppelten Vorgänge, wie sie in Kapitel 3.2 analysiert und beschrieben werden. Aus diesen Gründen scheint es gerechtfertigt, dass Ar-

⁹⁴ Dabei ist darauf zu achten, dass die Stellgröße ausreichend dimensioniert ist.

⁹⁵ Überschwingweite und Ausregelzeit bestimmen maßgeblich zusammen die Güte einer Regelung.

⁹⁶ Auf der anderen Seite ist darauf zu achten, dass durch den Umgang mit nur einer oder wenigen Produktionsanlagen nicht Nachteile und Begrenzungen einer ausschließlich betriebs- und tätigkeitsspezifischen Ausbildung entstehen.

beitsprozesswissen von Prozessleitelektroniker für den Bereich der Automatisierungs- und speziell der Regelungstechnik als typisch zu betrachten.

3.1.2.2.2 Arbeitsgegenstände

Komplexe Problemlösekompetenz erwächst aus der Auseinandersetzung mit typischen Arbeitsgegenständen einer Domäne und muss sich dort auch bewähren. Handelt es sich um Regler, Mikrocomputer, Stelleinrichtungen, zentrale und dezentrale Prozessstationen oder neuerdings auch Feldbussysteme, scheinen die Unterschiede zu den Arbeitsgegenständen anderer Elektroberufe (zum Beispiel eines Energieanlagenelektronikers) gar nicht so groß zu sein⁹⁷. Es handelt sich um elektronische Baugruppen mit und ohne Mikroprozessor, die untereinander mit Hilfe elektrischer Signale kommunizieren. Für EHRlich (1998, S. 128-130) kommt es jedoch spätestens dann zur „Nagelprobe“, wenn sich der Energieanlagenelektroniker der Schnittstelle - den für die Prozessleittechnik typischen Aktoren⁹⁸ - zwischen diesen Bauelementen und der verfahrenstechnischen Anlage nähert. Seiner Erkenntnis nach gilt es in der Mess- und Regeltechnik als ausgemacht, „dass Elektriker um alles einen großen Bogen machen, was zischt“. Dazu gehören insbesondere alle pneumatisch angetriebenen Regelventile⁹⁹. Diese benötigen im alltäglichen Betrieb eine ständige Versorgung mit Druckluft und „atmen“ immer dann hörbar, wenn sie gerade verfahren werden. „Solche Ventile sind nun aber keineswegs Exoten. In der Chemieindustrie machen sie, vorsichtig geschätzt, 70 % aller Stellarmaturen aus.“ (Ebd.)

Nach den Untersuchungen zum Arbeitsprozesswissen im Rahmen des Modellversuchs KONSIL¹⁰⁰ gehört es zum Beispiel zu den Grundvoraussetzungen kompetenten, das heißt problemlösenden Handelns von Prozessleitelektronikern, die unterschiedlichen Funktionen und Baugruppen dieses Stellgerätes zur Dosierung von Volumenströmen zu identifizieren¹⁰¹ und zu erkennen, auf welche Weise es mit dem Stellglied verbunden ist. In praktischen Übungen reicht es nicht einfach aus, den Zusammenhang von Stellsignal und tatsächlichem Ventilhub als Kennlinie darzustellen.

Für den Erwerb grundlegender beruflicher Fertigkeiten und Kenntnisse im Umgang mit Werkstoffen, Werkzeugen und Maschinen ist EHRlich (2002, S. 238) zuzustimmen, wenn er feststellt, dass dieser Erwerb im Prinzip sowohl in der Produktion als auch losgelöst von ihr erfolgen kann. Als Beispiel führt er eine Forschungsarbeit von BÖHLE/ROSE (1992, S. 216-223) an, die in ihrer Untersuchung zur Arbeit in hochautomatisierten Systemen zeigen konnten, dass der Umgang mit einer Einzelmaschine, und sei es eine CNC-gesteuerte Werkzeugmaschine oder ein Handhabungsroboter, auch in einer Ausbildungswerkstatt beziehungsweise über geeignete Simulationssoftware erfolgen kann. Selbst die SPS-Steuerung beispielsweise eines Hochregallagers konnte mit einem entsprechenden Modell zumindest in den grundlegenden Strukturen nachgebildet werden. Hingegen können Kenntnisse und Fertigkeiten im

⁹⁷ Zumind. soweit es die curricularen Rahmenbedingungen betrifft: Abgesehen von den unterschiedlichen Stundenansätzen der beiden Bildungsgänge, finden sich in den Rahmenlehrplänen annähernd die gleichen (an der Fachwissenschaft orientierten) Arbeitsgegenstände wieder.

⁹⁸ Im erweiterten Sinne gehören hierzu ebenfalls noch die Sensorelemente.

⁹⁹ Diese Stellgeräte werden, wie alle Aktoren, in der „Evaluation der Elektroberufe“ merkwürdigerweise nicht zu den berufsspezifischen Inhalten des Prozessleitelektronikers gezählt.

¹⁰⁰ **Kontinuierliche Selbstorganisation von Innovationen im Lernortverbund Berufsschule – Betrieb am Beispiel des neuen Berufs Prozessleitelektroniker – ein Beitrag zu einer neuen Dualität in der Berufsbildung**

¹⁰¹ Allein für Drosselstellglieder unterscheidet man 30 grundlegende Bauformen. Diese können wiederum mit den unterschiedlichsten pneumatischen, elektrischen oder hydraulischen Antrieben verbunden sein. Solche Stellglieder gibt es für K_{VS} -Werte (Wasserdurchfluss in m^3/h bei einem Druckabfall von 0,98 bar über dem Stellglied) von 1 bis 10.000 und Nennweiten bis DN 500.

Umgang mit komplexen verfahrenstechnischen Anlagen der Prozessleittechnik adäquat nur direkt „vor Ort“ aufgebaut werden. Die damit verbundenen Aufgaben nimmt deshalb auch verstärkt der unternehmerische Betrieb im Rahmen der Lernortkooperation in der dualen Ausbildung wahr.

BÖHLE/ROSE haben diese Erkenntnis in ihrem Forschungsvorhaben zur Untersuchung von Arbeitsprozesswissen im Umgang mit Prozessleittechnik (PLT) für die Ausbildung von Anlagenfahrern herausgearbeitet. Die Verbindung von Einrichtungen der Prozessleittechnik mit verfahrenstechnischen Prozessanlagen, deren einziger Daseinszweck das Leiten von PLT ist, stellt jedoch eine ganz andere Welt dar. In diesem Zusammenhang kommt es für ihn nicht so sehr auf den Erwerb von Wissensbeständen an als vielmehr auf die Entwicklung und Aneignung von Methoden zum Beispiel der Störungssuche. Ihrer Meinung nach benötigen die Prozessleitelektroniker „prozessspezifische“ Kenntnisse der Produktionsanlagen und vor allem der implementierten PLT-Einrichtungen, um mit den technischen Systemen im Sinne des Bildungsauftrages der Berufsschule - das heißt Entwicklung und Förderung beruflicher Handlungskompetenz - umgehen zu können (EHRlich 2002).

Solange sich Projekte im Rahmen und in den Räumen systematischen Lernens (Schule, Ausbildungswerkstatt, Labor) mit an den Fachwissenschaften sich orientierenden Lerngegenständen abspielen, ist es schwierig, sich dem Bildungsziel „berufliche Handlungskompetenz“ anzunähern. Nach EHRlichS Auffassung gelingt dies auch dann nicht, wenn für die Entwicklung von Lern- und Arbeitsaufgaben Arbeitsaufträge in Anlehnung an Arbeitsprozesse aus Vor-Ort-Betrieben „hereingeholt“ werden und in ein fertiges Produkt, das dann abgeliefert wird, münden. Lehrer oder Ausbilder, die sich im Rahmen des Modellversuches mit diesem Problem konfrontiert sahen, haben die Erfahrung gemacht, dass Lern- und Arbeitsaufgaben, die direkt im Instandhaltungsbereich einer Anlage zu bearbeiten waren, effektiv dazu beitragen, eine Problemlösekompetenz zu fördern.¹⁰² Für ihn gehört auch die Automatisierungstechnik einschließlich programmierbarer Steuerungen und rechnergestützter Prozessleitsysteme zu diesem Arbeitsbereich. Zur erfolgreichen Bewältigung ihrer späteren beruflichen Arbeitsaufgaben müssen die angehenden Prozessleitelektroniker auch Kenntnisse über Aufbau und Wirkungsweise der von ihnen betreuten Baugruppen und Geräte sowie über deren Zusammenwirken auch anwenden (vgl. BUNDESARBEITGEBERVERBAND CHEMIE E. V. 1992). Bedeutungswissen und Wissen um die Funktion einzelner Geräte sind für DITTRICH (2000, S. 167) ohne Zweifel wichtig für die kompetente Erledigung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten wie auch für die Führung von Anlagen der Prozessleittechnik. Für ihn besitzen aber in der Prozessleittechnik gerade die meisten Probleme ihren Ursprung an der Schnittstelle zwischen Instrumentierung und Prozess: „An dieser Schnittstelle ist der (verfahrens- oder energetische) Prozess genauso wichtig wie die elektro- und informationstechnische Funktion der Feldgeräte.“ (Ebd.)

¹⁰² Findet die Lern-/Arbeitsaufgabe vor Ort selbst, unter den dort herrschenden „Gesetzen“ statt, wird es schwieriger. Insbesondere die in hohem Maße situative Arbeit des Instandhaltens sprengt den gewohnten Rahmen didaktischer Planung und Reflexion (vgl. Ehrlich 1997a/b). „Die bloße Tatsache, dass diese Aufgabe in verfahrenstechnisch „echter“ Umgebung stattfand und vor allem auch (von der Messwarte) rückgemeldet wurde, dass sie selbst betrieblich relevant war, gab den zum Teil durchaus bekannten Tätigkeiten eine neue Qualität. Die räumlichen Ausmaße allein schon der messtechnischen Komponenten (Messort, Schalträume und Warten) überraschte die Auszubildenden. Die Komplexität dieser Anlagen mit Hilfe der verschiedenen Fließbilder, Schaltpläne und geräte-technischen Darstellungen zu erschließen, erwies sich bereits als erste Bewährungsprobe. Es stellte sich heraus, dass sie trotz der Vermittlung grundlegender Kenntnisse über die entsprechenden Normen (vor allem DIN 19226, DIN 19227 und DIN 28004) große Schwierigkeiten mit der Komplexität echter Anlagenpläne hatten, die mitunter mit handschriftlichen Zusätzen versehen waren und Ortbezeichnungen enthalten, die sich nur dem mit der konkreten Topographie Vertrauten enthüllen.“ (EHRlich 1998, S.128 ff.)

Praktische Erfahrung im Umgang mit Anlagen der Prozessleittechnik bezieht sich nach den Untersuchungen von RÖBEN (1999) nicht nur auf die Bedienung von Geräten beziehungsweise auf die Durchführung von Routinen (zum Beispiel auf das Anwenden von Regeln und Anweisungen), sondern auch auf die Verrichtung zahlreicher einfacher Tätigkeiten. Diese Form praktischer Erfahrung reicht aber seiner Meinung nach nicht aus, um einige wichtige Arbeitssituationen zu meistern, wie sie bei flexibler Produktion zum Alltag des Leitens von Prozessen gehören. Es handelt sich dabei in aller Regel um Arbeitssituationen, bei denen neuartige Probleme zu lösen sind (Testen neuer Produkte) oder neue Anforderungen, die durch Auftreten andersartiger Prozessbedingungen entstehen, erfolgreich zu bewältigen sind. Zusammenfassend zählt RÖBEN drei Arbeitssituationen auf, die auf Grund seiner Untersuchungen die zentralen Arbeitsgegenstände von Prozessleitelektronikern charakterisieren. Es handelt sich dabei um Arbeitssituationen, bei denen

- 1 eine Vielzahl sich gegenseitig beeinflussender Prozessparameter (auch in neuen, von Prozessmodellen nicht voraussehbaren Kombinationen) hinsichtlich des Prozesszustandes bewertet und dementsprechend häufig optimiert werden müssen;
- 2 plan- oder programmiergesteuerte Prozesse so zu überwachen und zu kontrollieren sind, dass Störungsvermeidung eintritt, zumindest die Anbahnung von Störungen aufgrund des Verschleißes oder der Disfunktionalität von Komponenten sehr frühzeitig erkannt wird und im Falle einer Störung die Störquellen schnell gefunden und Ansatzpunkte für die Behebung ermittelt werden können;
- 3 es auf ein zeitkritisches, reaktionsschnelles Korrigieren und Manipulieren, das heißt auf Eingriffe in Prozesse aufgrund wahrgenommener Prozesszustände und Arbeitskontexte, ankommt.

3.1.2.2.3 Veränderte Berufswelt durch neue Technologien

Die Prozessleit- und speziell die Regelungstechnik sieht sich, wie die gesamte industrielle Elektrotechnik-Facharbeit, einem grundlegenden Wandel ausgesetzt. Für RAUNER (vgl. 2001b, S. 286 f.) kennzeichnet sich dieser Wandel durch zwei Momente:

- 1 Industrielle Anlagen und Prozesse basieren ebenso wie kommunikationstechnische Anlagen oder die automatisierte Gebäudetechnik auf einer systemischen und hoch integrierten Technik. Ihre Instandhaltung entzieht sich immer mehr der spezifischen Kompetenz einzelner Berufe¹⁰³.
- 2 Diese zunehmende informationstechnische Integration und Vernetzung aller betrieblichen Prozesse erfordert für die Instandhaltungsfacharbeit tiefere technologische, organisatorische und ökonomische Einsichten. Nur so kann sicher gestellt werden, dass Störungen bei der Produktion so behoben werden, dass (potenzielle) Schäden und die damit verbundenen finanziellen Verluste auf ein Minimum begrenzt bleiben.

Gleichsam sieht EHRLICH (1998, S. 132) in der rasanten Entwicklung der Mikroelektronik auch die Entwicklung der Messgeräte und anderer Automatisierungsgeräte beeinflusst: „Mikroprozessoren in hochintegrierten Schaltungen haben die Leistungsfähigkeit der Geräte um ein Vielfaches erhöht und damit viele neue Möglichkeiten - so auch die der digitalen Kommunikation - geschaffen.“ Messgeräte sollen sich flexibel an die unterschiedlichen Aufgabenstellungen anpassen lassen. Musste zum Beispiel früher bei analogen Geräten für die jeweilige

¹⁰³ So ist es zum Beispiel in der verfahrenstechnischen Produktion üblich, dass in den Instandhaltungsteams neben Industrieelektronikern und -mechanikern auch Prozessleitelektroniker oder in der verfahrenstechnischen Produktion Chemikanten (die für die jeweiligen Verfahren qualifiziert sind) als Fachkräfte beteiligt werden.

messtechnische Aufgabe ein eigener elektronischer Schaltkreis aufgebaut werden, was verhältnismäßig aufwändig und teuer ist, bietet die Mikroelektronik eine kostengünstigere softwaregestützte Lösung für unterschiedliche Aufgaben von Anwendern. Der frühere Hardwareaufwand eines analogen Geräts wird somit zu einem Softwareaufwand in einem digitalen Gerät.¹⁰⁴ Die Umwälzungen in der angedeuteten Funktionalität der PLT-Geräte gehen mit einer hiermit verbundenen Veränderung der beruflichen Aufgaben und Anforderungen einher. Bisherige berufliche Grenzlinien werden folglich in der Prozessleittechnik durchlässig und führen zu einer stärkeren Verzahnung von Produktions- und Instandhaltungsaufgaben. EHRLICH betont, dass dies zur Folge hat, dass zum Beispiel in großen Ausbildungsunternehmen fachübergreifende und Fächer verbindende Fertigkeiten und Kenntnisse für Chemikanten, Industriemechaniker und Prozessleitelektroniker in gemeinsamen Ausbildungsabschnitten vermittelt werden¹⁰⁵ (Ebd.).

Seit etwa Mitte der 80er Jahre, mit der Einführung digitaler Leitsysteme in der Prozessleittechnik, trafen mehrere einschneidende Innovationen und Umorientierungen mit dem Wunsch nach verbesserter Funktionalität (Reichweite, Geschwindigkeit, Genauigkeit, Vielseitigkeit) zusammen, die dazu geführt haben, dass verfahrenstechnische Anlagen in zunehmendem Maße komplexer wurden (HOLLNAGEL 1990). Für EHRLICH (1998, S. 124 f.) zählt hierzu insbesondere die Weiterentwicklung der

- Einzelgeräte- zur Systemtechnik
- Analog- zur Digitaltechnik
- parallelen zur seriellen Signalverarbeitung
- „klassischen“ anzeigenden und registrierenden Ausgabegeräte zur Visualisierung aktueller und gespeicherter Prozessdaten auf Bildschirmen
- begrenzten Möglichkeiten der Verknüpfung elektrischer und pneumatischer Signale oder Rechenglieder im Vergleich zu den umfassenden Optionen digitaler Rechner.

Ein integrierender Impuls zu derartig umfangreichen Automatisierungskonzepten kam seiner Meinung nach durch die Aufwertung von Kriterien, die bisher im Optimierungskalkül der Verfahrenindustrie eine eher marginale Rolle gespielt hatten, wie zum Beispiel

- Senkung des Energie- und Rohstoffverbrauchs
- Minimierung von Umweltbelastungen
- Steigerung von Produktqualität, Prozesssicherheit und Flexibilität (Ebd.).

Diese Kriterien lassen sich auf dem herkömmlichen Niveau der Teilautomatisierung allerdings nur begrenzt optimieren.

EHRLICH sieht unter dem Einfluss neuer Automatisierungssysteme die Instandhaltungsfacharbeit in der verfahrenstechnischen Industrie eine neue Ausprägung erhalten: Überschneidungsbereiche zwischen den herkömmlich gesonderten Arbeitsfeldern Elektrotechnik beziehungsweise Mess- und Regeltechnik werden fortlaufend größer. „Daraus mag die Vorstellung

¹⁰⁴ Da die Softwarekosten bei wachsenden Stückzahlen abnehmen, war dies der Anstoß für den Siegeszug der Mikroelektronik.

¹⁰⁵ HOFMANN/RÖBEN (1998) nennen stellvertretend für viele innovative Projekte

- BETA (berufsübergreifende, teamorientierte Ausbildung) bei Hoechst: gemeinsame 2- beziehungsweise 4-wöchige Praktika und Betriebsphasen
- „Industrielandschaften“ bei BASF: eigens für sechswöchige gemeinsame Trainingsphasen von je 8 Auszubildenden verschiedener Berufe errichtete, funktionstüchtige Modellanlagen (mit „Wasser und Luft“)
- „Teamausbildung“ bei Bayer: bereichsübergreifende Projekte (zum Beispiel Produktion von Seife inkl. der dazu erforderlichen Apparate) bereits im 1. Ausbildungsjahr
- BiBB-Modellversuch „Verbesserung der Teamfähigkeit“ bei Hüls- und Papiermachern: Curriculum aus „Lernbausteinen“ beziehungsweise „Modulen“ für berufsübergreifende Auszubildenden-Teams.

entstanden sein, dass mit dem zunehmenden Einsatz elektrischer und elektronischer Geräte dieses Berufsbild sich den „klassischen“ Elektroberufen immer mehr angleiche und dass mit der Hereinnahme eines Blocks Mess- und Regeltechnik in die Ausbildungsinhalte, zum Beispiel der 1987 „neu geordneten“ Energieelektroniker, die Ausbildung von Mess- und Regelmechanikern ersatzlos gestrichen werden könne. Mess- und Regeltechnik wurde dabei anscheinend reduziert auf eine der neuen Technologien, wie speicherprogrammierbare Steuerungen oder Digitaltechnik, die bei der Neuformulierung der Ausbildungsinhalte der neu geordneten Elektroberufe 1987 zu berücksichtigen waren.“ (EHRlich 1998, S. 124-126)¹⁰⁶ Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (heute: Prozessleittechnik) charakterisiert dagegen das Anwendungsfeld verfahrenstechnischer Automatisierung (Ebd.). Da sich an dieser Entwicklung in der Instandhaltung und Instandhaltungsfacharbeit auch jegliche Grundbildung in einer dazugehörigen gewerblich-technischen Berufsausbildung messen lassen muss, sind zum Beispiel für RAUNER (200b, S. 286 f.) mehr „berufswissenschaftliche Arbeitsstudien erforderlich, mittels derer die „Gegenstände“ der Facharbeit, ihre Werkzeuge, Methoden und Organisationsformen sowie die Qualitätsanforderungen an die Facharbeit untersucht werden“.

Im angesprochenen Modellversuch KONSIL haben Lehrer und Ausbilder der Stahlwerke Bremen im Rahmen der Lernortkooperation versucht, das Arbeitsprozesswissen von Prozessleitelektronikern zu beschreiben. Entsprechend den dabei gesammelten Erfahrungen besitzen Kenntnisse über das Arbeitsprozesswissen einen wesentlichen Stellenwert bei der Entwicklung von Lern- und Arbeitsaufgaben zum Fördern und Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz bei den Lernenden. Dem Gewinnen von Kenntnissen über das Arbeitsprozesswissen von Prozessleitelektronikern kommt deshalb ein besonderer Stellenwert zu. Annäherung und Beschreibung des Arbeitsprozesswissens stellt eine wichtige Voraussetzung für das Erfassen der spezifischen komplexen Problemlösekompetenz in dieser beruflichen Domäne dar.

Nach EHRlich (1998) und RÖBEN (1999) gehört es zum Arbeitsprozesswissen von Prozessleitelektronikern, die Topologie komplexer verfahrenstechnischer Anlagen zu erfahren, zu erlaufen und auszuhalten¹⁰⁷ („Anlagenwissen“) und sich über die in der Anlage ablaufenden Prozesse und deren Gefahrenpotenziale im Klaren zu sein. Zur Rekonstruktion der in den umfassenden Anlagen geleiteten verfahrenstechnischen Prozesse ist die Entwicklung eines mentalen Modells erforderlich, das anschließend zur Bearbeitung komplexer Aufgabenstellun-

¹⁰⁶ „Die Gemeinsamkeit mit der Ausbildung der industriellen Elektroberufe betreffen:

- Die berufliche Grundbildung im 1. Ausbildungsjahr; hier ist nun der volle Gleichstand mit den neu geordneten industriellen Elektroberufen hergestellt worden. Insoweit ist zugleich auch die Zuordnung zum Berufsfeld Elektrotechnik erhalten geblieben. Diese Konzeption soll Absolventen eines schulischen Berufsgrundbildungsjahres mit Beginn des zweiten Ausbildungsjahres den unmittelbaren Übergang zur beruflichen Fachbildung ermöglichen; vgl. § 2 der Ausbildungsverordnung.
- Die Übernahme des neu formulierten Qualifikationsbegriffes, wie sie mit der neu geordneten Ausbildung der Metall- und Elektroberufe eingeführt worden ist, nämlich die Befähigung zur Ausübung einer qualifizierten beruflichen Tätigkeit, „die insbesondere selbstständiges Planen, Durchführen und Kontrollieren einschließt“; dies ist so in § 3 der Ausbildungsverordnung als Zielsetzung der Berufsausbildung verankert worden. Diese Befähigung ist ausdrücklich auch in der Zwischen- und Abschlussprüfung nachzuweisen.“ (BUNDESARBEITGEBERVERBAND CHEMIE E. V. 1992, S. 18)

¹⁰⁷ BÖHLE/ROSE (1992) beschreiben den Verlauf von Produktionsprozessen, die in der Regel über mehrere Einzelanlagen, Apparate und Maschinen örtlich weit verteilt sind. Diese Produktionsanlagen weisen erhebliche Dimensionen (100 bis 200 m Länge und 20 bis 40 m Höhe) auf. Gleichzeitig durchläuft der Prozess dabei verschiedene verkettete Stationen. „Neben der verfahrenstechnischen Komplexität der eingesetzten Systeme ergibt sich somit eine weitere betrieblich begründete Komplexität durch die Notwendigkeit, mit verschiedenen Systemen zu arbeiten und diese nach Möglichkeit miteinander zu koppeln.“ (Ebd. S. 24)

gen herangezogen wird.¹⁰⁸ Die Prozessleittechnik (PLT) ist nicht (wie zum Beispiel SPS) an eine bestimmte Technologie gebunden. Vielmehr hat sich für das Messen, Regeln, Steuern und Sichern verfahrenstechnischer Größen der Begriff Prozessleittechnik herausgebildet. Aufgrund der Kenntnis der lokalen Gegebenheiten und der gemachten Erfahrung mit dem Verhalten der Anlage muss durch die Prozessleitelektroniker ferner der Wahrheitsgehalt von Anzeigen der Messgeräte richtig interpretiert werden, wenn zum Beispiel tatsächlicher Messwert und Anzeige auseinanderfallen („spezifische Apparatekenntnisse“). Zu diesen spezifische Verfahrenkenntnissen gehört es auch, sich anhand von Plänen (Verfahrensfließbild, RI-Fließbild etc.) Gewissheit zu verschaffen, was alles im Zusammenhang mit den an die Prozessleittechnik gestellten Aufgaben (zum Beispiel Messung, Steuerung, Regelung) zu beachten ist.¹⁰⁹ EHRlich (1998) sieht die Grenzlinien einer beruflichen Kompetenz zwischen Facharbeitern, Technikern und Ingenieuren im Bereich PLT durchlässig werden. Nicht abzusehen ist für ihn dabei, ob dies die Facharbeit aufwerten wird oder in Zukunft dazu führt, dass Teilfunktionen an Techniker und Ingenieure übertragen werden.

3.2 Unterrichtsliche Konzeption einer computergestützten Modellbildung und Simulation der Regelungstechnik in der beruflichen Erstausbildung

3.2.1 Regelungstechnische Systeme als Gegenstand von Lernen und komplexem Problemlösen in der beruflichen Erstausbildung

3.2.1.1 Regelungstechnik und Systembegriff

Allgemein werden Systeme durch drei Merkmale vollständig beschrieben (BOSSSEL 1994, S. 16):

- Ein Objekt erfüllt eine bestimmte Funktion, das heißt es lässt sich für einen außenstehenden Betrachter dem System ein eindeutiger Zweck zuordnen.
- Seine Funktion bestimmt das Objekt aus einer bestimmten Konstellation von Systemelementen und deren Wirkungsverknüpfungen (Relationen).
- Ein Objekt verliert seine Systemeigenschaft, wenn seine Systemintegrität zerfällt. Daraus folgt, dass ein System auch nicht teilbar ist. Existieren bestimmte Elemente und Relationen in diesem Objekt nicht mehr, kann das System seinen ursprünglichen Zweck (Systemfunktion) nicht mehr erfüllen.

Auf dieser Grundlage beschreibt auch DIN 19226 ein System als eine geschlossene Anordnung von einander sich gegenseitig beeinflussenden Gebilden. Die Systemeigenschaften und -zustände sind dabei Größen, deren Beziehung untereinander den Systemcharakter bestimmen. „Regelungssysteme stellen dynamische und offene Systeme dar, die insbesondere über die Funktion der Regelstrecke in Beziehung zur Systemumgebung treten.“ (GEFFERT 1999, S. 36) Je nach Aufbau, Zusammenwirken und Parametrierung von Reglertypen und Regelstreckenklassen können Regelkreise nicht nur stabiles sondern auch instabiles Verhalten zeigen.

¹⁰⁸ Eine Störung kann beispielsweise durch abnorme Geräusche einer Verdichterpumpe wahrgenommen werden, die dann aber durch eine systematische, das heißt logisch fundierte Suche erkannt wird (vgl. RÖBEN 2000).

¹⁰⁹ So sind unter Umständen verbindliche Absprachen mit Messwärtern bezüglich einer Außerbetriebnahme zu treffen.

Nach DIN 19226 versteht man unter Regeln einen Vorgang, bei dem die zu regelnde Größe (Regelgröße) fortlaufend erfasst, mit der Führungsgröße verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist ein geschlossener Wirkungsablauf¹¹⁰ (vgl. Abbildung 12), bei dem die Regelgröße fortlaufend sich selbst beeinflusst.

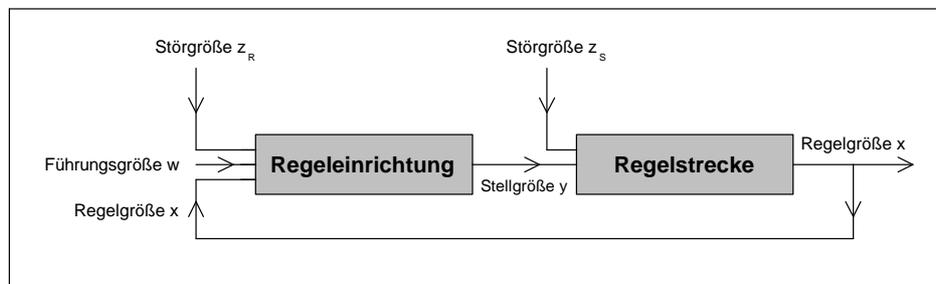


Abbildung 12: Regelkreis nach DIN 19226

Regeln ist die neben dem Steuern bedeutendste Aufgabe der Prozessleittechnik. Für STROHRMANN (1998, S. 23) heißt Regeln ganz anschaulich, den Wert einer Betriebsgröße (Istwert) durch Beeinflussung eines Stellgliedes auf einen vorgegebenen Wert (Sollwert) möglichst konstant zu halten. Je nachdem, ob diese Aufgabe von einer Person wahrgenommen wird oder nicht, spricht man von Handregelung oder von selbsttätiger Regelung.

Regelkreise sind determinierte Systeme: Unter gleichen Anfangsbedingungen treten identische und damit eindeutige Folgezustände auf. Regelungen sind zudem kontinuierliche Systeme (im Gegensatz zu den meisten - diskontinuierlichen - Steuerungssystemen). Die analogen Regelkreisgrößen können sich dementsprechend nur in infinitesimal kleinen Schritten ändern. Dies gilt im Grunde auch für alle digital realisierte Regelungen: Durch die moderne Mikroprozessor-Technik sind so kleine Zeittakte realisierbar, dass das simulierte Regelkreisverhalten mit dem realen kontinuierlichen Zeitverhalten praktisch identisch ist. „Das ist insbesondere dann der Fall, wenn zur Berechnung der Regelkreisdaten das verbesserte Euler-Verfahren [...] angewandt wird.“ (GEFFERT 1999, S. 36 f.) Hierdurch ist eine verhältnismäßig schnelle und dennoch sehr exakte mathematische Darstellung der komplexen und dynamischen Zusammenhänge in Regelkreisen erreichbar.

3.2.1.1.1 Zum Verständnis grundlegender Begriffe der Regelungstechnik

Den Augenblickswert einer Regelgröße bezeichnet man auch als Istwert der Regelgröße x_i ; den Wert der Führungsgröße als Sollwert der Regelgröße x_s . Den Begriff Sollwert der Regelgröße benutzt man insbesondere dann an Stelle der Bezeichnung Führungsgröße, wenn es sich um Festwertregelungen handelt, das heißt wenn die Führungsgröße einen fest eingestellten Wert besitzt, der nicht oder nur selten geändert wird (SAMAL/BECKER 2000, S. 21 f.).

In der folgenden Aufstellung sind die Symbole und Bezeichnungen noch einmal in übersichtlicher Form in Tabelle 5 zusammengestellt:

¹¹⁰ Um eine Regelung handelt es sich dann, wenn ein geschlossener Regelkreis zwischen PLT-Einrichtung und Strecke vorhanden ist. In Abbildung 12 wirken Störgrößen sowohl auf die Regeleinrichtung als auch auf die Strecke ein. „Es ist zu beachten, dass die Störgröße Z_R , die ein Messfehler oder eine Abweichung des Reglers sein kann, nicht ausgeregelt wird, während die Auswirkung der Störgröße Z_S , zum Beispiel eine Änderung der Druckverhältnis bei einer Durchflussregelung, von der Messgröße erfasst und von der Regeleinrichtung korrigiert werden kann.“ (STROHRMANN 1998, S. 23)

Regelgröße	x
(Istwert der Regelgröße)	x_i
Führungsgröße	w
(Sollwert der Regelgröße)	x_s
Regeldifferenz	$e = w - x$
(früher: Regelabweichung)	$x_w = x - w = -e$
Stellgröße	y
Störgröße	z

Tabelle 5: Symbole und Bezeichnungen grundlegender Begriffe der Regelungstechnik

Das Ausgangssignal einer Regelstrecke (Regelgröße x) wird auf den Regler zurückgeführt. Hierdurch bildet sich ein geschlossener Kreis: der Regelkreis¹¹¹ (Abbildungen 12 - 14). Eine Abweichung der zu regelnden Größe (x) von ihrem vorgegebenen Sollwert (w) hat eine Änderung der Stellgröße (y) zur Folge. Diese Stellgrößenänderung wirkt wiederum auf die Regelgröße ein, so dass die Stellgröße erneut verändert werden muss. „Ursachen und Wirkungen durchlaufen also ständig diesen Regelkreis, so dass das Verhalten der einzelnen Größen nicht einfach zu übersehen ist, denn jeder Eingriff wirkt im Regelkreis aus sich selbst zurück.“ (Ebd.) In diesem geschlossenen Kreis können sich Regler und Regelstrecke leider auch gegenseitig zu ungedämpften Schwingungen anregen. Diese sind in aller Regel unerwünscht. Mit der Forderung nach Stabilität allein ist es allerdings nicht getan: Ein lediglich nach dem Kriterium Stabilität eingestellter Regler erfüllt im allgemeinen noch lange nicht die Forderung nach optimaler Regelung. Es wird im Folgenden neben der Stabilität der Regelung vor allem darauf ankommen aufzuzeigen, welche Schwierigkeiten es Lernenden bereitet zu verstehen, was mit optimaler Regelgüte gemeint ist und wie entsprechende Regelparameter einzustellen sind, wenn man als Berufsschüler nicht über Kenntnisse in höherer Mathematik verfügt, das heißt auch nicht auf die damit verbundenen Modellvorstellungen über dynamische Vorgänge in Regelkreisen zurückgreifen kann.

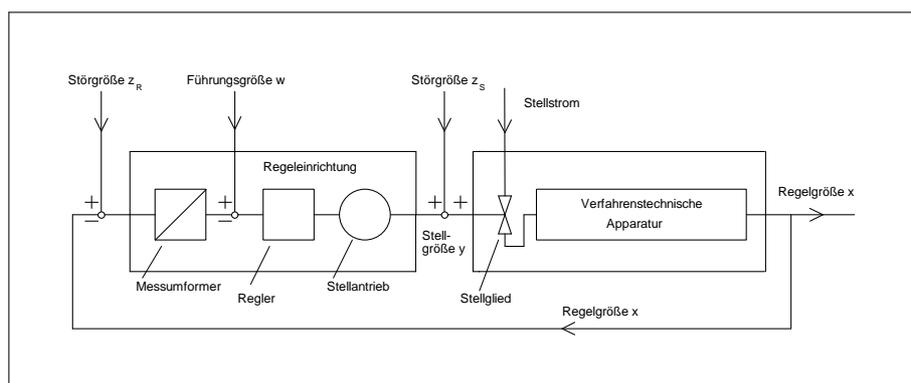


Abbildung 13: Aufgelöste Blockdarstellung eines Regelkreises (nach STROHRMANN 1996, S. 317)

¹¹¹ In der Darstellung sind der geschlossene Regelkreis und die Angriffsmöglichkeiten von Störgrößen auf Regeleinrichtung (z_R) und Regelstrecke (z_S) zu erkennen. Im Gegensatz zu Abbildung 12 sind hier Regeleinrichtung und Regelstrecke in ihre grundlegenden Komponenten aufgelöst dargestellt. Weiterhin ist zu erkennen, wo die Störgrößen angreifen und dass sie additiv auf den jeweiligen Eingang von Regeleinrichtung und Regelstrecke wirken.

Die Regeleinrichtung, als integraler prozessleitetechnischer Bestandteil, ergänzt die Regelstrecke zum Regelkreis (Abbildung 13). Apparativ besitzen - nach den Abgrenzungen in DIN 19226 - Regeleinrichtung nachfolgende Komponenten (vgl. STROHRMANN 1998, S. 78 ff.)

- Fühler, Sensor: erfasst die Regelgröße direkt und setzt sie in ein zur Weiterverarbeitung geeignetes Signal um;
- Messumformer: formt ein Eingangssignal in ein den Werten des Eingangssignals entsprechendes Ausgangssignal um;
- Regler: vergleicht den Wert der Regelgröße (Istwert) mit dem vorgegebenen Wert der Führungsgröße (Sollwert) und erzeugt gemäß des ihm eingegebenen Verhaltens das Stellsignal;
- Steuerungsgerät: erzeugt aus den Werten der Eingangssignale gemäß der ihm eingegebenen Gesetzmäßigkeiten die Stellsignale;
- Leitgerät: ist die Einrichtung, die dem Menschen einen aktiven Eingriff in den Prozess ermöglicht;
- Stellantrieb: verstellt gemäß dem auf ihn wirkenden Stellsignal das Stellglied.

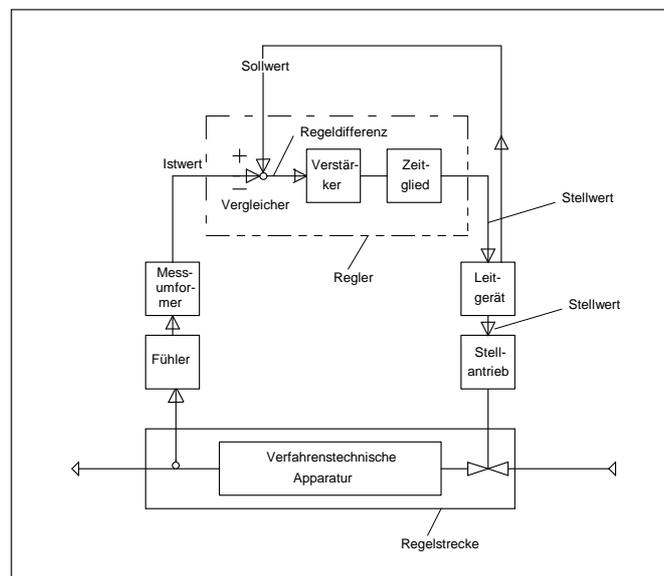


Abbildung 14: Komponenten des Regelkreises (nach STROHRMANN 1998, S. 77)

3.2.1.1.2 Dynamisches Verhalten

Kennzeichnend für das zeitliche Verhalten einer Regelstrecke beziehungsweise eines Reglers oder auch des ganzen Regelkreises ist sein Übertragungsverhalten. Unter dem dynamischen Verhalten oder auch Zeitverhalten versteht der Prozessleitelektroniker die Reaktion des Ausgangssignals bei einer Signaländerung am Eingang.¹¹² Von den möglichen Eingangssignalverläufen kommt dabei wohl der Sprungfunktion¹¹³ die größte Bedeutung zu, da sowohl Störungen als auch Sollwertänderungen in Regelkreisen gewöhnlich sprunghaft eintreten. Da es sich bei den meisten Regelstrecken um lineare, zeitinvariante Übertragungsglieder handelt, lässt sich mit der Übergangsfunktionen ihr Verhalten geeignet beschreiben¹¹⁴.

¹¹² Dieser Verlauf heißt „Sprungantwort“ des Übertragungsgliedes.

¹¹³ Die Reaktion der Regelstrecke auf einen eingangsseitigen Sprung wird auch Sprungantwort genannt.

¹¹⁴ Wie noch zu zeigen ist, stellt die Übergangsfunktion einer Regelstrecke ein wichtiges Merkmal für die richtige Einstellung der Regelparameter dar.

Die Reaktion der Regelgröße (x) auf ein Signal am Eingang der Regelstrecke (y) gibt Aufschluss über das Übergangsverhalten der Regelstrecke. Nach DIN 19229 ist die Übergangsfunktion dabei als Sprungantwort definiert, die durch Quotientenbildung auf die Sprunghöhe der Eingangsfunktion bezogen ist. Die Theorie zur Regelungstechnik klassifiziert das Übertragungsverhalten nach der Art der den Anstieg beschreibenden mathematischen Gleichung. Die Ordnung der diesen Anstieg wiedergebenden Differenzialgleichung stellt ein charakteristisches Merkmal für die Form der Kurve dar (zum Beispiel Regelstrecken erster, zweiter, ..., n -ter Ordnung). Je höher die Ordnung die Regelstrecke, desto schwerer ist sie zu stabilisieren. Charakteristisch für den Verlauf der Regelgröße (x) bei zeitlichen Verzögerungsgliedern höherer Ordnung ist deren S-förmiger Kurvenverlauf. Auf einen zunächst verzögerten Anstieg steigt die Regelgröße dann mehr oder weniger stark an. Dieser Anstieg lässt sich in Form einer Zeit quantifizieren. Bei Strecken erster Ordnung ist es die Zeitkonstante (T) (vgl. Abbildung 15). Bei Strecken zweiter oder höherer Ordnung (Strecken mit Wendetangente) die Ausgleichszeit, die auf die Verzugszeit folgt (Abbildung 16). T_u und T_g beschreiben in guter Annäherung den Verlauf der Sprungantwort.

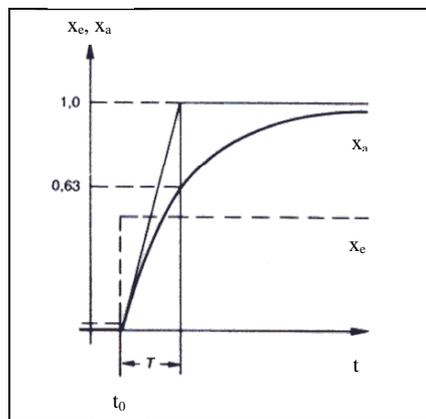


Abbildung 15: Zeitkonstante¹¹⁵ nach DIN 19226

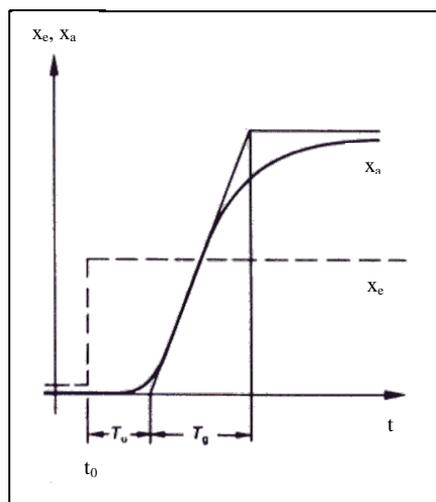


Abbildung 16: Verzugs- und Ausgleichszeit¹¹⁶ nach DIN 19226

¹¹⁵ Die Zeitkonstante T charakterisiert den Verlauf der Strecke erster Ordnung (x_e = Eingangsgröße, x_a = Ausgangsgröße, t_0 = Zeitpunkt des Eingangssignals).

¹¹⁶ Verzugszeit T_u und Ausgleichszeit T_g bestimmen den Verlauf von Regelstrecken höherer Ordnung (x_e = Eingangsgröße, x_a = Ausgangsgröße, t_0 = Zeitpunkt des Eingangssignals).

Die dritte, das dynamische Verhalten der Regelstrecke kennzeichnende Größe ist die Streckenverstärkung (K_S , auch Ausgleichsverhalten). Da allerdings auch Regelstrecken existieren, die über keinen Ausgleich verfügen (zum Beispiel Füllstandsregelstrecken), spricht man statt des Verstärkungswertes auch von seinem Kehrwert, dem so genannten Ausgleichswert der Regelstrecke.

Die Grundtypen von Übertragungsgliedern lassen sich nach ihrem Sprungverhalten charakterisieren. Alle Regelkreisglieder - sowohl Regler als auch Regelstrecken - bestehen aus Sicht der Regelungstechnik entweder aus solchen Grundtypen oder Kombinationen von ihnen. Die Sprungantworten für die vier Grundtypen sowie ihre Kurzbeschreibungen sind nachfolgend dargestellt:

- Proportionalglied (P-Glied): Das Ausgangssignal ist proportional dem Eingangssignal.
- Integralglied (I-Glied): Der Zusammenhang zwischen dem Ausgangs- und dem Eingangssignal ist integrierend.
- Differenzierglied (D-Glied): Die Ausgangsgröße verhält sich proportional zur Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsgröße.
- Verzögerungsglied (T-Glied): Die Ausgangsgröße erreicht ihren Endwert mit zeitlicher Verzögerung.

Als Regler werden Übertragungsglieder mit P-, I- oder D-Verhalten eingesetzt. Meistens kommen dabei zwei oder drei dieser Grundübertragungsglieder kombiniert zur Anwendung (Parallelschaltung), da sich hierdurch der jeweilige Vorteil nutzen beziehungsweise der jeweilige Nachteil mindern lässt.

Typische Regelstrecken der Verfahrenstechnik sind zum Beispiel

- Druckregelung
- Druckdifferenzregelung
- Füllstandsregelung
- Temperaturregelung
- Durchflussregelung
- Mengenregelung
- Drehzahlregelung.

Prozessleitelektroniker werden häufig mit Aufgabenstellungen konfrontiert, die sich mit einfachen Regelkreisen nur unbefriedigend lösen lassen. So kann es zum Beispiel vorkommen, dass

- eine Regelgröße auf mehrere Stellgeräte wirkt: Split-Range-Regelung
- mehrere Regelgrößen auf ein Stellgerät wirken: Auswahlregelung
- ein Regelkreis auf hierarchisch untergeordnete Regelkreise einwirkt: Kaskadenregelung.

Durch Einsatz von Split-Range-, Auswahl- oder Kaskadenregelung lässt sich vor allem das dynamische Verhalten der Regelung verbessern und sich darüber hinaus zum Teil auch noch apparative Einsparungen erzielen.

3.2.1.1.3 Statisches Verhalten

Als statisches Verhalten eines Regelkreises wird das Verhalten nach Ablauf aller zeitabhängiger Vorgänge, also der Ruhezustand des Regelkreises, angesehen. Eine vollständige Beschreibung des Verhaltens einer Regelstrecke, eines Reglers oder eines geschlossenen Re-

gelkreises ist erst möglich, wenn neben seinem dynamischen auch das statische Verhalten bekannt ist. Dieses statische Verhalten lässt sich am besten mit Hilfe von Kennlinien ermitteln, die das Beharrungsverhalten von Regler und Strecke beschreiben.¹¹⁷ Hierzu werden die statischen Kennlinien von Regelstrecke und Regeleinrichtung beziehungsweise Regler getrennt bestimmt, indem für verschiedene Eingangssignale (x_e) das zugehörige Ausgangssignal (x_a) im Beharrungszustand gemessen und als Funktion $x_a = f(x_e)$ dargestellt wird. Bei der Regelung mit P-Regler sowie für lineare und für näherungsweise linear betrachtete Regelstrecken kann dann der Proportionalbeiwert K_P bestimmt werden. Er stellt den Verstärkungsfaktor dar, mit dem das Ausgangssignal (x_a) bei gegebenem Eingangssignal (x_e) für den Beharrungszustand errechnet werden kann: $x_a = K_P \cdot x_e$.

Das Ausgangssignal (Stellgröße, y) eines Reglers kann allerdings nicht beliebig große Werte annehmen. Die Stellgröße wird in der Regel nur Werte innerhalb bestimmter Grenzen einnehmen. Der Bereich zwischen diesen Grenzen bezeichnet man als Stellbereich y_h . Da das Ausgangssignal (y) durch das Eingangssignal (e) und den Proportionalbeiwert des Reglers (k_{PR}) bestimmt wird, ist bei einer großen Regelverstärkung die maximale Stellgröße schneller erreicht als bei einer kleineren Reglerverstärkung (UPHAUS 1997, S. 65). Der Bereich, in dem sich die Stellgröße linear zur Reglereingangsgröße verändert, wird mit Proportionalbereich X_P bezeichnet ($k_P = y_h/X_P$).

Wird der Regelkreis geschlossen, indem Regelstrecke und Regler miteinander verbunden werden, so muss zwangsweise die Regelstrecken-Ausgangsgröße und das Regeleinrichtungs-Eingangssignal den selben Wert einnehmen. Gleiches gilt für die Stellgröße am Ausgang des Reglers sowie am Eingang der Regelstrecke. Diese Bedingung ist nur im Schnittpunkt der Regler- und Streckenkennlinie erfüllt. Auf diesen Arbeits- beziehungsweise Betriebspunkt stellt sich die Regelung im statischen Zustand von selbst ein, da nur für diesen Arbeitspunkt die Schließbedingung erfüllt werden kann (SAMAL/BECKER 2000, S. 227 f.).

3.2.1.1.4 Einstellen der Regelparameter

Zur Quantifizierung der Güte einer Regelung ist vorzugeben, wie der Regler die Regelgröße sowohl nach Störungen als auch nach Sollwertänderungen in den neuen Zustand überführen soll. Dies kann träge, gerade noch nicht überschwingend oder sehr schnell bei Inkaufnahme einiger Überschwingungen geschehen. Für mathematische Berechnungen und für Regler mit Regelalgorithmen, die ihre Regelparameter selbst einstellen oder gar optimieren, genügen solche qualitativen Angaben nicht. Es ist vielmehr unerlässlich, die Regelqualität mathematisch zu quantifizieren (minimale Betragsfläche, minimale Regelfläche, quadratische Regelfläche, zeitgewichtete Betragsfläche, ITAE¹¹⁸, Betragsoptimum etc.).

Zu den zentralen Aufgabenbereichen eines Prozessleitelektronikers gehört das Einstellen der Regler einer verfahrenstechnischen Anlage. Im Idealfall folgen dann die Regelgrößen schwingungsfrei den Sollwertvorgaben und nach Störungen stellt sich schnell und ohne große Unruhe wieder das ursprüngliche Regelverhalten ein, ohne dass sich die einzelnen Regelkreise gegenseitig beeinflussen. In der Vergangenheit¹¹⁹ geschah das Einstellen der Regelparameter mit zufriedenstellenden Ergebnissen i. d. R von Hand. STROHRMANN (1996, S. 317 ff.) be-

¹¹⁷ Für Regelkreisglieder ohne Ausgleich kann praktisch natürlich keine statische Kennlinie ermittelt werden.

¹¹⁸ „integral of time-multiplied absolute error“: $G_M = \int t |w - x| dt$

¹¹⁹ Aber auch noch heute werden in Anlagen viele Regeleinrichtungen durch die PLT-Mannschaft von Hand eingestellt.

richtet, dass sich neben Faustformeln zum Einstellen von Reglern auch vielerorts ein „unscharfes“ Wissen - ein Expertenwissen - aus dem täglichen Umgang mit den Anlagen ausgebildet hat, das zu durchaus brauchbaren Einstellerngebnisse führt. Nur in ganz wenigen Fällen sind in der Verfahrenstechnik „dazu off-line-Berechnungen mit Großrechnern oder Simulationen mit Analogrechnern erforderlich und erfolgreich (während das in anderen Disziplinen, zum Beispiel in der Raumfahrt, unerlässlich ist“. (Ebd.)

Zu den gängigen Einstellverfahren in der Verfahrenstechnik gehören:

- Das empirische Einstellen: Aus der Kenntnis typischer Einstellwerte erhält man Anhaltswerte für eine erstmalige Inbetriebnahme.
- Das experimentelle Einstellen: Hierzu gehören insbesondere das Einstellen nach der Stabilitätsgrenze (ZIEGLER/NICHOLS), Einstellen nach der Übergangsfunktion (Einstellregeln von CHIEN/HRONS/RESWICK oder T-Summen-Regel), selbsttätiges Einstellen der Regelparameter (digitale Kompaktregler, dezentrale Prozessleitsysteme).

Aus der Differenzialgleichung des geschlossenen Regelkreises ließe sich zum Beispiel berechnen, ob eine einmal angeregte Schwingung der Regelgröße im Laufe der Zeit abklingt, und aus dem Bode-Diagramm sowie aus der Ortskurve lässt sich grafisch ableiten, ob Stabilität gegeben ist oder nicht. Durch aufwändige mathematische Verfahren lassen sich schließlich aus den Übertragungsfunktionen von Regler und Strecke im aufgetrennten Kreis Faustformeln gewinnen, mit deren Hilfe sich Stabilitätsgrenzen angeben lassen.

3.2.1.2 Analyse der zu erwartenden Lern- und Verständnisschwierigkeiten

Die Vermittlung regelungstechnischer Lerninhalte ist traditionell sehr stark durch die Mathematik geprägt. Überall dort, wo Unterricht sich mit Grundlagen der Regelungstechnik beschäftigt, orientiert man sich dabei an mathematischen Modellen. „Die mathematische Theorie der Regelung ist ja nichts anderes als eine komprimierte Beschreibung der Vorgänge im Regelkreis.“ (SAMAL/BECKER 2000, S. 46) Dabei werden fundierte Kenntnisse in höherer Mathematik (Differential- und Integralrechnung, Differentialgleichungen, Laplace-Transformation etc.) vorausgesetzt, auf die Lernende im Unterricht der Berufsschule nicht zurückgreifen können.

Zur Analyse und Darstellung des Verhaltens von Übertragungsgliedern bieten sich zunächst erst einmal Betrachtungen im Zeitbereich an. Das zu untersuchende Übertragungsglied wird mit einem bestimmten Testsignal (Sprung- oder Anstiegsfunktion) als Eingangssignal angeregt, wobei das resultierende Ausgangssignal die Analyse seines Übertragungsverhaltens ermöglicht. Die Kenntnisse dieser Eigenschaften der elementaren Übertragungsglieder in der Regelungstechnik sind Grundlage für alle sich anschließenden Betrachtungen von Regelvorgängen. Schon bei Analysen im offenen Regelkreis (das heißt ohne Rückkopplung des Ausgangssignals an den Eingang) lassen sich für Schüler ohne Kenntnisse in höherer Mathematik die Reaktionen am Ausgang von Übertragungsgliedern auf Anregungen am Eingang nicht mehr exakt erklären (Beispiel: I-Regler). Hierzu wären bereits Kenntnisse der Integralrechnung notwendig.

Zur Untersuchung und Beschreibung des Verhaltens von Übertragungsgliedern im Frequenzbereich wird das zu untersuchende Übertragungsglied mit einer in der Amplitude konstanten und in der Frequenz variablen Sinusschwingung als Eingangs-Testsignal angeregt. Um aus dem in der Amplitude geänderten und phasenverschobenen Ausgangssignal exakte Rückschlüsse auf das Verhalten des Übertragungsgliedes zuzulassen, sind mathematische Kenntnisse zum Rechnen in der komplexen Ebene notwendig. Damit entziehen sich den Schülern

einfache, in der praktischen Arbeit mit verfahrenstechnischen oder chemischen Anlagen beobachtbare technische Prozesse einer exakten Erkenntniseinsicht.

So gut wie alle zu regelnden Strecken in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie sowie in der Antriebstechnik besitzen darüber hinaus Verzögerungen: Der sich aus der Eingangsgröße als Reaktion ergebende Wert der Ausgangsgröße wird erst nach einer zeitlichen Verzögerung erreicht. Ursache sind ein oder mehrere (mechanische oder elektrische) Energiespeicher in der Regelstrecke. Die sich bereits aus Verzögerungsgliedern erster Ordnung ergebenden Sprungantworten lassen sich nur mit Exponentialgleichungen exakt darstellen. Auch diese entziehen sich den mathematischen Kenntnissen der Berufsschüler.

Betrachtet man jedoch das eigentliche Verhalten eines kontinuierlichen technischen Prozesses, so liegt ein *geschlossener* Regelkreis zugrunde. Dieses System besitzt, neben der Dynamik, als zweites für Lernende wesentliches komplexes Merkmal eine Rückkopplung, das heißt die zu regelnde Strecke wirkt über die Rückkopplung der Regelgröße (x) auf den Eingang der Regeleinrichtung auf sich selbst zurück. Das Reglereingangssignal (Regeldifferenz e) kann sich infolgedessen auch ohne äußere Einwirkung (Sollwertänderung) von alleine ändern (zum Beispiel durch Störgrößeneinflüsse). Führungs- und Störverhalten des geschlossenen Regelkreises werden durch diese Rückkopplung beeinflusst.

Das Verhalten einer vorgegebenen Regelstrecke wird im allgemeinen empirisch (zum Beispiel mittels Linienschreiber oder Oszilloskop) ermittelt. Passend zur Strecke wird anschließend ein Regler ausgewählt. Der Regler erzeugt aus Sollwert (w) und Rückführgröße (r) ein Stellsignal (y), das über das Stellglied auf die Strecke einwirkt. Darüber hinaus beeinflussen Störgrößen (z) die Regelstrecke, die der Regler möglichst ausregeln soll.

Übertragen auf den einfachsten Fall der Kombination von Regler und Regelstrecke - der Proportionalregelung einer idealen P-Regelstrecke (zum Beispiel Durchflussregelstrecke) - bedeutet dies für Berufsschüler, über kein ausreichend exaktes Erklärungsmodell zu verfügen, um den gestellten Anforderungen, wie zum Beispiel diagnostische Aufgaben der Beseitigung von Störungsursachen, gerecht werden zu können. So kann beispielsweise nicht ausreichend präzise erklärt werden, warum sich eine bleibende Regeldifferenz einstellt, oder warum der Regelkreis, ab einer bestimmten Reglerverstärkung, zu schwingen beginnt. Auch das Führungs- und Störverhalten des Regelkreises, also die Reaktionen der zu regelnden Größe (x) auf Sollwert- (Δx) beziehungsweise Störgrößenänderungen (Δz), können lediglich qualitativ erfasst werden.

Regelungen und Steuerungen arbeiten auf der Basis einfacher Grundprinzipien, was oft zur Annahme verleitet, Optimierung und Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen verlangten keine besonderen Fachkenntnisse. „Störungsfrei arbeitende Anlagen setzen aber voraus, dass die Funktionen der einzelnen Komponenten bestens bekannt sind und ihr Zusammenwirken einwandfrei beherrscht wird, das heißt, solides und umfangreiches Fachwissen ist gefragt.“ (HERTLEIN 1990, S. 5) An Bildungseinrichtungen werden geeignete Entwurfsmethoden unabhängig davon gelehrt, ob Regelaufgaben aus Chemie, Maschinenbau, Elektrotechnik oder anderen Gebieten vorliegen. „Wegen ihrer allgemeinen Gültigkeit müssen diese Methoden abstrakt sein, und deshalb verlieren Lernende oft beim Einstieg in die an sich handfeste Regelungstechnik schnell den Boden unter den Füßen.“ (Ebd., S. 5) Eine Förderung beruflicher Handlungsfähigkeit im Sinne der Ziele beruflicher Erstausbildung lässt sich somit allerdings nur sehr eingeschränkt erreichen.

Ein weiterer Grund für mögliche Lern- und Verständnisschwierigkeiten liegt in der Abstraktheit der für die Regelungstechnik charakteristischen Darstellung der Energie- und Informationsflüsse (STEINKAMP 2001). Eine spezifische Eigentümlichkeit regelungstechnischer Modellbildung sieht er darin, dass die konkreten physikalischen Größen auf abstrakte Größen, wie zum Beispiel Regelgröße x , Stellgröße y , Führungsgröße w usw., reduziert sind. Dadurch unterscheidet man nicht mehr zwischen den tatsächlich vorhandenen Energie- und Informationsflüssen. Die Blockdarstellung entsprechender Signalflusspläne (vgl. Abbildungen 13 und 14) unterscheidet folglich nicht mehr zwischen Energiestrom zur Ansteuerung der Stelleinrichtung der Regelstrecke und Informationsfluss des augenblicklichen Zustandes sowie der Signalübertragung zum Vergleicher. Das Blockschaltbild der Regelungstechnik nach DIN 19226, Teil 4 vereinigt Energiegrößen und Signalflüsse in einer Kreisstruktur. Entsprechend DIN 19226 ist dadurch ein Grad von Formalisierung erreicht, mit dem unterschiedlichste technische Anforderungen und Aufgaben der Regelungstechnik innerhalb einer in sich geschlossenen Theorie dargestellt und gelöst werden können. Die besondere Leistungsfähigkeit einer solchen regelungstechnischen Modellbildung liegt dabei für STEINKAMP in ihrer theoretischen Abstraktion zur anschaulichen Technik, indem sie durch entsprechende Distanz von allen Besonderheiten einer realen technischen Ausführung zunächst einmal absieht, Lösungen für optimale Reglereinstellungen liefert und diese dann am realen Regelkreissystem verifiziert.

Die aus dieser regelungstechnischen Modellbildung sich ergebenden Lern- und Verständnisschwierigkeiten können durch die bestehenden fachdidaktischen Konzepte, die auf grund liegenden mathematische Kenntnisse verzichten, kaum aufgegriffen und aufbereitet werden. „Eine didaktische Reduktion, die nur den technischen Aspekt auf der Ebene von Technologieschemen berücksichtigt oder die sich nur auf die banale Praxis von Einstellregeln konzentrieren würde, verpasst wichtige Bildungsinhalte, die sich am Lernträger einer konkreten Regelaufgabe vermitteln ließen. Gerade die Regelungstechnik bietet wie kaum eine andere technische Disziplin die Möglichkeit, wichtige Inhalte der Mathematik und Physik fächerintegrierend und zweckbezogen zu vermitteln.“ (Ebd. 2001, S. 209)

3.2.1.3 Gestalten von Lernprozessen in der Regelungstechnik durch computergestützte Modellbildung und Simulation

Betrachtet man die einschlägige Literatur genauer, so fällt auf, dass unter den Begriff Modellbildung und Simulation die unterschiedlichsten Programmtypen fallen, bei deren Verwendung nur zum Teil pädagogische Ziele im Vordergrund stehen. Geht es jedoch innerhalb des Forschungszweiges *komplexes Problemlösen* darum, eine geeignete Lernumgebung zur Untersuchung angesprochener Determinanten auszuwählen, fällt - wie zu zeigen sein wird - die Entscheidung in aller Regel zu Gunsten computergestützter Modellbildung und Simulation aus. In dieser Arbeit wird die Computersimulation ausschließlich unter dem Aspekt *Lernmedium* eingesetzt und aus den klassifizierten Kategorien von Simulationsprogrammen werden nur die Modellbildungssysteme betrachtet.¹²⁰ Modellbildungssysteme erlauben den Lernenden einen expressiven Zugang zu (komplexen) Lerngegenständen. Damit ist das der Simulation zugrunde liegende Modell nicht mehr starr vorgegeben, sondern wird von den Schülern selbstständig kreiert.

¹²⁰ Als weitere Klassifizierungskategorien von Simulationsprogrammen findet man in Band 4 Psychologie der Erwachsenenbildung aus der Reihe Enzyklopädie der Psychologie (WEINERT/MANDL, 1997, S. 448): (1) Simulationen als Substitute für Experimente, (2) Planspiele, (3) Simulationen zum Training psychomotorischer Fertigkeiten und (4) fallbasierte Lernprogramme.

Unter *Simulation* versteht man „die zielgerichtete Arbeit mit dem Modell eines Systems [...] wobei es sich im Falle der Computersimulation immer um ein mathematisches oder formallogisches Modell handelt, dessen Algorithmus als ein vom Rechner zu verarbeitendes Programm vorliegt“. (WEDEKIND 1991, S. 26) Unter *Modellbildung* wird dabei die Darstellung eines gewissen Ausschnittes der Wirklichkeit verstanden, der seinerseits aus einer Reihe von Elementen und deren Relationen besteht. Aufgabe der Lernenden kann es dann zum Beispiel sein, in der Simulation eines realen Regelkreisverhaltens die einzelnen Elemente und Relationen eines (offenen und geschlossen) Regelkreises zu explorieren und gegebenenfalls auch zu verändern. „Der fiktive Charakter der Eingriffe gestattet es ihnen, zu experimentieren und Eingriffe, die in realen Situationen außerhalb der Simulation gefährlich wären, vorzunehmen, ohne dramatische Folgen einkalkulieren zu müssen, die die Systemexploration erheblich einschränken würden.“ (MANDL/GRUBER/RENKEL 1997, S. 447)

Simulation und Modellbildung werden häufig in Zusammenhang gebracht mit dem theoretischen Konzept des Aufbaus mentaler Modelle, die darin als Grundlage zur effektiven Steuerung von komplexen technischen Systemen diskutiert werden (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Mentale Modelle erhalten dabei ein besonderes Gewicht durch die Modellierung komplexer Problemstellungen sowie dem Erlernen des erfolgreichen Umgangs mit ihnen, wodurch sie häufig dem adaptiven oder problemorientierten Lernen zugerechnet werden (SEEL 1991, GRUBER/ZIEGLER 1996).

Als bedeutsame pädagogische Zielsetzungen von computergestützter Modellbildung und Simulation findet man zum Beispiel bei ERBE (1993) als auch bei MANDL/GRUBER/RENKEL (1997):

- Förderung des entdeckenden Lernens sowie des Lernens an Beispielen
- Vermittlung deklarativen und prozeduralen Wissens
- Veranschaulichung des Gegenstandsbereiches
- höhere Lernmotivierung und -aktivierung
- domänenspezifische Ausbildung, die den Lernern Einblicke in die Expertenkultur innerhalb einer Domäne verschaffen.

Als weitere Orientierungen, die unter den speziellen Aspekten dieser Arbeit von besonderer Bedeutung sind, werden Simulationen im speziellen noch benutzt (vgl. BREUER 1988, S. 342 f.), um

- das Verhalten komplexer dynamischer Systeme zu offenbaren;
- den Gebrauch komplexer technischer Systeme einzuüben;
- geeignete Modellvorstellungen zur Zusammensetzung und der Funktion komplexer dynamischer Systeme zu ermöglichen oder zu präzisieren;
- für Schüler komplexe dynamische Wirklichkeitsausschnitte als Entscheidungsräume beziehungsweise als Aufgabenstellungen zu eröffnen.

Durch die unterschiedlichen Orientierungen werden verschiedene Lernaktivitäten seitens der Lernenden angeregt. Diese Fragestellung soll hier Stelle jedoch nicht weiter vertieft werden. Ihre Darstellung diene lediglich einer überblicksartigen Einordnung der unterschiedlichen Verwendungsarten. Insgesamt wird computergestützte Modellbildung und Simulation in hohem Maße als geeignet angesehen, Lernenden eine Lernumgebung bereitzustellen, die als Modell für berufsrelevante Situationen dienen kann (MANDL/GRUBER/RENKEL 1997). Auch das notwendige Maß an Problemorientierung ist für die Autoren bei Simulationen überwiegend gegeben. Für sie besteht ein wesentlicher Vorteil einer didaktisch eingesetzten Modellbildung

gerade darin, „dass eine motivierende Lernumgebung geschaffen wird, in der Probleme durch Experimentieren, Üben oder Anwenden von Wissen gelöst werden können.“ (Ebd., S. 452)

Regelungstechnik stellt für Lernende in der beruflichen Erstausbildung ein komplexes Lerngebiet mit besonders hohen Abstraktionsanforderungen dar (GEFFERT 1999). Ein strukturelles Problem der regelungstechnischen Ausbildung ist, dass es an realen Anlagen in der Regel nicht möglich ist, kontinuierliche Prozesse praxisnah zu trainieren, da der Produktionsprozess gestört werden würde. Zudem ist das Risiko einer anschließend fehlerhaft laufenden Anlage zu groß. Praxisnahe Ausbildung bedeutet aber, Prozesse so transparent machen zu können, dass strukturelle Zusammenhänge der industriellen Realität auf überschaubarem Raum von den Lernenden erlebt werden können. Wichtige Lernziele lassen sich dabei durch den Einsatz computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) anstoßen.

Durch die computergestützte Modellbildung und Simulation soll den Lernenden geholfen werden, die theoretischen regelungstechnischen Systemzusammenhänge tiefer zu verstehen und durch die visuelle Präsentation besser zu verarbeiten. „Modelle und Simulationen jeder Art sind Hilfsmittel zum Umgang mit der Realität; sie sind so alt wie die Menschheit selbst.“ (BOSEL 1994, S. 11) Komplexe Wirklichkeit lässt sich so näherungsweise im Modell abbilden und dynamische Entwicklungen lassen sich so simulieren. Anschließend können Erkenntnisse über das reale System abgeleitet werden. Der (ideale) Prozess der Modellbildung vollzieht sich dabei in den folgenden Phasen (vgl. LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG 1995, S. 5):

- 1 Untersuchung eines betrieblichen Aufgabenbereiches unter einer ausgewählten Problemstellung
- 2 Gestaltung eines qualitativen Modells zur Abbildung eines Realitätsausschnitts
- 3 Gestaltung eines quantitativen Modells mittels CMS
- 4 Exploration des Modells durch Simulationen (Modellexperimente)
- 5 Kontrolle der Modellqualität durch Rückgriff auf die Realität (Frage nach der empirischen Gültigkeit des Modells) und gegebenenfalls Modifikation (expressiver Zugang).

In der Berufsschule beschränken sich die Modellierungsprozesse im regelungstechnischen Unterricht häufig auf die ersten zwei Punkte: Eine quantitative Beschreibung der Modellgrößen mit schulischen Mitteln ist nicht möglich, eine analytische oder numerische Lösung des resultierenden Differenzialgleichungssystems mit den vorgesehenen mathematischen Hilfsmitteln nicht durchführbar. Damit können zum Beispiel „Was-wäre-wenn“-Fragen von Lernenden im Unterricht der Berufsschule kaum untersucht werden (Ebd.).

Die Autoren der Handreichungsreihe „Informations- und Kommunikationstechnologische Grundbildung“ vom Landesinstitut für Schule und Weiterbildung in Soest, weisen in diesem Zusammenhang allerdings zurecht darauf hin, dass in den letzten Jahren Computer und Computerprogramme zur Modellbildung und Simulation so leistungsfähig und komfortabel in ihrer Handhabung geworden sind, dass solche Werkzeuge auch in der Berufsschule genutzt werden können. Für sie stellt sich daher vielmehr die Frage, welche Modelle besonders geeignet sind, um den Lernenden einen Eindruck von den Möglichkeiten und vor allem den Chancen der Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme zu vermitteln und diese zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den Ergebnissen anzuregen.

Im folgenden sind einige Leitlinien bei der didaktisch-motivierten Auswahl geeigneter Gegenstände und Simulationsmodelle angeführt, die das Landesinstitut Soest in ihrer Handreichungs-

reihe allgemein zum Umgang mit Modellbildung und Simulation von komplexen dynamischen Systemen¹²¹ erarbeitet hat (vgl. Ebd., S. 8):

- Die zu modellierenden und zu simulierenden Realitätsausschnitte sollen die Kompetenz vermitteln, sich mit aktuellen und bedeutsamen komplexen Problemen auseinander zu setzen beziehungsweise damit Bereiche zu thematisieren, die als Untersuchungsgegenstände bereits etabliert sind.
- Die zu modellierenden und zu simulierenden Realitätsausschnitte sollen sich durch einfache Modellen zweckmäßig simulieren lassen und dennoch zu aufschlussreichen Fragestellungen anregen beziehungsweise zu neuen Einsichten führen.
- Die Simulationsmodelle sollen sowohl einen explorativen als auch einen expressiven Zugang möglich machen. Sie sollten darüber hinaus zu einem wechselseitigen Prozess von Modellkritik und Modellveränderung anregen.
- Die Simulationsmodelle sollen dafür geeignet sein, dass Schüler mit ihnen „spielerisch forschen“, experimentieren oder durch Parametervariation eigene „Was-wäre-wenn“-Fragen untersuchen können. Dabei darf es selbstverständlich keine Tendenz zum deterministischen Chaos geben. Instruktionale Möglichkeiten zur Auswahl sinnvoller Parametrisierungen müssen Schülern entweder vorliegen oder von ihnen selbst organisiert werden können.

GEFFERT (1999) hat unterschiedliche Simulationsmodelle ausführlich analysiert und sieht die Möglichkeit, in der computergestützten Modellbildung und Simulation drei unterschiedliche Modellbildungstypen integrativ einzusetzen. Er unterscheidet so genannte Erklärungsmodelle, die technische Abläufe innerhalb eines Realitätsausschnittes fassbar sowie begründbar und damit im Sinne unterrichtlichen Lernens für die Berufsschule auch transferierbar machen. So kann zum Beispiel das „undurchschaubare“ Regelkreisverhalten einer großen Verdichterpumpe mit frequenzgeregeltem elektrischen Antrieb und elektronischem Regler modellhaft dargestellt werden. Dagegen helfen Entscheidungsmodelle, aus der Modellierung und Simulation eines Realitätsausschnittes Rückschlüsse zu ziehen und damit für das reale System-Verhalten ein geeignetes mentales Modell zu konstruieren. Diese Anforderungen sind zum Beispiel übertragbar auf die Durchführung realer Regelkreisoptimierungen (vgl. Kapitel 3.2). Damit kann in hohem Maße sichergestellt werden, dass sowohl die Gefahr der Zerstörung von Regelkreis- und verfahrenstechnischen Anlagenteilen als auch eine gefährliche Beeinträchtigung von Mensch und Umwelt vermieden werden. Dagegen veranschaulichen so genannte Beschreibungsmodelle den jeweiligen Realitätsbereich. Für die Regelungstechnik bedeutet das GEFERT zufolge, dass zum Beispiel die graphische und damit gesicherte und interpretierbare Darstellung der vom Schüler direkt kaum beobachtbaren dynamischen Verläufe von Regelkreisgrößen einen unterrichtlichen Zugang erfährt.

Entwurf, Realisierung und Erprobung von Regelsystemen erfordern zweckmäßige Hardware-Plattformen und effiziente Software-Werkzeuge. Modellbildungs- und Simulationswerkzeuge bieten grundsätzlich die Möglichkeit, „handlungskompetenzförderndes Lernen in beruflichen Situationen unter besonderer Berücksichtigung aktiven Erwerbs aktuellen Fachwissens mit integrierter multimedialer Optimierung“ zu fördern (Ebd.). Für GEFERT schließt dies Lernsituationen ein, die nicht nur motivierend und anschaulich begreifbar im Sinne von VESTER (1999) die Bereitschaft zum Lernen steigern, sondern dass die integrierten Simulationssysteme-

¹²¹ Demographie, Klimatologie, Ökologie, Epidemiologie und Ökonomie sind unter anderem thematische Bereiche, in denen Modellbildung und Simulation zum gängigen Rüstzeug der dort arbeitenden Berufsgruppen gehört und folglich auch besonderer Anstrengungen bei der didaktischen und methodischen Reflexion dieser Themen als Unterrichtsgegenstand bedarf.

me in diesem Kontext auch den Lernenden die Möglichkeit bieten, selbst aktiv zu werden, „das heißt fiktiv in komplexe technische Abläufe einzugreifen, um sie zu erforschen, ohne dass zum Beispiel aufgrund der fehlenden beruflichen Erfahrung ernsthafte negative Folgen in der beruflich-betrieblichen Realität befürchtet werden müssen“. (GEFFERT 1999, S. 39) Das Simulationssystem macht es möglich, an den digital abgebildeten Regelkreismodellen Prozessverläufe zu studieren, die in realen verfahrenstechnischen Anlagen nicht oder nur eingeschränkt von den Schülern wahrzunehmen sind. Ausnehmend gilt dies für

- hoch-dynamische und damit für den Betrachter nicht mehr direkt erfahrbare Abläufe;
- in der verfahrenstechnischen Anlage verborgen ablaufende Prozesse;
- historische und damit in der Anlage nicht mehr verfügbare Systeme, Teilsysteme oder Systemkomponenten;
- komplexe und von den Lernenden insbesondere anfänglich nur schwer durchschaubare System eines technischen Regelkreises¹²²;
- realtypische Nichtlinearitäten oder zeitliche Verzögerungen von Übertragungsgliedern im Regelkreis;
- für Kosteneinsparungen, da das in der Schule in der Regel nur einmal vorhandene Lern-System (zum Beispiel regelungstechnische Modellanlage) zur Untersuchung der Prozessreaktionen für parallel arbeitende Selbstlerngruppen auf beliebig viele PCs quasi virtuell geklont wird (Ebd.).

Seit über drei Jahrzehnten stellt die computergestützte Modellbildung und Simulation von regelungstechnischen Prozessen ein bedeutsames Forschungs- und Entwicklungswerkzeug dar. Durch den Einsatz kostengünstiger und leistungsfähiger Rechnersysteme ist es seitdem auch im Unterricht der Berufsschule möglich geworden, den Informationskreislauf *Reales System => Modell => Simulation => Konsequenzen für das reales System* im Bereich Steuern und Regeln von verfahrenstechnischen Anlagen zu integrieren. Heutzutage gehört es zum so genannten Stand der Technik, dass sowohl bei dem Entwurf einer Regeleinrichtung als auch bei Echtzeitregelung mit Prozessleitsystemen computergestützte Modellbildungen und Simulationen durchgeführt werden.

Einen weiteren konsequenten Schritt - weg von den bisher üblichen (unterrichtlich jedoch eher selten zu beobachtenden) versuchsgestützten Entwicklungen hin zu einer simulationsorientierten Bearbeitung der Aufgaben - stellt die Ergebnisdarstellung als animierte Grafik dar. Die früher übliche Ausgabe numerischer Verlaufs- beziehungsweise Ergebnistabellen und zeitlicher Verläufe ist inzwischen einer dynamischen und damit realistischen Visualisierung der Regelungsvorgänge unter Einwirkung variabler Parameter gewichen. Schüler der Berufsschule werden dadurch bei der Bearbeitung diverser regelungstechnischer Aufgabenstellungen unterstützt:

- Identifikation linearer Systeme anhand der Verläufe von Eingangs- und Ausgangsgrößen
- Analyse linearer Übertragungssysteme über die Berechnung und Darstellung von Sprung-, Anstiegs- und Impulsantworten
- Synthese linearer Regelkreise durch Standardglieder.

Neuere Simulations- und Modellbildungswerkzeuge für die Regelungstechnik stellen blockorientierte und damit universelle Regelungs-, Steuerungs- und Simulationsprogramme dar, mit welchen die Lernenden frei konfigurierbare Funktionsblöcke sowie benutzerdefinierte Blöcke vollgrafisch zu beliebigen dynamischen Systemen zusammenschalten können. So lassen sich

¹²² Dieses wird didaktisch aufbereitet und die für den angestrebten Lernprozess bedeutenden Kriterien betont.

sehr schnell und übersichtlich (per drag and drop) auf grafischem Wege komplexe Lösungen auch für überlagerte Regelungen erstellen, die bislang erheblichen Programmieraufwand erforderten. In der schulischen Praxis können mit dem beschriebenen Modellbildungs- und Simulationssystem unterschiedliche und das bisherige Spektrum wesentlich erweiternde regelungstechnische und messtechnische Aufgaben der Verfahrenstechnik bearbeitet und gelöst werden.

Folgende didaktische Vorteile einer computergestützten Modellbildung und Simulation (CMS) lassen sich zusammenfassend darstellen:

- Es stehen alle dynamischen und statischen Blocktypen der Modellierungstechnik für die Regelungstechnik zur Verfügung.
- Die Funktionsbausteine sind vollgrafisch konfigurier- und verbindbar.
- Alle Funktionen können ohne Programmierung genutzt werden.¹²³ Jede Form der textuellen Programmierung ist überflüssig: Das System wird grafisch konfiguriert und kann auch in dieser Form dokumentiert werden.
- Das System kann gleichzeitig an ein Leitsystem, eine SPS, Kompaktregler und direkt (über Prozessinterfaces) an den Prozess angebunden werden. So eignet es sich für alle Advanced-Control Anwendungen.
- Optional steht in der Regel eine umfangreiche, konfigurierbare Oberfläche für die Prozessvisualisierung zur Verfügung.

Im Ganzen bleibt festzuhalten, dass computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) ein hohes Potenzial zur Förderung des erfolgreichen Umgangs von Prozessleitelektronikern mit komplexen regelungstechnischen Systemeigenschaften aufweist. In Verbindung mit dem Wechsel der unterrichtlichen Verwendung - vom üblicherweise rein experimentellen Einsatz (als Ersatz für das Lernen an beziehungsweise mit realen verfahrenstechnischen Anlagen) hin zu einer explorativen oder expressiven Benutzung - stellt sie für Schüler ein geeignetes didaktisches Arbeitsmittel zum Aufbau funktionaler mentaler Modelle mit hoher Reichweite dar, welches ihnen die Bewältigung kognitiv komplexer Situationen ermöglicht. Dadurch ist computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) geeignet, um seitens der Schüler das Erzeugen eigener Hypothesen zu befördern und sie diese anschließend selbstständig verifizieren zu lassen, also weitgehend selbstgesteuert zu lernen. CMS kann so für zunehmend spezifischere Interpretationen beim Aufbau elaborierter mentaler Modelle eingesetzt werden. Kognitive Werkzeuge entfalten diese Eigenschaften jedoch nicht dadurch, indem man sie schlicht im Unterricht einsetzt. „Vielmehr setzt die sinnvolle Verwendung des kognitiven Werkzeugs eine gezielte und sorgfältige Beschäftigung der Lernenden mit dem zu lösenden Problem voraus. Darüber hinaus muss der Umgang mit dem Werkzeug, die Methodik, bekannt sein. Die Lernenden können das Modellbildungssystem nutzen, indem sie unreflektiert und ungezielt „ausprobieren“, oder aber sie stellen gezielt Hypothesen auf, testen diese und nutzen die Simulation zur Reflexion und Evaluation ihrer Annahmen.“ (HILLEN 2003, S. 95 f.)

3.2.2 Curriculumbezug

Die konzipierten regelungstechnischen Modellbildungsaktivitäten stehen im Einklang und unter dem Anspruch der curricularen Relevanz der Berufsschule. Hauptaugenmerk liegt auf der gewerblich-technischen Erstausbildung unter Bezug auf den Beschluss der Kultusministerkon-

¹²³ Der Anwender legt einfach aus dem Menü einen Block auf die Oberfläche und verbindet diesen mit Hilfe der Maus mit gewünschten anderen Blöcken.

ferenz vom März 1991 zur Rahmenvereinbarung über die Berufsschule. Bezüglich der Zielvorstellungen heißt es dort: „[...] die Schüler sollen [...] sich auf veränderte Anforderungen einstellen und neue Aufgaben übernehmen [...].“ (BESCHLUSS DER KMK vom 15. März 1991). Neuere didaktische Grundsätze weisen die Orientierung aus, dass „Handlungen ein ganzheitliches Erfassen der beruflichen Wirklichkeit fördern sollen, zum Beispiel technische, sicherheitstechnische, ökonomische, rechtliche, ökologische, soziale Aspekte einbeziehen“. (BESCHLUSS DER KMK vom 15. JULI 1998)

In Anlehnung an den Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Prozessleitelektroniker (vgl. Tabelle 6) eignen sich insbesondere folgende Lerngebietsabschnitte für eine Modellierungs- und Simulationsaktivität seitens der Schüler. Die Zeitrichtwerte weisen dabei einen signifikanten Rahmen aus. Damit fällt der regelungstechnischen Ausbildung der Schwerpunkt in der Fachstufenausbildung zu.

Lerngebietsabschnitte	Zeitrichtwerte
1. Einführung in die Prozessleittechnik <ul style="list-style-type: none"> - Aufgaben der Prozessleittechnik nennen - Strukturen von Steuerungen erläutern - Struktur und Arbeitsweise prozessorgestützter Einrichtungen erläutern - Aufgaben der Regelungstechnik beschreiben - Funktionseinheiten der Regelungstechnik nennen und ihr Zusammenwirken im Regelkreis darstellen - Strukturen von Prozessleitsystemen erläutern 	40
2. Prozessleittechnik (PLT) – Regelungstechnik <ul style="list-style-type: none"> - Regler und ihre Bauelemente beschreiben - Statisches und dynamisches Verhalten von Regelstrecken, Stelleinrichtungen, stetigen und un stetigen Reglern und Regelkreisen erläutern und [...] bewerten - Strukturschaltungen der Regelungstechnik vergleichen und beurteilen 	120
3. Prozessleitsysteme <ul style="list-style-type: none"> - Elemente der Prozessleitsysteme beschreiben und handhaben - Digitale Prozessleitsysteme erläutern und handhaben 	40
Zeitrichtwert insgesamt	200

Tabelle 6: Ausschnitt aus dem Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Prozessleitelektroniker (BESCHLUSS DER KMK vom 2. April 1992)

Als integrativer Bestand und tragende Säule der Prozessleittechnik soll die Regelungstechnik gerade in dem Ausbildungsberuf Prozessleitelektroniker, aber auch in der Berufsausbildung weiterer einschlägiger technischer Berufe eine angemessene Berücksichtigung finden. „Wichtige Teilaspekte der Regelungstechnik sind zwar in den Lehrplänen für gewerblich-technische Berufe zu finden, sie sind aber, gemessen an ihrem praktischen Stellenwert, was Inhalt und Umfang anbelangt, weder im Unterricht noch in den Lehrbüchern entsprechend berücksichtigt.“ (STEINKAMP 2001, S. 205) Die typischen, im anschließenden Kapitel 3.2 abgebildeten Problemstellungen der Regelungstechnik werden durch den Lehrplan jedoch nur wenig exemplarisch und praxisbezogen dargelegt.¹²⁴ Die Darstellung der regelungstechnischen Inhalte im

¹²⁴ So ist die herkömmliche Fachsystematik zum Beispiel der Sensortechnik nicht anwenderorientiert, da sie das für den Facharbeiter Wichtigste gar nicht enthält: das Anpassen und sowie die montagemäßige Einbindung der Mess- und Stelleinrichtungen in den Prozess der verfahrenstechnischen Anlage. Dabei ergeben sich aber nach Expertenmeinung mindestens 60 % der Fehlfunktionen verfahrenstechnischer Prozessanlagen aus sensorischen Gründen (vgl. EHRlich 1998, S. 123).

Rahmenlehrplan orientiert sich im wesentlichen an der gängigen Fachdidaktik beziehungsweise an der Fachwissenschaft. Eine fachübergreifende oder Fächer integrierende Darstellung der Fachkompetenzen, die sich gerade bei der Regelungstechnik anbietet, findet man eher selten: Der Rahmenlehrplan für den Beruf Prozessleitelektroniker gliedert die regelungstechnischen Inhalte und daraus ableitbare Lernziele streng fachwissenschaftlich beziehungsweise fachsystematisch. Angesichts der aufgezählten Defizite sowie der aktuellen Bedeutung der Prozessleittechnik vor dem Hintergrund moderner Regelungs- und Informationstechnik hält es STEINKAMP (2001, S. 205 f.) daher für angebracht, neu über eine unterrichtliche Konzeption nachzudenken, die die vielgestaltigen Chancen gegenwärtiger Medien nutzt und auf diese Weise versucht, traditionelle, bei Schülern der Berufsschule wenig beliebte Themen aus den Bereichen zum Beispiel der Physik oder der Mathematik, integrativ und anwendungsbezogen zu vermitteln. Insbesondere die Regelungstechnik kann für ihn dabei durch Modellbildung und Simulation anschaulich vermittelt werden.

Für RAUNER (1997) läuft die oben skizzierte Vorstellung, wonach die beruflichen Ordnungsmittel aus einer Analyse der Arbeitswirklichkeit angemessen abgeleitet werden können, um daraus Inhalte und Formen für aktuelle und zukünftige Berufsbildungsprozesse gewinnen zu können, auf einen „Qualifikationsdeterminismus“ hinaus und erweist sich für ihn - jedenfalls beim Beruf Prozessleitelektroniker - als pure Fiktion. Die Lerninhalte/-ziele im Bereich der berufsfeldbreiten Grundbildung des Rahmenlehrplans haben für ihn nichts mit dem Berufsalltag von Prozessleitelektroniker zu tun. Für EHRLICH (1998) ist immerhin der Ausbildungsrahmenplan an beruflichen Tätigkeiten orientiert. Aber, so EHRLICH einschränkend, lässt auch er die Auszubildenden erst nach einer langen „Durststrecke“ mit „Bauteil-“ und „Baugruppen-Etappen“ im 5. beziehungsweise 6. Ausbildungshalbjahr bei der realen und konkreten betrieblichen Technik ankommen. RAUNER (1997) und EHRLICH (1998) gehen mit ihrer Kritik sogar so weit, dass lehrplangesteuertes didaktisches Handeln in ihren Augen die ständige Auseinandersetzung mit betrieblicher Arbeitswirklichkeit ausschließt.¹²⁵

Seit 1996 bestimmen gegenwärtig Lernfelder die Struktur der KMK-Rahmenlehrpläne für die berufliche Erstausbildung. Ziel des Lernfeldkonzepts ist es, die berufliche Handlungskompetenz der Schüler zu fördern und gemeinsam mit dem berufsübergreifenden Lernbereich die Handlungskompetenz in beruflichen und außerberuflichen Bereichen zu fördern. Wesentliches Merkmal dabei ist, dass Auswahl und Strukturierung unterrichtlicher Themen und Lerninhalte an so genannten beruflichen Handlungsfeldern erfolgen (KMK 2000). Bis zur Einführung des Lernfeldkonzepts orientierten sich die Rahmenlehrpläne an wissenschaftssystematischen Disziplinen beziehungsweise Teildisziplinen. Auf der Grundlage der fachsystematisch strukturierten KMK-Rahmenlehrpläne wurden in den einzelnen Bundesländern - unter Beibehaltung dieser fachsystematischen Strukturen - landesspezifische Lehrpläne entwickelt. Bei ihrer Umsetzung in Unterricht stand die Wissensvermittlung im Vordergrund (GAUL/TAUSCHEK 2002).

Wesentliches Kennzeichen der neuen Rahmenlehrpläne im Gegensatz zu den bisherigen Lehrplänen ist deren bewusst angestrebte Gestaltungsoffenheit. Aufgabe von Lehrern ist es, die curricularen Vorgaben der Rahmenlehrpläne in Bezug auf den Bildungsauftrag der Berufsschule unter Berücksichtigung schulischer beziehungsweise regionaler Besonderheiten zu konkretisieren und umzusetzen. Die damit verbundene umfassende curriculare Planungsarbeit

¹²⁵ „Rahmenlehrplan und Ausbildungsrahmenplan taugen also in ihrer gegenwärtigen Gestalt nicht als Richtschnur für die Entwicklung und Ausgestaltung des neuen Berufs.“ (EHRLICH 1998, S. 133 f.)

und die Realisierung des handlungsorientierten Lehr-Lernkonzepts erfordert die Weiterentwicklung bisheriger Unterrichtsstrategien (Ebd.).

3.2.3 Didaktische Vorbemerkungen

3.2.3.1 Intentionen und Ziele

Übergeordnetes Ziel der didaktischen Überlegungen stellt die integrative Vermittlung beziehungsweise die Förderung des erfolgreichen Umgangs mit komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen in der beruflichen Erstausbildung dar, deren Verständnis - wie oben dargestellt - gewöhnlich über theoretische mathematische Modelle (Differenzialgleichungen, komplexe Zahlenebene etc.) erfolgt. Wie gezeigt werden soll, lassen sich von komplexen regelungstechnischen Systemen mentale Modelle mit ausreichend großer Reichweite auch ohne Kenntnisse in höherer Mathematik ergänzend über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) von den Lernenden erschließen. Die Möglichkeit der vertiefenden Behandlung systemischer Eigenschaften von Regelkreisen (Rückkopplungen, Dynamik, Nichtlinearitäten etc.) durch den Einsatz von Modellbildungssoftware legitimieren dabei den Anspruch einer unterrichtlichen Konzeption zur Förderung und Erfassung einer Problemlösekompetenz vor dem Hintergrund komplexer regelungstechnischer Problem- und Aufgabenstellungen. Hierzu ist die zur Simulation und zur Modellbildung regelungstechnischer Vorgänge notwendige Mathematik didaktisch so aufzubereiten, dass die Lernenden einen (alternativen) Zugang finden (vgl. Kapitel 4.1).¹²⁶

Die vertiefende Behandlung physikalischer und mathematischer Inhalte und der Einsatz einer modernen Entwicklungsumgebung legitimieren das hier vorgestellte Konzept der „Unterrichtlichen Konzeption einer computergestützten Modellbildung und Simulation der Regelungstechnik“ als alternatives Qualifizierungs- und Bildungsangebot der Berufsschule am für komplexe technische Systeme als repräsentativ ausgewählten Beispiel der bleibenden Regelabweichung (e_b) (vgl. Kapitel 4.1). Bei der Veränderung einzelner Strecken- oder Regelparameter können die Lernenden direkt deren Einfluss auf die Regelgröße erfahren und eigene Schlüsse aus ihren Überlegungen und Handlungen ziehen. Computergestützte Modellbildung und Simulation bietet für den regelungstechnischen Unterricht in der Berufsschule eine flexible und umfangreiche, blockorientierte dynamische Simulationsumgebung mit allen gängigen dynamischen und statischen regelungstechnischen Elementen sowie den zugehörigen Werkzeugen zur Identifikation und Analyse. In diesem Rahmen stellt sie der Regelungstechnik als einem interdisziplinären Arbeitsgebiet unterrichtlich erweiternde Methoden zur Lösung regelungstechnischer Aufgaben für die Prozessleit- und für die Verfahrenstechnik bereit. Über CMS-Regelungskreislösungen lässt sich das Systemverhalten im Modell zu jedem Zeitpunkt unter Echtzeitbedingungen explorieren und optimieren.

Auf der Basis des - einer realen verfahrenstechnischen Anlage zugrunde gelegten - Simulationsmodells kann demgemäß von den Lernenden eine Entscheidungs- oder Parametervariation vorgenommen werden. Hierbei wird ein verfahrenstechnischer Ablauf durch Veränderung vorgegebener Prozessparameter beeinflusst und zu einem angestrebten Aufgaben- und Problemerkgebnis mit optimierten Prozessdaten geführt. Zur didaktischen Reduktion können dabei

¹²⁶ Konkret bedeutet dies, dass die Auszubildenden - am Beispiel der mit einer einfachen Regelung (Proportionalregelung) verbundenen bleibenden Regeldifferenz (e_b) - eine ausreichende Reichweite ihres mentalen Modells entwickeln, um Aufgaben und Probleme im Zusammenhang mit komplexen regelungstechnischen Systemen erfolgreich bewältigen zu können (vgl. Kapitel IV 2).

leicht Anzahl und Variationsbreite der vorgegebenen Parameter gegenüber dem realen System eingeschränkt werden. Eine so methodisch-didaktisch ausbalancierte computergestützte Modellbildung und Simulation mittels Parametervariation unterstützt für GEFFERT im Kontext einer offenen Problemstellung kompetenzförderndes Lernen, indem sie

- die Lernenden für komplexe Systemzusammenhänge sensibilisiert;
- strategisches Denken fördert;
- das Erkunden von Prozessverhalten zum eigenständigen Entdecken von regelungstechnischem Systemverhalten ermöglicht;
- zulässt, dass Lernende die Folgen ihrer Entscheidungen im Unterricht „virtuell“ erleben und hierdurch reflektieren können;
- die Ausbildung von Arbeitsprozesswissen fördert.

3.2.3.2 Regelungstechnische Grundbildung in der beruflichen Erstausbildung

Unter Bezugnahme auf die aktuelle Diskussion zur naturwissenschaftlichen Grundbildung im Rahmen der internationalen Schulleistungsstudien¹²⁷ ist eine weitgehende Übereinstimmung in den Zielen regelungstechnischer Grundbildung zu den dort aufgeführten und zielführenden übergeordneten Bildungszielen festzustellen (DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM 2000).¹²⁸ Übertragen auf den Unterricht der berufsbildenden Schule soll im berufsbezogenen Unterricht eine prinzipielle Befähigung entwickelt werden von

- grundlegenden technischen Konzepten sowie elementaren Erklärungsmodellen;
- Strategien und Methoden, mit denen in einer technischen Welt Erfahrungen und Kenntnisse gewonnen werden können;
- Möglichkeiten und Grenzen der Technik in unserer modernen Welt.

Regelungstechnische Grundbildung im Sinne dieser Arbeit umfasst ein Verständnis von fundamentalen regelungstechnischen Konzepten, den Grenzen technischer Prozesse und den Besonderheiten moderner leittechnischer Einrichtungen in der Verfahrenstechnik. Bezugspunkt für die Zielgruppe der Prozessleitelektroniker ist eine konzeptionelle und prozedurale regelungstechnische Grundbildung. Dies schließt die Befähigung ein, Fragestellungen zu erfassen, die regelungstechnisch beantwortet werden können, Informationen, Kennlinien und Daten zu interpretieren sowie Schlussfolgerungen kritisch zu prüfen.

Wie in Kapitel 3.2.3.3 noch näher darzulegen, wird dabei der Untersuchungsansatz zur regelungstechnischen Grundbildung in dieser Arbeit durch die drei Aspekte

- regelungstechnische (Arbeits-)Prozesse
- regelungstechnische Konzepte
- regelungstechnische Anwendungsbereiche

bestimmt. Mit den beiden Aspekten regelungstechnische Konzepte und Prozesse thematisiert die Arbeit zwei Kompetenzbereiche, die explizit auch in allen wichtigen neueren Literacy-Ansätzen unterschieden werden (BYBEE 1997, KLIEME ET AL. 2001, SJØBERG 2001). Dabei werden weitere wichtige Aspekte regelungstechnischer Grundbildung in die Unterscheidung von Konzepten und Prozessen integriert. Vorstellungen über die Besonderheiten der Regelungstechnik im Rahmen der Prozessleittechnik und über ihre Grenzen werden dabei der Prozesskomponente zugeordnet. Damit decken die in dieser Arbeit in realitätsnahe Simulati-

¹²⁷ Speziell von PISA

¹²⁸ „Diese Ziele nimmt PISA als Bezugspunkt und betont die Fähigkeit, das damit umschriebene Verständnis in realen, mit naturwissenschaftlichen Fragen verbundenen Situationen anzuwenden.“ (PRENZEL ET AL. 2001, S. 197)

onsszenarien eingebetteten computergestützten Modellbildungs- und Simulationsaufgaben vom Anspruch her wesentliche Bereiche regelungstechnischer Grundbildung ab. Verstehen setzt in diesem Falle die erfolgreiche Bewältigung regelungstechnischer Anforderungen voraus. Erfahrungsgemäß gelingt es den Lernenden dabei oft nur unzureichend, mathematische Formeln zu verstehen und die einzelnen Größen und deren Verknüpfungen mit entsprechender regelungstechnischer Bedeutung zu versehen. Formeln werden oft auswendig gelernt und mechanisch angewandt. Die dabei vorherrschenden automatischen Prozesse bringen zwar durchaus Vorteile mit sich: Sie funktionieren schnell und ökonomisch. Die zugrundeliegende Wissensrepräsentation ist jedoch wenig transferwirksam. Der Einsatz von Operatoren bleibt an spezifische Bedingungen assoziativ gebunden, die zudem eher Oberflächencharakter haben. Die erlernten „Bedeutungs-Operator-Verbindungen“ basieren damit nicht auf einem tieferen Verständnis: Treten neuartige Oberflächenvariationen auf, kommt es leicht zu ausbleibendem Transfer, selbst wenn keine tiefstrukturellen Variationen vorliegen. „In oberflächlich ähnlichen Situationen, denen eine andere Tiefenstruktur zugrunde liegt, ist negativer Transfer vorprogrammiert.“ (MANDL ET AL. 1999, S. 216)

Im Bereich des gewerblichen Rechnens sind die geschilderten Probleme natürlich häufig auch Resultat eines Unterrichts (beginnend bereits in der allgemein bildenden Schule), der wenig auf tiefgehendes Verständnis und Anwendungsbezug abzielt. Gründe für die Wahl eines solchen, wenig transferwirksamen Unterrichts sieht die Unterrichtsforschung dann vor allem beim geringen mathematischen Vorwissen der Lernenden. So führen MANDL ET AL. (1999) unter Bezugnahme auf STEINER/STRÄSSER (1982) aus, „dass in der beruflichen Bildung mathematische Inhalte in aller Regel lediglich als Formeln präsentiert werden, nicht jedoch wie in einem verständnisfördernden Mathematikunterricht entwickelt werden. Dies liege daran, dass den Berufsschülern meist schon die dafür notwendigen mathematischen Grundkenntnisse fehlen.“ (Ebd., S. 216) Dies deckt sich mit den Ergebnissen der TIMS-Studie, die als das Hauptproblem beim Unterricht in deutschen Schulklassen das mangelnde Verständnis des Gelernten, die Unfähigkeit, Textaufgaben zu verstehen (fehlendes Textverständnis) und die zu starke Betonung einer Performanzorientierung identifizierte, bei der es im Gegensatz zu einer Lernerorientierung (vgl. Unterricht in untersuchten asiatischen Ländern) vor allem darauf ankommt, neue Lerninhalte möglichst schnell und ohne weitergehende Vertiefung zu bewältigen. „Mit dem fehlenden Verständnis des Stoffes geht vor allen Dingen eine geringe Kompetenz zum Transfer des Gelernten in außerschulischen Situationen einher. Im internationalen Vergleich zeigte sich, dass durch instruktionale Versuche, die Lerninhalte aus multiplen Perspektiven und in unterschiedlichen Kontexten (vgl. Kapitel 2.2.6) zu betrachten, bei Schülern das Entstehen trägen Wissens eingedämmt und die Möglichkeit zum Transfer erhöht wird (GRUBER/MANDL/RENKL 2000). TIMSS zeigt interessanterweise aber auch, dass asiatische Unterrichtsformen effektiver zu sein scheinen und gleichzeitig zu breiterem Wissen führen, ohne dass dabei umfangreichere Stoffmengen vermittelt werden müssten. „Die im Zusammenhang mit der TIMSS-Studie beobachteten Transferprobleme, mit denen der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht in Deutschland zu kämpfen hat, wurden gerade im Kontrast zum Unterricht zum Beispiel in Japan deutlich.“ (Ebd., S. 146) „Japanischer Mathematikunterricht ist Problemlöseunterricht. Er schult mathematisches Verständnis und mathematisches Denken. Mathematikunterricht in Deutschland und den USA ist eher Wissenserwerbsunterricht, der auf Beherrschung von Verfahren zielt.“ (BAUMERT ET AL. 1997, S. 29)

3.2.3.3 Aufgabenentwicklung

Prozessbezogene regelungstechnische Aufgaben

Im Unterricht der berufsbildenden Schule stellen regelungstechnische Lern- und Arbeitsprozesse überwiegend (kognitive) Aktivitäten dar, die etwa beim Planen beziehungsweise Analysieren, Durchführen und Kontrollieren sowie beim Entwerfen von Regelungen eingesetzt werden, um Wissen oder Verständnis aufzubauen. Prozesse, die sich auf regelungstechnische Perspektiven der Arbeitswelt richten und zu einer Entfaltung regelungstechnischen Verständnisses führen, werden als regelungstechnische (Arbeits-)Prozesse bezeichnet. Charakteristische regelungstechnische (Arbeits-)Prozesse sind zum Beispiel Denk-, Herangehens- und Arbeitsweisen, die beim Entwurf von Regelungen, bei der Erhebung und Interpretation von Kenndaten und bei der Begründung von Schlussfolgerungen durchgeführt werden. In Anlehnung an PRENZEL ET AL. (2001) und unter der Bezugnahme auf die vorangegangenen Arbeiten der SCIENCE EXPERT GROUP (2001) lassen sich die folgenden regelungstechnischen (Arbeits-)Prozesse unterscheiden:

- Das Verständnis der Besonderheiten regelungstechnischer (Arbeits-)Prozesse umfasst die Fähigkeit, betriebliche Fragestellungen zu erkennen, die regelungstechnisch untersucht werden können, sowie darüber hinaus das Wissen über die Anforderungen an solche (Arbeits-)Prozesse. Weitere Gesichtspunkte betreffen das Gewinnen von Informationen, die dazu benötigt werden, um eine Regelung planen zu können. Dabei kann es zum Beispiel erforderlich sein, zu bestimmen oder zu erkennen, welche Anlagekenndaten verglichen sowie welche Parameter verändert oder kontrolliert werden müssen (zum Beispiel Reglerverstärkung) welche zusätzliche Daten (zum Beispiel dynamische oder statische Kennlinien) benötigt werden und wie diese gewonnen werden können.
- Erfolgreiches Handeln in Zusammenhang mit komplexen regelungstechnischen Systemen beziehungsweise Anlagen bezieht sich auf die Fähigkeit, Arbeitsprozesswissen als Beleg für Behauptungen oder Schlussfolgerungen zu verwenden (zum Beispiel bei der Lokalisation und Analyse einer Störung). Dazu gehört, Schlussfolgerungen aus vorliegenden Systemzuständen oder aus bekannten Systemzusammenhängen zu ziehen oder Schlussfolgerungen auszuwählen, die dem Arbeitsprozesswissen am besten gerecht werden. Entsprechende in realitätsnahe Simulationsszenarien eingebettete computergestützte Modellbildungs- und Simulationaufgaben können aber auch nach Gründen fragen, die in Anbetracht der gegebenen Informationen für oder gegen bestimmte Schlussfolgerungen sprechen.
- Das Kommunizieren regelungstechnischen Arbeitsprozesswissens umfasst die Fähigkeit, anderen Personen Beschreibungen, Argumente oder Erklärungen mit regelungstechnischem Gehalt verständlich und zutreffend mitteilen zu können. „Hierzu zählt unter anderem, bezogen auf eine bestimmte Situation und vorliegende Daten, eventuell auch auf Basis von zusätzlichen relevanten Informationen, eine Argumentation zu entwickeln, die für eine bestimmte Zielgruppe klar und angemessen formuliert ist“. (PRENZEL ET AL. 2001, S. 199)
- Das regelungstechnische Arbeitsprozesswissen wird als Fähigkeit beschrieben, regelungstechnische Grundlagen, Ideen beziehungsweise Begriffe anwenden zu können sowie Prozesse, Zusammenhänge, Phänomene oder Veränderungen zu erklären und entsprechende Vorhersagen zu treffen.

Konzeptions- und inhaltsbezogene regelungstechnische Aufgaben

Schüler brauchen konzeptionelles Wissen, um den späteren Anforderungen bei Entwurf, Inbetriebnahme, Wartung und Kontrolle prozessleitetechnischer Anlagen gerecht werden zu können und spezielle regelungstechnische Aspekte erklären zu können. Als Kriterien für die Auswahl unterrichtlicher Konzepte dienen unter anderem die Relevanz für reale Arbeitsprozesse und die Anschlussfähigkeit für nachfolgendes Lernen. Die im Rahmen der Arbeitsblätter für Schüler entwickelten Modellbildungs- und Simulationsszenarien (vgl. Kapitel 4.2) wollen vor allem das konzeptionelle Verständnis und die angemessene Anwendung von regelungstechnischen Konzepten untersuchen. Im Blickpunkt steht weniger, inwieweit Lernende über Kenntnisse verfügen oder Faktenwissen reproduzieren können. Die (computergestützten) Testaufgaben der Arbeit bemühen sich vielmehr, ein konzeptionelles Verständnis zu erfassen, das mit der Ausführung grundlegender regelungstechnischer Tätigkeiten beginnt und bis zu einem Arbeiten mit regelungstechnischen Modellvorstellungen reicht. Die Testaufgaben auf der Basis computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) zum konzeptionellen Verständnis verlangen von den Lernenden vor allem, dass sie Beziehungen herstellen, Systemzusammenhänge oder -ereignisse erklären und Vorhersagen über Veränderungen treffen.

Anwendungsbereichsbezogene regelungstechnische Aufgaben

Das Verständnis einer regelungstechnischen Grundbildung, das dieser Arbeit zugrunde liegt, hebt die Anwendung von Prozessen und Konzepten auf realitäts- und praxisnahe Aufgabenstellungen hervor. Entscheidend ist, dass die Schüler das im Verlauf der Ausbildungszeit in der Berufsschule aufgebaute Wissen auch in außerschulischen, das heißt in diesem Fall in betrieblichen Situationen, nutzen können. Unterrichtliche Lernsituationen, Kontexte und Situationen sind in diesem Sinne dann „regelungstechnisch“, wenn sie Problemstellungen repräsentieren, die regelungstechnisches Wissen zu ihrer Bearbeitung verlangen.

3.2.4 Lösen regelungstechnischer Aufgaben als Modellierungs- und Simulationsprozess

Das Konzept zum Entwickeln und Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation sieht in dieser Arbeit die Regelungstechnik nicht bloß als beziehungslose Sammlung von Verfahren und Regeln, sondern als ein System begrifflicher Werkzeuge, mit dem sich Schüler (neue) verfahrenstechnische Phänomene in ihrem Ausbildungsbetrieb erschließen können. Ziel der unterrichtlichen Verankerung dieser Phänomene ist die Ausbildung tragfähiger mentaler Modelle (vgl. Kapitel 2.2.3.2 sowie Kapitel 4.2) für regelungstechnische Begriffe und Systemzusammenhänge. Damit grenzt sich die Arbeit klar gegen ein rein instrumentelles Verständnis von Regelungstechnik ab.

Die für die Schülerarbeitsblätter entwickelten Förder- und Testaufgaben gehen dabei von einer realen technischen Problemstellung aus, an der, über CMS und entlang systematisch aufgebauter Teilprobleme, regelungstechnische Begriffe mit so genannter starker Beziehungshaltigkeit entwickelt werden. Im Sinne von KLIEME/NEUBRAND/LÜDKE (2001, S. 143) ist es folglich eine „begriffliche Vertiefung, nicht eine handlungsorientierte Umwelterschließung allein, die durch realitätsbezogene Aufgaben angestoßen werden soll“. Problemlösekompetenz in der Domäne Regelungstechnik besteht übereinstimmend nicht nur aus der Kenntnis regelungstechnischer Begriffe, Zusammenhänge und der Beherrschung von Verfahren. Regelungstechnische Problemlösekompetenz zeigt sich vielmehr in einem verständnisvollen Umgang und in

der Fähigkeit, regelungstechnische Begriffe als Werkzeuge in einer Vielfalt von Kontexten einzusetzen. Wie man sich die Nutzung begrifflicher Werkzeuge im Einzelnen vorzustellen hat, darauf gehen die anschließenden Ausführungen näher ein.

Der Prozess der Bearbeitung computergestützter regelungstechnischer Aufgaben soll im Folgenden in idealtypischer Form, aber basierend auf den in den vorangegangenen pädagogisch-psychologischen und fachdidaktischen Analysen, beschrieben werden. Die nachfolgenden Darstellungen dienen auch als mögliche Grundlage für eine differenziertere empirische Untersuchung zur Identifikation von Kompetenzstufen, wie sie im Anschluss an diese Arbeit denkbar ist.¹²⁹

Leitziel für die Aufgabenauswahl und die Entwicklung der Arbeitsblätter war, komplexe berufliche Problemsituationen mit regelungstechnischen Ansätzen zu verbinden. Der regelungstechnische Ansatz dient als Modell der realen Ausgangssituation. „Ähnlich wird in der Mathematikdidaktik der gesamte Vorgang des Lösen einer anwendungsbezogenen Aufgabe als Prozess des Modellierens bezeichnet [...]“ (Ebd.) Die Lösung der in realitätsnahe Modellbildungs- und Simulationsszenarien eingebetteten Problemstellung bei der Bearbeitung der Aufgabenblätter kann daher gleichsam als Prozess der Entwicklung, Bearbeitung und Interpretation eines regelungstechnischen Modells aufgefasst und beschrieben werden. Diese Teilprozesse, die in Anlehnung an SCHUPP (1988) als

- Modellieren
- Verarbeiten bzw. Simulieren
- Interpretieren
- Validieren

bezeichnet werden können, vermitteln zwischen der betrieblichen Wirklichkeit (reale verfahrenstechnische Anlage) und dem regelungstechnischen Modell ähnlich einem Problem und seiner Lösung. Abbildung 17 stellt die Zusammenhänge bildlich dar. „Komplexe Aufgabenstellungen verlangen häufig ein wiederholtes Durchlaufen dieser Teilprozesse: Ergebnisse einer Modellierung werden in die Ausgangssituation eingebracht, was möglicherweise zu einer Revision des Modells führt usw.. Somit entsteht ein komplexer und in seiner Grundstruktur zirkulärer Prozess.“ (KLIEME/NEUBRAND/LÜDKE 2001, S. 143) Im Sinne der Autoren wird dieser Modellierungsprozess als hypothetischer Rahmen betrachtet, mit dem sich die Bearbeitung von Aufgaben zum Entwickeln und Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz unter Zuhilfenahme computergestützter Modellbildung und Simulation darstellen und fachdidaktische beziehungsweise pädagogisch-psychologische Anforderungsmerkmale abbilden lassen.

¹²⁹ Nächstes Ziel bei einer möglichen Weiterführung dieser Arbeit müsste es sein, ausgewählte Kompetenzen - wie beispielsweise die komplexe Problemlösekompetenz in der Domäne Regelungstechnik - auf ein Kompetenzmodell zu stützen. Dieses Kompetenzmodell, entwickelt in Zusammenarbeit von Pädagogik, Psychologie und Fachdidaktik, müsste Teildimensionen innerhalb der Domäne unterscheiden (zum Beispiel Wartungsarbeiten in der industriellen Verfahrenstechnik) sowie jeweils unterschiedliche Niveaustufen aus diesen (Teil-)Dimensionen beschreiben können. „Jede Kompetenzstufe müsste durch kognitive Prozesse und Handlungen von bestimmter Qualität spezifiziert sein, die Schülerinnen und Schüler auf der jeweiligen Stufe dann zu bewältigen hätten, nicht aber Schüler auf niedrigeren Stufen.“ (KLIEME et al. 2003, S. 15 f.) Entsprechend den in Kapitel 3.2.3.3 dargestellten Untersuchungen lassen sich in einem nächsten Schritt die Items regelungstechnischer Modellbildungs- und Simulationsszenarien in Testaufgaben klassifizieren und anschließend deren jeweilige Kompetenzanforderungen bestimmen.

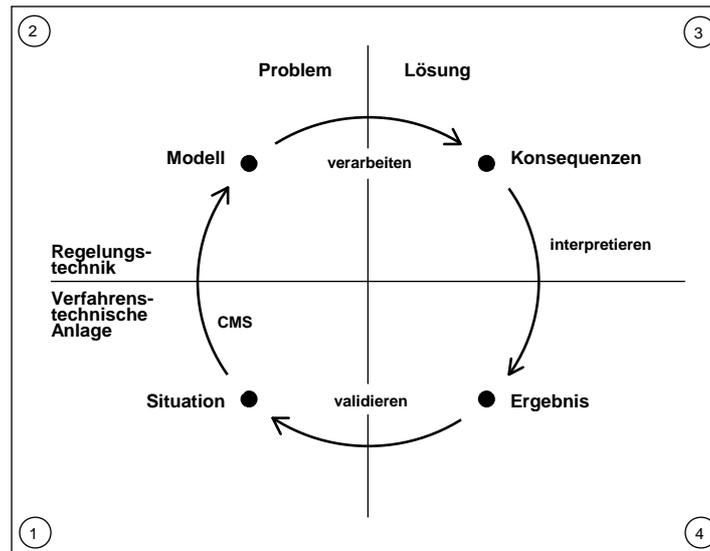


Abbildung 17: Der Prozess des Modellierens regelungstechnischer Problemstellungen (nach KLIEME/NEUBRAND/LÜDTKE 2001, S. 144 mit modifizierten Bezeichnungen)

Theoretisch beginnt ein Modellierungsprozess nach Identifizierung einer „problemhaltige Situation“ (komplexes regelungstechnisches Problem) bei Entwurf oder Betrieb einer realen verfahrenstechnischen Anlage (dritter Quadrant der Abbildung). Der Lernende ist dann aufgefordert, dieses reale Problem in ein regelungstechnisches Modell umzuwandeln.

Der erste Teilprozess des Modellierens wird als der schwierigste aller Teilprozessen angesehen, „weil vielfältige Arten des Verstehens involviert sein können“ (Ebd., S. 144). Dies beinhaltet das möglichst vollständige und korrekte Erfassen der realen Problemsituation. Vereinfacht ausgedrückt, wird einem Ausschnitt einer verfahrenstechnischen Anlage (beziehungsweise der kompletten Anlage) eine regelungstechnische (Modell-)Struktur aufgeprägt. Dabei muss in der Regel gezielt von bestimmten in der realen Anlage befindlichen Teilaspekten abgesehen werden. KLIEME ET AL. betonen, dass dieser Teilprozess des Modellierens auch deshalb so schwierig ist, „weil es, jedenfalls idealer Weise, nicht von vorneherein feststeht, welches Modell zu dem Problem gebildet werden soll. Es fordert vom Aufgabenlöser also das Herstellen von Zusammenhängen und beinhaltet somit eine konzeptuelle geistige Tätigkeit“ (Ebd. S. 145). Aus kognitions-psychologischer Sicht gehen die Autoren davon aus, dass in diesem Prozess mehrere Repräsentationsschritte absolviert werden: Die im alltäglichen Unterricht der Berufsschule zumeist in schriftlicher Ausgangsinformation vorliegende Problemstellung wird - so die Autoren weiter - in einer „propositionalen Repräsentation“ erfasst und, unter Rückgriff auf Vorwissen, in ein mentales (regelungstechnisches) Modell integriert.

Zum Thema Regelungstechnik trifft in diesem Zusammenhang zu, was die Autoren bei der Verwendung von Fachbüchern oder bei der Gestaltung von Unterricht in der Berufsschule kritisieren: Es finden allzu oft so genannte „eingekleidete“ Aufgaben Verwendung. Diese blenden den Modellbildungsprozess praktisch aus oder trivialisieren ihn weitgehend. Damit erwecken sie bei den Lernenden oftmals die Vorstellung, genau eine Weise der Aufgabenlösung sei „richtig“. Auf diese Weise wird nach Auffassung der Autoren allerdings der für den Erwerb einer komplexen Problemlösekompetenz zentrale, ja charakteristische Vorgang des eigenständigen Modellierens abgeschnitten und die Aufgabe erscheint bereits unmittelbar auf der

Modellebene. „Manche Autoren sprechen dann davon, dass mit der Aufgabe sogleich ein „Realmodell“ mitgeliefert sei [...]“ (Ebd.)

Der Modellbildungsprozess führt zunächst zu einem regelungstechnischen Modell. Damit hat man den Problembereich der betrieblichen Wirklichkeit beziehungsweise der realen verfahrenstechnischen Anlage (vgl. Abbildung 17; Quadrant 1 „betrieblichen Wirklichkeit“) verlassen und befindet sich nun innerhalb der Regelungstechnik. An Modellen stellt die Regelungstechnik eine große Auswahl bereit. Regelungstechnische Modelle können folglich nicht nur durch Ansätze im Sinne (mathematischer) Formeln oder Gleichungen charakterisiert werden, sondern es kann sich dabei auch um die Anfertigung eines PLT-Stellenplanverzeichnisses beziehungsweise eines RI-Fließbildes zur Beschreibung eines strukturellen Zusammenhangs oder um die Projektierung einer Anlagenerweiterung usw. handeln. Der sich anschließende innerregelungstechnische Verarbeitungsprozess kann in der Vorstellung von KLIEME/NEUBRAND/LÜDTKE infolgedessen auf sehr unterschiedliche Art und Weise gestaltet werden. „Man kann bei der Bearbeitung des Modells eine Lösung ausrechnen, man kann graphisch weiter arbeiten, logische Folgerungen ziehen, einen Plan konsequent abarbeiten usw.“ (Ebd., S. 145) Beim rechnerischen Entwurf, aber auch bei der Realisierung einer Anlagenerweiterung nach einem festen Projektionsplan überwiegen algorithmische Vorgehensweisen: Begriffliche Verarbeitungen sind etwa bei der Abgabe eines analytischen oder qualitativen Urteils (zum Beispiel über das Verhalten von Regelgrößen) gefordert. Der in Abbildung 17 das Modell mit den Konsequenzen verbindende Pfeil bezeichnet also jegliche Verarbeitung¹³⁰ des aufgestellten regelungstechnischen Modells innerhalb der Regelungstechnik, womit in den Worten der Autoren „sowohl die Angabe eines Zahlenwertes als rechnerisches Resultat gemeint sein kann als auch eine durch eine Argumentation gewonnene Aussage“ (Ebd., S. 145).

Die Konsequenzen, die nach Verarbeitung des Modells noch innerhalb der Regelungstechnik gezogen werden (vgl. Abbildung 17), stellen nicht automatisch auch für die jeweils gegebene Problemsituation aus der betrieblichen Wirklichkeit akzeptable Lösungsmöglichkeiten dar. So können sich als regelungstechnische Problemlösungen aus dem Prozess der Verarbeitung mehrerer Lösungsvarianten ergeben, die sich aber unter zum Beispiel technischen, wirtschaftlichen, ökologischen oder sozialen Aspekten als unbrauchbar erweisen können. Die Entscheidung - als regelungstechnische Konsequenz aus dem Modellbildungs- und Verarbeitungsprozess - über die letztendliche Entnahme und Verwendung sachlicher Ergebnisse (Daten, Informationen, Kennlinien etc.), wird als der Teilprozess des Interpretierens bezeichnet. Mit den Worten KLIEME/NEUBRAND/LÜDTKE's handelt sich bei diesem Prozess um eine „Rücksetzung“ aus der Regelungstechnik in die „situative Einbettung“. Die Modellierung als Gesamtprozess ist demzufolge erst beendet, „wenn man sich klar darüber wird, dass die gewonnenen Ergebnisse nur insoweit gültig sind, wie es das zuvor aufgestellte Modell ist. Darüber zu urteilen, ist der Kern des Teilprozesses „Validieren“. Gegebenenfalls ist der gesamte Modellierungsprozess mit einem veränderten Modell abermals zu durchlaufen. Auch hier ist zu bemerken, dass bei schulischen Standardaufgaben oft die Prozesse „Interpretieren“ und „Validieren“ recht knapp gehalten werden, weil man unhinterfragt von der „Richtigkeit“ des Modells ausgeht. (Ebd., S. 146) Unter der speziellen Forschungsperspektive dieser Arbeit gewinnt aber gerade auch dieser Teilprozess für das Entwickeln und Fördern einer Problemlösekompetenz

¹³⁰ Wobei im Rahmen dieser Arbeit der Modellbildungsprozesses und die Entwicklung entsprechender Aufgaben zum Fördern und Erfassen einer komplexen Problemlösekompetenz unter dem speziellen Blickwinkel der computerunterstützten Modellbildung und Simulation erfolgen.

im Umgang mit komplexen technischen Systemen an Bedeutung (vgl. Kapitel 2.2.2, 2.2.6.4 f. und 3.2.1.3).

Unter Bezugnahme auf FREUDENTHAL kommt für die drei Autoren begriffliches (konzeptuelles) Verstehen in diesem Modellierungsprozess besonders an zwei Stellen zum Ausdruck: Zum einen stützt sich der Teilprozess der Modellbildung und Simulation „wesentlich auf die Herstellung beziehungsweise Ausnutzung von Zusammenhängen jeglicher Art. Zum anderen gibt es Verarbeitungsprozesse, die - gerade auch bei anwendungsorientierten Aufgaben - begriffliches Vorgehen im Sinne von qualitativem Denken und Schlussfolgern erfordern.“ (Ebd.) Das Wesen der konzeptuell geprägten Verarbeitung und ihre Abgrenzung von einer rein symbolischen Verarbeitung des regelungstechnischen Modells ist für das Konzept des Entwickelns und Erfassens einer komplexen Problemlösekompetenz in dieser Arbeit von zentraler Bedeutung. In diesem Zusammenhang weisen die Autoren unter Bezugnahme auf NEUBRAND ET AL. (2001) auf eine Aufgabenklassifikation hin, bei der zwei Arten der Modellierung unterschieden werden:

- Aufgaben, bei denen die Modellbildung und Simulation auf rechnerisch durchzuführende Modelle hinausläuft (rechnerische Modellierungsaufgaben). Typische Beispiele stellen für sie die „klassischen“ Textaufgaben, von eingekleideten Aufgaben bis hin zu komplexeren Anwendungsproblemen, dar.
- Aufgaben, zu deren Lösung von dem Bearbeiter ein konzeptuell geprägter Zusammenhang hervorgebracht werden muss, was für die Autoren bis zur strukturellen Verallgemeinerung einer Situation oder dem Entwerfen einer umfassenden Strategie reichen kann (begriffliche Modellierungsaufgaben). Zum Bereich der konzeptuellen beziehungsweise begrifflichen Modellierung gehören für sie insbesondere auch Aufgaben, die im Teilprozess Verarbeiten überwiegend qualitatives Denken und Schlussfolgern erfordern und nicht nur das Abarbeiten von festen Verfahren.

4 Unterrichtspraktische Studie

4.1 Problemhintergrund und Problemstellung

4.1.1 Didaktische und theoretische Fundierung: P-Regler mit P-Strecke

Die Betrachtung einer idealen P-Strecke ist zwar eine rein theoretische Überlegung, da in der Praxis P-Strecken normalerweise immer mit zeitlichen Verzögerungen (Energiespeicher) auftreten. Annähernd ideales P-Verhalten zeigen hingegen Durchflusstrecken mit Flüssigkeiten. Weil jedoch die P-Strecke zur Verdeutlichung der bleibenden Regeldifferenz (e_b) am geeignetsten erscheint, sollen an ihr die mathematischen Modellvorstellungen zur Berechnung eines Regelkreises exemplarisch hergeleitet werden, um sie dann im anschließenden Kapitel 4.1.2 an praxisüblichen verzögerten Regelstrecken (P-T₁-Strecken) zu verdeutlichen.

Der Nachteil bei Verwendung eines Proportionalreglers (P-Regler) zur Regelung von Durchflusstrecken liegt in der dabei auftretenden bleibenden Regeldifferenz (e_b). Sie wird mit zunehmender Reglerverstärkung (k_R ; Proportionalbeiwert des Reglers) stetig kleiner, aber mit größer werdenden Werten für k_R beginnen das Stellsignal (y) und in der Folge auch die Regelgröße (x) zu schwingen. Die Folge sind dann starkes Überschwingen, Dauerschwingen oder Instabilität des Regelkreises. Keine Probleme mit der bleibenden Regeldifferenz gibt es, wenn der P-Regler mit einem zusätzlichen I-Anteil zu einem PI-Regler ergänzt wird. Da die P-Strecke sehr schnell den Eingangssignaländerungen folgt, erübrigt sich auch ein zusätzlicher D-Anteil im Regler.

Berechnung des Regelkreises

Das Studium der vielen Fach- oder Lehrbücher der Regelungstechnik zeigt sehr rasch, dass die Berechnung des Zeitverhaltens eines Regelkreises in der Regel über komplizierte mathematische Berechnungen führt. Die einfachste Art und Weise der Berechnung ist mit Hilfe der Übertragungsfunktionen möglich. Übertragungsfunktionen sind eine mathematische Beschreibung des Zeit- und Frequenzverhaltens von Regelkreisgliedern.¹³¹ Die Übertragungsfunktion stellt das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangssignal dar und ist in der Regel eine komplexe Größe. Wie bei allen komplexen Größen können auch bei Übertragungsfunktionen Betrag und Phasenwinkel bestimmt werden. Regler und Strecke werden dabei jeweils durch ihre Übertragungsfunktion \underline{F}_R und \underline{F}_S beschrieben. Abbildung 18 zeigt das zugrunde liegende vereinfachte Blockschaltbild der Regelung.

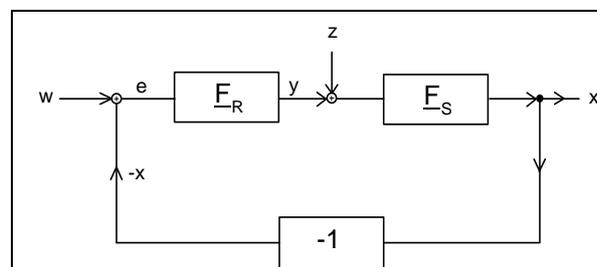


Abbildung 18: Berechnung eines Regelkreises (vereinfachtes Blockschaltbild)

¹³¹ Regelkreisglieder mit charakteristischem Verhalten werden durch die gleiche Übertragungsfunktion beschrieben. Unabhängig davon, ob sie elektrisch, pneumatisch oder mechanisch aufgebaut sind. Die Regelungstechnik arbeitet deshalb mit der (gerätetechnisch) unabhängigen Übertragungsfunktion als einer allgemeingültigen mathematischen Modellvorstellung.

Die Regelgröße x als Ausgangssignal der Strecke ergibt sich demnach als

$$x = \underline{E}_S \cdot (y + z).$$

Die Ausgangsgröße des Reglers ist die Stellgröße y . Sie berechnet sich als:

$$y = \underline{E}_R \cdot e_b \quad \text{beziehungsweise mit } e_b = w - x$$

$$y = \underline{E}_R \cdot (w - x)$$

$$x = \underline{E}_S \cdot [\underline{E}_R \cdot (w - x) + z].$$

Nach Umformen erhält man schließlich:

$$x = \frac{\underline{F}_R \cdot \underline{F}_S}{1 + \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S} \cdot w + \frac{\underline{F}_S}{1 + \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S} \cdot z.$$

Die Gleichung zeigt in dieser Form bereits sehr deutlich die beiden sie durch w und z bestimmenden Anteile. Damit kann nun sowohl das Führungs- als auch das Störverhalten des Regelkreises berechnet werden.

Berechnung von Führungs- und Störverhalten

Für die Berechnung des (geschlossenen) Regelkreissystems wird der Regelkreis (bestehend aus P-Strecke mit Proportionalbeiwert k_S und aus P-Regler mit Proportionalbeiwert k_P) zu einem Zeitpunkt t_0 mit dem Sollwert (w) angeregt. Zur Zeit t_1 ($t_1 > t_0$) wirke eine Störung mit Δz auf die Regelung ein.

Das Führungsverhalten eines Regelkreises beschreibt die Reaktion des Sollwertes auf eine Änderung. Hierzu betrachtet man die Änderung der Regelgröße Δx bei einer Sollwertänderung Δw unter Vernachlässigung von Störungen ($z = 0$):

$$\Delta x = \frac{\underline{F}_R \cdot \underline{F}_S}{1 + \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S} \cdot \Delta w \quad \text{beziehungsweise als Verhältnis}$$

$$\underline{E}_w = \frac{\Delta x}{\Delta w} = \frac{\underline{F}_R \cdot \underline{F}_S}{1 + \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S}.$$

Entsprechend erhält man für das Störverhalten des Regelkreises:

$$\Delta x = \frac{\underline{F}_S}{1 + \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S} \cdot \Delta z \quad \text{beziehungsweise als Verhältnis}$$

$$\underline{E}_z = \frac{\Delta x}{\Delta z} = \frac{\underline{F}_S}{1 + \underline{F}_R \cdot \underline{F}_S}.$$

In Kenntnis dieser Beziehungen lässt sich dann sehr leicht die bleibende Regeldifferenz (e_b) ermitteln. Eventuell vorhandene Verzögerungen durch die Regleinrichtung oder durch die Regelstrecke spielen bei dieser Betrachtung keine Rolle: Die bleibende Regeldifferenz stellt sich erst im eingeschwungenen Zustand, das heißt nach Ablauf aller Ausgleichsschwingungen, ein. „Dieser Zustand lässt sich mathematisch so formulieren, dass die Frequenz in den Übertragungsfunktionen \underline{E}_R beziehungsweise \underline{E}_S Null gesetzt wird ($\omega = 0$). Dadurch brauchen die verzögernden Anteile, deren Übertragungsfunktionen immer frequenzabhängig sind, nicht berücksichtigt zu werden, und es lässt sich die bleibende Regeldifferenz berechnen.“ (BUSCH 1992, S. 152):

$$e_b = w - x = w - \left(\frac{k_R \cdot k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot w + \frac{k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot z \right).$$

Durch Umformen erhält man schließlich¹³²:

$$e_b = \frac{1}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot w - \frac{k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot z.$$

Es lässt sich an dieser Stelle rechnerisch ebenfalls leicht zeigen, dass sich bei der Regelung einer P-Strecke mit P-Regler auch ohne Vorhandensein einer Störung z eine bleibende Regeldifferenz einstellt. Diese bleibende Regeldifferenz ist charakteristisch für P-Regelkreise, die über keinen I-Anteil verfügen. „Je kleiner dieser Regelfaktor, desto kleiner wird auch die unerwünschte bleibende Regeldifferenz. Deshalb ist es wünschenswert, diesen Regelfaktor möglichst klein zu machen, im Idealfall wäre er Null.“ (Ebd., S. 153) Da der Streckenverstärkungsfaktor k_S gerätetechnisch bedingt und in der Folge nicht veränderbar ist, lässt sich eine Verkleinerung des Regelfaktors nur über die Vergrößerung (im Idealfall Unendlich!) der Reglerverstärkung k_R realisieren.

Eine Betrachtung des Störverhaltens zeigt, dass sich eine Störgrößenänderung Δz ohne Verwendung eines Reglers ($k_R = 0$) um den Faktor k_S verstärkt auf die Regelgröße x einwirkt:

$$\Delta x = k_S \cdot \Delta z \quad (\text{ohne Regler}).$$

Der P-Regler wirkt dem Störgrößeneinfluss entgegen:

$$\Delta x = \frac{k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot \Delta z = R \cdot k_S \cdot \Delta z \quad (\text{mit Regler}).$$

Im Idealfall ($k_R \rightarrow \infty$ bzw. $R \rightarrow 0$) würde sich die Störung gar nicht auf die Regelgröße x auswirken. Die Praxis zeigt jedoch, dass bei zu großen Werten für k_R das Gesamtsystem „Regelkreis“ zu Instabilitäten neigt. Die letztendliche Einstellung des P-Reglers (Regleroptimierung) ist also immer ein Kompromiss zwischen kleiner bleibenden Regeldifferenz und Stabilität des Regelkreises.

4.1.2 Didaktische und theoretische Fundierung: P-Regler mit P-T₁-Strecke

Die meisten Regelstrecken in der Praxis besitzen zeitliche Verzögerungen. Das heißt der sich aus der Eingangsgröße ergebende Wert der Ausgangsgröße wird erst mit zeitlicher Verzögerung erreicht. Die Regelgröße folgt - nach zum Beispiel sprunghafter Änderung des Stellgrößen signals - sofort mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit. Mit der Zeit wird die Änderungsgeschwindigkeit immer kleiner, bis sie schließlich nach längerer Zeit ihren Endwert erreicht (SAMAL/BECKER 2000). Die Ursache für diese Verzögerung liegt im Vorhandensein eines Energiespeichers (T_1). Beispiele für Regelstrecken mit T_1 -Verhalten sind: Drehzahlregelung von Motoren¹³³, Temperaturregelung¹³⁴ oder einfache Druckregelungen. Wird zur Rege-

¹³² Der Faktor vor w ($\frac{1}{1 + k_R \cdot k_S}$) wird auch Regelfaktor (R) genannt.

¹³³ Die Drehzahlregelung eines Motors stellt eine typische P-T₁-Strecke dar. Die Trägheit seiner rotierenden Masse tritt dabei als Energiespeicher auf.

¹³⁴ Eine Temperaturstrecke stellt zum Beispiel dann eine P-T₁-Strecke dar, wenn der Messwert direkt an der Heizwicklung abgegriffen wird. Dann wirkt sich nur die Verzögerung der Heizwicklung auf die Regelung aus; also nur ein Energiespeicher.

lung solcher Strecken ein P-Regler eingesetzt, ergibt sich wieder das Problem des Auftretens einer bleibenden Regeldifferenz.

Berechnung des Regelkreises

Die Übertragungsfunktion von P-Regler und P-T₁-Strecke ergibt sich zu:

$$\underline{E}_R = K_R \text{ und } \underline{E}_S = \frac{k_S}{1 + j \cdot \omega \cdot T_S}.$$

T_S stellt dabei die Zeitkonstante der Regelstrecke dar. Das Führungsverhalten ergibt sich dann zu:

$$\underline{E}_W = \frac{x}{w} = \frac{\underline{E}_R \cdot \underline{E}_S}{1 + \underline{E}_R \cdot \underline{E}_S} = \frac{k_R \cdot \frac{k_S}{1 + j \cdot \omega \cdot T_S}}{1 + k_R \cdot \frac{k_S}{1 + j \cdot \omega \cdot T_S}}.$$

Nach Umformen ergibt sich die Gleichung der Übertragungsfunktion eines P-T₁-Gliedes in der Form:

$$\underline{E}_W = \frac{k_P}{1 + j \cdot \omega \cdot T_S}.$$

Die Übertragungsfunktion besitzt die beiden sie bestimmenden Konstanten

$$k_P = \frac{k_R \cdot k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \quad \text{und} \quad T_1 = \frac{T_S}{1 + k_R \cdot k_S}.$$

Rechnerisch zeigt sich hiermit, dass die Zeitkonstante des Gesamtsystems T₁ die Zeitkonstante der Regelstrecke (T_S) um den Faktor R = 1/(1 + k_R · k_S) verkleinert. Das bedeutet, dass das Gesamtregelkreissystem (mit Regler) seinen stationären Endwert schneller erreicht als die Regelstrecke ohne Regler sie alleine erreichen würde. Der Beharrungswert, den die Regelgröße nach Beendigung aller Ausgleichsvorgänge einnimmt, lässt sich aus dem Führungsverhalten berechnen:

$$x = \frac{k_R \cdot k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot \omega_0.$$

Die bleibende Regeldifferenz berechnet sich zu:

$$e_b = \omega_0 - x = \frac{1}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot \omega_0 = R \cdot \omega_0.$$

Analog ergibt sich für das Störverhalten des Regelkreises:

$$\underline{E}_Z = \frac{x}{z} = \frac{\underline{E}_S}{1 + \underline{E}_R \cdot \underline{E}_S} = \frac{\frac{k_S}{1 + k_R \cdot k_S}}{1 + j \cdot \omega \cdot \left(\frac{T_S}{1 + k_R \cdot k_S} \right)}.$$

Der Regelkreis reagiert demzufolge auf Störungen (ebenfalls) mit P-T₁-Verhalten. Die Zeitkonstante T₁ entspricht der des Führungsverhaltens. Der Proportionalbeiwert des Systems beträgt:

$$k_P = \frac{k_S}{1 + k_R \cdot k_S}$$

Ohne P-Regler würde das System auf Störungen (Δz) mit $\Delta x = k_S \cdot \Delta z$ reagieren. Mit P-Regler reagiert das System besser auf Störungen (Störverhalten: $\omega=0$):

$$\Delta x = \frac{k_S}{1 + k_R \cdot k_S} \cdot \Delta z$$

Die Störungen verringern sich in ihren Auswirkungen bei Einsatz des P-Reglers um den Wert des Regelfaktors:

$$\Delta x_{\text{mit Regler}} = R \cdot \Delta x_{\text{ohne Regler}}$$

Zusammenfassung

Die didaktische und theoretische Fundierung zeigt, dass angehende Prozessleitelektroniker über keine ausreichende Modellvorstellungen verfügen, um die dargelegten mathematischen Beschreibungen der komplexen Regelkreiszusammenhänge am Beispiel der bleibenden Regeldifferenz - selbst in ihrer einfachsten Form - beschreiben zu können. Ein mentales Modell, welches die Entstehung der bleibenden Regeldifferenz¹³⁵ bei Regelung mit P-Regler an einer Strecke mit Ausgleich (hier P- und P-T₁-Strecke¹³⁶) hinreichend genau erklären würde, kann sich bei den Schülern somit kaum entwickeln. Erklärungsmodelle ohne mathematische Funktionszusammenhänge berücksichtigen in der Regel nicht, dass der P-Regler nur dann eine Stellgröße erzeugt, wenn auch eine Regeldifferenz vorhanden ist. Wegen des proportionalen Übertragungsverhaltens zwischen Reglerein- und -ausgangsgröße ist nur dann eine Stellgröße am Regler vorhanden, wenn am Reglereingang ein Signal anliegt. Ein P-Regler wird es daher niemals erreichen, dass der Istwert den Wert der Führungsgröße einnimmt: Denn damit wäre die Regeldifferenz ebenfalls null. Da die Regeldifferenz aber gleichzeitig auch die Eingangsgröße des Reglers darstellt, wäre damit seine Ausgangsgröße ebenfalls null. Auch ohne Störgrößeneinfluss wird bei Regelung mit P-Regler immer eine Regeldifferenz bestehen bleiben (BUSCH 1992). Die bleibende Regeldifferenz ist also gezwungenermaßen mit der Arbeitsweise des Proportionalreglers verbunden. Infolge seiner durch die (proportionale) Reglerkennlinie gegebenen starren Zuordnung zwischen Regeldifferenz und Stellgröße kann er gar nicht anders arbeiten (SAMAL/BECKER 2000).

Bei verfahrenstechnischen Anlagen erfolgt im stabilen stationären Prozess nach der Wahl eines geeigneten Proportionalbeiwertes (k_R) deshalb eine zusätzliche Einstellung des Arbeitspunktes (AP) des Reglers. Bei störungsfreiem stationären Prozessbetrieb tritt hierdurch eine „künstliche“ Erhöhung des Reglereingangssignals ein, was aus Sicht der Regeleinrichtung auf eine (scheinbare) Vergrößerung der Führungsgröße (w) zurückzuführen ist. In Folge der Veränderung der Führungsgröße verändert sich ebenfalls die Regelgröße; im Idealfall stimmen Regelgröße und frühere Führungsgröße anschließend überein. Die Regelung mit P-Regler arbeitet nun (scheinbar) ohne bleibende Regeldifferenz. Im Allgemeinen bleiben jedoch Sys-

¹³⁵ Die bleibende Regeldifferenz (e_b) stellt eine komplexe technische Systemeigenschaft - bedingt durch die Rückkopplung des Ausgangssignals auf den Systemeingang - bei der Regelung mit P-Regler dar.

temzustände im Prozess nicht konstant und es treten Abweichungen vom Arbeitspunkt beziehungsweise Schwankungen um den Arbeitspunkt ein. Jede neue Sollwerteneinstellung beziehungsweise (permanent vorhandene dynamische) Störeinflüsse auf den Regelungsprozess machen es dann notwendig, den Arbeitspunkt jedes Mal wieder neu einzustellen.

An diesen exemplarischen und für angehende Prozessleitelektroniker komplexen technischen Systemeigenschaften, die im Zusammenhang mit der Regelung von Strecken mit Ausgleich und P-Regler auftreten, soll im Folgenden aufgezeigt werden, dass es über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) möglich ist, auch ohne Kenntnis der in diesem Kapitel dargelegten mathematischen Beschreibungsmodelle, die vorhandenen mentalen Modelle von Prozessleitelektronikern ausreichend weiter zu entwickeln. Die Schüler sollen anschließend demonstrieren, dass sie hinreichende Erklärungsmuster für diese komplexen Systemzusammenhänge erworben haben. Insbesondere soll untersucht werden, ob über die computergestützte Modellbildung und Simulation von Regelkreiscomponenten beziehungsweise von geschlossenen Regelkreisen eine substantielle Weiterentwicklung der bestehenden mentalen Modelle bei angehenden Prozessleitelektronikern erreichbar ist, die es ihnen letztendlich ermöglicht, einen alternativen Zugang zu dynamischen regelungstechnischen Systemzusammenhängen sowie zum besseren Verständnis von komplexen Systemverhalten zu finden.

4.1.3 Modellbildung und Simulation

4.1.3.1 Dynamisches Regelkreisverhalten

Das dynamische Regelkreisverhalten beschreibt den Verlauf der Regelgröße während der Ausregelzeit (Kapitel 3.2.1.1.2). Der Verlauf der Regelgröße kann in diesem Bereich annähernd genau durch Überschwingweite x_m und Ausregelzeit T_a beschrieben werden. Je kleiner diese Werte sind, desto besser arbeitet die Regelung und um so höher ist auch deren Güte (SAMAL/BECKER 2000).

Modellbildung: P-Regler mit P-Regelstrecke

Arbeiten, wie beim gewählten Beispiel, die Regelstrecke und der Regler verzögerungsfrei, so wird sich nach einer Sollwerteneinstellung beziehungsweise bei Auftreten einer Störung diese sofort auf die Regelgröße auswirken. Auf eine sprungartige Einwirkung auf das Regelkreissystem reagiert der P-Regler ebenso schnell und wirkt hierdurch entweder einer Störung entgegen oder nimmt einen neuen Sollwert ein. Ein Überschwingen findet dabei nicht statt; die Regelzeit ist Null. Daher lässt sich auch das anschließend betrachtete statische Verhalten (vgl. Kapitel 4.1.3.2) des Regelkreises zugrunde legen (Ebd.).

1 Simulation: P-Regler ($k_p = 3$), $w = 1$, Durchflussregelstrecke ($k_s = 0.7$)

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen Modellbildung und zugehörige Simulationsverläufe der Regelgröße x und der Regeldifferenz e bei einer Sollwertänderung von 0 auf 1. Es stellt sich als Sprungantwort ein stationärer Wert von $x = 0.83$ ein. Daraus ergibt sich für die bleibende Regeldifferenz ein Wert von 0.17.

¹³⁶ zum Beispiel Durchfluss- oder Druckregelungen

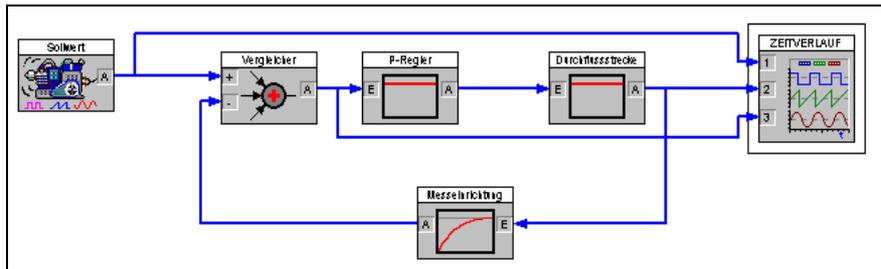


Abbildung 19: Modellbildung eines Regelkreises (P-Regler und ideale Durchflussregelstrecke) mit WinFACT

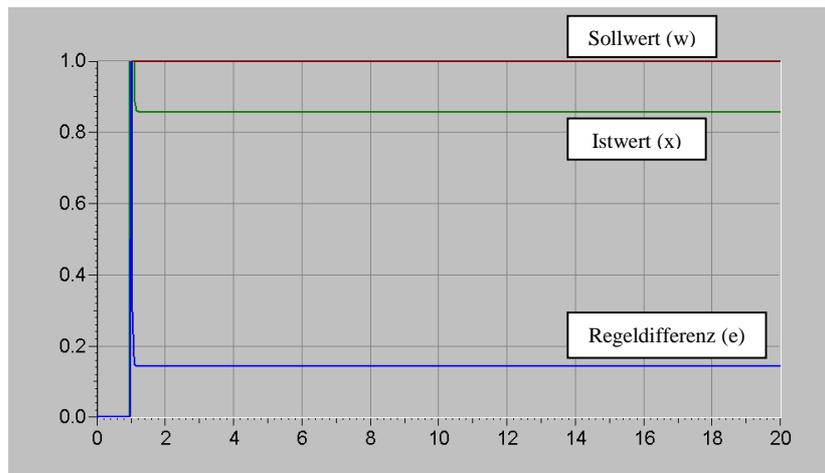


Abbildung 20: Simulationsergebnisse (Regelung einer idealen Durchflussstrecke mit P-Regler)

2 Simulation: P-Regler ($k_p = 10$), $w = 1$, Durchflussstrecke ($k_s = 0.7$)

Mit den gegebenen Systemdaten der zweiten Simulation stellt sich eine konstante Schwingung der Regelgröße (x) ein, wie sie nach einer Störung oder einer Änderung der Führungsgröße auftreten kann (vgl. Abbildung 21). Die Regelgröße schwingt in der Folge mit konstanter Amplitude und konstanter Frequenz. Die Regelung arbeitet damit an ihrem Stabilitätsrand. Jede weitere Erhöhung der Reglerverstärkung würde dazu führen, dass die Regelgröße mit aufklingender Amplitude schwingt und unkontrollierbar würde. Der Regelkreis ist damit instabil.

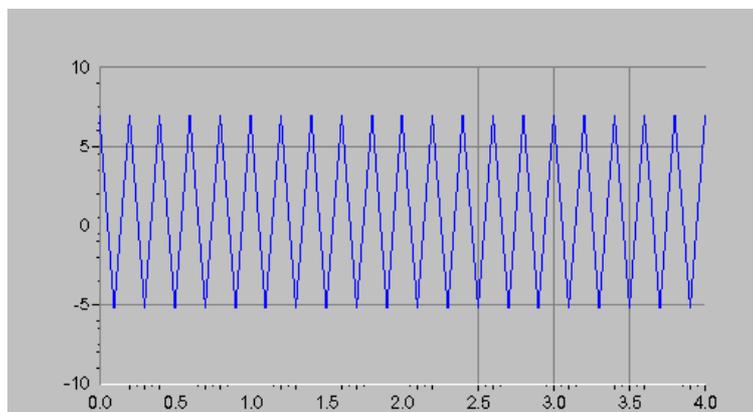


Abbildung 21: Stabilitätsbetrachtung (Dauerschwingen bei Grenzstabilität)

Die Bewertung der Stabilität eines Regelkreises stellt eine wichtige Aufgabe für Prozessleit-elektroniker dar: Je nach gewählten Regelkreisparametern arbeitet das System stabil, an der Stabilitätsgrenze oder instabil.¹³⁷

Modellbildung: P-Regler an P-T₁-Strecke

Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die Modellbildung einer idealen Durchflussregelstrecke (P-T₁-Regelstrecke) mit dem Verlauf der Sprungantwort einmal mit und einmal ohne P-Regler. Der neue Sollwert (Änderung von $w_1 = 0$ auf $w_2 = 1$) ruft am Ausgang der Regelstrecke eine allmählich anwachsende Regelabweichung hervor. Diese Regelabweichung bewirkt, dass die Stellgröße verzögerungsfrei um ein entsprechendes Stück verstellt wird. Nach einer gewissen Zeit ist also nicht mehr der Betrag der anfänglichen Stellgrößenänderung $\Delta w = 1$ wirksam, sondern nur noch ein kleinerer Anteil. Diese verringerte Sollwertdifferenz bewirkt zudem ein langsames Ansteigen der Regelabweichung als bisher. Die wachsende Regelabweichung setzt in der Folge den Einfluss der Sollwertänderung immer weiter herab, bis sich schließlich ein Gleichgewichtszustand einstellt, bei dem der verbleibende Rest der wirksamen Sollwertänderung gerade so groß ist, um die zum Verstellen des Stellgliedes erforderliche Regelabweichung Δx hervorzurufen.

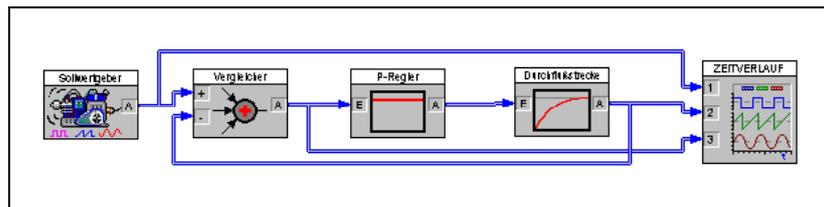


Abbildung 22: Modellbildung der Regelung einer (realen) Durchflussstrecke mit P-Regler

1 Simulation: Sprungantwort einer P-T₁-Regelstrecke ($k_S = 0.7$ und $T_1 = 3s$) und Führungsverhalten der gleichen Regelstrecke mit P-Regler ($k_P = 3$).

Wird zur Regelung einer P-T₁-Strecke ein P-Regler eingesetzt, ergibt sich wieder das Problem der bleibenden Regeldifferenz. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Zeitkonstante T_1 des Gesamtsystems kleiner ist als die Zeitkonstante der Regelstrecke T_S alleine (vgl. Kapitel 4.1.2). Die Zeitkonstante T_S der Regelstrecke wird durch den Einsatz des P-Reglers um den Regelfaktor $R = 1/(1 + k_R \cdot k_S)$ verringert. Das bedeutet, dass der geschlossene Regelkreis seinen Beharrungswert schneller erreicht als die Regelstrecke alleine ohne Regler (vgl. Abbildung 23).

¹³⁷ Bei den meisten Regelkreisen hängt es von den gewählten Reglereinstellung ab, ob ein Regelkreissystem stabil arbeitet oder nicht. Die Kenndaten der übrigen Regelkreiskomponenten sind in der Regel nicht veränderbar, das heißt apparativ bedingt.



Abbildung 23: Sprungantwort einer $P-T_1$ -Regelstrecke: Mit und ohne P-Regler

2 Simulation: Sprungantwort einer $P-T_1$ -Regelstrecke ($k_S = 0.7$ und $T_1 = 3s$) und Führungsverhalten der gleichen Regelstrecke mit P-Regler ($k_P = 3$).

Die nachfolgende Abbildung 24 zeigt den Verlauf der Führungsgröße x einer $P-T_1$ -Regelstrecke ($k_S = 0.7$, $T_1 = 3s$) mit P-Regler ($k_P = 3$). Es stellt sich für die Regelgröße ein stationärer Wert von $x = 0,6777$ ein. Damit ergibt sich eine bleibende Regeldifferenz von $e = 0,3222$.

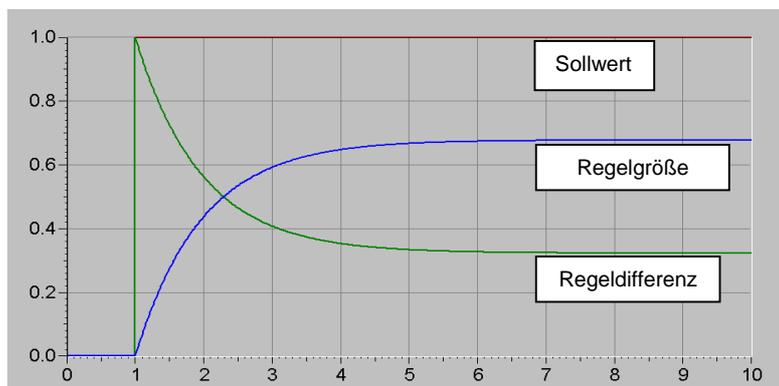


Abbildung 24: Führungsverhalten einer P-Regelstrecke mit Verlauf der Regeldifferenz

3 Simulation: Führungsverhalten einer Regelung mit P-Regler und $P-T_1$ -Regelstrecke.

Die nachfolgende Abbildung 25 zeigt den Verlauf der Regelgröße x einer $P-T_1$ -Regelstrecke ($k_S = 0.7$ und $T_1 = 3s$) bei unterschiedlichen Reglerverstärkungen:

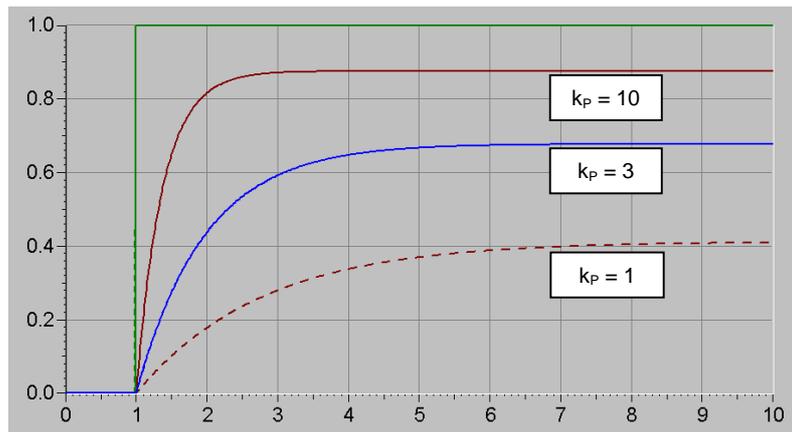


Abbildung 25: Verlauf der Führungsgröße bei unterschiedlichen Reglerverstärkungen

Je größer der Proportionalitätsfaktor des Reglers, desto schneller ist die Regelung. Je größer der Proportionalitätsfaktor des Reglers, desto näher liegt auch der Beharrungswert für die Regelgröße (x) am Sollwert (w) und desto kleiner ist die daraus folgende bleibende Regeldifferenz (e_b). Um die bleibende Regeldifferenz möglichst klein zu halten, könnte der Proportionalitätsbeiwert k_P des Reglers sehr groß gewählt werden. Dabei kann es jedoch - insbesondere bei Strecken höherer Ordnung - zu starkem Überschwingen oder gar zu aufklingenden Schwingungen der Regelgröße kommen (Instabilität des Regelkreises). Um eine derartige instabile Regelung zu vermeiden, kann die Reglerverstärkung nicht beliebig erhöht werden. Bei der Parametrierung muss also stets ein Kompromiss zwischen Stabilität und Genauigkeit der Regelung gefunden werden.

4.1.3.2 Statisches Regelkreisverhalten

Das statische Verhalten eines Regelkreises ist gekennzeichnet durch den stationären Zustand des Regelkreises nach Ausklingen aller zeitlichen Ausgleichsvorgänge (vgl. Abschnitt 3.2.1.1.3). Die Einflüsse vorangegangener Störgrößen- oder Führungsgrößenänderungen im System sind abgeschlossen. Dieses statische Verhalten des Regelkreises lässt sich mit Hilfe von statischen Kennlinien beschreiben. Die Kennlinie der Regelstrecke stellt den Zusammenhang zwischen Stellgröße und Regelgröße dar (ohne Einfluss von beziehungsweise bei konstanten Störgrößen). Die Kennlinie des Reglers bildet dabei den Zusammenhang zwischen Regelgröße und Stellgröße ab. Liegt ein geschlossener Regelkreis vor, indem Regelstrecke und Regler miteinander verbunden werden, so müssen zwangsweise die Regelgröße am Ausgang der Regelstrecke und die Regelgröße am Eingang des Reglers denselben Wert annehmen. Dasselbe gilt auch für die Stellgröße am Ausgang des Reglers und die Stellgröße am Eingang der Regelstrecke (SAMAL/BECKER 2000). Wie aus Abbildung 30 hervorgeht, ist diese Bedingung nur im Schnittpunkt von Regler- und Streckenkennlinie erfüllt. Dies ist der Arbeitspunkt (AP) der Regelung im statischen Zustand. Nur in diesem Punkt ist die so genannte *Schließbedingung* für den Regelkreis erfüllt.

Die sich bei Regelung mit P-Regler an Strecken mit Ausgleich ergebende bleibende Regeldifferenz lässt sich sehr leicht aus dem Wirkungsplan berechnen (vgl. Abbildung 26).

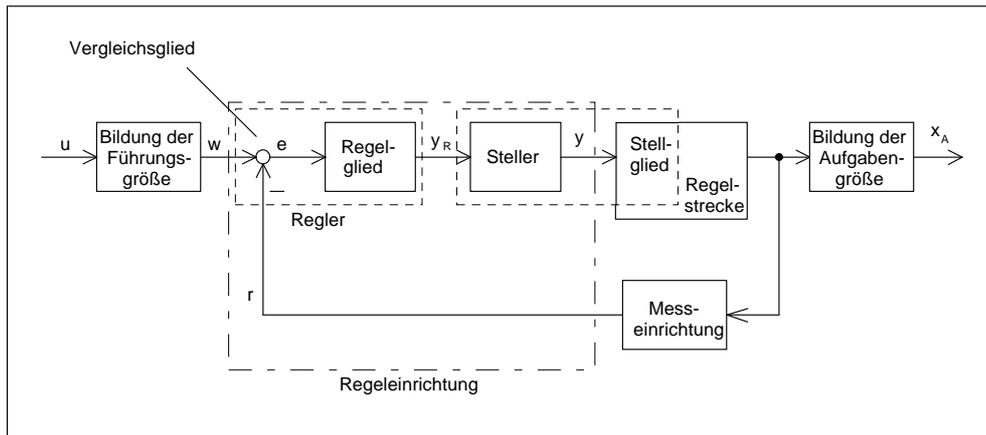


Abbildung 26: Vereinfachter Wirkungsplan einer Regelung nach DIN 19226

Gleichungen: $e_b = w - x \quad (1)$

$$x = k_s \cdot y \quad (2)$$

$$y = k_p \cdot e \quad (3)$$

Durch Einsetzen von Gleichung (2) und (3) in (1) und anschließendem Umformen ergibt sich :

$$e_b = \frac{w}{(1 + k_p k_s)}$$

Die statische Streckenkennlinie lässt sich jetzt aus Gleichung (2) sehr einfach bestimmen: $y = k_p \cdot e$ stellt eine Geradengleichung mit dem Steigungsfaktor k_p dar, die sich grafisch über die Identifikation zweier Geradenpunkte (siehe nachfolgende Abbildung 27) aus der Simulation sehr einfach ermitteln lässt.

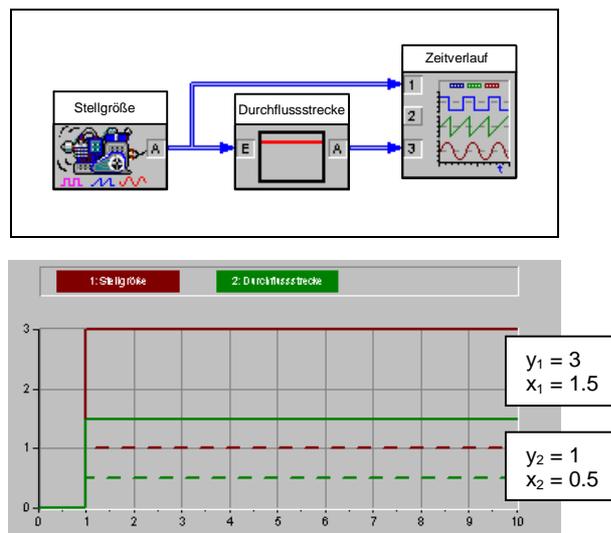


Abbildung 27: Ermittlung einer statischen Streckenkennlinie: Modellbildung (oben) und Simulation (unten)

Die statische P-Reglerkennlinie kann entsprechend ermittelt werden. Sie stellt ebenfalls eine Gerade dar (Steigungsfaktor k_p) und lässt sich beispielsweise über Wertepaare aus Regler-eingangssignale (e) und Reglerausgangssignale (y) unterschiedlicher Sprungantworten ermit-

teiln. Hierzu sind wiederum lediglich zwei Wertepaare notwendig, die über eine entsprechende Simulation ermittelt werden können (vgl. Abbildung 29).

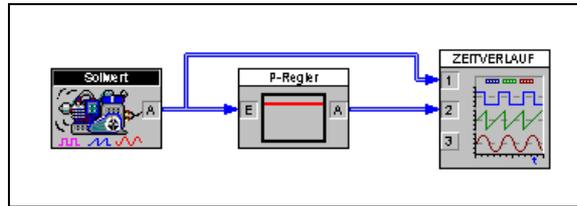


Abbildung 28: Modellbildung: Ermittlung von P-Regler-Kenndaten

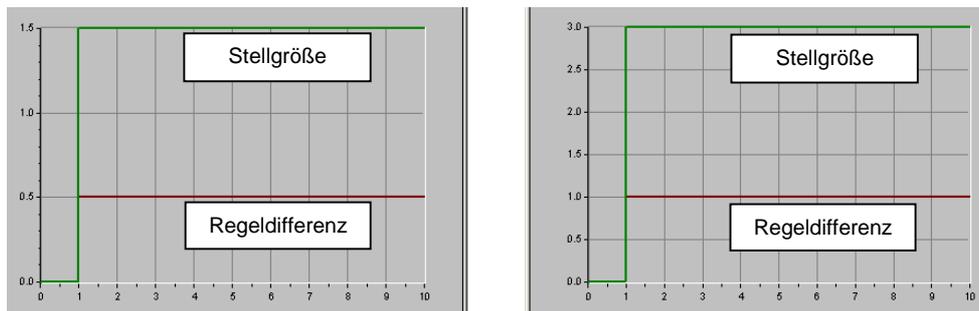


Abbildung 29: Simulation: Ermittlung von P-Reglerkenndaten ($k_P = 3$)

Werden Strecken- und Reglerkennlinie in ein statisches Kennliniendiagramm (x-y-Diagramm) eingetragen, ergibt der Schnittpunkt aus beiden Geradenkennlinien den Betriebs- beziehungsweise Arbeitspunkt (AP) der Regelung (siehe Abbildung 30). Mit Hilfe dieser Kennlinien lässt sich sehr gut das „Wandern“ des Betriebspunktes bei Änderung von Systemgrößen oder Auftreten von Störungen beobachten: Veränderungen des Sollwertes (w) führen zu einer Parallelverschiebung der Reglerkennlinie, Veränderungen der Reglerverstärkung (k_P) führen zu einer Drehung der Kennlinie um deren Schnittpunkt mit der x-Achse. Störgrößen beeinflussen dagegen die Lage der Streckenkennlinie.

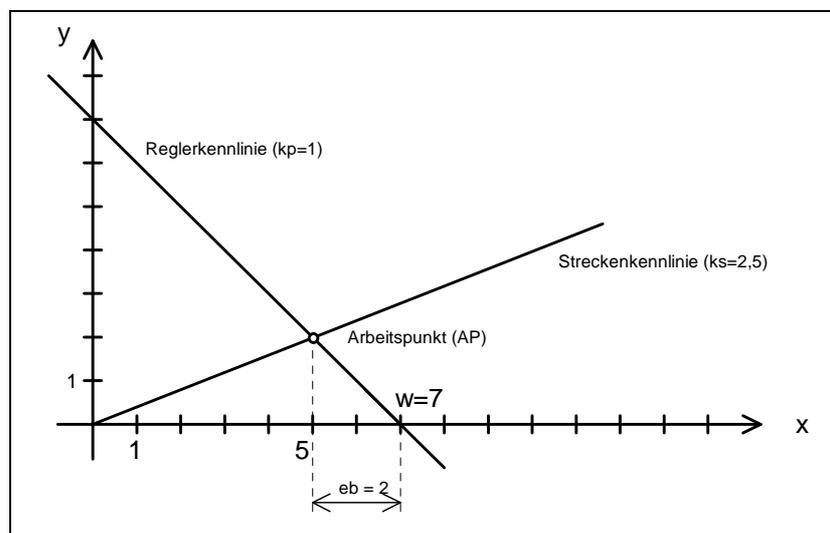


Abbildung 30: Statische Kennlinien eines P-Reglers und einer Regelstrecke mit Ausgleich

Aus dem Kennlinienfeld kann entnommen werden, dass Erhöhungen des Proportionalbeiwertes (k_P) die bleibende Regeldifferenz verkleinern, indem sie den Arbeitspunkt auf der Streckenkennlinie in die Nähe des Sollwertes verschieben. Für eine bleibende Regeldifferenz von null müsste k_P allerdings unendlich groß werden. Da der P-Regler jedoch nicht beliebige Proportionalbeiwerte annehmen kann, muss bei Verwendung eines P-Reglers also immer eine bleibende Regeldifferenz in Kauf genommen werden.

4.2 Quasiexperimentelle und explorative Studie zur Ermittlung eines unterrichtlichen Zugangs zu komplexem regelungstechnischen Systemverhalten über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS)

4.2.1 Aufbau der Untersuchung

4.2.1.1 Das Erkenntnisinteresse der empirischen Untersuchung

Die quasiexperimentelle Untersuchung des Zugangs zu komplexen regelungstechnischen Systemen über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) stellt normalerweise hohe Ansprüche an das Untersuchungsdesign und erfordert häufig ergänzend eine zusätzliche Ausrichtung auf qualitative Verfahren (FORTMÜLLER/SILBERBAUER 2004). Die im Folgenden dargestellten Befunde aus einer unterrichtspraktischen Studie haben nicht den Anspruch, beide Dimensionen in ihrer Vollständigkeit und Tiefenstruktur zu erfassen, sondern zielen vielmehr darauf, in einem ersten Zugang wichtige Deutungsmuster zur mentalen Modellbildung von Lernenden innerhalb des aufgespannten Forschungsrahmens herauszufinden. Die Ergebnisse haben infolgedessen eher den Charakter von Oberflächen-Indizien im Hinblick auf die Richtung, in die (anschließend experimentell oder) zum Beispiel mithilfe von qualitativen Deutungsmusteranalysen (ARNOLD 1983) oder der Struktur-lege-Technik (SCHEELE 1992) weiter geforscht werden kann.¹³⁸

In einem ersten Zugang zum oben abgeleiteten Untersuchungsfeld wurden im Rahmen einer Gelegenheitsstichprobe im April und Mai des Jahres 2004 Auszubildende im dritten Ausbildungsjahr (Fachstufe II) eines chemisch-technischen Großbetriebes mittels eines Fragebogens im Rahmen einer Reihe von drei Unterrichtsstunden schriftlich befragt. Ziel war es, vorab wichtige Einstellungsmuster zur Regelungstechnik und zum Ausbildungserfolg bei der beruflichen Erstausbildung zum Prozessleitelektroniker zu explorieren, die letztlich auch zur Generierung von Hypothesen genutzt werden können.¹³⁹ Es ging dabei vorrangig darum zu verstehen, wie angehende Prozessleitelektroniker komplexe regelungstechnische Systemzusammenhänge subjektiv bewerten und repräsentieren. Die Auswahl der hier vorgestellten Befunde bezieht sich daher auf das Selbst- und Fachverständnis der Lernenden, das sich im Rahmen der Ausbildung zum Prozessleitelektroniker innerhalb von drei Jahren dualer Ausbildungszeit, unter besonderer Berücksichtigung der mathematischen Leistungen, herausgebildet hat. Die

¹³⁸ Einschränkung kommt hinzu, dass Untersuchungen mit drei oder mehr Messzeitpunkten erheblich vorteilhafter sind als die im Rahmen des Pretest-Posttest-Plans dieser Studie vorgenommene Untersuchung mit nur zwei Messzeitpunkten.

¹³⁹ Die Fragebögen enthalten Items mit Antwortskalen und offener Beantwortung. Alle geschlossenen Items basieren auf einer 5-Rating-Skala, also Kategorien mit einer neutralen Position (3) und jeweils zwei positiven (1, 2) und negativen Ausprägungen (4, 5). Die Schüler sollen dabei entweder den Grad der Zustimmung oder die Wichtigkeit der Variable bewerten. Daneben besteht noch eine 6er-Skala zur Erfassung der schulischen Notengebung von 1 (Sehr gut) bis 6 (Ungenügend).

Befunde zeigen, wie schwer es Lernenden fällt, einen zur mathematischen Modellbildung alternativen Zugang zu selbst einfachen regelungstechnischen Systemen zu finden. Dabei sollen Deutungsmuster zum Selbstverständnis von Auszubildenden im Spannungsfeld zwischen mathematischen Fähigkeiten und regelungstechnischem Fachinteresse sowie deren Auswirkungen auf die Entwicklung beruflicher Handlungskompetenzen abgeleitet werden. In diesem Zusammenhang sind die subjektiven Beurteilungen der eigenen Interessen und Fähigkeiten wichtig.

Weiterhin sollte analysiert werden, ob über eine computergestützte Modellbildung und Simulation von Regelkreiskomponenten beziehungsweise von geschlossenen Regelkreisen eine substanzielle Weiterentwicklung der bestehenden mentalen Modelle der Lernenden möglich ist, die es ihnen letztendlich ermöglicht, einen alternativen Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen sowie zum Verständnis komplexen regelungstechnischen Systemverhaltens zu ermöglichen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse sollen schließlich erste Annahmen zu Funktionalität, Qualität und Reichweite über die mentalen Modelle von Prozessleitelektronikern gewonnen werden.

4.2.1.2 Die Stichprobe und einige Grunddaten

Die Untersuchung wurde an einer Berufsbildenden Schule Technik in Ludwigshafen im Rahmen einer Gelegenheitsstichprobe¹⁴⁰ durchgeführt. Bei den ausgewählten Schulformen handelt es sich um eine gewerblich-technische Berufsschule in Blockform sowie um eine Fachschule in Teilzeitform als Referenzgruppe. Insgesamt nahmen 48 Schüler aus vier Klassen an der Untersuchung teil. 36 Schüler kamen dabei aus drei parallelen Klassen der Fachstufe II der Berufsschule (sechstes Ausbildungshalbjahr) und 12 Schüler aus einer Klasse einer (Teilzeit-) Fachschule im Bildungsgang Elektrotechnik im vierten Schulhalbjahr. Alle Schüler füllten zu Beginn der Untersuchung einen aus 11 Items bestehenden Fragebogen (Eingangstest) aus, mit dem die Funktionsfähigkeit und Reichweite ihrer mentalen Modelle in regelungstechnischen Systemzusammenhängen sowie ihre Selbsteinschätzung bezüglich ihres regelungstechnischen und mathematischen Wissens erhoben werden sollte. Die beispielhaft dargestellte Regelung einer Druckregelstrecke mit P-Regler wurde zudem so gewählt, dass - von Zufälligkeiten abgesehen - die Schüler keine unterschiedlichen fachspezifischen Vorkenntnisse aufweisen sollten, und dass daher die erbrachten Leistungen als Maßstab für die zu Beginn der Untersuchung vorhandene Funktionalität und Reichweite ihrer mentalen Modelle im Umgang mit komplexen regelungstechnischen Systemen betrachtet werden können (vgl. Kapitel 4.1.1 f.). Der Eingangstest bestätigte die eingangs diskutierte Vermutung, dass die im bisherigen Verlauf der Ausbildung entwickelten mentalen Modelle bei angehenden Prozessleitelektronikern für eine hinreichende Erklärung eines komplexen Sachverhaltes, wie dem der „bleibende Regeldifferenz“, nicht ausreichend war. Im Anschluss daran bearbeiteten die Schüler ein Arbeitsblatt, das aus sechs voneinander unabhängigen Teilaufgaben bestand. Das Aufgabenblatt leitete sie zur computergestützten Modellbildung und Simulation einer Druckregelstrecke mit P-Regler an (Variable: „Alternativer Zugang - CMS“). Hierbei wurden für jede Modellbildung und Simulation die statischen Strecken- und Reglerkennlinien konstruiert. Bei der Konstruktion der statischen P-Reglerkennlinien wurde sowohl die Reglerverstärkung (k_p) als

¹⁴⁰ Bei der Stichprobe liegt eine so genannte *bewusste Auswahl* vor (im Sinne einer Ad-hoc-Stichprobe). Es bestand dabei die günstige Ausgangslage, dass alle Auszubildenden nur einem Unternehmen angehören, das heißt für Lernende identische Lernvoraussetzungen bestanden. Alle Schüler der drei Klassen des Einschulungsjahrgangs 2001 wurden in Betrieb und Schule überdies von den gleichen Ausbildern und Lehrern betreut beziehungsweise unterrichtet.

auch die Sollwertvorgabe (w) variiert. Für die Befragung war die Kooperation Schule sowie die der dualen Ausbildungspartner notwendig. Die Teilnahme an der Untersuchung erfolgte freiwillig.

Die angehenden Prozessleitelektroniker haben zum Untersuchungszeitpunkt bereits den schulischen Teil (vgl. KMK-Rahmenlehrplan, Tabelle 6, S. 152) ihrer regelungstechnischen Ausbildung bereits abgeschlossen. Sie kennen das Modellbildungs- und Simulationswerkzeug WinFACT und haben damit im bisherigen Unterricht schon gearbeitet. Im Laufe ihres bisherigen Unterrichts wurden von ihnen damit einfache Untersuchungen zu Sprungantworten - sowohl von Reglern als auch von Regelstrecken - sowie zum dynamischen Regelkreisverhalten über Modellbildung und Simulation durchgeführt. Die Aufgaben des Arbeitsblattes zielten darauf ab, auf Basis der im KMK-Rahmenlehrplan beziehungsweise im Ausbildungsrahmenplan ausgewiesenen und den Lernenden aus dem bisherigen Unterricht bereits bekannten schulischen und betrieblichen Lernzielen ihre bestehenden mentalen Modelle über Konstruktion und Variation der P-Reglerkennlinien (vgl. Kapitel 4.1.3.2) weiter zu entwickeln. Lerneffekte, durch ein zusätzliches Einüben von bereits bekannten beziehungsweise durch ein Handeln an neuen regelungstechnischen Inhalten, konnten somit weitgehend ausgeschlossen werden. Das Interesse der Untersuchung galt insbesondere der Fragestellung, ob zur üblicherweise gebräuchlichen mathematischen Beschreibung komplexer Regelkreisvorgänge ein alternativer Zugang über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) möglich ist (vgl. Kapitel 3.2.1.3).¹⁴¹

Als Referenzgruppe zu den angehenden Prozessleitelektronikern wurden als Semi-Experten Schüler der Abschlussklasse einer Fachschule für Technik, Bildungsgang für Elektrotechnik, in die Untersuchung mit aufgenommen. Sie besitzen zum Teil eine mehrjährige Betriebserfahrung im Umgang mit prozessleittechnischen Anlagen, haben dementsprechend zusätzliches Arbeitprozesswissen erworben und verfügen dadurch über elaborierte mentale Modelle mit einer höheren funktionalen Reichweite als die Auszubildenden der Prozessleittechnik. Ihre mentalen Modelle haben sich im Laufe der Zeit aus der praktischen Tätigkeit als Prozessleitelektroniker heraus entwickelt; allerdings nicht dadurch, dass sie regelungstechnische Fachzeitschriften oder Bücher gelesen und somit umfangreiche mathematische oder regelungstechnische Kenntnisse erworben hätten: Die eingehende Betrachtung zeigt, dass es bei hinreichender Bemühung um die Form der Darstellung gelingt, auch komplexe technische Zusammenhänge, die scheinbar nur auf Grund umfangreicher mathematischer Kenntnisse zu begreifen sind, verständlich zu machen.¹⁴² Dies bestätigt die Aussage vieler Autoren: „Wobei es bei der Lösung von Regelungsaufgaben eigentlich ankommt, ist nicht die Kenntnis vieler Formeln und Zusammenhänge im Regelkreis, sondern das Erfassen der (komplexen; Anm. d. Verf.) wirkungsmäßigen Zusammenhänge im Regelkreis.“ (SAMAL 2000, S. 1) Im Rahmen fachschulischer Ausbildung fand zum Zeitpunkt der Messung noch kein spezieller Unterricht in Regelungstechnik statt.

Mit einer zusätzlichen Lernvoraussetzung sollte daher auch der Einfluss einer im vorliegenden Zusammenhang relevanten und auf Grund der Thematik einer sonstigen zusätzlichen Kompetenzentwicklung naheliegenden konkreten „Regelungstechnischen Betriebserfahrung, die über den normalen Rahmen der Ausbildung zum Prozessleitelektroniker hinausgeht“ untersucht

¹⁴¹ Die Betrachtung und Ermittlung statischer Regler- und Streckenkennlinien setzt normalerweise das Vorhandensein realer Regelkreise beziehungsweise Regelkreiskomponenten (oder geeigneter Modelle davon) voraus.

¹⁴² „Zum Verlegen einer einfachen elektrischen Leitung ist auch nicht die Kenntnis der elektrischen Leitungstheorie erforderlich.“ (SAMAL 2000, S. 1)

werden, um ihren Stellenwert im Vergleich zu dem des sich im Laufe der normalen dualen Ausbildung entwickelnden mentalen Modells zu bestimmen beziehungsweise - da diese Berufserfahrung im Prinzip auch aus dem Arbeitsprozesswissen ableitbar ist - den dadurch bedingten Effekt zu kontrollieren.

Abbildung 31 gibt die gesamte Beobachtungsordnung wieder. Die an der Untersuchung teilnehmenden Schüler jeder Klasse wurden dementsprechend nach Ausfüllen des Fragebogens und Durchführung des Vortests auf Basis eines 2 (Schulische Leistungen in Mathematik: gut vs. nicht gut) x 2 (Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten: hoch vs. gering) - faktoriellen Untersuchungsdesigns den vier Quasiexperimentalbedingungen zugeordnet. Bei der Auswertung der Ergebnisse des Nachtests wurden neben den quasiexperimentell beeinflussenden Faktoren „Schulische Leistung in Mathematik“¹⁴³ und „Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten“ auch - als Kovariate - die Ergebnisse des Vortests („Reichweite des mentalen Modells“) berücksichtigt. Die „Selbsteinschätzung zum eigenen Ausbildungserfolg“, die „Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen Fähigkeiten“ sowie die Variablen „Schulabschluss der allgemeinbildenden Schule“, „Mathematiknote im Abschlusszeugnis der allgemeinbildenden Schule“ und der „Berufswunsch, später einmal in einem Aufgabengebiet der Regelungstechnik arbeiten zu wollen“ dienten als Grundlage für weitere explorative Analysen.

Fragebogen mit Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen Fähigkeiten sowie zum eigenen Ausbildungserfolg („Fähigkeiten - Selbsteinschätzung“)			
Vortest zur Erhebung der Reichweite der bestehenden mentalen Modelle zu komplexen/m regelungstechnischen Systemzusammenhängen/-verhalten („Reichweite mentales Modell vor CMS“) ¹⁴⁴			
Computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) zur Regelungstechnik („Alternativer Zugang - CMS“)			
Gute schulische Leistungen in Mathematik („Mathematikleistung - gut“)		(max. befriedigende beziehungsweise) keine guten schulischen Leistungen in Mathematik („Mathematikleistung - nicht gut“)	
Hohe Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten („Selbsteinschätzung - hoch“)	Geringe Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten („Selbsteinschätzung - gering“)	Hohe Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten („Selbsteinschätzung - hoch“)	Geringe Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten („Selbsteinschätzung - gering“)
Nachtest zur Erhebung der Reichweite bestehender mentaler Modelle zu komplexen/m regelungstechnischen Systemzusammenhängen/-verhalten („Reichweite mentales Modell nach CMS“) ¹⁴⁵			

Abbildung 31: 2 (Schulische Leistungen in Mathematik: gut vs. nicht gut) x 2 (Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten: hoch vs. gering) - faktorielles Untersuchungsdesign unter Berücksichtigung der Kovariaten „Reichweite des mentalen Modells“

¹⁴³ Die Variable „Schulische Leistung in Mathematik“ entspricht jeweils der Mathematiknote (Technische Mathematik) im letzten Zeugnis der Berufsschule.

¹⁴⁴ Gemessen über die Variable „Ergebnis_Eingangstest“

¹⁴⁵ Gemessen über die Variable „Ergebnis_Ausgangstest“

Die im Rahmen der Untersuchung eingesetzten Erhebungsinstrumente und verwendeten Materialien werden im Folgenden dargestellt.

4.2.2 Erhebungsinstrumente und Materialien

Fragebogen

Jedes Item des Fragebogens bestand aus einer Aussage, zu der auf Basis der Antwortkategorien „sehr gut – gut – weder gut noch schlecht – eher schlecht – sehr schlecht“ Stellung zu nehmen war. Beispielsweise lautete die Aussage des ersten Items zur Selbsteinschätzung: „Wie schätzen Sie selbst Ihre eigenen regelungstechnischen Fähigkeiten ein?“ Der Fragebogen wurde mit einem Punkteschema ausgewertet; als Variablenname wird in der weiter unten angeführten statistischen Auswertung die Bezeichnung „se_regelungstechnik“ verwendet.

Eingangstest

Der Eingangstest umfasste die folgenden 9 Teilaufgabenbereiche, für deren Bewältigung ein Zeitrahmen von 30 Minuten zur Verfügung stand:

- (1) Gibt es einen wesentlichen Nachteil bei der Regelung (zum Beispiel einer Durchflussregelstrecke) mit einem reinem P-Regler?
- (2) Charakterisieren Sie das dynamische P-Reglerverhalten, indem Sie seine Sprungantwort in das nachstehende Diagramm einzeichnen ($k_P = 2$)!
- (3) Können Sie sich erklären, warum es bei der Regelung (zum Beispiel der Durchflussregelstrecke) mit einem reinen P-Regler zu einer bleibenden Regeldifferenz kommt?
- (4) Kennen Sie Möglichkeiten, bei der Regelung mit einem reinen P-Regler Einfluss auf die Größe der bleibenden Regeldifferenz zu nehmen?
- (5) Zeichnen Sie die Lage einer statischen P-Reglerkennlinie ($w = 4$, $k_P = 3$) in das nachfolgende Diagramm ein!
- (6) Können Sie sich erklären, welchen Einfluss die Erhöhung des Sollwertes auf die Lage der statischen P-Reglerkennlinie hat?
- (7) Können Sie sich erklären, welchen Einfluss die Erhöhung des Proportionalbeiwertes (k_P) auf die Lage der statischen P-Reglerkennlinie hat?
- (8) Wie groß ist im störungsfreien Betrieb (zum Beispiel einer Durchflussstrecke) die bleibende Regeldifferenz nach Einstellung des Arbeitspunktes des P-Reglers?
- (9) Nach der Einstellung des Arbeitspunktes am P-Regler ist die bleibende Regeldifferenz im Idealfall null. Wie erklären Sie sich dieses „Verschwinden“ der bleibenden Regeldifferenz nach Einstellung des Arbeitspunktes?

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines Punkteschemas; als Variablenname wird die Bezeichnung „Ergebnis_Eingangstest“ verwendet.

Nachtest

Der Nachtest wurde identisch zum Eingangstest entwickelt. Er umfasste die gleichen 9 Teilaufgabenbereiche, für deren Bewältigung wiederum ein Zeitrahmen von 30 Minuten zur Verfügung stand. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines identischen Punkteschemas; als Variablenname wird die Bezeichnung „Ergebnis_Ausgangstest“ verwendet.

Aufgabenblatt

Die 6 Teilaufgaben des Aufgabenblattes zielen darauf ab, einen alternativen Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen sowie zum Verständnis komplexen regelungstechnischen Systemverhaltens über computergestützte Modellbildung und Simulation zu ermöglichen. Bei Entwicklung und Auswahl der 6 Teilaufgaben kamen die didaktischen Ausführungen aus Kapitel 3.2.1.3 (Gestalten von Lernprozessen in der Regelungstechnik durch computergestützte Modellbildung und Simulation) sowie von Kapitel 4.1.2 (Didaktische und theoretische Fundierung: P-Regler mit P-T₁-Strecke) und von Kapitel 4.1.3 (Modellbildung und Simulation) zum tragen. Insbesondere wurde bei der Konstruktion des Arbeitsblattes darauf geachtet, dass es bei der (erfolgreichen) Bearbeitung des Aufgabenblattes zu keinen Effekten der Leistungsverbesserung bei den Schülern kommt.¹⁴⁶ Im Folgenden sind die Aufgabenstellung sowie die relevanten Teilaufgaben wiedergegeben:

„Eine Druckregelstrecke ($T_1 = 3\text{s}$, $k_S = 1$) wird mit einem P-Regler geregelt. Der Sollwert für den Behälterdruck beträgt 5 bar, die Reglerverstärkung (Proportionalbeiwert) wurde auf $k_P = 2$ eingestellt. Die nachfolgende Abbildung 32 zeigt das vereinfachte Blockschaltbild der Druckregelung.“

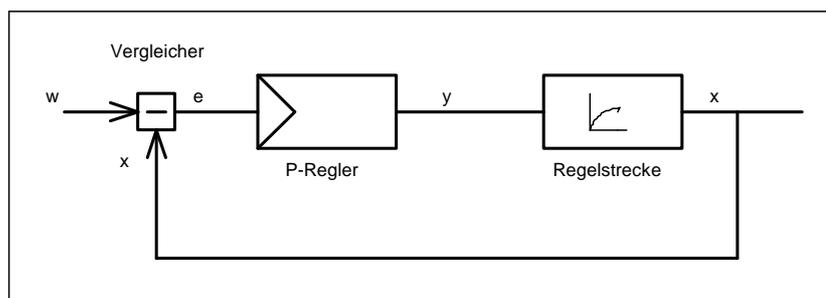


Abbildung 32: Vereinfachtes Blockschaltbild einer Druckregelung mit P-Regler

- (1) Ermitteln Sie die statische Kennlinie der Druckregelstrecke und tragen Sie diese anschließend in das Diagramm im Aufgabenteil 6 ein. Ermitteln Sie hierzu für unterschiedliche Eingangswerte der Druckregelstrecke (y) durch Simulation die jeweiligen Ausgangswerte (x) (Sprungantwort) und tragen Sie diese in die Wertetabelle 1 ein!
- (2) Ermitteln Sie die statische Reglerkennlinie und tragen Sie diese anschließend in das Diagramm im Aufgabenteil 6 ein. Ermitteln Sie hierzu für unterschiedliche Eingangswerte des P-Reglers (e) durch Simulation die jeweiligen Ausgangswerte (y) (Sprungantwort) und tragen Sie diese in die Wertetabelle 2 ein!
- (3) Zur Verringerung der bleibenden Regeldifferenz wird die Reglerverstärkung auf $k_P = 3$ erhöht. Ermitteln Sie hierzu aus einer Simulation erneut die statische Reglerkennlinie und tragen Sie diese ebenfalls in das Diagramm unter Aufgabenpunkt 6 ein! Auf welchen Wert stellt sich nun die bleibende Regeldifferenz ein?
- (4) Auf welchen Wert müsste der P-Regler eingestellt werden, damit die bleibende Regeldifferenz nur noch 1 bar beträgt? Tragen Sie hierzu die statische P-Reglerkennlinie in das untenstehende Kennliniendiagramm ein und berechnen Sie k_P !

¹⁴⁶ Dies erfolgte unter anderem über eine Deckungsanalyse zwischen dem erteilten Unterricht gemäß Rahmenlehrplan für die Berufsschule beziehungsweise gemäß Ausbildungsrahmenplan für den betrieblichen Teil der Ausbildung und den gewählten didaktischen Fragestellungen aus dem Arbeitsblatt.

- (5) Während des Betriebes der Anlage mit $w = 5$ bar und $k_p = 3$, $T_1 = 3$ s erfolgt aus der Leitwarte eine Sollwerterhöhung des Druckes auf 10 bar. Verändert sich der Wert der bleibenden Regeldifferenz im Vergleich zur letzten Sollwerteinstellung? Ermitteln Sie aus der Simulation die statische Reglerkennlinie und tragen Sie die Kennlinie in das nachfolgende Diagramm aus Aufgabenteil 6 ein!
- (6) Tragen Sie die Regelstreckenkenlinie und alle P-Reglerkennlinien in das nachfolgende statische Regelkreisdiagramm ein!

Zur Bearbeitung der 6 Teilaufgaben standen den Schülern zwei geblockte schulische Unterrichtsstunden zur Verfügung (90 Min.). Die Bearbeitung erfolgte in Einzelarbeit an einem mit Computer beziehungsweise Laptop sowie der Modellbildungs- und Simulationssoftware WinFACT ausgestatteten Arbeitsplatz.

4.2.3 Hypothesen

Aus den in den Kapiteln 2.2 sowie 3.3.1 f. dargelegten kognitionstheoretischen Grundlagen folgt, dass in der beruflichen Erstausbildung ein (zur höheren Mathematik alternativer) Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen über computergestützte Modellbildung und Simulation möglich ist. Dementsprechend lautet

Hypothese 1

Die Lernvoraussetzung „Reichweite mentales Modell vor CMS“ zeigt einen bedeutsam großen Anteil von Schülern, die am Ende ihrer Ausbildungszeit als Prozessleitelektroniker über kein Erklärungsmuster zur bleibenden Regeldifferenz verfügen.¹⁴⁷

Der Eingangstest soll die kognitionstheoretische Annahme bestätigen, dass die Funktionalität und Reichweite der im normalen Verlauf der bisherigen Ausbildung entwickelten mentalen Modelle zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen bei angehenden Prozessleitelektronikern für eine hinreichende Erklärung des komplexen Sachverhaltes „bleibende Regeldifferenz“ zu gering ist. Daher lautet

Hypothese 2

Die Lernvoraussetzung „Alternativer Zugang - CMS“ führt bei den Lernenden zu statistisch signifikant größerer Reichweite ihrer mentalen Modelle beim Nachtest.¹⁴⁸

An den exemplarisch gewählten und für angehende Prozessleitelektroniker komplexen technischen Systemeigenschaften, die im Zusammenhang mit der Regelung von Strecken mit Ausgleich und P-Regler auftreten, soll aufgezeigt werden, dass es über computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) grundsätzlich möglich ist, auch ohne Kenntnis der dargelegten mathematischen Beschreibungsmodelle, die vorhandenen mentalen Modelle ausreichend weiter zu entwickeln. Damit ist für Lernende ein prinzipieller unterrichtlicher Zugang zum Erschließen komplexer regelungstechnischer Systemzusammenhänge sowie zum Verständnis komplexen Systemverhaltens möglich.

¹⁴⁷ Gemessen über die Variable „e:_Erklärung_für_eb“

¹⁴⁸ Gemessen über die Variablen „a:_Erklärung_für_eb“ und a:_Erkl_Verschw_eb_nach_AP.

Hypothese 3

Die Lernvoraussetzung „Mathematikleistung - gut/sehr gut“ führt zu statistisch signifikant besseren Leistungen beim Nachtest als die Lernvoraussetzung „Mathematikleistung - nicht gut“.¹⁴⁹

Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass Schüler zwar ohne Kenntnisse geeigneter mathematischer Beschreibungsmodelle, aber mit grundsätzlich guten mathematischen Fähigkeiten, durch die computergestützte Modellbildung und Simulation Vorteile besitzen gegenüber Schülern ohne gute mathematische Kenntnisse, erscheint es hilfreich, den entsprechenden Effekt zu kontrollieren. Dabei kann nicht nur die Variable „Mathematikleistung - gut/schlecht“ das Ergebnis beeinflussen. Auch die Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten kann einen signifikanten Effekt besitzen. Demzufolge lautet

Hypothese 4

Die Lernvoraussetzung „Selbsteinschätzung - hoch“ führt zu statistisch signifikant besseren Leistungen beim Nachtest¹⁵⁰ als die Lernvoraussetzung „Selbsteinschätzung - niedrig“. Da neben CMS theoretisch auch noch andere Zugänge zu komplexen regelungstechnischen Systemen denkbar sind, sollten die im Vortest erhobenen unterschiedlichen Ergebnisse auch beim Nachtest zum Tragen kommen. Dementsprechend lautet

Hypothese 5

Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den Variablen „Reichweite mentales Modell - Eingangstest“ und „Reichweite mentales Modell - Ausgangstest“.

Bezüglich etwaiger Wechselwirkungen - etwa der Art, dass einem potenziellen unterrichtlichen Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemen bei insgesamt geringem regelungstechnischen Wissen größere Bedeutung zukommt als bei großem regelungstechnischen Wissen oder umgekehrt - lassen sich aus den oben angeführten theoretischen Überlegungen keine eindeutigen Vorhersagen ableiten. Daher haben die diesbezüglichen Auswertungen nur explorativen Charakter. Analoges gilt für die anschließend vorgenommenen statistischen Analysen der Zusammenhänge zwischen den Variablen „Reichweite des mentalen Modells - Vortest“, „Schulabschluss der allgemeinbildenden Schule“, „Mathematiknote im Abschlusszeugnis der allgemein bildenden Schule“, „Zeugnisnote Regelungstechnik“, „Zeugnisnote Technische Mathematik“ sowie der „Berufswunsch, später einmal in einem Aufgabengebiet der Regelungstechnik arbeiten zu wollen“ und der „Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen und mathematischen Fähigkeiten“ sowie zwischen den genannten Variablen und der Variablen „Mentales Modell - Nachtest“.

4.2.4 Ergebnisse der Untersuchung

Die für die Prüfung der Hypothese 1 relevanten Daten wurden mit den Variablen aus dem Vortest „Erklärung der bleibenden Regeldifferenz“ und „Erklärung für das Verschwinden der bleibenden Regeldifferenz nach Einstellung des Arbeitspunkte“ beschrieben und anschließend ausgewertet.

Die Berechnung der Häufigkeitsverteilung zeigte, dass keiner der 36 angehenden Prozessleit-elektronikern das scheinbare Verschwinden der bleibenden Regeldifferenz nach Einstellung

¹⁴⁹ Gemessen über die Variable „Ergebnis_Ausgangstest“

¹⁵⁰ Gemessen über die Variable „Ergebnis_Ausgangstest“

des Arbeitspunktes am P-Regler erklären konnte. Die Auswertung weist insgesamt nur vier Schüler (11%) mit einer annähernd ausreichend hohen Reichweite ihres mentalen Modells aus (vgl. Tabelle 7). Nur sie können erklären, warum es bei der Regelung mit P-Regler überhaupt zu einer bleibenden Regeldifferenz kommt. Die Ergebnisse der Berechnung zeigt Tabelle 7.

		Häufigkeit	Prozent	gültige Prozente	kumulierte Prozente
Gültig	weiss nicht	32	88,9	88,9	88,9
	korrekt	4	11,1	11,1	100,0
	gesamt	36	100,0	100,0	

Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung der Variablen „e:_Erklärung_für_e_b“

Wie ersichtlich, weist die Lernvoraussetzung „Reichweite mentales Modell vor CMS“ einen bedeutsam großen Anteil von Schülern (88,9%) aus, die am Ende ihrer Ausbildungszeit als Prozessleitelektroniker über kein ausreichendes Erklärungsmuster zur bleibenden Regeldifferenz verfügen (vgl. Tabelle 7). Damit bestätigt der Eingangstest die kognitionstheoretische Annahme, dass Funktionalität und Reichweite der im normalen Verlauf der bisherigen Ausbildung entwickelten mentalen Modelle zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen bei angehenden Prozessleitelektronikern für eine hinreichende Erklärung des komplexen Sachverhaltes „bleibende Regeldifferenz“ zu gering ist. Dies entspricht der Vorhersage von Hypothese 1.

Auf Grund des Fehlens von Kenntnissen in höherer Mathematik konnte sich kein geeignetes mentales Modell zum Verständnis komplexer regelungstechnischer Systemzusammenhänge entwickeln (vgl. Kapitel 4.2.1.2). Die angehenden Prozessleitelektroniker verfügen infolgedessen auch über keine ausreichende Modellvorstellung, um die dargelegten mathematischen Wirkungszusammenhänge komplexen Regelkreisverhaltens - selbst in ihrer einfachsten Form - beschreiben zu können. Ein funktionales mentales Modell, welches die Entstehung der bleibenden Regeldifferenz bei Regelung mit P-Regler an einer Strecke mit Ausgleich (hier P- und P-T₁-Strecke) hinreichend genau erklären kann, hat sich bei den Schülern nicht entwickelt.

Die für die Prüfung der Hypothese 2 relevanten Daten wurden ebenfalls zunächst mit Hilfe einer Häufigkeitsverteilung der Nachtestvariablen „Erklärung der bleibenden Regeldifferenz“, „Erklärung für das Verschwinden der bleibenden Regeldifferenz nach Einstellung des Arbeitspunktes“ und „Ergebnis - Ausgangstest“ ausgewertet. Anschließend wurde zur Prüfung der statistischen Signifikanz ein gepaarter T-Test bei abhängigen Stichproben (Mittelwertdifferenztest) für die drei genannten Variablen („a:_Erklärung_e_b“, „a:_Erklärung_für_Verschwinden_e_b_nach_Einstellung_von_AP“ sowie „Ergebnis_Ausgangstest“) berechnet.¹⁵¹

Die Auswertungen der Häufigkeitsverteilungen zeigen, dass nach der computergestützten Modellbildung und Simulation („Alternativer Zugang - CMS“) zehn statt der bislang vier Schüler eine ausreichende Erklärung für das Auftreten der bleibenden Regeldifferenz bei Regelung mit P-Regler aufweisen (vgl. Tabelle 8). Konnten sich die Schüler vor der Modellbildung („Alterna-

¹⁵¹ Das Verfahren eignet sich zum Testen der Hypothese, dass die Mittelwerte der beiden Grundgesamtheiten gleich sind, dass in Wahrheit also keine Mittelwertdifferenz vorliegt, beziehungsweise dass es nur eine einzige Grundgesamtheit gibt. Aufgrund der vorliegenden Datenstruktur besitzt das Ergebnis der statistischen Signifikanzprüfung genau genommen gleichwohl nur einen approximativen Aussagewert.

tiver Zugang - CMS“) das Verschwinden der Regeldifferenz nach Einstellung des Arbeitspunktes überhaupt nicht erklären, weisen jetzt 13 Schüler (36,1%) hierfür ein ausreichendes Erklärungsmuster auf (vgl. Tabelle 8). Die Tabellen 8 und 9 zeigen die Ergebnisse der Häufigkeitsverteilungen, die Tabellen 10 bis 15 die Ergebnisse der T-Tests.

a: Erklärung für e _b		Häufigkeit	Prozent	gültige Prozente	kumulierte Prozente
Gültig	weiss nicht	26	72,2	72,2	72,2
	korrekt	10	27,8	27,8	100,0
	gesamt	36	100,0	100,0	

Tabelle 8: Verteilung der Variablen „Erklärung der bleibenden Regeldifferenz“ aus dem Nachtest

a: Erklärung für Verschwinden e _b im AP		Häufigkeit	Prozent	gültige Prozente	kumulierte Prozente
Gültig	weiss nicht	23	63,9	63,9	63,9
	korrekt	13	36,1	36,1	100,0
	gesamt	36	100,0	100,0	

Tabelle 9: Verteilung der Variablen „Erklärung für das Verschwinden von e_b nach Einstellung des Arbeitspunktes“ aus dem Nachtest

		N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1	e: Erklärung für e _b & a: Erklärung für e _b	36	,373	,025

Tabelle 10: T-Test. Korrelation und Signifikanz bei gepaarten Stichproben

		gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					untere	obere			
Paaren 1	e:_Erklärung e _b – a:_Erklärung e _b	-,1667	,44721	,07454	-,3180	-,0154	-2,236	35	,032

Tabelle 11: T-Test bei gepaarten Stichproben. 2-seitige Signifikanzprüfung der Variablen „e/a:_Erklärung_für_e_b“

		gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwer- tes	95% Konfiden- zintervall der Differenz				
					untere	obere			
Paaren 1	Ergebnis_Ein- gangstest - Ergebnis_Aus- gangstest	1,5667	,80427	,13405	1,2945	1,8388	11,688	35	,000

Tabelle 12: T-Test bei gepaarten Stichproben: Signifikanzprüfung der Variablen „e/a: Erklärung für Verschwinden von e_b nach Einstellung des Arbeitspunktes“

		Mittelwert	N	Standardab- weichung	Standardfeh- ler des Mit- telwertes
Paaren 1	Ergebnis_Ein- gangstest	4,9750	36	,84291	,14049
	Ergebnis_Aus- gangstest	3,4083	36	1,14252	,19042

Tabelle 13: Statistik bei gepaarten Stichproben - Mittelwertevergleich der beiden Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“

		N	Korrelation	Signifikanz
Paaren 1	Ergebnis_Ein- gangstest & Ergebnis_Aus- gangstest	36	,711	,000

Tabelle 14: Korrelation und Signifikanz bei gepaarten Stichproben - Mittelwertevergleich der beiden Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“

Die Tabellen 10 bis 12 zeigen die Ergebnisse der Signifikanzprüfung. Alle drei gepaarten T-Testberechnungen weisen hinsichtlich der computergestützten Modellbildung und Simulation (CMS) einen signifikanten Effekt aus. Die Lernvoraussetzung „CMS“ führt zu statistisch signifikant besseren Leistungen beim Nachtest sowohl was die Reichweite der mentalen Modelle der Lernenden betrifft (vgl. Tabellen 10 und 11) als auch das Gesamtergebnis betreffend (vgl. Tabellen 13 und 14). Der „Alternative Zugang - CMS“ führt bei den Schülern insgesamt zu statistisch signifikant besseren Leistungen beim Nachtest im Vergleich zu den Vortestleistungen. Dies entspricht der Vorhersage von Hypothese 2.

Vor der Lernvoraussetzung CMS lag der Mittelwert der Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ bei einem Wert von 4,9750 (vgl. Tabelle 13). Dies entspricht recht exakt der Durchschnittsnote „Mangelhaft“. Bei dem Ausgangstest betrug der Wert der Durchschnittsnote 3,4083. Dies entspricht einem Notendurchschnittswert von „Schwach Befriedigend“. Daraus resultiert die statistisch signifikante Differenz von 1,5667, was ziemlich exakt einer durchschnittlichen Leis-

tungssteigerung je Schüler von eineinhalb Notenstufen im Ausgangstest entspricht (vgl. Tabelle 13).

Über die Darstellung im Streudiagramm lassen sich weitergehende Auswertungen der für die Prüfung der Hypothese 2 relevanten Daten vornehmen. Eine bivariate Verteilung der beiden Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“ zeigt bei den Schülern sehr anschaulich die Erhöhung der Reichweite ihrer mentalen Modelle. Bis auf zwei weisen alle von ihnen eine Verbesserung ihrer Testergebnisse auf (im Durchschnitt ca. 1,5 Notenstufen Steigerung). Abbildung 33 zeigt das Streudiagramm beider Variablen.

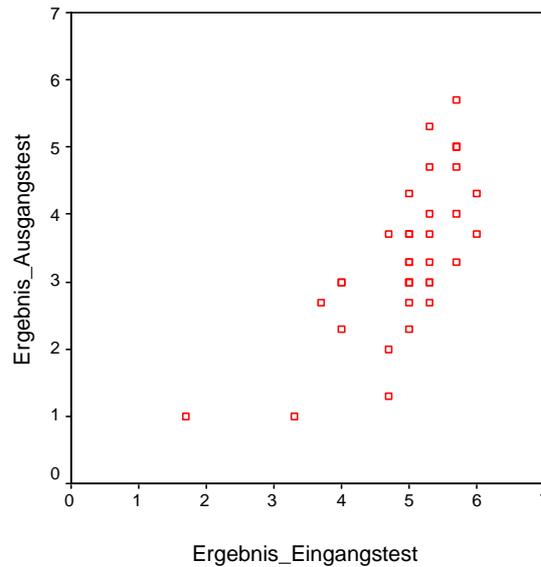


Abbildung 33: Bivariate Verteilung der Variablen „Ergebnis_Eingangstest“ und „Ergebnis_Ausgangstest“ als Streudiagramm

Die für die Prüfung der Hypothesen 3, 4 und 5 relevanten Daten wurden über eine univariate Varianzanalyse mit der Kovariate „Reichweite des mentalen Modells - Vortest“, den Faktoren „Mathematikleistung“ und „Selbsteinschätzung Mathematikleistung“ und der abhängigen Variablen „Reichweite des mentalen Modells - Nachtest“ ausgewertet. Diese Methode ist zudem geeignet, etwaige Wechselwirkungen zwischen den Faktoren aufzuzeigen. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse der Signifikanzprüfung.

Abhängige Variable: Ergebnis_Ausgangstest

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
korrigiertes Modell	25,145(a)	4	6,286	9,487	,000
konstanter Term	,712	1	,712	1,074	,308
E_ERGEBN	14,206	1	14,206	21,438	,000
NOT_M_BI	1,483	1	1,483	2,238	,145
SE_MA_BI	,012	1	,012	,018	,895
NOT_M_BI * SE_MA_BI	,242	1	,242	,366	,550
Fehler	20,542	31	,663		
gesamt	463,890	36			
korrigierte Gesamtvariation	45,688	35			

a R-Quadrat = ,550 (korrigiertes R-Quadrat = ,492)

Tabelle 15: Test der Zwischensubjekteffekte: Univariate Varianzanalyse mit den Faktoren „Mathematikleistung“ und „Selbsteinschätzung der mathematischen Fähigkeiten“ sowie der Kovariate „Reichweite des mentalen Modells - Vortest“

Die Varianzanalyse zeigt keinen statistisch signifikanten Einfluss ihrer beiden Faktoren auf die abhängige Variable. Damit ist kein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Mathematikleistung“ gegeben (vgl. Tabelle 15): Die Lernvoraussetzung „Mathematikleistung - gut/sehr gut“ führt nicht zu signifikant höheren Reichweiten der mentalen Modelle der Schüler und damit zu besseren Leistungen beim Nachtest als die Versuchsbedingung „Mathematikleistung - nicht gut“. Dies spricht gegen die Vorhersage von Hypothese 3. Sie kann damit nicht bestätigt werden. Es liegen auch keine Wechselwirkungen mit dem zweiten Faktor „Selbsteinschätzung Mathematikleistung - hoch“ vor (vgl. Tabelle 15): Bezüglich des Faktors „Selbsteinschätzung Mathematikleistung“ kann ebenfalls kein statistisch signifikanter Haupteffekt festgestellt werden, das heißt Hypothese 4 kann ebenfalls nicht bestätigt werden. Die Varianzanalyse zeigt lediglich einen statistisch signifikanten Einfluss der Kovariate „Reichweite des mentalen Modells - Vortest“ auf die Leistungen beim Nachtest (vgl. Tabelle 15). Dies spricht für Hypothese 5.

Insgesamt ist zum hypothesenprüfenden Teil der Untersuchung festzuhalten, dass nur die Hypothesen 1, 2 und 5, nicht aber die Hypothesen 3 und 4 bestätigt werden können. Deren Aussagen werden von den Daten in keiner Weise gestützt.

Zusätzlich zur Hypothesenprüfung wurden weitere explorative Analysen der Zusammenhänge zwischen der Variablen „Ergebnis_Ausgangstest“ sowie zwischen der Variablen „Reichweite mentales Modell“ der Schüler¹⁵² und den Variablen „Letzte Mathematiknote in der Berufsschule“, „Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen und mathematischen Fähigkeiten“ und dem erzielten „Ergebnis im Nachtest“ durchgeführt. Im einzelnen ergibt sich folgendes Bild:

1 Zur Kontrolle der Qualität und Güte von Ein- und Ausgangstest wurden Untersuchungen im Rahmen eines logistischen Regressionsmodells durchgeführt (vgl. Tabelle 16). Die Ergebnisse der Regression mit den Faktoren „Mathematiknote“, „Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen Fähigkeiten“, „Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten“, „Ergebnis - Eingangstest“ sowie der unabhängigen binären Variablen „a:_Erklärung_für_e_b“ zeigen statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Messvariablen („a:_Erklärung_für_e_b“) und der Aussagekraft des verwendeten Tests („Ergebnis-Eingangs-/Ausgangstest“). Aufgrund der statistisch signifikanten Beziehungen kann der entwickelte Test als brauchbares Maß für die Ermittlung der Reichweite der mentalen Modelle der Schüler angesehen werden. Tabelle 16 zeigt die wesentlichen Ergebnisse.

¹⁵² Gemessen über die Variable „e:_Erklärung für e_b“

		Regressi- onskoef- fizientB	Standard- fehler	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Schritt 1(a)	MATHENOT	2.031	1.292	2.471	1	.116	7.623
	SE_RT	.740	1.226	.364	1	.546	2.096
	SE_MATHE	1.263	.936	1.822	1	.177	3.535
	ERGEBNIS- AUSGANGSTEST	-.801	.401	3.993	1	.046	.449
	Konstante	-4.156	3.456	1.446	1	.229	.016

a In Schritt 1 eingegebene Variablen: MATHENOT, SE_RT, SE_MATHE, E_ERGEBN.

Tabelle 16: Logistische Regression mit vier Faktoren und einer unabhängigen binären Variablen

Die Berechnung repliziert im Ganzen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse (vgl. Tabelle 15) hinsichtlich ihrer beiden Faktoren „Mathematikleistung“ und „Selbsteinschätzung Mathematikleistung“ sowie den Leistungen im Ausgangstest (unabhängige Variable). Die Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells (vgl. Tabelle 16) bestätigen auf diese Weise explizit die Güte der entwickelten Tests: Sowohl der Ein- als auch der Ausgangstest besitzt eine hohe Aussagekraft für die Vorhersage der Reichweite der mentalen Modelle der Schüler im untersuchten Aufgabenzusammenhang. Die Faktoren „Mathematikleistung“ und „Selbsteinschätzung - Mathematik“ spielen hinsichtlich des Testergebnisses dagegen keine beeinflussende Rolle (vgl. Tabellen 15 und 16).

2 Da neben den bereits dokumentierten Effekten der Variablen „Alternative Lernvoraussetzung - CMS“ als Hauptfaktor für die Erhöhung der Reichweite der mentalen Modelle theoretisch auch noch andere Faktoren für die damit einhergehenden besseren Testergebnisse der Schüler vorstellbar sind, wurden weitere explorative Analysen über das Modell einer linearen Regression mit acht Faktoren („Erreichter Schulabschluss“, „Letzte Mathematiknote der allgemeinbildenden Schule“, „Letzte Zeugnisnote in Regelungstechnik“, „Letzte Note in Technischer Mathematik“, „Jobwunsch, später einmal in einem Aufgabengebiet der Regelungstechnik arbeiten zu wollen“, „Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen Fähigkeiten“, „Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen Fähigkeiten“, „Erklärung für die bleibende Regelabweichung“) und der unabhängigen Variablen „Ergebnis_Ausgangstest“ entwickelt. Tabelle 17 zeigt die berechneten Ergebnisse.

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	-5,928	3,806		-1,558	,131
	abschluss abs	,958	,755	,208	1,269	,216
	Mathenote abs	,474	,681	,101	,696	,493
	zeugnisnote regelungstechnik	-,195	1,007	-,042	-,194	,848
	zeugnisnote mathe bbs	,729	,684	,201	1,065	,297
	jobwunsch regelungstechnik	2,266	1,052	,336	2,154	,041
	se mathe	,790	,766	,190	1,031	,312
	se regelungstechnik	1,929	,736	,369	2,620	,015
	e: Erklärung für e_b	-3,387	1,580	-,316	-2,144	,042

a Abhängige Variable: Ergebnis_Ausgangstest

Tabelle 17: Lineares Regressionsmodell mit 8 Einflussfaktoren und der abhängigen Variablen „Ergebnis_Ausgangstest“

Das dargestellte Modell der linearen Regression zeigt für das Ergebnis der Nachttestleistungen (abhängige Variable) und den neun Einflussfaktoren statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen

- der „Selbsteinschätzung der eigenen regelungstechnischen Fähigkeiten“
- der „Reichweite des mentalen Modells“¹⁵³
- dem „Berufswunsch, später einmal in einem Tätigkeitsfeld der Regelungstechnik beschäftigt sein zu wollen“

und dem erzielten „Gesamtergebnis im Nachttest“ (vgl. Tabelle 17). Es konnte jedoch weder ein Zusammenhang zwischen dem erreichten Schulabschluss beziehungsweise den damit verbundenen Mathematikleistungen in der allgemeinbildenden Schule und den Nachttestleistungen festgestellt (werden), noch konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen den letzten Zeugnisnoten in Technologie sowie in Technischer Mathematik im regelungstechnischen Unterricht der Berufsschule und den Nachttestleistungen aufgezeigt werden (vgl. Tabelle 17).

3 Die Auswahl der Stichprobe der Fachschüler (Semi-Experten) als Referenzgruppe zur Stichprobe der angehenden Prozessleitelektroniker erweist sich insgesamt als nicht so aussagekräftig wie erwartet. Die künftigen Staatlich geprüften Techniker erbringen zwar im Vergleich zu den Prozessleitelektronikern erwartungsgemäß bessere Ergebnisse hinsichtlich ihrer Leistungen im Eingangstest (vgl. Tabelle 18): Der durchschnittliche Mittelwert der erzielten Leistung im Eingangstest liegt bei 2,7 und damit um mehr als zwei Notenstufen über dem Durchschnittswert der Eingangstestleistungen der Berufsschüler beziehungsweise um immerhin noch fast einer ganzen Notenstufe über dem Durchschnittswert der Nach-Testleistungen der

¹⁵³ Gemessen über die Variable „e: Erklärung für e_b “

Prozessleitelektroniker. Nimmt man allerdings weitere Vergleichsvariablen hinzu („e:_Erklärung_für_e_b“, „e:_Erkl_verschw_e_b“), dann zeigt sich, dass die Messergebnisse aus der Stichprobe der Fachschüler nicht wie erwartet deutlich ausfallen (vgl. Kapitel 4.2.1.2). Die im Vergleich zu den angehenden Prozessleitelektronikern vorausgesagte hohe funktionale Reichweite der mentalen Modelle der Fachschüler lässt sich nur partiell aufzeigen.

Eine nähere Betrachtung der Daten legt allerdings die Vermutung nahe, dass nur aufgrund der vorliegenden insgesamt relativ geringen Berufserfahrung bei etwa der Hälfte der Fachschüler und der dadurch bedingt unerwartet kurzen Praxiszeit seit Abschluss der beruflichen Erstausbildung (weniger als 5 Jahre!) keine erwartete hohe Reichweite ihrer mentalen Modelle gemessen werden konnten. Etwa $\frac{3}{4}$ aller Schüler aus der Stichprobe der Semi-Experten sind jünger als 25 Jahre. In dieser Altersgruppe ist eine ausreichende Berufserfahrungen zum Aufbau elaborierter mentaler Modelle eher unwahrscheinlich.¹⁵⁴ Insgesamt gaben nur sechs Fachschüler von sich selbst an, eine hinlängliche regelungstechnische Berufserfahrung zu besitzen. Das im Laufe von fünf bis zehn Berufsjahren im Umgang mit prozessleitetechnischen Anlagen aufgebaute Arbeitsprozesswissen sowie die damit verbundene Reichweite der mentalen Modelle ist jedoch vermutlich erheblich größer als es sich bei dieser Stichprobe zeigt. Es ist deshalb naheliegend davon auszugehen, dass ihnen bei entsprechender Berufserfahrung der Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemen leichter möglich gewesen wäre als es der Eingangstest ausweist.

Es lässt sich zwar zeigen, dass die entsprechenden Eingangstestleistungen der Fachschüler mit ausreichender Berufserfahrung besser sind als jene der Schüler, die unter dem geforderten Maß an Berufserfahrung liegen. Berechnungen auf der Basis dieser sehr kleinen Stichprobe besitzen allerdings infolge der geringen internen Validität der Daten keine große statistische Aussagekraft. Auch statistische Berechnungen auf Basis eines Regressionsmodells konnten hinsichtlich der im Eingangstest erbrachten Leistungen keine weiteren signifikanten Effekte anderer Einflussfaktoren (zum Beispiel Selbsteinschätzung der eigenen mathematischen oder regelungstechnischen Fähigkeiten, Einschätzung des eigenen Ausbildungserfolges, Geschlecht, spezifisches deklaratives regelungstechnisches Wissen) aufzeigen als dem des im Umgang mit prozessleitetechnischen Anlagen in den vergangenen Jahren aufgebauten Arbeitsprozesswissens bei den Fachschülern.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Ergebnis_Eingangstest	12	2,7000	,88626	,25584

Tabelle 18: T-Test: Statistik bei der Stichprobe der Leistungen der Fachschüler im Abschluss-test

Insgesamt ist zum zusätzlichen explorativen Teil der Untersuchung festzuhalten, dass für den Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemen in der beruflichen Ausbildung neben dem beobachteten Haupteffekt „Computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS)“ nur noch die Selbstwirksamkeitserwartung der Schüler hinsichtlich ihren eigenen regelungstechni-

¹⁵⁴ Es zeigte sich, dass die Fachschüler mit einer nur geringen Berufserfahrung nach Abschluss der beruflichen Erstausbildung direkt ihre fachschulische Ausbildung in Teilzeitform begonnen haben. Schüler von Teilzeitbildungsgängen müssen erst bei der Zulassung zur Abschlussprüfung die geforderten fünf Jahre Berufserfahrung nachweisen.

schen Fähigkeiten als auch die Motivation des Berufswunsches, später einmal in einem Aufgabenbereich der Regelungstechnik arbeiten zu wollen, einen statistisch signifikanten Effekt auf die besseren Nachttestleistungen bei den Prozessleitelektronikern aufweisen. Die schulischen Noten, sowohl der allgemeinbildenden als auch der Berufsschule, scheinen in diesem Zusammenhang keine Aussagekraft zu besitzen. Diese Befundlage ist insoweit von Interesse, als sie mit aktuellen Forschungszielen und -fragen auf dem Gebiet der Befähigung zur Selbstregulation (vgl. BAUMERT ET AL. (1999), BREUER/EUGSTER 2004, BREUER/BRAHM 2004) beziehungsweise der (Selbst-)Motivationsforschung (vgl. KRAPP 1999, STRAKA 2000, LEUTNER/LEOPOLD 2003) beim kompetenzorientierten Lernen in Zusammenhang gebracht werden können. Fasst man Lernen aus konstruktivistischer oder aus instruktionspsychologischer Perspektive als individuelle zielorientierte Handlung zum Kompetenzerwerb auf (vgl. WEINERT 1982, 1994, 1998a, LEUTNER 1998), dann kommt den motivationalen Voraussetzungen beim Lernen eine besondere Bedeutung zu. Diese Bedeutung zeigt sich nicht zuletzt auch in einer verstärkten Forschungstätigkeit während der letzten Jahre im deutschsprachigen Raum (vgl. SCHIEFELE 1996, WEINERT 1996a, KRAPP 1999).¹⁵⁵ Dabei werden motivationalen Aspekten des Lernens eine nicht zu unterschätzende Funktion beigemessen. LEUTNER ET AL. (2001, S. 156) weisen in diesem Zusammenhang auf entsprechende Forschungsergebnisse hin, die explizit zwischen kognitiver und motivationaler Selbstregulation beim Lernen unterscheiden, „wobei letztere sich [...] auf motivationale Überzeugungen (z. B. Zielorientierung), auf Motivierungsstrategien (z. B. Erzeugen einer Lernabsicht) und auf motivationale Regulationsstrategien (z. B. Einhalten eines Handlungsplans auch unter widrigen Umständen) bezieht“. Diese Untersuchungen sind deshalb von Interesse, da sie nicht nur die zugrunde liegenden Mechanismen der Fähigkeit zur Selbstmotivation und zur Selbstregulation zu modellieren versuchen, sondern davon ausgehen, dass diese Fähigkeiten durch entsprechendes Training von Jedermann zu erwerben sind, wobei neben der kognitiven Selbstregulation auch die motivationale Selbstregulation explizit trainiert werden kann.

Selbstmotivation und -regulation bilden einen wichtigen Bestandteil bereichsübergreifender Kompetenzen (vgl. Kapitel 2.1 f.), weshalb es wichtig erscheint, entsprechende Befähigungen im Rahmen der beruflichen Ausbildung mit zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund besitzen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse neben ihrer theoretischen auch noch eine praktische Relevanz. Geht man von der prinzipiellen Erlernbarkeit einer Motivationsstrategie aus, so ist darin eine Unterstützung im Sinne des in dieser Arbeit dargelegten Untersuchungsgegenstandes zu sehen: Gelingt es also im Ganzen, die motivationalen Aspekte der Berufsausbildung zu verbessern, so hat man insgesamt eine gute Chance, die Qualität der Ausbildung vor dem Hintergrund der Entwicklung und Förderung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen zu erhöhen. Bezüglich der Gestaltung von Lernumgebungen zur Förderung einer Problemlösekompetenz für den erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen ist davon auszugehen, dass es sinnvoll und erforderlich ist, neben dem Erwerb des hierzu notwendigen Wissens (als Grundlage einer bereichsübergreifenden Kompetenz) auch den zielführenden Einsatz der zugrunde liegenden motivationalen und selbstregulativen Strategien gleich mit zu trainieren. Die weitergehenden Untersuchungen motivationaler und selbstregulativer Strategien im Zusammenhang mit der Entwicklung und Förderung bereichsübergreifender Kompetenzen scheint daher auch in Zukunft eine interessante und vielversprechende Forschungsaufgabe zu bleiben.

¹⁵⁵ Für einen umfassenden Überblick der aktuellen Forschungsdebatte wird auf die ausführliche Diskussion in BAUMERT (1993), ARTELT (2000), LEUTNER/LEOPOLD (2003) und BREUER/EUGSTER (2004) verwiesen.

4.2.5 Diskussion

Die Ergebnisse der quasiexperimentellen und explorativen Untersuchung unterstützen die aus unterrichtspraktischen Fragestellungen abgeleitete und kognitionstheoretisch begründete These, dass es angehenden Prozessleitelektronikern schwer fällt, mentale Modelle mit ausreichend hoher Reichweite zum Verständnis komplexer regelungstechnischer Systemzusammenhänge zu entwickeln (vgl. Hypothese 1). Bezüglich der Variablen „Alternativer Zugang - CMS“ konnte insgesamt ein statistisch signifikanter Haupteffekt festgestellt werden. Dies spricht für Hypothese 2. Der Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemen beziehungsweise zu komplexem regelungstechnischen Systemverhalten ist Lernenden, die über keine Kenntnisse in höherer Mathematik verfügen, mit computergestützter Modellbildung und Simulation (CMS) prinzipiell möglich. Die Reichweite ihrer mentalen Modelle lässt sich hierdurch statistisch signifikant erhöhen. Damit stellt CMS, wenn es um die Entwicklung eines komplexen technischen Systemverständnisses in der Berufsschule geht, grundsätzlich eine didaktische Alternative zur fehlenden höheren Mathematik dar.

Keinen statistisch signifikanten Einfluss erbrachte die Varianzanalyse mit ihren beiden Faktoren „Mathematikleistung“ und „Selbsteinschätzung der eigenen Mathematikleistung“ auf die abhängige Variable. Beide Lernvoraussetzungen führten bei den Schülern nicht zu signifikant höheren Reichweiten ihrer mentalen Modelle beziehungsweise zu besseren Leistungen beim Nachtest. Dies spricht gegen die Vorhersage der Hypothesen 3 und 4, die nicht bestätigt und deren Aussagen von den Daten in keiner Weise gestützt werden konnten. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass CMS nicht nur Schülern mit guten Leistungen in Mathematik einen Zugang zu komplexen technischen Systemen bietet, sondern dass es grundsätzlich allen Schülern - unabhängig von ihren mathematischen Fähigkeiten - möglich ist, entsprechende funktionale mentale Modelle mit ausreichend großer Reichweite zum erfolgreichen Umgang mit komplexem Systemverhalten in prozessleittechnischen Anlagen zu entwickeln. CMS stellt auf diese Weise ein geeignetes alternatives didaktisches Werkzeug dar zur unterrichtlich sonst üblichen mathematischen Modellbildung bei der Beschreibung regelungstechnischen Systemverhaltens.

Ungeklärt bleibt leider, woher die vier Schüler, denen der Eingangstest eine hinreichende Reichweite ihrer mentale Modelle bescheinigte und die nachweislich über ein ausreichendes Erklärungsmuster zur bleibenden Regeldifferenz verfügen, dieses Wissen bezogen haben beziehungsweise wie sie überhaupt entsprechend elaborierte mentale Modelle entwickeln und aufbauen konnten. Es können lediglich Vermutungen angeführt, jedoch keine empirisch begründeten Aussagen getroffen werden, wieso sich deren mentale Modelle ausreichend weit entwickelt haben und ihnen ein Zugang zu komplexen regelungstechnischen Systemzusammenhängen damit möglich war. Eine derart detaillierte Analyse war weder Ziel der Untersuchung noch innerhalb der gegebenen Rahmenbedingungen - Einbindung der Untersuchung in den laufenden Schulbetrieb - möglich. Sie muss weiterführenden Forschungen zu der hier zur Diskussion stehenden Fragestellung überlassen bleiben.

Einschränkend sei an dieser Stelle abschließend betont, dass die interne Validität der Untersuchung nicht überschätzt werden darf, da auf eine parallele Untersuchung einer Kontrollgruppe aus den bekannten Gründen verzichtet werden musste und insgesamt der Stichprobenumfang aufgrund der Forderung nach größtmöglicher Homogenität der Lerngruppe verhältnismäßig klein ausgefallen ist. Daneben war die Benutzung einfacher Differenzmessungen als Indikatoren von Veränderung innerhalb von Stichproben in der Vergangenheit oft heftiger

Kritik ausgesetzt. Der zentrale Kritikpunkt betraf dabei die mangelnde Reliabilität solcher Messungen. Diese Auffassung wird heute jedoch von vielen Forschern als überholt oder revisionsbedürftig angesehen (vgl. BORTZ/DÖRING 1995, S. 516), da die Reliabilität solcher Differenzmaße nicht ausschließlich vom Maß der Reliabilität der Merkmalerfassung, sondern insgesamt auch von anderen Einflussgrößen abhängt. Für die Kontrolle von Veränderungshypothesen im Zusammenhang mit quasiexperimentellen Untersuchungen lässt sich deshalb folgern, dass man zwar in verstärktem Maße auf einfache Pretest/Posttest-Pläne beziehungsweise - wie im vorliegenden Fall dieser Arbeit - auf Pläne mit nur zwei Messungen (aus Gründen der Erhöhung der Reliabilitätswerte) verzichten und stattdessen Untersuchungspläne mit mehr als zwei Messzeitpunkten vorsehen sollte. „Falls aus untersuchungstechnischen Gründen Pläne mit mehr als zwei Messzeitpunkten nicht umsetzbar sind, ist gegen die Verwendung einfacher Differenzmaße als Veränderungsindikator nichts einzuwenden.“ (Ebd., S. 517)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde ferner auf die explizite Festlegung von Effektgrößen verzichtet. Diese werden häufig bei Untersuchungen, bei denen es um die Überprüfung der Wirksamkeit durchdachter Maßnahmen und Interventionen geht, speziell als eine an Nützlichkeitsabwägungen orientierte Mindestwirkung der Maßnahme als Zielvorgabe im Untersuchungsplan festgeschrieben. Dieser wesentliche Vorteil einer Effektgrößenbestimmung kommt im vorliegenden Fall allerdings nicht zum Tragen, da der Stichprobenumfang von sehr homogenen Lerngruppen nicht beliebig vergrößert werden kann beziehungsweise als unveränderlich angesehen werden muss (vgl. Kapitel 4.2.1.2). Folglich können berechnete Mindestgrößen für Stichproben auch nicht an geforderte Effektstärken angepasst werden. Da die vorliegende Untersuchung vordergründig nicht ausschließlich hypothesenprüfenden, sondern darüber hinaus auch hypothesengenerierenden Charakter besitzt, bleibt die Bestimmung von Effektgrößen weiteren experimentellen Untersuchungen vorbehalten.

Hinzu kommt, dass im Unterschied zu Hypothesen mit berechneten Effektgrößen, die an Stichproben geprüft werden, deren Umfänge den Rahmenbedingungen der Fragestellung genau entsprechen, Hypothesen ohne festgelegte Effektgrößen an Stichproben überprüft werden, für deren Größe es, wie im Falle der vorliegenden Stichprobe, keine verbindlichen Kriterien gibt. Die interne Validität derartiger Ein-Gruppen-Pläne zur Überprüfung effektbedingter Veränderungen ist daher von vornherein als gering einzustufen (vgl. Ebd., S. 514), zumal, wenn wie bei der durchgeführten Untersuchung, die verändernde Wirkung des „Treatments“ (hier „Alternativer Zugang - CMS“) durch den Vergleich einer Experimentalgruppe mit einer „nicht-behandelten“ Kontrollgruppe nicht überprüft werden konnte. Für diese Untersuchung heißt das, dass bei dem vorhandenen sehr eingeschränkten Stichprobenumfang von vornherein nur von schwachen Effektstärken ausgegangen werden kann. Dies wurde beim Aufstellen des Untersuchungsplans für diese Studie hingegen in Kauf genommen, weil dafür andere, sehr günstige Kriterien bei der Auswahl der Stichprobe vorlagen (hochgradige Homogenität der Lerngruppe) und im Sinne der pädagogischen Ausgangsfragestellung überwogen haben.

Im Ganzen bleibt festzuhalten, dass computergestützte Modellbildung und Simulation (CMS) ein hohes Potenzial zur Förderung des erfolgreichen Umgangs von Prozessleitelektronikern mit komplexen regelungstechnischen Systemeigenschaften aufweist. Für das Erfassen dieser komplexen Systeme im Unterricht der Berufsschule scheint CMS für die Lernenden eine notwendige Voraussetzung zu sein. In Verbindung mit dem Wechsel der unterrichtlichen Verwendung (vgl. Kapitel 3.2.1.3) - vom üblicherweise rein experimentellen Einsatz (als Ersatz für das Lernen an beziehungsweise mit realen verfahrenstechnischen Anlagen) hin zu einer explorativen oder expressiven Benutzung - stellt sie für Schüler ein geeignetes didaktisches Arbeitsmit-

tel zum Aufbau funktionaler mentaler Modelle mit hoher Reichweite dar, welches ihnen die Bewältigung kognitiv komplexer Situationen ermöglicht.

Viele Autoren schreiben aus diesen Gründen den mit computergestützter Modellbildung und Simulation verbundenen unterrichtlichen Funktionen die Möglichkeit zu, komplexe Wissenskonstruktionen aufzubauen. Zu den wesentlichen Kriterien - vor dem Hintergrund des Umgangs mit komplexen technischen Systemen - zählen dabei „zum einen die Möglichkeit, Formen und Organisation des gespeicherten Wissens zu verändern und neue Strukturen zu schaffen, zum anderen die Möglichkeit, individuelle Wissenserwerbsprozesse des Lernens zu fördern und schließlich die Möglichkeit, metakognitive Prozesse des Lerners zu berücksichtigen“. (GERSTENMAIER/MANDL 1995, S. 882) Für die Lernenden wird CMS damit zu einem Werkzeug, mit dem kognitive und metakognitive Prozesse, die zum Erschließen von komplexen technischen Systemen beziehungsweise zum erfolgreichen Handeln im Umgang mit prozessleittechnischen Anlagen notwendig sind, befördert werden können (vgl. Kapitel 3.2). Als kognitives Werkzeug fördert es die aktive Auseinandersetzung der Lernenden mit komplexen regelungstechnischen Systemeigenschaften und ermöglicht tiefer gehende kognitive Prozesse, die ohne CMS in dieser Qualität kaum erreichbar wären.

5 Diskussion und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der Arbeit

Die Untersuchung zum Verständnis der Entwicklung einer Problemlösekompetenz zum erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen diente nachfolgenden unterrichtlichen Funktionen: Sie trug dazu bei,

- Zielvorstellungen in diesem Bereich zu präzisieren;
- Methoden und Modelle bereitzustellen, die es erleichtern, Aspekte dieser fachübergreifenden und Fächer verbindenden Kompetenzen zu erkennen und zu überprüfen;
- Wechselwirkungen zwischen fachlichem und überfachlichem Lernen sowie zugehörigen kognitiven, metakognitiven und motivationalem Verhalten zu untersuchen, die in der gängigen berufspädagogischen Unterrichtsforschung bislang nur wenig Berücksichtigung fanden;
- ein realistisches Bild der unterrichtlichen Förderbarkeit einer komplexen Problemlösekompetenz durch geeignete instruktionale Maßnahmen sowie der Gestaltung entsprechender Lernumgebungen zu entwickeln;
- in einzelnen Punkten, vor allem bei der Entwicklung eines alternativen Zugangs zu komplexen regelungstechnischen Systemen, konkrete Anhaltspunkte zu geben und greifbare Hinweise für Aufbau und Entwicklung entsprechender mentaler Modelle mit ausreichend hoher Reichweite für den erfolgreichen Umgang mit komplexem Systemverhalten zu liefern.

Bereits zu Beginn der ersten Recherche-Arbeiten zu fachübergreifenden und Fächer verbindenden Kompetenzen wurde sehr schnell deutlich, dass dieses Thema nicht isoliert und technisch zu behandeln war, sondern auch in den Kontext der zur Zeit stattfindenden Bildungsreformen zu stellen ist. Dabei wird versucht, Kompetenzen so zu gestalten und in den Unterricht berufsbildender Schulen zu integrieren, dass sich im Unterricht eine Vision von Bildungsprozessen abzeichnet, eine moderne „Philosophie“ der Unterrichtsfächer, eine Entwicklungsperspektive für die Fähigkeiten von Schülern, damit das Konzept der Entwicklung und Förderung fachübergreifender und Fächer verbindender Kompetenzen selbst zum Motor der pädagogischen Entwicklung der Schulen wird. Bereichsübergreifende Kompetenzen, wie sie hier verstanden werden, „tragen mit dazu bei, dass pädagogische Schulentwicklung sich an klaren, verbindlichen Zielen orientiert und aus Ergebnissen systematisch lernt“. (KLIEME ET AL. 2003, S. 9)

Die Ausführungen zur Entwicklung und Förderung einer Problemlösekompetenz haben am Beispiel des Umgangs mit komplexen regelungstechnischen Systemen gezeigt, dass fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen, bei Heranziehung geeigneter kognitionspsychologischen Forschungen, in der Tat vergleichsweise präzise dargestellt und erfasst werden können.¹⁵⁶ Gleichwohl können die konzeptionellen, diagnostischen sowie didaktischen und methodischen Fragen, die mit der Entwicklung und Förderung entsprechender bereichsübergreifende Kompetenzen verbunden sind, keinesfalls als gelöst angesehen werden. Anspruch und Wirklichkeit klaffen in der gegenwärtigen Diskussion nach wie vor weit auseinander.

¹⁵⁶ KLIEME/A TELT/STANAT weisen im Zusammenhang mit den Ergebnissen zu verschiedenen im Rahmen der bei Arbeiten zu PISA eingesetzten Problemlöseinstrumente darauf hin, „dass schriftliche Aufgaben, die möglichst wenig spezifisches Wissen voraussetzen, in der Tat primär schlussfolgerndes Denken erfassen. Die computergestützten Szenarios, vor allem die daraus gewonnenen Prozess- und Strategiemaße, bilden hingegen eigenständige Kompetenzen ab. Insgesamt ergibt sich die Problemlösekompetenz als Profil, zu dem das analytische Problemlösen ebenso gehört wie dynamisches Problemlösen in verschiedenen Kontexten.“ (KLIEME/A TELT/STANAT 2001, S. 209)

der. So ist offensichtlich geworden, dass die komplexe Problemlösekompetenz durch lediglich einen einzigen, umfassenden Indikator nicht bestimm- beziehungsweise darstellbar ist. Die Befähigung zum Lösen komplexer Probleme ist jeweils nur in einem Bündel einzelner Kompetenzen darstellbar. Im konkreten Einzelfall ist jedoch recht gut beschreibbar, welche Komponenten zu diesem Bündel gehören. Eine allgemeine, Domänen unabhängige komplexe Problemlösekompetenz, die in spezifischen Kontexten und unterschiedlichen Berufsfeldern flexibel eingesetzt werden könnte, gibt es nicht. Der Grund liegt darin, dass Wissen als auch Fähigkeiten und Kompetenzen kontextgebunden sind. Erst über mannigfaltige und zeitintensive Einübungen können sie zunehmend bereichsübergreifend verallgemeinert werden.

Was die Theoriebildung zum komplexen Problemlösen als fachübergreifende und Fächer verbindende Kompetenz betrifft, so ist dem gegenwärtigen Stand der Diskussion anzumerken, dass hier ein mannigfacher Forschungsgegenstand mit Modellen und Vorstellungen aus verschiedenen Forschungstraditionen aufgerufen wird, zum Beispiel aus Strömungen der Problemlöse-, der Denk-, der Wissens-, der Handlungs-, der Persönlichkeits-, der Expertise- und der Kognitionstheorie. Jedes einzelne dieser Konzepte hat für sich betrachtet integrierende Beiträge zum Verständnis des Lösens komplexer technischer Probleme geleistet. Aber teilweise fällt es schwer, die unterschiedlichen Konzeptionen voneinander abzugrenzen und zu zeigen, worin der jeweils eigenständige Beitrag besteht. Auch wenn in dieser Arbeit nicht für eine Einheitstheorie zum komplexen Problemlösen plädiert wird, so wäre doch zu wünschen, "dass in verstärktem Maße Operationalisierungen unterschiedlicher theoretischer Konzepte in ein und derselben Untersuchung eingesetzt werden, um im Sinne konvergenter und diskriminativer Validierung zu ermitteln, wo Redundanzen bestehen und es unter Umständen sinnvoll ist, verschiedene theoretische Konstrukte zusammenzufassen". (FRIEDRICH/MANDL 1997, S. 274)

In komplexen Situationen handlungsfähig zu sein beziehungsweise mit komplexen Problemen erfolgreich umgehen zu können scheint weniger eine Funktion des erworbenen Wissens zu sein als vielmehr der Art des Wissenserwerbs. Nur wer neben der sachlogischen Systematik des Wissens auch die situativen Kontexte möglicher Anwendungssituationen mitgelernt hat, erhöht damit die Wahrscheinlichkeit, dass es im Umgang mit komplexen technischen Systemen in beruflichen Kontexten variabel und kreativ angewandt wird (vgl. WEINERT 1998a). Die Frage, wie entsprechende Lernumgebungen zu gestalten sind, um eine komplexe Problemlösekompetenz zu entwickeln - eher systematisch oder verstärkt situiert -, konnte daher nicht eindimensional beantwortet werden. Erforderlich erscheint bei der Gestaltung beides zu sein: Die Förderung des Erwerbs systematisch-symbolischen als auch des situiert-anwendungsbezogenen Wissens sowie den damit einhergehenden metakognitiven Kompetenzen. Um den Transfer von Wissen in komplexe technische Aufgaben- und Problemstellungen hinein zu ermöglichen, müssen die Schüler auf jeden Fall das hierzu relevante Wissen aktiv, kreativ und vor allem situiert erwerben. Zu diesem Zweck ist die Einbettung der komplexen Aufgaben- und Problemsituationen in authentische Lernumgebungen besser geeignet als der traditionelle Unterricht. In komplexen, authentischen und in soziale Situationen mit „transdisziplinären Aufgabenstellungen und variablen Erfolgskriterien“ (vgl. Ebd., S. 116) eingebettete Lernumgebungen findet die Anwendung des Gelernten sehr viel besser statt.

Das allgemeine Trainieren beziehungsweise direkte unterrichtliche Erlernen einer komplexen Problemlösekompetenz erscheint aus heutiger Sicht daher unrealistisch. „Realistisch ist es hingegen, bestimmte Strategien, wie etwa Analogiebildung und kombinatorisches Denken, die Nutzung von kognitiven Werkzeugen (zum Beispiel Diagrammen) oder Techniken der Selbst-

steuerung dadurch zu fördern, dass man sie immer wieder, an konkrete Inhalte geknüpft, in Unterrichtssituationen thematisiert.“ (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 209) Für die Gestaltung von Unterricht zur Förderung einer Problemlösekompetenz zum erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Aufgaben- und Problemstellungen erscheint daher die Lernform des „Situierens“ paradigmatisch. Die Ergebnisse dieser neueren Lehr-Lernforschung betonen insbesondere die Selbststeuerung im Prozess des Lernens. Selbstgesteuerte Lernprozesse begünstigen den Erfolg im Lernen durch starken Anwendungsbezug, Orientierung an realen beruflichen Problemstellungen sowie aktiver Beteiligung der Lernenden. Die Möglichkeit der Einbeziehung eigener Erfahrungen beim situieren Lernen erzeugt zudem bei Schülern eine hohe Lernmotivation und verleiht diesem einen individuellen Sinn. Methodisch misst das Situierte Lernen dem Arbeiten in Projekten einen hohen Stellenwert bei. Projekte stellen die unterrichtliche „Großform“ dar für kompetenzorientiertes Lernen unter Einbeziehung der eigenen Erfahrungen: „Lernen im Kontext von Projekten ist eine privilegierte Form verständnisintensiven Lernens. Dieses betont Prozesswissen statt Tatsachenwissen. [...] Lernsituationen werden von Situationen der Leistungsbewertung getrennt und diese situationspezifisch, aufgabenspezifisch, personen- und gruppenspezifisch ausdifferenziert.“ (EDELSTEIN/DE HAAN 2003, S. 10)

Bei der unterrichtlichen Ausgestaltung der Projekte wird viel Gewicht auf Authentizität und Komplexität der Lernumgebungen gelegt, wogegen Vertreter traditioneller Unterrichtsformen gute Argumente dafür haben, dass die Verwendung vereinfachter Kontexte für anfängliches Lernen oft effektiver ist.¹⁵⁷ Es kann davon ausgegangen werden, dass der Wissenserwerbsprozess in unterschiedlichen Phasen abläuft, von denen sich jede durch spezifische Wissens- und Fertigungsstufen auszeichnet (vgl. JONASSEN ET AL. 1993). Traditionelle Unterrichtsformen, die sich durch sehr strukturierte Lernumgebungen auszeichnen, sind demzufolge vermutlich besser dazu in der Lage, die Bedürfnisse von Lernenden im Anfängerstadium zu erfüllen, wenn diese noch nicht über ein ausreichendes Maß an Wissen verfügen, um weitere individuell bedeutsame Wissenskonstruktionen zu bilden. In späteren Stadien geht es dann darum, fortgeschrittenes Wissen zu erwerben, um authentische, komplexe und kontextunabhängige Probleme lösen zu können. Hier sollten die Potenziale problemorientierter Ansätze zu Unterstützung der Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz konsequenter als bislang zu beobachten verfolgt werden.

Die Nutzung theoretischer Modelle des Lehrens und Lernens gestaltet sich in der schulischen Praxis zur Zeit noch in vielerlei Hinsicht schwierig. Ein Grund hierfür scheint darin zu liegen, dass die dargestellten praktischen Probleme sowohl in traditioneller als auch in konstruktivistischer Weise darauf hinweisen, dass vor allem theoretische Einseitigkeiten für das praktische unterrichtliche Lehr-Lerngeschehen problematisch sind. Ungeachtet der einseitigen sowie der dargestellten Vielfalt in der Formgebung bei der Gestaltung von Lernumgebungen zur Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz ist gleichwohl so etwas wie eine gemeinsame begriffliche Lösung erkennbar: Die Lernumgebungen stimmen im wesentlichen darin überein, dass die Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz ein aktiver, an komplexen authentischen Situationen oder Problemstellungen anknüpfender Prozess ist, der das Vorwissen der Lernenden in Rechnung stellt und der möglichst in kollektiver Sozialform organisiert wird. Zu den bedeutenden Vertretern konstruktivistischer Entwürfe von Lernsituationen im Zusammenhang mit der Förderung angesprochener Problemlösekompetenz zählen der Anchored

¹⁵⁷ Etwa beim Fremdspracherwerb (TRIPP 1993)

Instruction-Ansatz, die Cognitive Flexibility-Theorie und das Cognitive Apprenticeship-Konzept. Vor dem Hintergrund der diskutierten Kritik an den zum Teil radikal-konstruktivistischen Lernvorstellungen nimmt die Bedeutung und die Akzeptanz dieser drei pragmatischen beziehungsweise gemäßigt konstruktivistischen Konstruktionsprinzipien für die Förderung komplexer Problemlösekompetenzen zu. Sie weisen Lernen als persönliche Konstruktion von Bedeutungen aus, welche eine hinreichende Wissensbasis benötigt. Ihr Aufbau bedarf insbesondere der Anleitung und Unterstützung durch die Lehrenden. Diese Auffassung vereinigt kognitivistische, vom Vorzug der Instruktion und einer aktiven Lehrerposition ausgehende Elemente mit konstruktivistischen Bestandteilen, die eigenständige Konstruktion und eine aktive Lernerrolle hervorheben.

Für die Lehrer der berufsbildenden Schule liegt es aus den genannten Gründen nahe, angesichts der bislang ungelösten praktischen Probleme und Anforderungen bei der Gestaltung ihres Unterrichts eine pragmatische Perspektive einzunehmen, ohne dabei gleichzeitig einer der unzähligen Sammlungen von Handlungsanleitungen zu verfallen. Für eine effektive und pragmatische Gestaltung von Lernumgebungen, so haben die Ergebnisse dieser Arbeit aufzeigen können, ist es weniger wichtig, dass jederzeit alle möglichen pädagogischen und psychologischen Neuerungen aufgegriffen und umgesetzt werden. „Gesunder Menschenverstand“ und „pragmatische Vernunft“ (WEINERT 1996a) sowie „Intuition, Erfahrung und ein Gespür für die konkrete Situation“ (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 1997) spielen bei der unterrichtlichen Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz eine nicht zu unterschätzende Rolle. In der aktuellen erziehungswissenschaftlichen Diskussion ist daher jenen Autoren bezupflichten, für die vielmehr entscheidend ist, dass die Auswahl von didaktischen Grundorientierungen und Methoden in Abhängigkeit der aktuellen situativen Lernbedingungen, den Lernvoraussetzungen der Schüler sowie in Abhängigkeit der Lerninhalte und -ziele zu treffen ist. Egal welche theoretische Struktur der gewählten Lernumgebung zugrunde liegt (problem-, systemorientiert oder adaptiv), sie alle besitzen und weisen unter den jeweils passenden Umgebungsbedingungen ihre eigenen spezifischen Indikationen auf, um einen komplexen Problemlöseprozess optimal unterstützen zu können. Dies erfordert von den Lehrenden allerdings mehr als methodisch-didaktische Fertigkeiten, die auf Fachwissenschaftlichkeit und Fachsystematik gründen. Es erfordert von ihnen „Erfahrungswissen und strategische Fähigkeiten“ (LEINHARDT 1993), um in diesen unterschiedlichen und sich rasch ändernden Lern- und Instruktionssituationen flexibel und pädagogisch angemessen handeln zu können. Aus Lehrersicht ist daher bei Planung und Festlegung einer methodisch-didaktischen Grundorientierung für ihren Unterricht „stets das gesamte Umfeld des Wissenserwerbs zu berücksichtigen und Kongruenz in dem Sinne anzustreben, dass sich Kontextbedingungen und instruktionale Maßnahmen nicht gegenseitig behindern, sondern zusammenpassen“. (REINMANN-ROTHMEIER/MANDL 1998, S. 490) Vor dem Hintergrund dieser Kontextgebundenheit ist im Interesse der Lehrer für die weitere Arbeit auf dem Gebiet der Entwicklung und Förderung einer Problemlösekompetenz im Umgang mit komplexen technischen Systemen zu fordern, einen stärkeren Austausch der gegenwärtigen Erfahrungen zwischen Theorie und Praxis in Gang zu setzen, damit sich die „instruktionale Praxis“ und die „pädagogisch-psychologische Theorie und Forschung“ (Ebd.) im beiderseitigen Interesse gegenseitig stärker beeinflussen. Die aktuellen (berufs-)schulischen Rahmenbedingungen eröffnen gegenwärtig oft noch zu geringe Spielräume, um Auszubildenden ein Lernen in komplexen Situationen zu ermöglichen. Ein erster und wichtiger Schritt kann in der Abstimmung der Curricula von allgemein bildender und berufsbildender Schule gesehen werden.

5.2 Möglichkeiten und Grenzen der Förderung einer Problemlösekompetenz im Umgang mit komplexen regelungstechnischen Systemen

Was den Förderungs- und Interventionsaspekt betrifft, so fällt auf, dass der Entwicklung geeigneter Diagnoseinstrumente als zentrale Voraussetzung für die gezielte unterrichtliche Beförderung einer Problemlösekompetenz für den erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Problemen bisher recht wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Insgesamt stehen Lernumgebungen, die sich der Entwicklung bereichsübergreifender Kompetenzen angenommen haben, erst am Anfang eines systematischen und auf diagnostische Ergebnisse aufbauenden Gestaltungsweges. Dies gilt insbesondere für Lernumgebungen, die die Möglichkeiten der neuen Informations- und Kommunikationstechniken - insbesondere der computergestützten Modellbildung und Simulation - für das Lösen komplexer authentischer Aufgaben- und Problembereiche nutzen. Die bislang vorliegenden Befunde deuten darauf hin, dass bei solchen Lernumgebungen der Grat zwischen der Aktivierung einer komplexen Problemlösekompetenz und der Überforderung der Lernenden bislang noch recht schmal ist (FRIEDRICH/MANDL 1997).

Das in dieser Arbeit entwickelte Verständnis des Förderns und Erfassens von Kompetenzen konnte einige konkrete Konsequenzen für die Gestaltung von Unterricht beziehungsweise von Lernumgebungen ganz allgemein aufzeigen. Aufbau und Entwicklung einer komplexen Problemlösekompetenz im Sinne beruflicher Handlungsfähigkeit gelingt nur, wenn das mit ihrer Entwicklung erworbene Wissen auch der Bewährungsprobe einer erfolgreichen Anwendung in wirklichkeitsnahen realen Situationen einer beruflichen Domäne unterzogen werden kann. Die Entwicklung entsprechender bereichsübergreifender Kompetenzen sollte daher nicht auf Situationen „jenseits von Schule“ (KLIEME ET AL. 2003) verschoben werden, sondern es ist bereits bei der Entwicklung entsprechender Lernsituationen gleich die Vielfalt möglicher Anwendungssituationen mit zu bedenken.

Bedeutsam scheint in diesem Zusammenhang der Aufbau domänenspezifischer mentaler Modelle mit in Anwendungssituationen erworbenen Wissensstrukturen zu sein, die von den Schülern auf Grund ihrer eigenen Lernerfahrung so weit verallgemeinert und automatisiert wurden, dass sie auch auf andere Problemsituationen übertragen werden können (vgl. Kapitel 2.2.3.2 f.). Erwerb und Aufbau dieser mentalen Modelle lassen sich beispielsweise durch konkrete technische Anforderungen in komplexen Lehr-Lernumgebungen besonders gut fördern. Diese besitzen gleichzeitig mehrere Merkmale erfolgreichen Kompetenzerwerbs (vgl. Ebd., S. 65 f.):

- Die Lernenden machen während des Lernprozesses Erfahrungen, die für sie selbst relevant sind.
- Die realen (komplexen) Aufgaben- und Problemanforderungen bilden gleichzeitige verschiedene Attribute einer Kompetenz angemessen ab.
- „Überprüft“ werden der Einsatz von vorhandenem Wissen beziehungsweise die Konstruktionen von neuen Wissensstrukturen bei der Lösung konkreter komplexer Aufgaben- und Problemstellungen und nicht isolierte Attribute einer Kompetenz (zum Beispiel Faktenwissen).
- Die subjektiv erfahrenen Aufgaben- oder Problemsituationen, in denen der Lernprozess durchlaufen wird, sind bedeutsam für dessen Ergebnis.

Im Rahmen der empirischen Untersuchungen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass computergestützte Modellbildung und Simulation, wenn sie unter bestimmten Konstruktionsbedingungen entwickelt und unter bestimmten Implementationsbedingungen eingesetzt wird, Lernergebnisse erbringt, die den theoretischen Anforderungen an Entwicklung und Erfassung einer komplexen Problemlösekompetenz genügen. In diesem Zusammenhang konnte aufgezeigt werden, dass sich eine komplexe Problemlösekompetenz in einer beruflichen Domäne operationalisieren und es sich beobachten lässt, ob bei den Auszubildenden eine Bewegung in Richtung auf den Aufbau entsprechender Fähigkeiten festzustellen ist. Genau so wichtig war es aber auch zu zeigen, dass der Einsatz computergestützter Modellbildung und Simulation kein Selbstläufer ist, sondern vielmehr seitens der Lehrenden ein didaktisches Expertenwissen voraussetzt. Zu beachten ist insbesondere, dass das Lernen in komplexen, wenig strukturierten Problemsituationen durch die Verfügbarkeit von Anleitungen und instruktionaler Hilfestellungen begleitet wird, damit einerseits die essentiellen Kennzeichen komplexer Problemstellungen nicht verloren gehen, andererseits aber auch nicht zu einer Überforderung seitens der Lernenden führen. Das Problem der notwendigen Balance zwischen (Lerner-)Konstruktion und (Lehrer-)Instruktion wurde in der Arbeit ausführlich in Kapitel 2.7.5.2 dargestellt. Sind diese Bedingungen gegeben, so führt die Gestaltung computerbasierter Lernumgebungen durch Modellbildung und Simulation bei der unterrichtlichen Förderung einer Problemlösekompetenz zum erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen zu einer tiefen Elaboration von Konzepten und Zusammenhängen.

Trotz aller Anwendungsnahe und damit verbundener Transfermöglichkeiten einer computerbasierten Modellbildung und Simulation bleibt deutlich, dass sich die Bearbeitung realer komplexer Probleme im Umgang mit technischen Systemen und Anlagen im Alltag vom schulischen Lernen unterscheidet. „Die Erfahrungen, die in formalisierten Bildungsprozessen gemacht werden, sind stets nur stellvertretende Erfahrungen und können nicht allen Schülern in bezug auf ihre spätere Entwicklung gerecht werden. Das Ziel, Lernprozesse zu initiieren und dann weitergehend zu unterstützen, kann daher in der Schule nur dann erreicht werden, wenn die vermittelten Erfahrungen als subjektiv relevant und als authentisch wahrgenommen und verarbeitet werden. Um dies erreichen zu können, müssen die Formen des traditionellen Lernens durch andere Lernwege, die herkömmlichen Unterrichtsformen durch neue Lehrformen ergänzt werden.“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 147)¹⁵⁸

Abschließend ist festzustellen, dass CMS ein hohes Potenzial zur Förderung einer Problemlösekompetenz im Umgang mit komplexen technischen Systemen aufweist. Ihr Einsatz erfordert allerdings auf Seiten der Lehrenden eine hohe didaktische Expertise. Diese betrifft die Steuerung und Überwachung der Lernprozesse der Schüler beim Umgang mit den komplexen technischen Systemen, die Unterstützung der Lernenden beim Erwerb von Systemkenntnissen sowie beim Umgang mit dem System selbst, aber auch die Aufrechterhaltung der intrinsischen Motivation beziehungsweise des Interesses der Schüler. Um CMS effektiv einzusetzen, brauchen Lehrende daher selbst ein hohes Maß an Engagement sowie entsprechende fachliche und pädagogische Fähigkeiten.¹⁵⁹ Eine Förderung komplexer Problemlösekompetenz bei Schülern wird nicht einfach dadurch erreicht, dass man sie in komplexen Lernsituationen als bereits erreicht unterstellt. Die Gestaltung komplexer Lernsituationen macht nur dann Sinn,

¹⁵⁸ „Damit soll nicht infrage gestellt werden, dass rezeptives Lernen in bezug auf eine ganze Reihe von Unterrichtszielen erfolgreich sein kann, weil auch dadurch die kognitiv-aktive, konstruktive Auseinandersetzung mit dem Gegenstandsbereich angeregt beziehungsweise der Grundstock inhaltlichen Wissens erworben werden kann (WEINERT 1998a).“ (GRUBER/MANDL/RENKL 2000, S. 147)

¹⁵⁹ Ein Beitrag dazu kann zum Beispiel im Rahmen von Weiterbildungsveranstaltungen erbracht werden.

wenn sie so vorbereitet und in den Unterrichtsablauf eingebettet sind, dass nötige Instruktionshilfen vom Lehrer immer erkannt werden oder entsprechende Instruktionshilfen für die Lernenden immer erreichbar sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Instruktionshilfen sowohl auf Defizite im Bereich des Vorwissens ausgerichtet sein müssen, als auch auf mögliche Defizite von Seiten der Persönlichkeitsmerkmale der Lernenden. Erfolge bei der Förderung komplexer Problemlösefähigkeiten hängen maßgeblich von der Qualität dieser instruktionaler Hilfen ab. „Offene Lernumgebungen verlangen von den Lehrkräften größere Strukturierungsleistungen als der herkömmliche Klassenunterricht. Sie erhöhen aber auch die Anforderungen an metakognitive Steuerungsleistungen der Lernenden.“ (BAUMERT 1998, S. 223)

Insgesamt konnten im Rahmen dieser Arbeit mit den in Verbindung mit computerbasierten Lernumgebungen eingesetzten instruktionalen Maßnahmen gute Bedingungen für den erfolgreichen Umgang mit komplexen regelungstechnischen Systemen geschaffen werden. Wird dem grundsätzlichen Problem der Überforderung beim Lernen in komplexen Lernumgebungen durch geeignete instruktionalen Maßnahmen Rechnung getragen, können Berufsschüler selbst nach relativ kurzer Lernzeit flexible Wissensrepräsentationen aufbauen, hohe Transferleistungen erbringen und sich komplexe technische Systemzusammenhänge erfolgreich erschließen.

5.3 Offene Fragen

Was kann getan werden, wenn im Unterricht der Berufsschule Probleme bei der Entwicklung und Förderung einer Problemlösekompetenz für den erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Systemen zur Bearbeitung anstehen? Gibt es bewährte oder wissenschaftlich abgesicherte Vorgehensweisen oder zumindest Empfehlungen, wie in solchen Fällen verfahren werden könnte? Gibt es didaktische Vorschläge, wie den fehlenden Kenntnissen in höherer Mathematik, die üblicherweise zur Veranschaulichung dynamischer regelungstechnischer Vorgänge als Erklärungsmodell in der beruflichen Bildung herangezogen werden, im Unterricht der gewerblich-technischen Berufsschulen begegnet werden könnte? Diese Arbeit versuchte, mit dem augenblicklichen wissenschaftlichen Stand der Unterrichtsforschung auf diese Fragen eine Antwort zu geben.

Hinweise für einen erfolgreichen Umgang mit komplexen technischen Aufgaben- und Problemstellungen werfen seitens der Lehrenden häufig die Frage nach der Erlernbarkeit vom Denken in solch komplexen Bezügen bei ihren Schülern auf. Die Frage, ob in komplexen Bezügen zu denken erlernbar ist (vgl. PUTZ-OSTERLOH 1987), ist im dargestellten Kontext allerdings eher unpassend. Denn, wie diese Arbeit versucht hat darzulegen, ist davon auszugehen, dass Denken in komplexen Bezügen unter den beschriebenen Umständen einfach nötig ist und dass Lehrer an berufsbildenden Schulen vielmehr erfahren möchten, wie man sich der Aufgabe der Planung und Gestaltung geeigneter Lernumgebungen am besten stellt und auf welche Unterstützungen sie dabei angesichts der nicht zu leugnenden Schwierigkeiten zurückgreifen können. Gesunde Zweifel sind angebracht gegenüber allen Versuchen, beim Lernen in komplexen beruflichen Situationen rezeptartige Vorgehensweisen, bewährte Instrumente oder Ähnliches anwenden zu wollen. Gäbe es hierfür einfache unterrichtliche Mittel, sie wären längst bekannt. Diese Arbeit konnte demgemäß auch keine unmittelbaren „Patenthebel“ zur Aufgabenbewältigung anbieten. Vielmehr ist mit Bedacht vorzugehen, wenn nach Wegen der Verbesserung des Kompetenztransfers sowie der schulischen Förderung bereichsübergreifender Kompetenzen gesucht wird. Unbestreitbar haben die diskutierten instruktionalen Maßnahmen in Verbindung mit der Gestaltung geeigneter Lernsituationen einen erheblichen

Einfluss auf die Entwicklung einer komplexen Problemlösekompetenz. Es erscheint jedoch Vorsicht geboten gegenüber allen konkreten Maßnahmen, die direkt oder explizit auf die Förderung entsprechender Kompetenzen wirken. Verlockende Botschaften - etwa, dass fächerübergreifende und Fächer verbindende Kompetenzen am besten durch bereichsübergreifende Projekte zu entwickeln seien - entbehren jeder erziehungswissenschaftlichen Basis. WEINERT (1998b, S. 41) empfiehlt darum ein sorgsames und beständiges „Ausbalancieren zwischen inhaltlichem Wissenserwerb und der Vermittlung formaler Schlüsselqualifikationen auf unterschiedlichen Allgemeinheitsebenen“ und setzt dabei vor allem auf die systematische Entwicklung metakognitiver Kontrollstrategien im Zusammenhang mit fachlichem Lernen. Mit vielen unterrichtlichen Standards oder Leistungstests geht er hart ins Gericht, weil diese lediglich operationalisierte Testmarken festlegen, dabei aber die eigentliche Kompetenzentwicklung der Schüler nicht darstellen können. Auf der Basis einer gemeinsamen Begriffsdefinition von Kompetenzen deren „Abstufung und Entwicklungslogik“ zu entfalten und darin das Verhältnis von fachlichem und überfachlichen Lernen zu klären, bleibt in Zukunft weiterhin eine der wichtigsten Herausforderungen bei der Arbeit an der unterrichtlichen Entwicklung von Kompetenzen.

Kritisch ist zu verschiedenen der dargestellten Ansätze anzumerken, dass sie komplexes Problemlösen als in hohem Maße eigenschaftsorientiert und dispositionistisch behandeln. Sie sehen komplexes Problemlösen vorwiegend in Abhängigkeit von mehr oder minder habituellen Persönlichkeitsmerkmalen an. Dies mag damit zusammenhängen, dass der methodische Zugang über zum Beispiel Fragebogen zu den Determinanten komplexen Problemlösens relativ einfach ist,¹⁶⁰ der „Umweg“ über eine geeignete Lernumgebung in Form einer computergestützten Modellbildung und Simulation jedoch als sehr mühevoll erscheint. So gibt es viele Untersuchungen, die im Sinne des Experten/Novizen-Paradigmas zeigen, worin sich Personen mit hoher Problemlösekompetenz von Personen mit geringer Kompetenz beim Lösen komplexer Probleme unterscheiden. Aber es gibt nur sehr wenige Forschungen, die sich mit der intraindividuellen Veränderungen dieser Kompetenz beschäftigen. Jedoch ist diese Frage vor allem im Hinblick auf motivationale Komponenten komplexen Problemlösens wie etwa Zielorientierung und Selbstwirksamkeitserwartung von besonderem Interesse. Daher sollte zukünftig in dieser Richtung verstärkt weitergeforscht werden.

Da der Einsatz komplexer Lehr-Lern-Verfahren nicht automatisch zu effektiven Lernprozessen hinsichtlich einer Entwicklung und Förderung komplexer Problemlösekompetenz führt, erscheint die weitere Untersuchung des Lernens im Zusammenhang mit komplexen technischen Systemen aus wenigstens zwei weiteren Gründen notwendig:

- Auf der einen Seite ist die Förderung der individuellen Komponente der komplexen Problemlösekompetenz gefragt. Dabei gilt es, „die Auswirkungen instruktorischer Maßnahmen darauf hin zu untersuchen, inwieweit eine Erhöhung der Komplexität von Lernumgebungen zu besseren Lernergebnissen und zum Erwerb anwendbaren Wissens führt.“ (BRETTSCHEIDER ET AL. 2000, S. 401)
- Auf der anderen Seite ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass gerade das Ergebnis bei der Lösung komplexer Problemlöseprozesse „nicht mehr ausschließlich als individueller Besitz verstanden werden kann, sondern als sozial distributiert anzusehen ist. Die Probleme der zwischenmenschlichen Kommunikation und Beziehung bedingen im Hinblick auf die

¹⁶⁰ Wenig Aufschluss gibt diese Art von Fragebogendaten aber darüber, was in konkreten Problemsituationen geschieht. Hier wären vermehrt Studien wünschenswert, in denen das aktuelle Zusammenspiel motivationaler und kognitiver Komponenten sozusagen „online“ und in verschiedenen Situationen erfasst wird.

Gestaltung von Lernumgebungen eine zweite Dimension von Komplexität, die bislang nicht ausreichend thematisiert wurde.“ (Ebd.)

Der Versuch der Umsetzung solch offener Lernumgebungen in Unterricht mit dem Ziel, die Lernumgebung möglichst adaptiv zu gestalten, profitiert in hohem Maße von den technologischen Möglichkeiten computergestützter Modellbildung und Simulation. „Andererseits muss bedacht werden, dass durch den Einsatz innovativer Medien auch wieder neue Anforderungen ins Spiel kommen, die die Komplexität der Lernumgebungen zusätzlich erhöhen können. Soll dieses Unternehmen gelingen, muss es sich jedoch explizit an einem „Primat der Pädagogik und Psychologie“ orientieren. In diesem Feld endet ein „Primat der Technologie“ mit Sicherheit in einer Sachgasse.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 157)

Inwieweit die Förderung einer komplexen Problemlösekompetenz auf instruktionale Maßnahmen und situierte Lernumgebungen zurückgeführt werden kann, lässt sich bislang nur sehr schwer abschätzen. Spezielle Ergebnisse im Rahmen von PISA-Feldtests zeigen, „dass Kompetenzen, die unterrichtsnah sind, das heißt durch den Lehrplan und seine Umsetzung an der Einzelschule stark beeinflusst werden. [...] Fächerübergreifende Problemlösekompetenzen hingegen werden stärker durch außerschulische Faktoren determiniert. Der gezielten schulischen Förderung des Problemlösens auf überfachlicher Ebene scheinen demnach Grenzen gesetzt zu sein.“ (KLIEME/ARTELT/STANAT 2001, S. 209) Eine systematische Prüfung der Einflüsse instruktionaler Merkmale beziehungsweise förderlicher Einflüsse durch die entsprechende Gestaltung von Lernumgebungen stehen zur Zeit noch aus. Was deren Wirksamkeit im einzelnen betrifft, kann nur durch entsprechende Studien festgestellt werden.

Die Vielzahl der offenen Fragen zeigt, dass aus wissenschaftlicher Sicht noch ein erheblicher Forschungsbedarf besteht. Grundlage hierzu bieten die bisher vorliegenden Erkenntnisse der unterschiedlichen Wissenschaften aber auch die vielfältigen Erfahrungen aus dem Unterricht in allgemein bildender und berufsbildender Schule. Im Zusammenhang von beruflicher Aus- und Weiterbildung stellt die Entwicklung und Implementation computergestützter Modellbildung und Simulation in komplexen problemorientierten Lernumgebungen sehr hohe didaktische Ansprüche an den einzelnen Lehrer dar, so dass in den meisten Fällen eine fachübergreifende oder interdisziplinäre Kooperationen in den Kollegien der Schulen erforderlich erscheint. Die Entwicklung und Implementation komplexer und problemorientierter Lernumgebungen stellt stets ein Kompromiss dar bei der Integration der beiden Extrempositionen - klassische Instruktion vs. konstruktivistische Lernumgebung - und ist folglich alles andere als trivial. Sie setzt eine Art „conceptual change“ in Bezug auf die erforderlichen Kennzeichen der Lehr-Lernkultur voraus. Durch eine bloße oberflächliche „Anreicherung“ traditioneller Lernumgebungen um einige Elemente Situierter Kognition ist nicht viel gewonnen. „Nur wenn domänenspezifische Expertise und umfassende Erkenntnis des jeweiligen Inhaltsgebietes, psychologische und pädagogische Expertise sowie Expertise auf dem Feld der neuen Medien zusammenkommen, etwa in Form einer „Community of practice“, kann sich eine neue Lehr-Lernkultur etablieren und dadurch dem häufig probagierten Schicksal des schulischen Bildungssystems entgehen: dem Schicksal, den Anschluss verpasst und mit den rasanten Entwicklungen der heutigen Berufswelt nicht mehr richtig Schritt halten zu können.“ (SCHNURER/STARK/MANDL 2003, S. 157)

Stellt auch die Entwicklung einer komplexen Problemlösekompetenz bei Schülern bislang nicht immer explizit ein Ziel von Unterricht dar, so wird diese dennoch durch das hohe Ausmaß an instruktionaler Unterstützung, das die meisten problemorientierten Lernumgebungen

im Zusammenhang mit computergestützter Modellbildung und Simulation bieten, gefördert. Bei der Gestaltung entsprechender Lernumgebungen ist Behutsamkeit angebracht: Problemorientierte Lernansätze mit offenen und komplexen Lernumgebungen sind nicht in allen Kontexten gleich gut geeignet. Bevor unterrichtsgestalterische Konsequenzen abgeleitet werden können, sind jeweils die Merkmale der Lernenden als auch die Problematik des Lernens im Kontext komplexer technischer Systeme didaktisch hinreichend zu analysieren. Gelingt dies, stellt mangelnde Problemlösekompetenz in der Ausbildung von Berufsschülern kein unüberwindbares Hindernis dar. Allerdings sind Qualität und Erfolg von beruflicher Bildung zu hinterfragen, wenn es Schülern nach Beendigung ihrer Ausbildung nicht gelingt, im Kontext ihres beruflichen Alltags elementare Konzepte erfolgreich anzuwenden oder domänenspezifische Aufgaben zu bewältigen. Problemlöseleistung sollte bzw. muss aus diesen Gründen erklärtes Ziel jeder Ausbildung sein.

6 Literaturverzeichnis

- ACHTENHAGEN, F. (1992). Simulation im Curriculum kaufmännischer Schulen. Aus dem Modellversuch „Lernen, Denken, Handeln in komplexen ökonomischen Situationen“. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 13 (S. 86-109). Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH.
- ACHTENHAGEN, F. (1993). Komplexe Lehr-, Lernarrangements und Lernumgebungen: Didaktische Differenzierung und curriculare Verknüpfung als zentrale Themen der Berufsbildungsforschung. In: BULLTER, F./CZYCHOLL, R./PÜTZ, H. (Hrsg.): Modernisierung beruflicher Bildung vor den Ansprüchen von Vereinheitlichung und Differenzierung. Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (S. 207-238). Nürnberg.
- ACHTENHAGEN, F. (1996). Zur Operationalisierung von Schlüsselqualifikationen. In: P. GONON: Schlüsselqualifikationen kontrovers. 1. Auflage (S. 107-113). Aarau: Verlag Sauerländer.
- ANDERSON, J. R. (1989). Kognitive Psychologie. Eine Einführung, 2. Auflage, Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft.
- ANZAI, A./YOKOYAMA, T. (1984). Internal Models in Physics Problem Solving. In: Cognition and Instruction. 1 (4) (pp. 397-450). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- ARBINGER, R. (1997). Psychologie des Problemlösens: Eine anwendungsorientierte Einführung. Darmstadt: Primus Verlag.
- ARNOLD, R. (1983). Pädagogische Professionalisierung betrieblicher Bildungsarbeit. Explorative Studie zur Ermittlung weiterbildungsrelevanter Deutungsmuster des betrieblichen Bildungspersonals. Frankfurt a. M./Bern/New York: Verlag Peter Lang.
- ARNOLD, R. (1998). Kompetenzentwicklung. Anmerkungen zur Proklamation einer konzeptionellen Wende in der Berufs- und Erwachsenenpädagogik. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 94. Band, Heft 4 (S. 496-504). Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden.
- ARNOLD, R./SCHÜSSLER, I. (2001). Entwicklung des Kompetenzbegriffs und seine Bedeutung für die Berufsbildung und für die Berufsbildungsforschung. In: G. FRANKE (Hrsg.): Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung. Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung, Der Generalsekretär, Bonn. Bielefeld: Bertelsmann.
- ARTELT, C. (2000). Strategisches Lernen. Münster: Waxmann.
- BADER, R. (1990). Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz in der Berufsschule. Zum Begriff „berufliche Handlungskompetenz“ und zur didaktischen Strukturierung handlungsorientierten Unterrichts. Soest: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung Nordrhein-Westfalen.
- BADER, R./MÜLLER, M. (2002). Leitziel der Berufsbildung: Handlungskompetenz. Anregungen zur Ausdifferenzierung des Begriffs. In: Die berufsbildende Schule (BbSch) 54 (2002) (S. 176-182). Wolfenbüttel: Heckners Verlag.

- BAINBRIDGE, L. (1981). Mathematical equations or processing routines. In: J. Rasmussen & W.B. Rouse (Eds.): Human detection and diagnosis of system failures (pp. 259-286). New York: Plenum Press.
- BAITSCH, C. (1996). Lernen im Prozess der Arbeit - Ein psychologischer Blick auf den Kompetenzbegriff. QUEM-Bulletin, Nr. 1/96 (S. 6-8). Berlin.
- BANDURA, A. (1990). Conclusion: Reflections on nonability determinants of competence. In: R. STERNBERG/J. KOLLIGIAN (Eds.): Competence considered (pp. 315-362). New Haven/London (Yale University Press).
- BAUMERT, J. (1993). Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsbezeugungen im Kontext schulischen Lernens. Unterrichtswissenschaft. 4 (S. 327-354).
- BAUMERT, J. (1998). Fachbezogenes-fachübergreifendes Lernen/Erweiterte Lern- und Denkstrategien. In: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.): Wissen und Werte für die Welt von morgen. Dokumentation zum Kongress des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kultur, 29./30. April 1998 in der Ludwig-Maximilians-Universität, München
- BAUMERT, J./LEHMANN, R./SCHMITZ, B./CLAUSEN, M./HOSENFELD, I./KÖLLER, O./NEUBRAND, J. (1997). TIMSS. Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde. Leverkusen: Leske + Budrich.
- BAUMERT, J. ET AL. (1999). Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als fächerübergreifende Kompetenz. PISA Konsortium. <http://www.mpibberlin.-20-20.mpg.de/pisa/cccdt.pdf> (28/10/02).
- BAUMERT, J./BOS, J./LEHMANN, R. (2000). TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1, Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit. Opladen: Leske + Budrich.
- BAUMERT, J./ARTELT, C./KLIEME, E./STANAT, P. (2001a). PISA Programme for International Student Assessment: Zielsetzung, theoretische Konzeption und Entwicklung von Messverfahren. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen, Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- BAUMERT, J./ ARTELT, C./ KLIEME, E./NEUBRAND, M./PRENZEL, M./SCHIEFELE, U./SCHNEIDER, W./ STANAT, P./TILLMANN, K-J./WEISS, M. (2001b). PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich.
- BAUMGARTNER, P./PAYR, S. (1994). Lernen mit Software, Innsbruck: Österr. Studien-Verlag.
- BECK, H. (1997). Schlüsselqualifikationen. Bildung im Wandel. 3. Auflage. Darmstadt: Winklers Verlag.
- BECK, K./HEID, H. (1996). Lehr- und Lernprozesse in der kaufmännischen Erstausbildung. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 13. Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden.

- BECKMANN, J. F. (1994). Lernen und komplexes Problemlösen. Ein Beitrag zur Konstruktvalidierung von Lerntests. Bonn: Holos Verlag.
- BEREITER, C./SCARDAMALIA, M. (1985). The psychology of written composition, Hillsdale
- BERGMANN, B. (1999). Training für den Arbeitsprozess. Entwicklung und Evaluation aufgaben- und zielgruppenspezifischer Trainingsprogramme. Zürich: vdf.
- BESCHLUSS DER KMK vom 15. März 1991. Rahmenvereinbarung über die Berufsschule.
- BESCHLUSS DER KMK vom 2. April 1992. Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Prozessleitelektroniker/Prozessleitelektronikerin.
- BJØRNÅVOLD, J. (1997). Die Bewertung nicht formell erworbener Kenntnisse: Qualität und Grenzen verschiedener Verfahrensweisen. In: Berufsbildung, Nr. 12, September-Dezember (S. 62-81).
- BLUM, F./HENSGEN, A./KLOFT, C./MAICHLE, U. (1995). Erfassung von Handlungskompetenz in den Prüfungen der Industrie- und Handelskammern. Abschlussbericht, Bielefeld: Bertelsmann.
- BÖHLE, F./ROSE, H. (1992). Technik und Erfahrung: Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Frankfurt/Main/New York: Campus Verlag.
- BÖSSER, T./ROHR, G. (1985). Selbsterklärungsfähigkeit und Lernanforderungen von komplexen technischen Systemen. In: D. Albert (Hrsg.): Bericht über den 34. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Wien 1984. Göttingen/Toronto/Zürich: Verlag für Psychologie Dr. C. J. Hogrefe.
- BOLCH, G./VOLLATH, M.-M. (1991). Prozessautomatisierung: Aufgabenstellung, Realisierung und Anwendungsbeispiele. Stuttgart.
- BORTZ, J./DÖRING, N. (1995) Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler. 2. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer.
- BOSSEL, H. (1994). Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. 2. Auflage. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg.
- BRANSFORD, J. D./GOLDMAN, S. R./VYE, N. J. (1991). Making a difference in people's ability to think: Reflections on a decade of work and some hopes for the future. In: R. J. STERNBERG/L. OKAGKI (Eds.): Influences on children (pp. 147-180). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- BRETTSCHEIDER, V./GRUBER, H./KAISER, F.-J./MANDL, H./STARK, R. (2000). Anleitung komplexer Problemlöse- und Entscheidungsprozesse zur Unterstützung des Erwerbs kaufmännischer Kompetenz. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 96. Band, Heft 3, (2000) (S. 399-418). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- BREUER, K. (1988). Lernen mit computersimulierten komplexen dynamischen Systemen. In: LECHNER, E./ZIELINSKI, J.(Hrsg.): Wirkungssysteme und Reformansätze in der Pädagogik (S. 341-351). Frankfurt: Verlag Peter Lang.
- BREUER, K. (2004). Diagnostik kaufmännischer Bildungsstandards. Entwicklungslinien und Ansprüche aus wirtschaftspädagogischer Sicht. Vortrag anlässlich einer Fachtagung auf den Deutschen Hochschultagen berufliche Bildung in Darmstadt, www.wipaed.uni-mainz.de.

- BREUER, K./BERENDES, K./HILLEN, S. (2000a). Systemdynamische Modellbildung als Werkzeug zur Visualisierung, Modellierung und Diagnose von Wissensstrukturen. In: H. MANDL/F. FISCHER (Hrsg.): Wissen sichtbar machen. Begriffsnetze als Werkzeuge für das Wissensmanagement in Lehr- und Lernprozessen. Göttingen: Hogrefe.
- BREUER, K./BERENDES, K./HILLEN, S. (2000b). Entwicklung und Elaboration Mentaler Modelle zu komplexen betriebswirtschaftlichen Erklärungsmustern über die computergestützte Modellbildung und Simulation. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität (Reihe: Arbeitspapiere WP, Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik, Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Heft 37).
- BREUER, K./BERENDES, K./HILLEN, S. (2000c). Modellbildung und Simulation in der kaufmännischen Erstausbildung. In: *Wirtschaft und Erziehung*, 11/2000 (S. 390-393).
- BREUER/BRAHM (2004). Die Abbildung von Selbstregulationsfähigkeiten. Working Paper. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität.
- BREUER, K./EUGSTER, B. (2004). The development of traits of self-regulation in vocational education and training – A longitudinal Study. Paper presented at the AERA-Conference 2004 in San Diego, California, USA.
- BROADBEND, D. E./FITZGEALD, P./BROADBEND, M. H. P. (1986). Implicit and Explicit Knowledge in the Control of Complex Systems. *British Journal of Psychology*, 77 (pp.33-50).
- BUCHNER, A. (1999). Komplexes Problemlösen vor dem Hintergrund der Theorie finiter Automaten. In: *Psychologische Rundschau*, 50 (S. 206-212).
- BUNDESARBEITGEBERVERBAND CHEMIE (1992). *Prozessleitelektroniker/Prozessleitelektronikerin - Berufe in der chemischen Industrie*. Heidelberg: Dr. Curt Haefner Verlag.
- BUSCH, P. (1992). *Elementare Regelungstechnik: Allgemeingültige Darstellung ohne höhere Mathematik*. 2. Auflage. Würzburg: Vogel.
- BYBEE, R. W. (1997). Towards an understanding of scientific literacy. In: W. GRÄBER/C. BOLTE (Eds.), *Scientific literacy - An international symposium* (pp. 37-68). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- CANTOR, N./HARLOW, R. (1994). Social intelligence and personality: Flexible life-task pursuit. In: R. J. STERNBERG/P. RUZGIS (Eds.): *Personality and intelligence* (pp. 137-168). New York: Cambridge University Press.
- CARROLL, J. B. (1993). *Human cognitive abilities. A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
- CATTELL, R. B. (1987). *Intelligence: Its structure, growth, and action*. Amsterdam: Elsevier.
- CHI, M. T. H./GLASER, R./FARR, M. J. (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ, Hove, London: Erlbaum.
- CHOMSKY, N. (1970). *Aspekte der Syntaxtheorie*, Berlin: Suhrkamp.
- CLANCEY, W. J. (1993). Situated action: A neuropsychological interpretation response to Vera and Simon. *Cognitive Science* (17, pp. 87-116).

- COLLINS, A./BROWN, J. S./NEWMAN, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship. Teaching the Crafts of Reading, Writing, and Mathematics. In: L. B. RESNICK (Eds.): *Knowing, Learning and Instruction* (pp. 435-494). Hillsdale: Erlbaum.
- CRANACH, M. VON/BANGERTER, A. (2000). Wissen und Handeln in systemischer Perspektive: Ein komplexes Problem. In: H. MANDL/J. GERSTENMAIER (Hrsg.): *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze*. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe-Verlag.
- CZYCHOLL, R. (2001). Handlungsorientierung und Kompetenzentwicklung in der beruflichen Bildung. In: B. BONZ (Hrsg.): *Didaktik der beruflichen Bildung. Berufsbildung konkret. Band 2. Hohengehrens*: Schneider Verlag.
- DEHNBOSTEL, P. (2001a). Perspektiven für das Lernen in der Arbeit. In: Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V./Projekt Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): *Kompetenzentwicklung 2001: Tätigsein - Lernen - Innovation*. Münster et al.: Waxmann.
- DEHNBOSTEL, P. (2001b). Erfahrungslernen im Kontext beruflich-betrieblicher Kompetenzentwicklung und lebensbegleitenden Lernens. In: *LebensLangesLernen. Schriftenreihe der Senatsverwaltung für Arbeit, Soziales und Frauen. Bd. 44*. Berlin (S. 251-267).
- DE JONG, T./FERGUSON-HESSLER, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31 (pp. 105-113).
- DETTBARN-REGGENTIN, J. (1995). Das Kompetenzmodell des Alterns. Implikationen für eine Bildung im Alter. In: *Erwachsenenbildung in Österreich. 46/3* (S. 39-42). Wien: Österreichischer Bundesverlag.
- DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM (2000). *Schülerleistungen im internationalen Vergleich: Eine neue Rahmenkonzeption für die Erfassung von Wissen und Fähigkeiten*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- DIDI, H. J./FAY, E./KLOFT, C./VOGT, H. (1993). *Einschätzungen von Schlüsselqualifikationen aus psychologischer Perspektive*. Bonn: Institut für Bildungsforschung.
- DIEHL, T. (2000). Berufliches Arbeitsprozesswissen der Staatlich geprüften Techniker - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in der Fachrichtung Elektrotechnik. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F./SPÖTTL, G. (Hrsg.): *Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufsfeldwissenschaften*. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- DIENES, Z./FAHEY, R. (1995). Role of specific instances in controlling a dynamic system. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21 (pp. 848-862).
- DIN 19222: *Leittechnik, Begriffe*. Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 19226: *Regelungstechnik und Steuerungstechnik, Begriffe und Benennungen (Teile 1, 2 und 5)*, Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 19227: *Bildzeichen und Kennbuchstaben für Messen, Steuern, Regeln in der Verfahrenstechnik, Zeichen für die funktionelle Darstellung (Teile 1 bis 4)*, Berlin: Beuth-Verlag.

- DIN 19229: Übertragungsverhalten dynamischer Systeme, Begriffe, Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 28004: Fließbilder verfahrenstechnischer Anlagen. Teile 1 bis 3 (Ausgabe Mai 1988), Teil 4 (Ausgabe Mai 1977). Berlin: Beuth-Verlag.
- DITTRICH, J. (2000). Zum Anspruch des Gestaltungsgedankens zwischen Technik und Bildung - Gestaltungsspielräume um die Prozessleittechnik. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F./SPÖTTL/G. (Hrsg.): Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufsfeldwissenschaften. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- DÖRIG, R. (1996). Ersetzen Schlüsselqualifikationen das Wissen? In: P. GONON: Schlüsselqualifikationen kontrovers (S. 81-88). Aarau: Verlag Sauerländer.
- DÖRNER, D. (1979). Problemlösen als Informationsverarbeitung, 2. Auflage, Stuttgart/Berlin/Köln/Mainz: Kohlhammer.
- DÖRNER, D. (1986). Diagnostik der operativen Intelligenz. In: Diagnostica 1986, 32, Heft 4 (S. 290-308).
- DÖRNER, D. (1987). On the Difficulties People have in Dealing with Complexity. In: J. RASMUSSEN/K. DUNCAN/J. LEPLAT (Eds.): New Technologie And Human Error. Chichester/New York/Brisbane/Toronto/Singapore: John Wiley/Sons.
- DÖRNER, D. (1989). Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Hamburg: Rowohlt.
- DÖRNER, D. (1995). Problemlösen und Gedächtnis. In: D. DÖRNER /E. VAN DER MEER (Hrsg.): Das Gedächtnis (S. 295-320). Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- DÖRNER, D./KREUZIG, H. W. (1983). Problemlösefähigkeit und Intelligenz. In: Psychologische Rundschau, 34 (S. 185-192).
- DÖRNER, D./ KREUZIG, H. W./REITHER, F./STÄUDEL, T. (1983). Lohhausen: Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität. Bern: Huber.
- DÖRNER, D./Schaub, H./Strohschneider, S. (1999). Komplexes Problemlösen - Königsweg der Theoretischen Psychologie? In: Psychologische Rundschau 50 (1999) (S. 198-205).
- DÖRR, G./SEEL, N. M./STRITTMATTER, P. (1986). Mentale Modelle: Alter Wein in neuen Schläuchen? Mediendidaktische Anmerkungen. In: Unterrichtswissenschaft Zeitschrift für Lernforschung, (Nr. 2) (S. 168-189). Weinheim: Juventa Verlag.
- DRESCHER, E. (2002). Arbeitsprozesswissen in der betrieblichen Instandhaltung. In: FISCHER, M./RAUNER, F. (Hrsg.): Lernfeld: Arbeitsprozess. Ein Studienbuch zur Kompetenzentwicklung von Fachkräften in gewerblich-technischen Aufgabenbereichen. (Zugl. Bildung und Arbeitswelt, Band 6), (S. 255-272). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- DREYFUS, H. L./DREYFUS, S. E. (1987). Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmachine und dem Wert der Intuition. Hamburg: Reinbek.
- DUBS, R. (1993). Stehen wir vor einem Paradigmenwechsel beim Lehren und Lernen? In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 5. Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden.

- DUBS, R. (1995a). Konstruktivismus. Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung. In: Zeitschrift für Pädagogik 41, Nr. 6 (S. 889-903).
- DUBS, R. (1995b). Entwicklung von Schlüsselqualifikationen in der Berufsschule. In: R. ARNOLD/A. LIPSMEIER (Hrsg.): Handbuch der Berufsbildung (S. 171-182). Opladen: Leske + Budrich.
- DUBS, R. (1996). Schlüsselqualifikationen - werden wir erneut um eine Illusion ärmer? In: P. GONON (Hrsg.): Schlüsselqualifikationen kontrovers (S. 49-57). Aarau: Verlag Sauerländer.
- DUBS, R. (2001). Curriculare Vorgaben und Lehr-Lernprozesse in beruflichen Schulen. In: B. BONZ (Hrsg.): Didaktik der beruflichen Bildung. Berufsbildung konkret. Band 2. Hohengehrens: Schneider Verlag.
- DUNCKER, K. (1945). On problem solving. Psychological Monographs, 58(5), Whole number 270.
- EDELMANN, W. (1996). Lernpsychologie. 5. Auflage. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- EDELSTEIN, W./ DE HAAN, G. (2003). Von Schlüsselkompetenzen zum Curriculum. Lernkonzepte für eine zukunftsfähige Schule. 5. Empfehlung der Bildungskommission der Heinrich-Böll-Stiftung. Berlin.
- EHRlich, K. (1998). Arbeitsprozesswissen von Prozessleitelektronikern/innen und erste Überlegungen für ein Curriculum. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F. (Hrsg.): Betrifft Berufsfeldwissenschaften: Beiträge zur Forschung und Lehre in den gewerblich-technischen Fachrichtungen. Bremen: Donat Verlag.
- EHRlich, K. (2002). Arbeitsprozesswissen in der verfahrenstechnisch organisierten Produktion. In: FISCHER, M./RAUNER, F. (Hrsg.): Lernfeld: Arbeitsprozess. Ein Studienbuch zur Kompetenzentwicklung von Fachkräften in gewerblich-technischen Aufgabenbereichen. (Zugl. Bildung und Arbeitswelt, Band 6) (S. 235-253). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- EMPFEHLUNGEN DER BILDUNGSKOMMISSION (1974). Zur Neuordnung der Sekundarstufe II. Konzept für eine Verbindung von allgemeinem und beruflichen Lernen. Bonn.
- ERBE, H.-H. (1993). Simulation versus Lernen im Arbeitsprozess im gewerblich-technischen Bereich. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Beiheft 13 (S. 110-116). Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden.
- ERICSSON, K. A./SMITH, J. (1991). Toward a general theory of expertise: Prospects and limits. Cambridge/New York/Port Chester/Melbourne/Sydney: Cambridge University Press.
- ERPENBECK, J. (1997). Selbstgesteuertes, selbstorganisiertes Lernen. In: Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM): Kompetenzentwicklung 1997: Berufliche Weiterbildung in der Transformation - Fakten und Visionen. Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung: Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.

- ERPENBECK, J. (2001). Wissensmanagement als Kompetenzmanagement. In: G. FRANKE (Hrsg.): Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung / Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn. Bielefeld: Bertelsmann.
- ERPENBECK, J./HEYSE, V. (1996). Berufliche Weiterbildung und berufliche Kompetenzentwicklung. In: Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM): Kompetenzentwicklung 1996: Strukturwandel und Trends in der betrieblichen Weiterbildung. Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung: Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- ERPENBECK, J./SAUER, J. (2000). Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Lernkultur Kompetenzentwicklung“. In: Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM): Kompetenzentwicklung 2000: Lernen im Wandel - Wandel durch Lernen. Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung: Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- EULER, D. (2001). Manche lernen es - aber warum? Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. 97, 3 (S. 346-374). Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden.
- FASSHAUER, U. (2001). Emotionale Leistungsfähigkeit im Kontext beruflicher Bildung: Subjektorientierte Aspekte der Qualität von Teamarbeit an beruflichen Schulen. (Berufsbildung, Arbeit und Innovation; Bd. 5) Bielefeld: Bertelsmann.
- FAULSTICH, P. (1998). Strategien der betrieblichen Weiterbildung. Kompetenz und Organisation. München: Vahlen.
- FISCHER, M. (1996). Überlegungen zu einem arbeitspädagogischen und -psychologischen Erfahrungsbegriff. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. 92, 3 (S. 227-244). Stuttgart: Franz Steiner Verlag Wiesbaden.
- FISCHER, M. (2000). Arbeitsprozesswissen von Facharbeitern - Umriss einer forschungsleitenden Fragestellung. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F./SPÖTTL, G. (Hrsg.): Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufsfeldwissenschaften. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- FISCHER, M. (2001). Möglichkeiten und Probleme bei der Aktivierung von Arbeitsprozesswissen. In: G. A. STRAKA/M. STÖCKEL (Hrsg.): Wie kann „Tacit Expertise“ explizit gemacht werden? Konzepte, Verfahren, empirische Befunde zum Management von Wissen. Forschungs- und Praxisberichte, Band 7, Universität Bremen.
- FISCHER, M./MANDL, H. (1983). Förderung der Lernkompetenz und Lernregulation. Zentrale Komponenten der Steuerung und Regulation von Lernprozessen. In: L. KÖTTER/H. MANDL (Hrsg.): Kognitive Prozesse und Unterricht. Jahrbuch für Empirische Erziehungswissenschaft 1983 (S. 263-317). Düsseldorf: Schwan.
- FISCHER, M./STUBER, F. (1997). Arbeitsprozesswissen und Berufsausbildung. In: lernen und lehren (I&I). Vierteljahresschrift der Bundesarbeitsgemeinschaften Elektrotechnik und Metalltechnik. Heft 47 (S. 27-39). 12. Jahrgang, Bremen: Donat Verlag.
- FISCHER, M./RÖBEN, P. (1997). Arbeitsprozesswissen im chemischen Labor. In: Arbeit - Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik. Heft 3 (S. 247-266).
- FLASSE, M./STIELER-LORENZ, B. (2000). Berufliche Weiterbildungsstatistik im Spannungsfeld zwischen Industrie- und Wissensgesellschaft. In: Hrsg. Arbeitsgemein-

schaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM Hrsg.): Kompetenzentwicklung 2000: Lernen im Wandel - Wandel durch Lernen. Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung: Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.

- FORTMÜLLER, R. (1997). Wissen und Problemlösen: Eine wissenspsychologische Analyse der notwendigen Voraussetzungen für die Bewältigung von (komplexen) Problemen und Konsequenzen für den Unterricht in berufsbildenden Vollzeitschulen. Wien: Manz-Verlag.
- FORTMÜLLER, R./SILBERBAUER, T. (2004). Vorwissen und Wissenserwerb. Eine Untersuchung zur Bedeutung der Vorkenntnisse für die Informationsbeschaffung aus dem Internet. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. 100. Bd, 1, 2004 (S. 83-101). Franz Steiner Verlag Wiesbaden.
- FRENSCH, P. A./FUNKE, J. (1995). Complex problem solving. The european perspective. Hillsdale/NJ.
- FREY, A. (1999). Aufbau beruflicher Handlungskompetenz - Theoretische Vorstellungen und diagnostisches Instrumentarium. Empirische Pädagogik 1999, 13 (1) (S. 29-56).
- FREY, A. (2002). Kompetenzentwicklung in unterschiedlichen Ausbildungsberufen. In: JENNEWEIN, K./KNAUTH, P./ZÜLCH, G. (2002): 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.
- FRIEDRICH, H. F./MANDL, H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: WEINERT, F. E./MANDL, H. (Hrsg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D Praxisgebiete: Serie 1, Pädagogische Psychologie; Band 4, Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- FRIELING, E./HILBIG, I. (1990). Informationstechniken in der Konstruktion. In: C. HOYOS/B. ZIMOLONG (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D Praxisgebiete, Serie III Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Band 2 Ingenieurpsychologie. Göttingen/Toronto/Zürich: Hogrefe, Verlag für Psychologie
- FRIELING ET AL. (1993). TAI Tätigkeitsanalyseinventar. Landsberg: ecomed Verlag.
- FRISCH, R./WOLF, M. F.(1990). Die Handhabung von Komplexität beim Problemlösen und Entscheiden. In: FRISCH, R./BOOS, M. (Hrsg.): Vom Umgang mit Komplexität in Organisationen: Konzepte, Fallbeispiele, Strategien (Konstanzer Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Forschung; Bd. 5) (S. 11-39). Konstanz: Universitätsverlag Konstanz.
- FÜRSTENAU, B. (1994). Komplexes Problemlösen im betriebswirtschaftlichen Unterricht. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- FÜRSTENAU, B. (1999). Förderung von Problemlösefähigkeit im planspielgestützten Unterricht. In: Unterrichtswissenschaft Zeitschrift für Lernforschung, 1999 (S. 135-158). Weinheim: Juventa Verlag.
- FÜRSTENAU, B./GETSCH, U./NOSS, M./SIEMON, J. (1999). Entwicklung und Evaluation komplexer Lehr-Lern-Arrangements als zentrales Forschungsfeld der Göttinger Wirtschaftspädagogik. In: TRAMM, T./SEMBIL, D./KLAUSER, F./JOHN, E. G. (Hrsg.): Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung: Beiträge zur Öff-

nung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts; Festschrift zum 60. Geburtstag von Frank Achtenhagen. Frankfurt: Peter Lang Verlag.

- FUNKE, J. (1985). Steuerung dynamischer Systeme durch Aufbau und Anwendung subjektiver Kausalmodelle. *Zeitschrift für Psychologie*, 193, 4 (S. 443-465).
- FUNKE, J. (1986). *Komplexes Problemlösen. Bestandsaufnahme und Perspektiven*. Berlin: Springer.
- FUNKE, J. (1990). Probleme komplexer Problemlöseforschung. In: FRISCH, R./BOOS, M. (Hrsg.): *Vom Umgang mit Komplexität in Organisationen: Konzepte, Fallbeispiele, Strategien* (Konstanzer Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Forschung; Bd. 5). Konstanz: Universitätsverlag Konstanz GmbH.
- FUNKE, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Berlin: Springer.
- FUNKE, J. (1999). Komplexes Problemlösen - Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne. In: *Psychologische Rundschau*. 50 (S. 194-197).
- FUNKE, J. (2001). Neue Verfahren zur Erfassung intelligenten Umgangs mit komplexen und dynamischen Anforderungen. In: STERN, E./GUTHKE, J. (Hrsg.): *Perspektiven der Intelligenzforschung* (S. 89-107). Lengerich et al.: Pabst Science Publishers.
- GAUL, D./TAUSCHEK, R. (2002). *Handreichung zur Umsetzung lernfeldorientierter Rahmenlehrpläne in der Berufsschule – allgemeiner Teil – Kurzfassung*. PZ-Information 11/2002. Bad Kreuznach: Pädagogisches Zentrum.
- GEFFERT, R. (1999). *Multimedial unterstütztes Lernarrangement in der Regelungstechnik*. In: *Zeitschrift der Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik/Metalltechnik: lernen/lehren, Schwerpunkt: Multimedia – ein Instrument für Lernen und Lehren*. Heft 54 (S. 35-45). 14 Jg. Bremen: Donat Verlag.
- GEISSLER, K. A./ORTHEY, F. M. (1993). *Schlüsselqualifikationen: Der Fortschritt schreitet voran - was soll er auch sonst tun? Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis*. (S. 38-41) 5 Jg.
- GENTNER, D./ GENTNER, D. (1983). *Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity*. In: GENTNER, D./STEVENS, A. L. (Hrsg.): *Mental Models* (pp. 90-130). Hillsdale/New Jersey/London: Lawrence Erlbaum Associates.
- GENTNER, D./STEVENS, A. L. (1983). *Mental Models*, Hillsdale/New Jersey/London: Lawrence Erlbaum Associates.
- GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (1995). *Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive*. In: *Zeitschrift für Pädagogik*. 41 Jg. Nr. 6 (S. 867-888).
- GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (2000a). *Einleitung: Die Kluft zwischen Wissen und Handeln*. In: GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (Hrsg.): *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze*. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (2000b). *Wissensanwendung im Handlungskontext: Die Bedeutung intentionaler und funktionaler Perspektiven für den Zusammenhang von Wissen und Handeln*. In: GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (Hrsg.): *Die Kluft*

zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe-Verlag.

- GERSTENMAIER, J./MANDL, H. (2000c). Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe-Verlag.
- GOLEMAN, D. (1995). Emotional intelligence. Why it can matter more than IQ. London: Bloomsbury.
- GOMEZ, P./PROBST, G. (1999). Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens: Vernetzt denken, unternehmerisch handeln, persönlich überzeugen. 3. Auflage. Bern/Stuttgart/Wien: Haupt.
- GONON, P. (1996). Schlüsselqualifikationen kontrovers. Aarau: Verlag Sauerländer.
- GOTTSCHALCH, H./STUBER, F. (2002). Arbeitsprozesswissen in der werkstattorientierten Planung und Steuerung – Entwicklung beruflicher Kompetenzen für das Arbeiten mit Informationstechniken (S. 217-235). In: FISCHER, M./RAUNER, F. (Hrsg.): Lernfeld: Arbeitsprozess. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- GRÄSEL, C./BRUHN, J./MANDL, H./FISCHER, F. (1997). Lernen mit Computernetzen aus konstruktivistischer Perspektive. Unterrichtswissenschaft, Zeitschrift für Lernforschung. 25, 1 (S. 4-18).
- GRÄSEL, C./MANDL, H. (1993). Förderung des Erwerbs diagnostischer Strategie in fallbasierten Lernumgebungen. Unterrichtswissenschaft, 21 (S. 355-370).
- GRÄSEL, C./MANDL, H. (1999). Problemorientiertes Lernen: Anwendbares Wissen fördern. Personalführung. 6/99 (S. 54-62).
- GREENO, J. G. (1992). The situation in cognitive theory: Some methodological implications of situativity. Presented at the American Psychological Society. San Diego, CA. June, 1992.
- GRUBER, H. (1994). Expertise. Modelle und empirische Untersuchungen. Beiträge zur psychologischen Forschung. Band 34. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- GRUBER, H. (2001a). Analyse von Tacit Knowledge in der Kompetenzforschung. In: STRAKA G. A./ STÖCKEL, M. (Hrsg.): Wie kann „Tacit Expertise“ explizit gemacht werden? Konzepte, Verfahren, empirische Befunde zum Management von Wissen. Forschungs- und Praxisberichte. Band 7. Universität Bremen.
- GRUBER, H. (2001b). Die Entwicklung von Expertise. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung / Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung. Bonn/Bielefeld: Bertelsmann.
- GRUBER, H./RENKL, A./MANDL, H./REITER, W. (1993). Exploration strategies in an economic simulation game. In D. M. TOWNE/T. DE JONG/J. SPADA (Eds.): Simulation-based experiential learning (pp. 225-233). Berlin: Springer.
- GRUBER, H./ZIEGLER, A. (1996). Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- GRUBER, H./MANDL, H. (1996a). Das Entstehen von Expertise. In: BIRBAUMER, N. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und For-

schung. Serie II Kognition. Band 7 Lernen. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.

- GRUBER, H./MANDL, H. (1996b). Expertise und Erfahrung. In: GRUBER, H./ZIEGLER, A.: Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- GRUBER, H./RENKL, A./MANDL, H. (2000). Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In: MANDL, L. H./GERSTENMAIER, J.(Hrsg.): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe-Verlag.
- HAIDER, H. (1992). Implizites Wissen und Lernen. Ein Artefakt? Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie. 39 (S. 68-100).
- HASSELMANN, D. (1993). Computersimulierte komplexe Problemstellungen in der Management-Diagnostik: Die Theorie zum Konzept Herausforderung Komplexität. Hamburg: Windmühle.
- HAYEK, F. A. (1972). Die Theorie komplexer Systeme. Tübingen.
- HENNING, K./ISENHARDT, I./ZWEIG, S. (1999). Zukunftsfähiges Wissensmanagement. Sicherung der wirtschaftlichen Entwicklungsfähigkeit in einer ungewissen Zukunft. In: Hrsg. Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM Hrsg.): Kompetenzentwicklung 2000: Aspekte einer neuen Lernkultur: Argumente, Erfahrungen, Konsequenzen. Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung. Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- HERTLEIN, K. (1990). Regelungstechnik: Prinzipien und Programme zur Simulation regelungstechnischer Vorgänge. Würzburg: Vogel.
- HILLEN, S. (2004). Systemdynamische Modellbildung und Simulation im kaufmännischen Unterricht. (Konzepte des Lehrens und Lernens; Bd. 10) Frankfurt et al.: Peter Lang.
- HILLEN, S./BERENDES, K./BREUER, K. (2004). Systemdynamische Modellbildung als Werkzeug zur Visualisierung, Modellbildung und Diagnose von Wissensstrukturen. In H. MANDL/F. FISCHER (Hrsg.): Wissen sichtbar machen. Begriffsnetze als Werkzeug für das Wissensmanagement in Lehr- und Lernprozessen (S. 71-89). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- HÖRMANN, H.-J./THOMAS, M. (1989). Zum Zusammenhang zwischen Intelligenz und komplexem Problemlösen. Sprache & Kognition. 8 (S. 23-31).
- HOFMANN, H./RÖBEN, P. (1997). Berufsübergreifende Ausbildung im Team - aktuelle Entwicklungen in der Chemieindustrie. In: lernen und lehren (I&I). Vierteljahresschrift der Bundesarbeitsgemeinschaften Elektrotechnik und Metalltechnik. Heft 47. 12. Jahrgang (S. 61-74). Bremen: Donat Verlag.
- HOLLNAGEL, E. (1990). Die Komplexität von Mensch-Maschine-Systemen. In: C. HOYOS/B./ZIMOLONG (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie III Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2 Ingenieurpsychologie. Göttingen/Toronto/Zürich: Hogrefe, Verlag für Psychologie.

- HOYOS, C./ZIMOLONG, B. (1990). Enzyklopädie der Psychologie. Serie III: Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Bd. 2 Ingenieurspsychologie. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe.
- HUBER, G. L. /MANDL, H. (1994). Verbale Daten: Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der Erhebung und Auswertung. 2. Auflage. Weinheim/Basel: Beltz, Psychologie-Verlags-Union.
- HUSSY, W. (1984). Zum Begriff der Problemschwierigkeit beim komplexen Problemlösen. Trierer Psychologische Berichte. 11. Heft 4.
- HUSSY, W. (1985). Komplexes Problemlösen - Eine Sackgasse? Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie. 32 (S. 55-74).
- HUSSY, W. (1989). Intelligenz und komplexes Problemlösen. Diagnostica. 35 S. (S. 1-16).
- HUSSY, W. (1991). Komplexes Problemlösen und Verarbeitungskapazität. Sprache & Kognition. 10 (S. 208-220).
- HUSSY, W. (1993). Denken und Problemlösen. Stuttgart/Berlin/Köln: Kohlhammer.
- IHBE, W. (1996). Sind mit dem Computer Innovationen in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung möglich? In: Arbeit – Bildung – Beruf. Untersuchungsfeld betriebliche Aus- und Weiterbildung. Bd. 11. Hamburg/Dresden: VMS Verlag.
- IHBE, W. (1997). Umgebungen und Arrangements – Dispositiver Gestaltungsansatz und Prototypen. In: Wirtschaftsinformatik 39. Nr. 6 (S. 569-578).
- IHBE, W. (1998). Lernumgebungen und Lehrarrangements für die berufliche Aus- und Weiterbildung. In: Hochschultage Berufliche Bildung 1998. Hrsg.: Der Vorstand der Arbeitsgemeinschaft Berufliche Bildung e. V. - Hochschule, Betrieb und Schule -. Neusäß: Kieser Verlag.
- IHBE, W./SIMMERT, H. (1998). Lebenslanges Lernen und computergestützte Umgebungen für Lernen und Lehren. In: Wiss. Zeitschrift der TU Dresden 47. Heft 4 (S. 76-81).
- JACOBSON, M. J./SPIRO, R. J. (1992). Hypertext learning environments and cognitive flexibility: Characteristics promoting the transfer of complex knowledge. In: L. BIRNBAUM (Ed.): The international conference on the learning science. Proceedings of the 1991 conference. (pp. 240-248). Charlottesville.
- JÄGER, A. O. (1982). Mehrmodale Klassifikation von Intelligenztestleistungen. Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. Diagnostica. 28 (S. 195-226).
- JÄGER, A.O. (1991). Beziehung zwischen komplexem Problemlösen und Intelligenz – eine Einleitung. Diagnostica. 37 (S. 287-290).
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). Mental models. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- JONASSEN, D. H./BEISSNER, K./YACCI, M. (1993). Structural knowledge: techniques for representing, conveying and acquiring structural knowledge. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, New Jersey.
- KAISER, F.-J./PÄTZOLD, G. (1999). Wörterbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Bad Heilbrunn.: Klinkhardt.

- KAUFFELD, S. (2000). Das Kasseler-Kompetenz-Raster (KKR) zur Messung der beruflichen Handlungskompetenz. In: FRIELING, E./KAUFFELD, S./GROTE, S./BERNHARD, H. (Hrsg.): Flexibilität und Kompetenz: Schaffen flexible Unternehmen kompetente und flexible Mitarbeiter? Münster/New York: Waxmann Verlag.
- KERSTING, M. (1999). Diagnostik und Personalauswahl mit computergestützten Problemlöserszenarien? Zur Kriteriumsvalidität von Problemlöserszenarien und Intelligenztests. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- KLEINMANN, M./STRAUSS, B. (1996). Konstrukt- und Kriteriumsvalidität des Assessment Centers: Ein Spannungsfeld. In: W. SARGES (Hrsg.): Weiterentwicklung der Assessment Center-Methode (S. 17-40). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- KLIEME, E./ARTELT, C./STANAT, P. (2001). Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte und Indikatoren. In: WEINERT, F. (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim/Basel: Beltz Verlag.
- KLIEME, E./FUNKE, J./LEUTNER, D./REIMANN, P./WIRTH, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. In: Z. f. Päd. 47. Jg. Nr. 2 (S. 179-200).
- KLIEME, E./STEINERT, B. (2002). PISA 2000. Chancengleichheit und verständnisorientiertes Lernen: Unerfüllte Ziele des deutschen Bildungssystems? DIPF informiert. Nr. 2 (S. 8-10). Frankfurt.
- KLIEME, E./NEUBRAND, M./LÜDTKE, O. (2001). Mathematische Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In: Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich (S. 139-190). Opladen: Leske + Budrich
- KLIEME, E./AVENARIUS, H./BLUM, W./DÖBRICH, P./GRUBER, H./PRENZEL, M./REISS, K./RIQUARTS, K./ROST, J./TENORTH, H.-E./VOLLMER, H. J. (2003). Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise. Frankfurt: DIPF.
- KLIX, F. (1971). Information und Verhalten. Bern: Huber.
- KLUWE, R. H. (1988). Kognitionswissenschaft: Strukturen und Prozesse intelligenter Systeme. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- KLUWE, R. H. (1990). Problemlösen, Entscheiden und Denkfehler. In: HOYOS, C. und ZIMOLONG, B. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie III Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2 Ingenieurpsychologie. Göttingen/Toronto/Zürich: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- KLUWE, R. H. (1991). Zum Problem der Wissensvoraussetzung für Prozess- und Steuerleistung. Zeitschrift für Psychologie. 11 (S. 311-324).
- KLUWE, R.H. (1995). Single Case Studies and Models of Complex Problem Solving. In: FRENCH, P. A.; FUNKE, J. (Eds.): Complex Problem Solving. The European Perspective. (Pp. 269-294). Hillsdale/NJ.
- KLUWE, R. H. (1997). Kluwe, R. H.: Informationsverarbeitung, Wissen und mentale Modelle beim Umgang mit komplexen Systemen. In: SONNTAG, K./SCHAPER, N. (Hrsg.): Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

- KLUWE, R. H./HAIDER, H. (1990). Modelle zur inneren Repräsentation komplexer technischer Systeme. *Sprache & Kognition*. 9 (S. 173-192).
- KLUWE, R. H./MISIAK, C./HAIDER, H. (1988). Einige Ergebnisse zum Prozess des Lernens bei der Steuerung eines komplexen Systems. Unveröffentlichtes Referat auf dem 36. Kongress der DGfP in Berlin.
- KLUWE, R.H./MISIAK, C./HAIDER, H. (1989). Erste Ergebnisse zu einem Modell der Steuerung eines komplexen Systems. In DÖRNER, D./MICHAELIS, W. (Hrsg.): *idola fori et idola theatri*. Göttingen: Verlag für Psychologie.
- KLUWE, R. H./SCHILDE, A./FISCHER, C./OELLER, N. (1991). Problemlöseleistungen beim Umgang mit komplexen Systemen und Intelligenz. *Diagnostica*. 37 (S. 291-313).
- KMK (1999). Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland: Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. (Fassung vom 05.02.1999), Bonn: Geschäftsstelle der KMK. Aktualisierte Fassung im Internet: www.kmk.org
- KMK (2000). Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland: Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz (KMK) für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. (Fassung vom 15.09.2000), Bonn: Geschäftsstelle der KMK. Aktualisierte Fassung im Internet: www.kmk.org
- KRAPP, A. (1999). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogik*. 45 (S. 387-406).
- KRAPP, A./PRENZEL, M./WEIDENMANN, B. (2001). Geschichte, Gegenstandsbereich und Aufgaben der Pädagogischen Psychologie. In: KRAPP, A./WEIDENMANN, B. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. Ein Lehrbuch. 4. Auflage. Hemsbach: Beltz Verlag.
- KREMS, J. (1996). Expertise und Flexibilität. In: GRUBER, H./ZIEGLER, A. *Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- KREUZIG, H. W. (1981). Über den Zugang zu komplexem Problemlösen mittels prozessorientierter kognitiver Personenmerkmale. *Zeitschrift für Psychologie*. 189 (S. 294-308).
- KRUSE, W. (1986). Von der Notwendigkeit des Arbeitsprozeß-Wissens. In: SCHWEITZER, J. (Hrsg.): *Bildung für eine menschliche Zukunft. Solidarität lernen – Technik beherrschen – Frieden sichern – Umwelt gestalten*. Bildungspolitischer Kongreß der GEW in Hannover. Weinheim/München: Juventa Verlag.
- LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG – SOEST (1995). *Ich kauf mir was! Vom Ersparten oder auf Pump? Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme*. Bönen: Druck Verlag Kettler.
- LARKIN, J. H. (1983). The role of problem representation in physic. In D. GENTNER/A. L. STEVENS (Eds.): *Mental models* (pp. 75-98). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

- LAW, L.-C. (2000). Die Überwindung der Kluft zwischen Wissen und Handeln aus situativer Sicht. In: MANDL, H./GERSTENMAIER, J. (Hrsg.): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe-Verlag.
- LAW, L.-C./WONG, K.-M.P. (1996). Expertise und Instructional Design. In: GRUBER, H./ZIEGLER, A. (Hrsg.): Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- LEHMKUHL, K. (1994). Das Konzept der Schlüsselqualifikationen in der Berufspädagogik: Eine ausreichende Antwort auf die Qualifizierungsanforderungen der flexiblen Massenproduktion? Alsbach: Leuchtturm-Verlag.
- LEHNER, H. (1979). Erkenntnis durch Irrtum als Lehrmethode. Bochum: Verlag Ferdinand Kamp.
- LEINHARDT, G. (1993). On teaching. Advances in instructional psychology. Vol. 4. Hillsdale/NJ: Erlbaum.
- LEUTNER, D. (1992). Adaptive Lehrsysteme. Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen. (Bd. 13). Weinheim: Beltz Verlag.
- LEUTNER, D. (1995). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In: ISSING, L. J./KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- LEUTNER, D. (1998). Instruktionspsychologie. In: ROST, D. H. (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie (S. 198-205). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- LEUTNER, D./LEOPOLD, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien - Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen aus Sachtexten. Unterrichtswissenschaft. 31. Jg. (S. 38-56).
- LICHTENBERGER, Y. (1999). Von der Qualifikation zur Kompetenz. In: Aspekte einer neuen Lernkultur: Argumente, Erfahrungen, Konsequenzen. (Hrsg.): Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management, Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung. Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- LIENERT, G. A /RAATZ, U. (1998). Testaufbau und Testanalyse. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- LÜER, G. H. (1990). Denken und Problemlösen. In: SPADA, H. (Hrsg.): Lehrbuch Allgemeine Psychologie. (S. 189-280). Bern: Huber.
- MACK, W. (1996). Expertise und Intelligenz. In: GRUBER, H./ZIEGLER, A. (Hrsg.): Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- MACK, W. (1999). Intelligenz und Wissen. In: GRUBER, H./MACK, W./ZIEGLER, A. (Hrsg.): Wissen und Denken. Beiträge aus Problemlösepsychologie und Wissenspsychologie. Wiesbaden: DUV.
- MAIER, N. R. F. (1931). Reasoning in humans. II. The solution of a problem and its appearance in consciousness. Journal of Comparative Psychology. 12 (pp. 181-194).

- MAINZER, K. (1999). Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert. Berlin et al.: Springer Verlag.
- MANDL, H./FRIEDRICH, H. F./HRON, A. (1988). Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In: MANDL, H./SPADA, H. (Hrsg.): Wissenspsychologie. München/Weinheim: Psychologie-Verlags Union.
- MANDL, H./SPADA, H. (1988). Wissenspsychologie, München: Psychologie Verlags Union.
- MANDL, H./GRUBER, H./RENKL, A. (1995). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: ISSING, L. J./KLIMSA, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia. Weinheim: Psychologie-Verlags Union.
- MANDL, H./GRUBER, H./RENKL, A. (1998). Lernen und Lehren mit dem Computer. In: WEINERT, F. E./MANDL, H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete, Serie I Pädagogische Psychologie. Band 4 Psychologie der Erwachsenenbildung. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- MANDL, H./GRUBER, H./RENKL, A. (1999). Instruktionale Maßnahmen zur Förderung des Wissenserwerbs in der kaufmännischen Erstausbildung. In: TRAMM, T. ET AL. (Hrsg.): Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung. Beiträge zur Öffnung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts. Frankfurt: Peter Lang Verlag.
- MAYER, R. E./WITTROCK, M. C. (1996). Problem-solving transfer. In: BERLINER, D. C./CALFEE, R. C. (Eds.): Handbook of educational psychology (pp. 1-14). New York: Simon & Schuster Macmillan.
- MERTENS, D. (1974). Schlüsselqualifikationen. Mitteilungen der Arbeitsmarkt- und Berufsbildungsforschung. 7 (S. 36-73).
- MEYER, H. (1986). In LENZEN, D. (Hrsg.): Enzyklopädie Erziehungswissenschaft: Handbuch und Lexikon der Erziehung in 11 Bänden. Band 3: Ziele und Inhalte der Erziehung und des Unterrichts. Stuttgart: Klett-Cotta.
- MÜLLER, H. (1993). Komplexes Problemlösen: Reabilität und Wissen. Bonn: HoloS.
- NEBER, H. (1996). Psychologische Prozesse und Möglichkeiten zur Steuerung remedialen Lernens. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie I Pädagogische Psychologie. Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- NEGT, O. (1990). Ein neuer Lernbegriff. In: Forum Pädagogik. 1/1990 (S. 24-25).
- NEWELL, A. (1982). The Knowledge Level. Artificial Intelligence. 18 (1).
- NORMAN, D. A. (1983). Some observations on mental models. In GENTNER, D./STEVENS, A. L. (Eds.): Mental Models. Hillsdale/NJ: Erlbaum.
- NORTH, K. (2003). Das Kompetenzrad. In: J. ERPENBECK, J./ROSENSTIEL, L. (Hrsg.): Handbuch Kompetenzmessung (S. 200-221). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

- OECD (1997). Organisation for Economic Cooperation and Development Prepared for life? How to measure cross-curricular competencies. Paris: OECD.
- OPWIS, K. (1985). Mentale Modelle dynamischer Systeme. Forschungsberichte des Psychologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.. Nr. 30, Universität Freiburg.
- OPWIS, K./LÜER, G. (1996). Modelle der Repräsentation von Wissen. In: ALBERT, D./STAPF, K.-H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und Forschung. Serie II Kognition. Band 4 Gedächtnis. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Verlag für Psychologie Dr. C.J. Hogrefe.
- OTT, B. (2002). Leistungscontrolling im Kontext ganzheitlicher Kompetenzentwicklung. In: JENNEWEIN, K./KNAUTH, P./ZÜLCH, G. (Hrsg.): 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.
- PAHL, J.-P./HERKNER, V. (2000). Arbeitsprozess- und Arbeitsprozesswissen – Ansatzmöglichkeiten zur Akzentuierung eines berufsfeldwissenschaftlichen Hochschulcurriculums. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F./SPÖTTL, G. (Hrsg.): Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufsfeldwissenschaften. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- PALINCSAR, A. S./BROWN, A. L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. In: *Cognition and Instruction* 1 (pp. 117-175).
- PLATH, H.-E. (2000a) Arbeitsanforderungen im Wandel, Kompetenzen für die Zukunft – Eine folgenkritische Auseinandersetzung mit aktuellen Positionen. In: *MittAB* 4/2000
- PLATH, H.-E. (2000b) Erfahrungswissen – Das habe ich so im Gefühl. In: *MittAB* 1/2000 (S. 8-9).
- PRENZEL, M./ROST, J./SENKBEIL, M./HÄUSSLER, P./ KLOPP, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In: Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich (S. 191-248). Opladen: Leske + Budrich
- PREUSSLER, W. (1996). Zur Rolle expliziten und impliziten Wissens bei der Steuerung dynamischer Systeme. In: *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*. Band XLIII. Heft 3 (S. 399-434). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- PREUSSLER, W. (1998). Strukturwissen als Voraussetzung für die Steuerung komplexer dynamischer Systeme. In: *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*. 45. Heft 3 (S. 218-240). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1983). Über Determinanten komplexen Problemlösens und Möglichkeiten zu ihrer Erfassung. *Sprache & Kognition*. 2 (S. 100-116).
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1985a). Die Veränderbarkeit des Verhaltens im Umgang mit komplexen Problemen. In: ALBERT, D. (Hrsg.): Bericht über den 34. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Wien 1984. Göttingen/Toronto/Zürich: Hogrefe, Verlag für Psychologie.

- PUTZ-OSTERLOH, W. (1985b). Selbstreflexion, Testintelligenz und interindividuelle Unterschiede in der Bewältigung komplexer Probleme. *Sprache & Kognition*. 4 (S. 203-216).
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1987). Gibt es Experten für komplexe Probleme? *Zeitschrift für Psychologie*. 195 (S. 63-84).
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1988). Wissen und Problemlösen. In: MANDL, H./SPADA, H. (Hrsg.): *Wissenspsychologie*. München/Weinheim: Psychologie-Verlags Union.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1989). Problemforschung und Intelligenzdiagnostik. Ein Anwendungsbeispiel. In DÖRNE, D./MICHEALIS, W. (Hrsg.): *idola fori et idola theatri*. Göttingen: Verlag für Psychologie.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1993). Unterschiede im Erwerb und in der Reichweite des Wissens bei der Steuerung eines dynamischen Systems. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*. Band XL. Heft 3 (S. 383-410). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- PUTZ-OSTERLOH, W./LÜER, G. (1981). Über die Vorhersagbarkeit komplexer Problemlöseleistungen durch Ergebnisse in einem Intelligenztest. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*. 28 (S. 309-334).
- QUEM (1999). *Kompetenzentwicklung 2000: Aspekte einer neuen Lernkultur: Argumente, Erfahrungen, Konsequenzen*. Hrsg. von der Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM). Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung. Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- QUEM (2000). *Kompetenzentwicklung 2000: Lernen im Wandel – Wandel durch Lernen*. Hrsg. von der Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (QUEM). Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung: Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- RAUNER, F. (1995). Gestaltung von Arbeit und Technik. In: ARNOLD, R./LIPSMEIER, A. (Hrsg.): *Handbuch der Berufsbildung*. Opladen: Leske Budrich.
- RAUNER, F. (1997). *Berufswissenschaftliche Arbeitsstudien – Zum Gegenstand und zu den Methoden der empirischen Untersuchung berufsförmig organisierter Facharbeit*. Bremen.
- RAUNER, F. (1998). Zur methodischen Einordnung berufswissenschaftlicher Arbeitsstudien. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F. (Hrsg.): *Betrifft Berufsfeldwissenschaften: Beiträge zur Forschung und Lehre in den gewerblich-technischen Fachrichtungen*. Bremen: Donat Verlag.
- RAUNER, F. (1999). Entwicklungslogisch strukturierte berufliche Curricula: Vom Neuling zur reflektierten Meisterschaft. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. Band 95 Heft 3 (S. 424-446). Stuttgart/Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.
- RAUNER, F. (2000). Zukunft der Facharbeit. In: PAHL, J.-P./RAUNER, F./SPÖTTL, G. (Hrsg.): *Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufsfeldwissenschaften*. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- RAUNER, F. (2001a). Technik und Bildung. In: FISCHER, M./HEIDEGGER, G./PETERSEN, W./SPÖTTL, G. (Hrsg.): *Gestalten statt Anpassen in Arbeit, Technik und Beruf*.

Festschrift zum 60. Geburtstag von Felix Rauner (S. 115-141) Bielefeld: Bertelsmann.

- RAUNER, F. (2001b). Berufliche Grundbildung für ein Berufsfeld Elektrotechnik-Informatik. In: FISCHER, M.; Heidegger, G.; Petersen, W.; Spöttel, G. (Hrsg.): Gestalten statt Anpassen in Arbeit, Technik und Beruf. Festschrift zum 60. Geburtstag von Felix Rauner. S. 281-295. Bielefeld: Bertelsmann.
- RAUNER, F. (2002a). Zur Gestaltung von Berufen und Berufsfeldern: Die Überwindung fragmentierter Beruflichkeit. In: lernen & lehren (l&l). Heft 65. 17. Jg. (S. 30-33).
- RAUNER, F. (2000b). Qualifikationsforschung und Curriculum. In: FISCHER, M./RAUNER, F. (Hrsg.): Lernfeld: Arbeitsprozess. Ein Studienbuch zur Kompetenzentwicklung von Fachkräften in gewerblich-technischen Aufgabenbereichen. (Zugl. Bildung und Arbeitswelt, Band 6) (S. 317-339). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- REETZ, L. (1999a). Kompetenz. In: KAISER, F.-J./PÄTZOLD, G. (Hrsg.): Wörterbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik (S. 245-246). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- REETZ, L. (1999b). Zum Zusammenhang von Schlüsselqualifikationen - Kompetenzen - Bildung. In: TRAMM, T./SEMBIL, D./KLAUSER, F./JOHN, E. G. (Hrsg.): Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung: Beiträge zur Öffnung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts. Festschrift zum 60. Geburtstag von Frank Achtenhagen (S. 32-51). Frankfurt: Peter Lang Verlag.
- REETZ, L./REITMANN, T. (1990). Schlüsselqualifikationen: Fachwissen in der Krise? Dokumentation eines Symposiums in Hamburg. Materialien zur Berufsausbildung. Bd. 3, Hamburg: Feldhaus.
- REICHERT, U./DÖRNER, D. (1988). Heuristiken beim Umgang mit einem einfachen dynamischen System. Zeitschrift für Sprach- und Kognitionspsychologie (S. 12-24).
- REIER, G. (2002). Verstehende Analyse als Instrument einer handlungsorientierten Inhaltsauswahl. Die berufsbildende Schule (BbSch) 54. 7-8 (S. 229-235). Wolfenbüttel: Heckners Verlag.
- REIMANN, P. (1998). Novizen- und Expertenwissen. In: KLIX, F./SPADA, H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und Forschung: Serie 2 Kognition. Band 6 Wissen (S. 335-367). Göttingen et al.: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- REIMANN-ROTHMEIER, G./MANDL, H. (1997). Lehren im Erwachsenenalter. Auffassungen vom Lehren und Lernen, Prinzipien und Methoden. In: F.E. WEINERT/H. MANDL (Hrsg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie 1. Band 4 Pädagogische Psychologie. Göttingen/Bern/Toronto/Sattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- REIMANN-ROTHMEIER, G./MANDL, H. (1998). Wissensvermittlung: Ansätze zur Förderung des Wissenserwerbs. In: KLIX, F./SPADA, H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und Forschung. Serie 2 Kognition. Band 6 Wissen. Göttingen et al.: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- REIMANN-ROTHMEIER, G./MANDL, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP, A./WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie (S.601-646). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- REINKENSMEIER, S. (2001). Problemlösendes Handeln in der Ausbildung von Bankkauleuten. Lehr- und Lern-Arrangement zum Bankcontrolling. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag.
- RENKL, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. Psychologische Rundschau. 47 (S. 78-92). Göttingen Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- RENKL, A./GRUBER, H./MANDL, H./HINKOFER, L. (1994). Hilft Wissen bei der Identifikation und Kontrolle eines komplexen ökonomischen Systems? Unterrichtswissenschaften. 22 (S. 195-202).
- RENKL, A. /MANDL, H./GRUBER, H. (1996). Inert knowledge: Analyses and remedies. Educational Psychologist (pp. 115-121).
- RESNICK, L. B. (1987). Learning in School and Out. In: Educational Researcher 16. No. 12. (pp. 13-20).
- RINGELBAND, O. J./MISIAK, C./KLUWE, R. H. (1990). Mental Models and Strategies in the Control of a Complex System. In: ACKERMANN, D./TAUBER, M. J. (Eds.): Mental Models and Human-Computer Interaction. Vol. 1 (pp. 151-164). North-Holland: Elsevier science Publisher.
- RÖBEN, P. (1997). Zur Bedeutung des Arbeitsprozesswissens bei der Mitgestaltung von Arbeit und Technik in Labor und Produktion. In: DRECHSEL ET AL. (Hrsg.): Computergestütztes erfahrungsgelitetes Lernen und Gestalten – Grundsätze zur Entwicklung effektiver Arbeits- und Lernumgebungen. Dresden: wbw.
- RÖBEN, P. (1999). Die Analyse des Arbeitsprozesswissens von Chemiefacharbeitern auf die darauf basierende Entwicklung eines computergestützten Erfahrungsdokumentationssystems (Eds). In: PAHL, J.-P./RAUNER, F./SPÖTTL, G. (Hrsg.): Berufliches Arbeitsprozesswissen. Ein Forschungsgegenstand der Berufsfeldwissenschaften (S. 253-265). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- RÖBEN, P. (2001). Arbeitsprozesswissen und Expertise. Universität Bremen. ITB Publikation.
- RÖBEN, P./SIEBECK, F. (2002). Technik, Organisation und Arbeit im chemischen Labor – das Arbeitsprozesswissen der Chemielaboranten (S. 147-174). In: FISCHER, M./RAUNER, F. (Hrsg.): Lernfeld: Arbeitsprozess. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- ROSE, M./MACHER, G. (1993). Flexible Prozessautomatisierung. Automatisierungstechnische Praxis. Band 35. Heft 11 (S. 610-618). München: Oldenburg.
- ROTHER, H.-J./SCHINDLER, M. (1996). Expertise und Wissen. In: GRUBER, H./ZIEGLER, A. (Hrsg.): Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- RYLE, G. (1969). Der Begriff des Geistes. Stuttgart: Reclam.
- SAMAL, E./BECKER, W. (2000). Grundriss der praktischen Regelungstechnik. München/Wien/Oldenburg: Oldenbourg.
- SAXER, G. A. (1998). Vernetztes Denken. Eine system- und lerntheoretisch sowie schulpraktische Studie. Dissertation Nr. 2175, Universität St. Gallen.

- SCHAPER, N. (2003). Arbeitsproben und situative Fragen zur Messung arbeitsplatzbezogener Kompetenzen. In: ERPENBECK, J./VON ROSENSTIEL, L. (Hrsg.): Handbuch Kompetenzmessung (S. 185-199). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- SCHAUB, H./STROHSCHNEIDER, S. (1989). Die Rolle heuristischen Wissens beim Umgang mit einem komplexen Problem oder: Können Manager wirklich besser managen? Memorandum Nr. 71 des Lehrstuhls Psychologie II der Universität Bamberg.
- SCHAUB, H./REIMANN, R. (1999). Zur Rolle des Wissens beim komplexen Problemlösen. In: GRUBER, H./MACK, W./ZIEGLER, A. (Hrsg.): Wissen und Denken. Beiträge aus Problemlösepsychologie und Wissenspsychologie. Wiesbaden: DUV.
- SCHEELE, B. (1992). Struktur-lege-Verfahren als Diagnose-Konsens-Methode. Ein Zwischenfazit zur Forschungsentwicklung bei der rekonstruktiven Erhebung subjektiver Theorien. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- SCHIEFELE, U. (1996). Motivation und Lernen mit Texten. Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- SCHNOTZ, W. (1994). Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchung zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten, Weinheim: Beltz.
- SCHNURER, K./STARK, R./MANDL, H. (2003). Auf dem Weg in eine neue Lehr-Lern-Kultur – Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen. Erziehungswissenschaft und Beruf. 2/2003 (S. 147-160).
- SCHOENFELD, A. H. (1985). Mathematical problem solving. New York.
- SCHOPPEK, W. (1996). Kompetenz, Kontrollmeinung und komplexe Probleme. Zur Vorhersage individueller Unterschiede bei der Systemsteuerung. Bonn: Holos Verlag.
- SCHRADER, F.-W. (1997). Lern- und Leistungsdiagnostik im Unterricht. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Serie I Pädagogische Psychologie. Band 3 Psychologie des Unterrichts und der Schule. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- SCHULER, H./PROCHASKA, M. (2000). Entwicklung und Konstruktvalidierung eines berufsbezogenen Leistungsmotivationstests. Diagnostica. 46 (S. 61-72).
- SCHUMANN, M./BAETHGE-KINSKY, V./KUHLMANN, M./KURZ, C./NEUMANN, U. (1994). Trendreport Rationalisierung. Automobilindustrie, Werkzeugmaschinenbau, Chemische Industrie. Berlin: Edition Sigma.
- SCHUPP, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I zwischen Tradition und neuen Impulsen. Der Mathematikunterricht. 34 (6) (S. 5-15).
- SCIENCE EXPERT GROUP (2001). Science Expert Group: Record of meeting. Brüssel: OECD/PISA.
- SEEL, N. M. (1991). Weltwissen und mentale Modelle. Göttingen/Toronto/Zürich: Dr. C. J. Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- SEIFRIED, J. (2003). Ansätze zur Steigerung der Handlungs- und Problemorientierung des Rechnungswesenunterrichts. Erziehungswissenschaft und Beruf. 2/2003 (S. 205-219).

- SELL, R. (1990). Angewandtes Problemlösungsverhalten: Denken und Handeln in komplexen Zusammenhängen. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag.
- SEMBILL, D. (1999). Selbstorganisation als Modellierungs-, Gestaltungs- und Erforschungs-idee beruflichen Lernens. In: TRAMM, T./KLAUSER, F./JOHN, E. G./ SEMBILL, D. (Hrsg.): Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung: Beiträge zur Öffnung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts. Festschrift zum 60. Geburtstag von Frank Achtenhagen. Frankfurt/Main et al.: Peter Lang Verlag.
- SHANNON, C. E./WEAVER, W. (1976). Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. München/Wien: Springer Verlag.
- SIEBERT, H. (1994). Lernen als Konstruktion von Lebenswelten: Entwurf einer konstruktivistischen Didaktik. Frankfurt/Main: VAS Verlag für Akademische Schriften.
- SIEBERT, H. (1999). Pädagogischer Konstruktivismus: Eine Bilanz der Konstruktivismusdiskussion für die Bildungspraxis. Neuwied/Kriftel: Luchterhand.
- SIEBERT, H. (2000). Didaktisches Handeln in der Erwachsenenbildung: Didaktik aus konstruktivistischer Sicht. Neuwied/Kriftel: Luchterhand.
- SIEBERT, H. (2001a). Selbstgesteuertes Lernen und Lernberatung: Neue Lernkulturen in Zeiten der Postmoderne. Neuwied/Kriftel: Luchterhand.
- SIEBERT, H. (2001b). Erwachsene – lernfähig, aber unbelehrbar? In: Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung e. V./Projekt Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): Kompetenzentwicklung 2001: Tätigsein – Lernen – Innovation. Münster et al.: Waxmann.
- SIEBERT, H. (2002). Der Konstruktivismus als pädagogische Weltanschauung – Entwurf einer konstruktivistischen Didaktik. Frankfurt/Main: VAS.
- SJØBERG, S. (2001). Science and technology in education – Current challenges and possible solutions. Invited contribution to Meeting of European Ministers of Education and Research. Uppsala. 1-3 March 2001.
- SLOANE, P. F. E. (2000). Lernfelder und Unterrichtsgestaltung. In: Die berufsbildende Schule (BbSch) 52 (2000) 3. Wolfenbüttel: Heckners Verlag.
- SONNTAG, K./SCHAPER, N. (1992). Förderung beruflicher Handlungskompetenz. In: SONNTAG, K. (Hrsg.): Personalentwicklung in Organisationen (S. 187-210). Göttingen: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- SONNTAG, K./SCHAPER, N. (1997). Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technische Systemen. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- SPADA, H./MANDL, H. (1988). Wissenspsychologie: Einführung. In: MANDL, H./SPADA, H. (Hrsg.): Wissenspsychologie. München/Weinheim: Psychologie-Verlags-Union.
- SPIRO, R. J./COULSON, R. L./FELTOVICH, P. J./NDERSON, D. K. (1988): Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In: Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society (pp. 375-383). Hillsdale/NJ: Erlbaum.

- STARK, R./GRAF, M./RENKL, A./GRUBER, H./MANDL, H. (1995). Förderung von Handlungskompetenz durch geleitetes Problemlösen und multiple Lernkontexte. In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie. Band XXVII. Heft 4 (S. 289-321).
- STARK, R./GRUBER, H./GRAF, M./RENKL, A./MANDL, H. (1995). Komplexes Lernen in der kaufmännischen Erstausbildung: Kognitive und motivationale Aspekte. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Beiheft 13 (S. 23-36). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- STARK, R./GRUBER, H./MANDL, H./HINKOFER, L. (2001). Wege zur Optimierung eines beispielbasierten Instruktionsansatzes: Der Einfluss multipler Perspektiven und instruktionaler Erklärungen auf den Erwerb von Handlungskompetenz. Unterrichtswissenschaft. 29 (S. 26-40).
- STEINKAMP, V. (2001). Computergestützte Vermittlung der Regelungstechnik durch Simulation und Interaktion – Ein zusätzliches Qualifizierungs- und Bildungsangebot mit Selbstlernphasen. In: PAHL, J.-P./HERKNER, V. (Hrsg.): Zusätzliche Qualifizierungs- und Bildungsangebote. Konzepte und Materialien zur Ausbildungs- und Unterrichtspraxis ausgewählter gewerblich-technischer Berufe. Band 2. Seelze-Velber: Kallmeyer.
- STERN, E./GUTHKE, J. (2001). Perspektiven der Intelligenzforschung. Lengerich et al.: Pabst Science Publishers.
- STERNBERG, R. J. (1985). Beyond IQ: A triarchic theory of human intelligence. New York: Cambridge University Press.
- STERNBERG, R. J. (1995). Expertise in Complex Problem Solving: A Comparison of Alternative Conceptions. In: FRENCH, P. A./FUNKE, J. (Eds.): Complex problem solving. The european perspective. Hillsdale/NJ: Erlbaum
- STERNBERG, R. J./FRENCH, P. A. (1991). Complex problem solving: Principles and mechanisms. Vol. 6. Hillsdale/NJ: Erlbaum.
- STERNBERG, R. J./KAUFMANN, J. C. (1998). Human Abilities. Annual Review of Psychology. 49 (pp. 479-502).
- STRAKA, G.A. (2000). Conceptions of Self-Directed Learning. Münster: Waxmann.
- STRAKA, G. A. (2001a). Lehr-lern-theoretische Grundlagen der beruflichen Bildung. In: BONZ, B. (Hrsg.): Didaktik der beruflichen Bildung. Berufsbildung konkret. Band 2. Hohengehrens: Schneider Verlag.
- STRAKA, G. A. (2001b). Informelles, implizites Lernen und Coca Cola. <http://www.losforschung.de>. Zugleich GdWZ.
- STRAKA, G. A./MACKE, G. (2002). Lern-Lehr-Theoretische Didaktik. Lernen, organisiert und selbstgesteuert – Forschung – Lehre – Praxis. Band 3. Münster et al.: Waxmann.
- STRAUSS, B. (1993). Konfundierungen beim komplexen Problemlösen. Bonn: HoloS.
- STROHRMANN, G. (1996). Automatisierungstechnik. Band II. München/Wien: Oldenburg.
- STROHRMANN, G. (1998). Automatisierungstechnik. Band I. München/Wien: Oldenburg.

- STROHSCHNEIDER, S. (1991). System von Systemen! Kommentar zu dem Aufsatz Systemmerkmale als Determinanten des Umgangs mit dynamischen Systemen von Joachim Funke. *Sprache & Kognition*. 10 (S. 109-113).
- STROHSCHNEIDER, S./SCHAUB, H. (1991). Können Manager wirklich so gut managen? Über die Effekte unterschiedlichen heuristischen Wissens beim Umgang mit komplexen Problemen. *Zeitschrift für Psychologie (Suppl.)*. 11 (S. 325-340).
- STROHSCHNEIDER, S. (1999) Intelligenz und komplexes Problemlösen: Perspektiven für eine Kooperation zwischen differentiell-psychometrischer und kognitionspsychologischer Forschung. In: *Psychologische Rundschau* 50 (S. 220-228).
- SUCHMAN, L. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human machine communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SÜSS, H.-M. (1996). Intelligenz, Wissen und Problemlösen: Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- SÜSS, H.-M. (2001a). Prädiktive Validität der Intelligenz im schulischen und außerschulischen Bereich. In: STERN, E./GUTHKE, J. (Hrsg.): *Perspektiven der Intelligenzforschung*. Lengerich et al.: Pabst Science Publishers.
- SÜSS, H.-M. (2001b). Die Rolle von Intelligenz und Wissen für erfolgreiches Handeln in komplexen Problemsituationen. In: FRANKE, G.(Hrsg.): *Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung* / Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung. (S. 249-275). Bonn/Bielefeld: Bertelsmann.
- SÜSS, H.-M./KERSTING, M./OBERAUER, K. (1991). Intelligenz und Wissen als Prädiktoren für Leistungen bei computersimulierten komplexen Problemen. *Diagnostica*. 37 (S. 334-352).
- TERHART, E. (1999). Konstruktivismus und Unterricht. Gibt es einen neuen Ansatz in der allgemeinen Didaktik? In: *Zeitschrift für Pädagogik*. 45. 5. Weinheim/Basel: Beltz Verlag.
- TERHART, E. (2002). Wie können die Ergebnisse von vergleichenden Leistungsstudien systematisch zur Qualitätsverbesserung in Schulen genutzt werden? *Zeitschrift für Pädagogik*. Heft 1/2002 (S. 91-110). Weinheim/Basel: Beltz Verlag.
- THE COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT (1991). Technology and the design of generative learning environments. *Educational Technology*. 31 (5). (Pp. 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. *Educational Psychologist*. 27 (pp. 291-315).
- THE COGNITION AND TECHNOLOGY GROUP AT VANDERBILT (1999). *The Jasper Project: Lessons in Curriculum, Instruction, Assessment and Professional Development*. Mahwah/New Jersey/London: Erlbaum.
- TRAMM, T./SEMBIL, D./KLAUSER, F./JOHN, E. G. (1999). Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung: Beiträge zur Öffnung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts; Festschrift zum 60. Geburtstag von Frank Achtenhagen. Frankfurt: Peter Lang Verlag.

- TRAMM, T./REBMANN, K. (1999). Veränderungen im Tätigkeitsprofil von Handelslehrern unter dem Signum handlungsorientierter Curricula. In: TRAMM, T./SEMBIL, D./KLAUSER, F./JOHN, E. G. (Hrsg.): Professionalisierung kaufmännischer Berufsbildung: Beiträge zur Öffnung der Wirtschaftspädagogik für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts. Festschrift zum 60. Geburtstag von Frank Achtenhagen. Frankfurt: Peter Lang Verlag.
- TRIPP, S. D. (1993). Theories, traditions and situated learning. *Educational Technology*. 33 (3) (pp. 71-77).
- ULRICH, H./PROBST, G. (1995). Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: Ein Brevier für Führungskräfte, Bern/Stuttgart/Wien: Haupt.
- UPHAUS, J. (1997). Grundlagen der Regelungstechnik. Bonn: Ferd. Dümmler Verlag.
- VAN DER MEER, E. (1996). Gesetzmäßigkeiten und Steuerungsmöglichkeiten des Wissenserwerbs. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie I Pädagogische Psychologie. Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe Verlag.
- VERORDNUNG (1987). Verordnung über die Berufsausbildung in den industriellen Metallberufen vom 15. Januar 1987 (BGBl. I S. 274).
- VESTER, F. (1999). Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, Stuttgart: DVA.
- VONKEN, M. (2001). Von Bildung zu Kompetenz: Die Entwicklung erwachsenenpädagogischer Begriffe oder die Rückkehr zur Bildung? *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*. 97. Bd. Heft 4 (S. 504-522). Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- WALDMANN, M. R. (1996). Kognitionspsychologische Theorien von Begabung und Expertise. In: WEINERT, F. E. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie I Pädagogische Psychologie. Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- WEBER, H./WESTMEYER, H. (2001). Die Inflation der Intelligenzen. In: STERN, E./GUTHKE, J. (Hrsg.): Perspektiven der Intelligenzforschung. Lengerich et al.: Pabst Science Publishers.
- WEDEKIND, J. (1991). Modellbildung – eine didaktische Herausforderung. In: J. WEDEKIND, J./WALSER, W. (Hrsg.): Modellbildungssysteme – Konzepte und Realisierungen (S. 7-21). Duisburg: CoMet.
- WEINBERG, J. (1996). Kompetenzlernen. In: QUEM-Bulletin (S. 3-6).
- WEINERT, F. E. (1982). Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. *Unterrichtswissenschaft*. 2 (S. 99-110).
- WEINERT, F. E. (1990). Was kann, was sollte die Pädagogische Psychologie aus den Forschungen zum Wissenserwerb lernen? *Unterrichtswissenschaften* (S. 67-70).
- WEINERT, F. E. (1994). Lernen lernen und das eigene Lernen verstehen. In: REUSSER, K./REUSSER-WEYENETH, M. (Hrsg.): Verstehen. Psychologischer Prozess und didaktische Aufgabe. Bern/Göttingen/Toronto/Seattle: Verlag Hans Huber.

- WEINERT, F. E. (1996a). Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie I Pädagogische Psychologie. Band 2 Psychologie des Lernens und der Instruktion. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- WEINERT, F. E. (1996b). Warum, wozu und wodurch sollte zum Lernen motiviert werden? In: SPIEL, L./KASTNER-KOLLER, U./DEIMANN, P. (Hrsg.): Motivation und Lernen aus der Perspektive lebenslanger Entwicklung (S. 5-14). Münster: Waxmann.
- WEINERT, F. E. (1997). Enzyklopädie der Psychologie. Serie I Pädagogische Psychologie. Band 3 Psychologie des Unterrichts und der Schule. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- WEINERT, F. E. (1998a). Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten. In: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.): Wissen und Werte für die Welt von morgen. Dokumentation zum Kongress des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kultur, 29./30. April 1998 in der Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- WEINERT, F. E. (1998b). Vermittlung von Schlüsselqualifikationen. In: MATALIK, S./SCHADE, D. (Hrsg.): Entwicklung in Aus- und Weiterbildung: Anforderungen, Ziele, Konzepte. Beiträge zum Projekt „Humanressourcen“. Baden-Baden: Nomos Verlags Gesellschaft.
- WEINERT, F. E. (1999). Konzepte der Kompetenz. Gutachten zum OECD-Projekt „Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations (DeSeCo)“. Neuchatel, Schweiz: Bundesamt für Statistik.
- WEINERT, F. E. (2000). Lehren und Lernen für die Zukunft – Ansprüche an das Lernen in der Schule. PZ-Vortrag. Gehalten am 29. März 2000 im Pädagogischen Zentrum Rheinland-Pfalz in Bad Kreuznach.
- WEINERT, F. E. (2001). Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim/Basel: Beltz Verlag.
- WEINERT, F. E./WALDMANN, M. R. (1988). Wissensentwicklung und Wissenserwerb. In: MANDL, H./SPADA, H. (Hrsg.): Wissenspsychologie München/Weinheim: Psychologie-Verlags-Union.
- WEINERT, F. E./MANDL, H. (1997). Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie 1 Pädagogische Psychologie. Band 4 Psychologie der Erwachsenenbildung. Göttingen/Bern/Toronto/Sattle: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- WEINERT, F. E./SCHRADER, F.-W. (1997). Lernen lernen als psychologisches Problem. In: WEINERT, F. E./MANDL, H. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie 1 Pädagogische Psychologie; Band 4 Psychologie der Erwachsenenbildung. Göttingen/Bern/Toronto/Seattle: Hogrefe Verlag.
- WEISS, R. (1999). Erfassung und Bewertung von Kompetenzen – Empirische und konzeptionelle Probleme. In: Aspekte einer neuen Lernkultur: Argumente, Erfahrungen, Konsequenzen. Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management, Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung (Hrsg.). Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.

- WETH, R. (2001). Über das Verfestigen der Strategien beim Handeln. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Komplexität und Kompetenz: Ausgewählte Fragen der Kompetenzforschung. Bundesinstitut für Berufsbildung. Bonn/Bielefeld: Bertelsmann.
- WIDDEL, H. (1990). Steuerung und Überwachung industrieller Prozesse. In: HOYOS, C./ ZIMOLONG, B. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich D Praxisgebiete. Serie III Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 2 Ingenieurpsychologie. Göttingen/Toronto/Zürich: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- WILSDORF, D. (1991). Schlüsselqualifikationen: Die Entwicklung selbständigen Lernens und Handelns in der industriellen gewerblichen Berufsausbildung. München: Lexika-Verlag.
- WITTWER, W. (2002). Individuelle Kompetenz – Navigator in Veränderungsprozessen. In: JENNEWEIN, K./KNAUTH, P./ZÜLCH, G. (Hrsg.): 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: Shake