

Mentale Integration von Text und Bild beim Lernen mit Multimedia am Beispiel der olfaktorischen Signaltransduktion



Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Boy Kramer

Kiel

2005

Diese Arbeit wurde mit Hilfe von L^AT_EX und KOMA-Script in den Schriftarten Palatino (Hermann Zapf, 1948) und Helvetica (Max Miedinger, 1957) gesetzt.

**Mentale Integration von Text und Bild
beim Lernen mit Multimedia
am Beispiel der olfaktorischen
Signaltransduktion**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Boy Kramer

Kiel

2005

Referent: Prof. Dr. Horst Bayrhuber
Koreferent: Prof. Dr. Helmut Prechtl
Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juli 2005
zum Druck genehmigt: Kiel, den 13. Juli 2005

gez. J. Grotemeyer, Dekan.

Zusammenfassung

Die Neurowissenschaften stellen eine biologische Leitdisziplin von großer gesellschaftlicher und somit auch curricularer Relevanz dar. Ihre wesentlichen Konzepte beziehen sich auf komplexe Strukturen und Prozesse. Wie können, so lautet daher die biologiedidaktische Ausgangsfrage dieser Arbeit, komplexe Inhalte der Neurowissenschaften im Unterricht so dargestellt werden, dass Schüler nicht nur isolierte Fakten erlernen, sondern auch ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge und Konzepte erlangen? Eine mögliche Antwort auf diese Frage liefert der Einsatz multimedialer Lernumgebungen, der durch die Nutzung verschiedener Repräsentationsformen (Text, Bild, Animationen) eine vielversprechende Möglichkeit zur Darstellung komplexer Strukturen und Prozesse bietet. Das Lernen mit Multimedia unterliegt jedoch einem Gefüge von Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung der Lernumgebung (räumliche und zeitliche Anordnung der verschiedenen Repräsentationsformen, instruktionale Hilfestellung), dem Lernziel (Faktenkenntnis, Verständnis) und den Merkmalen des Lerners (Vorwissen, Kognitiver Stil, Interesse). Die mentale Integration von textlicher und bildlicher Information hat sich dabei als eine schwer zu beseitigende Ursache für Lernschwierigkeiten herausgestellt. Um diesem Problem zu begegnen werden in der Literatur explizite Maßnahmen zur Unterstützung der mentalen Integration unterschiedlicher Repräsentationsformen diskutiert. Auf der Grundlage kognitionspsychologischer Forschungsarbeiten werden in dieser Arbeit Prinzipien für die Gestaltung expliziter instruktionaler Hilfen abgeleitet und in Form sogenannter „Mikroaufgaben“ für eine eigens entwickelte multimediale Lernumgebung zur olfaktorischen Signaltransduktion umgesetzt.

Die Wirksamkeit dieser Hilfen wurde in Abhängigkeit von den Lernermerkmalen Vorwissen, Ausprägung des kognitiven Stils und individuelles Interesse überprüft. Dazu wurde die Gruppe der Lerner, die mit Mikroaufgaben lernten, mit einer Kontrollgruppe verglichen, die unter identischen Bedingungen lernte, allerdings keine Mikroaufgaben erhielt. Statt der Mikroaufgaben erhielten die Lerner der Kontrollgruppe die Möglichkeit Notizen anzufertigen. Entgegen der auf der Basis der theoretischen Modelle aufgestellten Hypothesen zeigen die Ergebnisse der Studie, dass die Mikroaufgaben im Vergleich zur Kontrollsituation nicht zu besseren Lernergebnissen führten. Stattdessen erwies sich die Möglichkeit zum Notizenmachen selbst als lernförderliche instruktionale Maßnahme und zwar vor allem für Lerner mit mittlerem Vorwissen. Die geringe Lernwirksamkeit der Mikroaufgaben wird

Zusammenfassung

vor allem darauf zurückgeführt, dass Lerner durch diese Hilfen zu einer zu sehr am Detail orientierten, zu lokal ausgerichteten mentalen Verarbeitung angeregt werden. Der Überblick über größere Zusammenhänge, die globale Betrachtung kommt dagegen zu kurz. Globaler orientierte Hilfen erscheinen damit eine sinnvolle Ergänzung oder sogar Alternative. Das Lernermerkmal des kognitiven Stils hatte insofern den erwarteten Effekt auf die Wirkung der Mikroaufgaben, als dass Lerner mit stark ausgeprägtem kognitivem Stil weniger von den Notizen und mehr von den Mikroaufgaben profitierten. Das individuelle Interesse beeinflusste die Wirkung der Hilfen dagegen nicht. Zudem kommt die Studie zu dem Schluss, dass Lerner, die mit Mikroaufgaben lernten, in Bezug auf den Lernprozess nur gering kognitiv ausgelastet waren und insofern nicht ausreichend zur aktiven Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt angeregt wurden. Die aktive Konstruktion von Wissen sollte daher bei der Entwicklung lernerunterstützender Maßnahmen in den Mittelpunkt rücken.

Schlagwörter:

Signaltransduktion, Olfaktorik, Lernen mit Multimedia, Instruktionale Unterstützung, Mikroaufgaben, Notizen

Abstract

The field of neuroscience is a leading discipline of biology of outstanding societal and curricular relevance alike. Its core concepts apply to complex structures and processes. This rises the question of how the complex topics of neuroscience may be presented in the science classroom in a way that helps students not only remember facts, but also to achieve a deeper understanding of the coherence and concepts of a topic. The use of multiple representations, such as text, picture and animations, provides a promising way to present complex structures and processes; and multimedia learning environments are powerful tools to present multiple representations.

Learning with multimedia, however, is subject to an interplay of three main factors: the design of the learning environment (spatial and temporal arrangement of different forms of representation, instructional help), the learning goal (factual knowledge, comprehension) and learner characteristics (prior knowledge, cognitive style, interest). The mental integration of textual and pictorial information has turned out to be a persistent cause for learning difficulties. An approach to this problem, discussed in literature, are measures of explicit support of the mental integration of multiple representations. In this study, principles for the design of explicit instructional support are derived from research results in cognitive psychology. These principles are then used to develop so-called micro-tasks for a multimedia learning environment the topic of olfactory signal transduction, especially developed for this study.

The effectiveness of these micro-tasks and their dependency on the learner characteristics of prior knowledge, the degree value of the cognitive style and individual interest are tested in an empirical investigation: two groups learned using an identical multimedia learning environment; one of the groups received micro-tasks, a control group did not receive the micro-tasks but was allowed to take notes instead. Contrary to the results predicted on the basis of the theoretical models, the micro-task group did not outperform the notes group. Instead, the possibility of taking notes turned out to have a positive effect on the learning results and can therefore be deemed as instructional help in itself. This positive effect is strongest for learners with medium prior knowledge.

The unconfirmed learning efficacy of the micro-tasks is mainly attributed to an overly detail-oriented learning stimulus, which activated mainly local processing functions. In contrast, global processing functions were not activated by the micro-tasks which may have led to the disregard of a more general and coherent view of

Abstract

the topic. It is therefore concluded that more globally oriented instructional support could be a more potent type of help to complement or even replace micro-tasks. In terms of learner characteristics, learners with a high degree value of cognitive style did show, as was expected, better, if only slightly better, learning results when learning with micro-tasks. Individual interest had, however, no influence on the effect of instructional help.

Furthermore, the study comes to the conclusion that learners of the micro-task group were subject to cognitive "underload" with respect to germane cognitive load which led to an insufficient active processing of information. The development of support for learners should therefore always focus on the active construction of knowledge.

Keywords:

signal transduction, olfaction, multimedia learning, instructional support, micro tasks, note taking

Danksagung

Dank gebührt zunächst den Betreuern meiner Promotion und meinen wissenschaftlichen Mentoren Herrn Prof. Dr. Horst Bayrhuber, Herrn Prof. Dr. Helmut Prechtel und Frau Prof. Dr. Claudia Nerdel für die sehr gute Betreuung, die mir stets die Möglichkeit ließ, eigene Ideen zu entwickeln und umzusetzen. Die ständige freundliche Unterstützung, zahlreiche hilfreiche Hinweise für die wissenschaftliche Arbeit sowie fruchtbare und lebendige Diskussionen in der gemeinsamen Arbeitsgruppe waren wertvolle Erfahrungen, die weit über die Fertigstellung dieser Arbeit hinausreichen.

Für die gute Zusammenarbeit bei der Entwicklung der multimedialen Lernumgebung danke ich besonders Dr. Franz R. Sebald. Außerdem danke ich Inka Lindner und Tim Höffler sowie Katrin Kundy und Simone Lachmeyer ganz herzlich für ihren tatkräftigen Einsatz bei der Programmierung der Lernsoftware bzw. der Kodierung und Eingabe der Daten.

Für die Korrektur von Tipp- und Rechtschreibfehlern sowie verunglückter Formulierungen danke ich Lars Allolio-Näcke, Ingrid Glowinski, Markus Lücken, Iris Mackensen, Colin Moore, Claudia Nerdel, Gesa Schoormans und Anja Schmitz.

Mein herzlicher Dank gilt auch den Lehrern und Schülern die an dieser Studie mitgewirkt haben. Außerdem möchte ich all den Mitarbeitern des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel danken, die mich auf einem Teil meines Weges zur Herstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Insbesondere danke ich zudem Miriam Fischer, Claudia Nerdel, Helmut Prechtel, Anja Schmitz und Gesa Schoormans für moralische Unterstützung, aufmunternde Worte und persönliche Gespräche in Zeiten von Schreibblockaden, Motivationslöchern und Prokrastinationsanflügen. Außerdem danke ich Sabine Schlüter für ihre Geduld und Unterstützung in der gesamten Zeit der Erstellung dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	v
Abstract	vii
Einleitung	1
I. Theoretische Grundlagen	5
1. Fachwissenschaftliche Grundlagen der olfaktorischen Wahrnehmung	6
1.1. Anatomie des olfaktorischen Systems	6
1.1.1. Die Nasenhöhle	6
1.1.2. Das Riechepithel	7
1.1.3. Die Riechzelle	8
1.2. Die olfaktorische Signaltransduktion	8
1.2.1. Die cAMP-Kaskade	9
1.2.2. Der IP ₃ -Weg	11
1.2.3. Der PI ₃ -Kinaseweg	11
1.2.4. Termination des Signals	12
1.3. Informationsverarbeitung im Gehirn	12
1.3.1. Verschaltung der Riechzellen im Riechkolben	12
1.3.2. Topologische Repräsentation der Information	13
1.3.3. Verarbeitung der sensorischen Information im Gehirn	14
2. Fachdidaktische Überlegungen zum Thema Olfaktorik	16
2.1. Neurowissenschaften im Biologieunterricht	16
2.2. Signaltransduktion am Beispiel der Geruchswahrnehmung	17
3. Lernen mit Multimedia	20
3.1. Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Unterricht	20
3.1.1. Computergestütztes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht	21
3.2. Der Begriff Multimedia	22
3.3. Modellvorstellungen zum Lernen mit Multimedia	23

3.3.1.	Das Arbeitsgedächtnis	23
3.3.2.	Repräsentationsformen	24
3.3.3.	Textverstehen	26
3.3.4.	Bildverstehen	28
3.3.5.	Integrierte Modelle	32
3.3.6.	Die <i>Cognitive-Load</i> -Theorie	36
3.4.	Lernen mit multiplen externen Repräsentationen	39
3.4.1.	Bedingungen des Lernens mit multiplen externen Repräsentationen	41
3.4.2.	Anforderungen multipler externer Repräsentationen an den Lerner	43
3.5.	Einfluss von Lernermerkmalen	45
3.5.1.	Einfluss des Vorwissens	45
3.5.2.	Einfluss der Verbalisierer-Visualisierer-Dimension	47
3.5.3.	Einfluss des Interesses	49
4.	Unterstützung des Lernens mit Multimedia	53
4.1.	Implizite Unterstützung durch Multimedia-Design	53
4.2.	Explizite Unterstützung durch instruktionale Hilfen	54
4.2.1.	Steigerung der Verarbeitungsintensität	54
4.2.2.	Optimierung der Verarbeitungsqualität	58
4.2.3.	Berücksichtigung der Lernermerkmale	60
II.	Gestaltung der Lernumgebung	65
5.	Die multimediale Lernumgebung	66
5.1.	Inhaltliche Darstellung	66
5.1.1.	Anatomie des olfaktorischen Systems	66
5.1.2.	Die olfaktorische Signaltransduktion	67
5.1.3.	Informationsverarbeitung im Gehirn	67
5.2.	Struktur der Lernumgebung	67
5.2.1.	Einleitung der Software	69
5.2.2.	Hauptteil der Software	69
5.3.	Design der Lernumgebung	72
5.3.1.	Infobildschirme	73
5.3.2.	Animationssequenzen	75
5.3.3.	Navigationselemente	76
5.3.4.	Hilfefunktionen	76

6. Die instruktionale Hilfestellung	77
6.1. Gestaltung der Hilfen	77
6.1.1. Prinzipien für die Gestaltung instruktionaler Hilfen	77
6.1.2. Umsetzung der Prinzipien für instruktionale Hilfestellungen	79
6.2. Äußere Form der Hilfen	81
III. Empirischer Teil	84
7. Fragestellung und Forschungshypothesen	85
7.1. Haupteffekt der Mikroaufgaben auf den Lernerfolg	85
7.2. Der Einfluss von Lernermerkmalen	86
7.2.1. Vorwissen	86
7.2.2. Kognitiver Stil	89
7.2.3. Individuelles Interesse	89
7.3. Einfluss der kognitiven Auslastung	90
8. Methoden	92
8.1. Stichprobe	92
8.2. Experimentelles Design	93
8.2.1. Variablen	93
8.2.2. Ablauf	94
8.3. Material	95
8.3.1. Lernumgebung	95
8.3.2. Testinstrumente für psychologische Konstrukte	95
8.3.3. Wissenstests	99
8.4. Angewendete statistische Verfahren	108
8.4.1. Deskriptive Statistik	108
8.4.2. Parameterfreie Testverfahren	109
8.4.3. Parametrische Testverfahren	110
9. Ergebnisse	112
9.1. Allgemeine deskriptive Statistiken	112
9.1.1. Lernzuwachs	112
9.1.2. Situationales Interesse	114
9.2. Einfluss der Mikroaufgaben auf den Lernerfolg	115
9.2.1. Hypothese 1: Lernerfolg in der Faktenkenntnis	115
9.2.2. Hypothese 2: Lernerfolg im Verständnis	118
9.2.3. Fazit zu Hypothese 1 und 2	123
9.3. Einfluss von Lernermerkmalen	124
9.3.1. Hypothese 3 und 4: Vorwissensabhängigkeit des Lernerfolgs	124

9.3.2.	Hypothese 5 und 6: Vorwissensabhängigkeit des Lernerfolgs in Abhängigkeit von der Gruppe	128
9.3.3.	Hypothese 7 und 8: Auswirkung der Ausgeprägtheit des kognitiven Stils	133
9.3.4.	Hypothese 9 und 10: Auswirkung des individuellen Interesses	137
9.3.5.	Hypothese 11 bis 14: Kognitive Auslastung	140
10.	Diskussion	148
10.1.	Grundlagen der Untersuchung	148
10.2.	Allgemeine methodenkritische Anmerkungen	149
10.3.	Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse	150
10.3.1.	Lernen mit der multimedialen Lernumgebung	150
10.3.2.	Wirkung der Begleitbögen	152
10.3.3.	Einfluss von Lernermerkmalen	157
11.	Ausblick – Folgerungen für Forschung und Unterrichtspraxis	162
IV.	Anhänge	165
A.	Die Lernsoftware	166
B.	Begleitbögen	178
C.	Fragebögen	185
C.1.	Vortestfragebogen	185
C.2.	Nachtestfragebogen	193
D.	Testinstrumente	207
D.1.	Vorwissenstest	207
D.2.	Test zur Erhebung des Lernzuwachses (TEL)	209
D.3.	Tests zur Erhebung psychologischer Konstrukte	211
D.3.1.	Test zur Erhebung des kognitiven Stils	211
D.3.2.	Tests zur Erhebung des Interesses	212
D.3.3.	Test zur Erhebung der kognitiven Auslastung	213
	Literaturverzeichnis	215
	Autorenregister	230

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Das menschliche Riechorgan	7
1.2.	Zeichnerische Darstellung des Riechepithels	7
1.3.	Kombinatorische Rezeptorcodes für Riechstoffe	9
1.4.	Signaltransduktion an der Riechzellmembran	10
1.5.	Riechepithel und Riechkolben	13
1.6.	Modell der Aktivierung der Glomeruli	13
1.7.	Die Riechbahnen	14
3.1.	Vertemnus von Arcimboldo (1591)	29
3.2.	Theorie der Dualen Kodierung	33
3.3.	Schematisches Darstellung der Modellvorstellung Mayers	35
3.4.	Integriertes Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz.	37
3.5.	Schematische Darstellung der <i>Cognitive-Load</i> -Theorie	38
3.6.	Auswirkung unterschiedlicher kognitiver Auslastung	40
a.	Normale Auslastung	40
b.	Überlastung	40
c.	<i>Extraneous cognitive load</i> reduziert	40
3.7.	Naive Summationstheorie	41
3.8.	Bedeutungsvarianten des Interessenkonstruktes	49
4.1.	Adaptive Lehrfunktionen nach Klauer	55
4.2.	Vorwissen und Wirksamkeit von instruktionalen Hilfen	60
5.1.	Standbilder aus der Softwareeinleitung	68
a.	Einführung in die Bedienung	68
b.	Darstellung der Strukturen	68
5.2.	Hauptteil der Software	70
a.	Auswahlseite	70
b.	Enzymatisch katalysierte cAMP-Bildung	70
5.2.	Hauptteil der Software	71
c.	Konzentrationsausgleich	71
d.	Aktionspotentiale	71
5.3.	Interaktive Bedienelemente	74

Abbildungsverzeichnis

a.	Infobuttons	74
b.	Hotwords	74
5.4.	Steuerfunktionen	75
5.5.	Hilfefunktionen	76
a.	Strategische Hilfe	76
b.	Hilfe zu Steuerungselementen	76
6.1.	Zwei Beispiele für Mikroaufgaben.	80
8.1.	Ablauf der Untersuchung	94
8.2.	Drei Komponenten des Problems	104
8.3.	Mayersche Problemlöseaufgaben	105
a.	Umgestaltung	105
b.	Fehlerbehebung	105
c.	Vorhersage	105
9.1.	Ergebnisse im Vor- und Nachtest	113
a.	Häufigkeiten im Vortest	113
b.	Häufigkeiten im Nachtest	113
c.	Boxplot der TEL-Ergebnisse	113
d.	Vergleich Vortest–Nachtest	113
9.2.	Situationales Interesse	115
a.	Histogramm	115
b.	Boxplot	115
9.3.	Boxplot des Gruppenvergleichs im TEF	117
9.4.	Ergebnis des Verständnistests	120
9.5.	Gruppenvergleich Verständnistest	121
9.6.	Gruppenvergleiche Verständnistest	122
a.	Boxplot für Item 1	122
b.	Boxplot für Item 2	122
c.	Boxplot für Item 3	122
9.7.	Itemrandsummen und Summenscore Vorwissen	125
a.	Vorwissen – Itemrandsummen	125
b.	Vorwissen – Summenscore.	125
9.8.	Vorwissenseffekt	126
a.	Vorwissenseffekt auf die Faktenkenntnis	126
b.	Vorwissenseffekt auf das Verständnis	126
9.9.	Zusammenhang Gruppe – Vorwissen – Faktenkenntnis	129
9.10.	Zusammenhang Gruppe – Vorwissen – Verständnis	131
9.11.	Streudiagramm kognitiver Stil	134
9.12.	Zusammenhang Gruppe – Ausprägung kognitiver Stil	135
a.	Faktenkenntnis	135

Abbildungsverzeichnis

b.	Verständnis	135
9.13.	Individuelles Interesse – Häufigkeiten der Summenscores	137
9.14.	Zusammenhang Gruppe – Individuelles Interesse	139
a.	Faktenkenntnis	139
b.	Verständnis	139
9.15.	Kognitive Auslastung durch die Lernumgebung	141
a.	Kognitive Auslastung Bedienung – Histogramm	141
b.	Kognitive Auslastung Bedienung – Boxplot	141
c.	Kognitive Auslastung Begleitbögen – Histogramm	141
d.	Kognitive Auslastung Begleitbögen – Boxplot	141
9.16.	Kognitive Auslastung Lerngegenstand	142
a.	Histogramm	142
b.	Boxplot	142
9.17.	Optimum der kognitiven Auslastung	143
a.	Histogramm	143
b.	Boxplot	143
9.18.	Kognitive Auslastung Begleitbögen – Gruppenvergleich	143
9.19.	Kognitive Auslastung Lerngegenstand – Vorwissen	144
9.20.	Optimum der kognitiven Auslastung	146
a.	Optimum der kognitiven Auslastung – Faktenkenntnis	146
b.	Optimum der kognitiven Auslastung – Verständnis	146
A.1.	Einleitung der Software	167
a.	Einführung in die Bedienung	167
b.	Anatomie der Nase	167
c.	Aufbau des Riechepithels	168
d.	Die Riechzelle	168
e.	Membran der Riechzelle	169
A.2.	Hauptteil der Software – Die cAMP-Bildung	170
a.	Auswahlseite	170
b.	Membran einer Riechzellilie	170
A.2.	Hauptteil der Software – Die cAMP-Bildung	171
c.	Duftstoff ist am Rezeptor angedockt	171
d.	G-Protein ist am Rezeptor angedockt	171
A.2.	Hauptteil der Software – Die cAMP-Bildung	172
e.	Aktiviertes G-Protein	172
f.	Aktivierte Adenylatcyclase	172
A.2.	Hauptteil der Software – Die cAMP-Bildung	173
g.	Enzymatisch katalysierte cAMP-Bildung	173
h.	Beendigung cAMP-Synthese	173
A.2.	Hauptteil der Software – Die cAMP-Bildung	174
i.	Abspaltung eines Phosphatrests	174

Abbildungsverzeichnis

j.	Verstärkungsfaktor G-Protein-Aktivierung	174
k.	Wiederherstellung des Grundzustands	175
A.3.	Hauptteil der Software – Der Kationeneinstrom	175
a.	Das Ruhepotential	175
A.3.	Hauptteil der Software – Der Kationeneinstrom	176
b.	Öffnung der Ionenkanäle	176
c.	Konzentrationsausgleich	176
A.3.	Hauptteil der Software – Der Kationeneinstrom	177
d.	Depolarisation	177
e.	Aktionspotentiale	177

Tabellenverzeichnis

2.1. Vorauszusetzende Themen und Klassenstufe.	18
5.1. Umsetzung der Designprinzipien innerhalb der Lernumgebung. . . .	72
6.1. Mikroaufgaben	82
8.1. Geschlechterverteilung auf die Versuchsgruppen	93
8.2. Faktorenanalyse der linearen Items zur kognitiven Auslastung	99
8.3. Kategoriensystem Faktenkenntnistest	104
9.1. Deskriptive Statistiken der Ergebnisse des TEL	114
9.2. Deskriptive Statistiken – Situationales Interesse	114
9.3. Kategorienbesetzung im TEF	116
9.4. Median und Quartilwerte des Gruppenvergleichs im TEF	117
9.5. Kategorienbesetzung im Verständnistest	119
9.6. Median und Quartilwerte der Items des Verständnistests	119
9.7. Median und Quartilwerte der Einzelitems des Verständnistests	121
9.8. Besetzung der Einzelscores im Vorwissenstests	124
9.9. Mittelwerte und Standardabweichungen der Vorwissensniveaus – Gruppenvergleich	128
9.10. Mittelwerte und Standardabweichungen der Ausgeprägtheit des ko- gnitiven Stils – Gruppenvergleich	135
9.11. Mittelwerte und Standardabweichungen des individuellen Interesses – Gruppenvergleich	138
D.1. Items zu Erhebung des kognitiven Stils	211
D.2. Items zu Erhebung des situationalen Interesses	212
D.3. Items zu Erhebung des individuellen Interesses	212
D.4. Test zur kognitiven Auslastung – Skala Lerngegenstand	213
D.5. Test zur kognitiven Auslastung – Skala Lernumgebung	214
D.6. Test zur kognitiven Auslastung – Skala Optimale Auslastung	214

Einleitung

Die interdisziplinär arbeitenden Neurowissenschaften stellen einen wissenschaftlichen Bereich mit rapide voranschreitendem Erkenntnisgewinn von hoher gesellschaftlicher Relevanz dar. Die Erkenntnisse reichen vom Lernen und der Gehirnentwicklung über Wahrnehmung und Emotionen bis hin zu Heilungschancen für neuronale Krankheiten (Neurowissenschaftliche Gesellschaft, 2004). Neue Entwicklungen dieses Wissenschaftszweiges haben bislang jedoch kaum Eingang in den Themenkanon des Schulunterrichts gefunden. Gerade aufgrund der hohen gesellschaftlichen Relevanz ist eine Einbindung in den Schulunterricht jedoch notwendig, um ein Verständnis der modernen neurowissenschaftlichen Forschung in der Öffentlichkeit im Sinne eines *Public Understanding of Science* zu ermöglichen.

Neurowissenschaftliche Konzepte und Phänomene sind von Komplexität und Dynamik, Interdisziplinarität und einem hohen Vernetzungsgrad geprägt, weshalb die Neurowissenschaften auch eine exemplarische Leitdisziplin für die modernen Biowissenschaften darstellen. Dies schlägt sich jedoch auch in einer geringen Anschaulichkeit und einem hohen kognitiven Anforderungsgrad nieder, so dass die Behandlung neurowissenschaftlicher Themen in der Schule eine besondere Herausforderung für Lehrer und Schüler¹ bedeutet (Sebald, Prechtel & Bayrhuber, 2003). Zugleich bietet diese Herausforderung jedoch auch die Chance den Biologieunterricht innovativ zu gestalten, indem den Anforderungen des Lerngegenstandes durch *fachübergreifendes Lernen* und *Vernetzung* der biologischen Subdisziplinen nachgekommen wird und so zugleich zwei wesentliche Anforderungen an modernen Biologieunterricht erfüllt werden (Harms, Mayer, Hammann, Bayrhuber & Kattmann, 2004, S. 58–61).

Die Geruchswahrnehmung, oder *Olfaktorik*, wurde in dieser Arbeit als exemplarisches Thema ausgewählt, um das grundlegende neurobiologische Konzept der Signaltransduktion zu vermitteln. In Kapitel 1 ab Seite 6 im theoretischen Teil I dieser Arbeit wird der aktuelle fachwissenschaftliche Hintergrund zu diesem Thema dargestellt. Das Thema Olfaktorik bietet vielversprechende Anknüpfungspunkte für eine innovative Gestaltung des Unterrichts. So eignen sich beispielsweise die Aspekte der Wahrnehmung und der Emotion zur Vernetzung der Subdisziplinen Neurobiologie und Verhalten (z. B. Partnerwahl). Die molekulare Struktur von Geruchsstoffen und Proteinen bietet Ansätze für fachübergreifenden Biologie- und Chemieunter-

¹Männliche und weibliche Personenbezeichnungen beziehen sich hier und im Folgenden *nicht* auf das natürliche Geschlecht.

richt und emotionale Aspekte ermöglichen es sogar, über literarische Werke (z. B. Patrick Süskinds *Das Parfum* oder Marcel Prousts *Suche nach der verlorenen Zeit*) die eher ungewöhnliche Verbindung zum Deutsch- oder Fremdsprachenunterricht herzustellen (Sebald, 2004). In Kapitel 2 ab Seite 16 wird näher darauf eingegangen, wie die Neurowissenschaften in den Unterricht integriert werden können und weshalb sich das Thema der Geruchswahrnehmung dafür besonders eignet.

Auch für die Darstellung der olfaktorischen Signaltransduktion stellt sich jedoch das generelle Problem der wenig anschaulichen, komplexen und dynamischen Prozesse. Wie kann, so lautet daher die biologiedidaktische Ausgangsfrage dieser Arbeit, dieses komplexe biologische Konzept so dargestellt werden, dass Schüler in die Lage versetzt werden, ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge und Konzepte zu erlangen?

Der Einsatz multimedialer Lernumgebungen bietet die Möglichkeit zu einem aussichtsreichen methodischen Ansatz für die verständnisfördernde Vermittlung von komplexen und dynamischen Konzepten. Das Medium erweitert vor allem die Möglichkeiten der Darstellung. Die Kombination von Text, der visuell als „geschriebener Text“ oder verbal als „gesprochener Text“ dargeboten werden kann, Bild (Standbild oder bewegte Animation) und interaktiven Bedienelementen ermöglicht es eine Lernumgebung zu erstellen, die den Anforderungen für die Darstellung komplexer und dynamischer Phänomene und Konzepte gerecht werden kann. Allerdings sind dabei eine Vielzahl unterschiedlicher Bedingungen und Anforderungen auf Seiten der Lernumgebung (z. B. Kombination und Anordnung der Text- und Bildelemente, inhaltlicher Bezug von Text und Bild) und der Lerner (z. B. Vorwissen, Interesse, kognitiver Stil) zu beachten. Werden diese Bedingungen und Anforderungen nicht beachtet, so wird Lernen durch den Einsatz von Multimedia eher erschwert als erleichtert (Kirsh, 1997; Lowe, 1998; Schnotz, 1997; Mayer, 2003; Brünken, Plass & Leutner, 2004; Goldman, 2003). Vor allem die Kognitionspsychologie hat im Rahmen zahlreicher Forschungsarbeiten Modellvorstellungen zum Lernen mit Text und Bild entwickelt, die Aussagen über die Bedingungen und Anforderungen zum Lernen mit Multimedia erlauben (Mayer, 2001; Schnotz, 2001c). Diese in Kapitel 3 ab Seite 20 vorgestellten Modellvorstellungen, versuchen auch die komplexen Wechselwirkungen zwischen Lernumgebung und Lernern mit einzubeziehen.

Das Lernen mit Multimedia bietet also Chancen, komplexe Lerninhalte angemessen darzustellen, es birgt aber auch eine Reihe von Risiken, die das Lernen behindern können. Vor allem die Integration von Text und Bild kann durch fehlende Aufmerksamkeit und mangelnde Verarbeitungstiefe gefährdet sein. Ziel der Gestaltung multimedialer Lernumgebungen muss es sein, die Lerner bei der Vermeidung der Risiken und der Nutzung der Chancen zu unterstützen. In Kapitel 4 ab Seite 53 werden hierzu zwei grundsätzlich unterschiedliche Formen instruktionaler Hilfen diskutiert. Eine Form instruktionaler Maßnahmen stellt die implizite Unterstützung der Lerner durch das Design der Lernumgebung dar. Die Integration von Text und Bild wird

hier zum Beispiel unterstützt, indem die Anordnung der Informationen auf dem Bildschirm optimiert wird. Diese Form der Unterstützung ist bereits weitreichend erforscht und es gibt inzwischen eine überschaubare Anzahl wesentlicher Prinzipien zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen, die viele der möglichen Probleme beim Lernen mit Multimedia verhindern. Allerdings zeigt sich oft trotz impliziter Unterstützung eine mangelnde mentale Integration von Text und Bild. Die zweite Form instruktionaler Hilfen stellen Formen expliziter Unterstützung der Lerner dar. Durch die Formulierung von Hinweisen, Fragen oder Aufgaben ist es möglich, ergänzend zu den impliziten Hilfen, den Lernprozess zusätzlich zu unterstützen und die Lerner zur mentalen Integration von Text und Bild anzuregen. Diese Form der Unterstützung ist jedoch weit weniger erforscht. Explizite Hilfen könnten durch den Bezug auf die Bedeutungsebene von Text und Bild die Lerner zu einer aktiven Verarbeitung anregen und so die mentale Integration von Text und Bild unterstützen und die Verarbeitungstiefe fördern. Mit der Beschreibung des bisherigen Wissensstandes über die Frage, wie eine solche Form expliziter Unterstützung beschaffen sein sollte, schließt der theoretische Teil dieser Arbeit.

In Teil II dieser Arbeit wird beschrieben, wie die theoretischen Forderungen durch Implementation der genannten impliziten Maßnahmen der Lernerunterstützung in eine multimedialen Lernumgebung umgesetzt wurden (vgl. Kapitel 5 ab Seite 66). Anschließend werden anhand der bisherigen theoretischen Erkenntnisse zu expliziten instruktionalen Hilfen Prinzipien für die Gestaltung von expliziten Hilfen aufgestellt und es wird deren konkrete Umsetzung in Form von sogenannten „Mikroaufgaben“ beschrieben (vgl. Kapitel 6 ab Seite 77).

In Teil III der Arbeit wird dann eine empirische Studie vorgestellt, die der übergreifenden Frage nachgeht, wie sich die auf der Grundlage kognitionspsychologischer Erkenntnisse entwickelten instruktionalen Hilfen zur Integration von Text und Bild („Mikroaufgaben“) in Abhängigkeit verschiedener Lernermerkmale (Vorwissen, kognitiver Stil, Individuelles Interesse) auf den Erwerb von Faktenkenntnis und Verständnis auswirken. Für diese und etwas spezifischere übergreifende Forschungsfragen werden in Kapitel 7 ab Seite 85 die sich aus dem theoretischen Hintergrund ableitenden Hypothesen dargestellt.

Die Studie zur Überprüfung der Hypothesen wurde in der 11. bis 13. Jahrgangsstufe an Gymnasien und Gesamtschulen in Schleswig-Holstein durchgeführt. Dazu wurde ein Untersuchungsdesign entwickelt, bei dem ein Teil der Lerner mit der Unterstützung der entwickelten Mikroaufgaben lernte, während der andere Teil der Lerner als Kontrollgruppe fungierte und ohne die entwickelte Unterstützung lernte (Kontrollgruppenplan). Alle anderen Bedingungen waren für beide Gruppen identisch, das heißt alle Schüler lernten mit der gleichen für diese Studie entwickelten multimedialen Lernumgebung. In Kapitel 8 ab Seite 92 werden die verwendeten Methoden ausführlich dargestellt.

Die Ergebnisse der Studie in Form deskriptiver Statistiken und hypothesenprüfenden

den Verfahren werden in Kapitel 9 ab Seite 112 vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse zu den einzelnen Hypothesen in Kapitel 10 ab Seite 148 im Zusammenhang diskutiert. Dabei wird darauf eingegangen, in welcher Weise die beobachtete Wirkung der Mikroaufgaben zu deuten ist und inwieweit sich diese Wirkung mithilfe kognitionspsychologischer Theorien erklären lässt. Schließlich wird in Kapitel 11 ab Seite 162 ein Ausblick auf die Implikationen der gewonnenen Erkenntnisse für zukünftige Forschung und für die Nutzung instruktionaler Unterstützung beim Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Biologieunterricht gegeben.

Teil I.

Theoretische Grundlagen

1. Fachwissenschaftliche Grundlagen der olfaktorischen Wahrnehmung

That which we call a rose by any other name would smell as sweet.

(William Shakespeare)

Der Geruchssinn wird, wie der Geschmackssinn, als „chemischer Sinn“ bezeichnet, weil hier chemische Substanzen direkt als Informationsüberträger dienen. Die „chemischen Sinne“ sind phylogenetisch sehr viel älter als die anderen Sinnessysteme und entstammen der Zeit, als Wasserlebewesen auf Informationen aus dem sie umgebenden Medium angewiesen waren, um Geschlechtspartner oder Beute zu finden. Im Laufe der menschlichen Entwicklungsgeschichte haben der Sehsinn, als wichtiger Sinn tagaktiver Landbewohner, und der Hörsinn, als Voraussetzung für die menschliche Sprache, die Bedeutung des Riechens scheinbar in den Hintergrund gedrängt. Doch der Geruchssinn spielt auch im menschlichen Alltag, vor allem durch die Beeinflussung von vegetativen und hormonellen Steuerungsprozessen, eine entscheidende Rolle. Neben der Erweiterung der gustatorischen Wahrnehmung bei der Nahrungsaufnahme beeinflusst der olfaktorische Sinn so elementare Bereiche wie Sozialkontakte, Partnerwahl und Emotionen.

1.1. Anatomie des olfaktorischen Systems

1.1.1. Die Nasenhöhle

In der Abbildung 1.1 ist eine der zwei durch die Nasenscheidewand getrennten Nasenhöhlen halbschematisch dargestellt. Man erkennt in der Nasenhöhle drei übereinander liegende, gut durchblutete, wulstartige Gebilde: die Konchen oder Nasenmuscheln. Sie sind vollständig mit Schleimhaut, dem respiratorischen Epithel, ausgekleidet. Die Konchen dienen vor allem dazu, die eingeatmete Luft anzufeuchten und anzuwärmen.

Zum Gehirn hin wird die Nasenhöhle durch das Siebbein begrenzt. Vom Riechepithel aus ziehen die Axone der Riechsinneszellen durch das poröse Siebbein zum Riechkolben (Bulbus olfactorius), einem vorgelagerten Hirnteil.

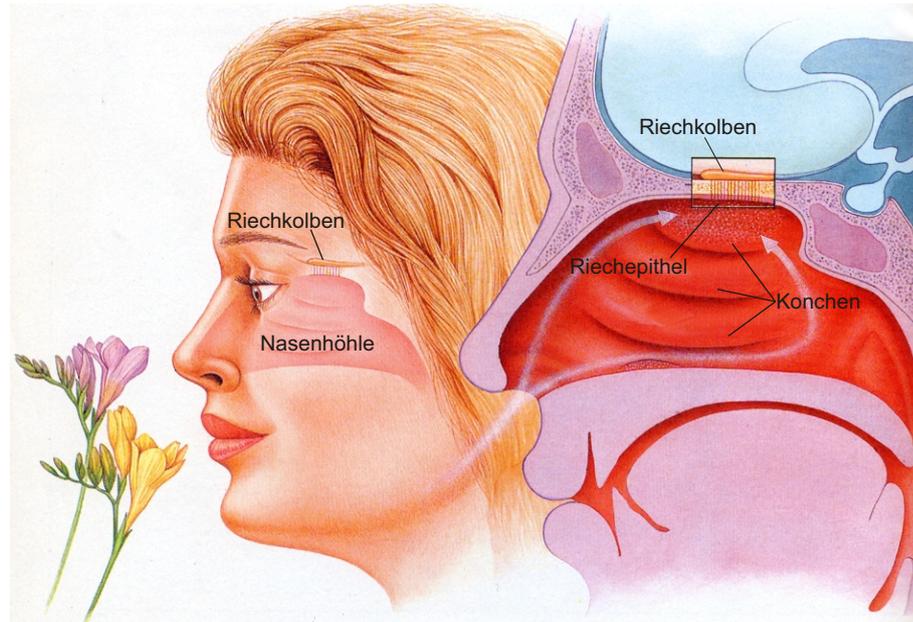
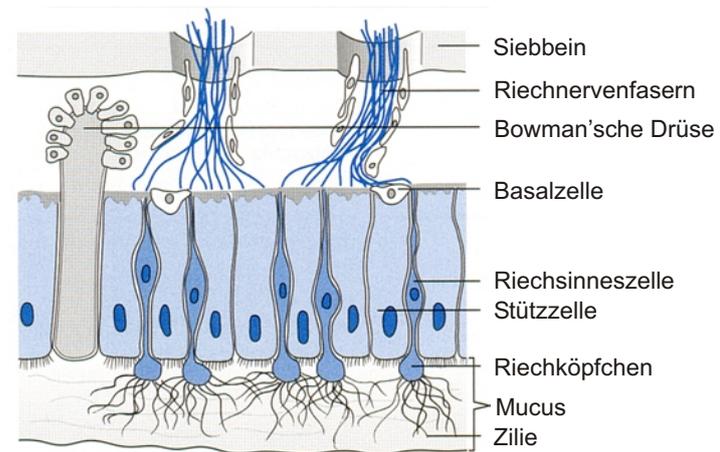


Abbildung 1.1: Das menschliche Riechorgan. Das Riechepithel bedeckt die oberste der wulstartigen Ausbuchtungen (Konchen) im oberen Nasenraum. Bildquelle: Roberto Osti Illustrations.

Abbildung 1.2: Zeichnerische Darstellung des Riechepithels. Im Anschnitt sind die einzelnen Zellformen zu erkennen: In der äußeren Schicht befinden sich Riechzellen mit langen Zilienbüscheln sowie Stützzellen, darunter liegen die Basalzellen. Eingestreut finden sich Bowman'sche Drüsen. Aus Sebald, 2004. Bildquelle: Unterricht Biologie 295, S. 6.



1.1.2. Das Riechepithel

Das etwa 5 cm² große, gelblich pigmentierte Riechepithel bedeckt die oberste Konche am Nasendach sowie Teile der mittleren Konche. Es stellt die eigentliche olfaktorische Region dar. Zur Vergrößerung der Oberfläche ist es stark gefaltet. Das auch als Riechschleimhaut bezeichnete Riechepithel ist von einer Schleimschicht (Mucus) bedeckt, die von den in die Membran eingestreuten Bowman'schen Drüsen abgesondert wird. Das Riechepithel besteht im Wesentlichen aus drei Zelltypen (siehe Abbildung 1.2).

1. *Stützzellen* grenzen das Riechepithel zur Nasenhöhle hin ab. Die Stützzellen sind durch ihr langgestrecktes, ziegelsteinförmiges Aussehen, den großen, in einer Ebene liegenden Zellkernen und dem Saum aus Microvilli gut von den sie umgebenden Zellen zu unterscheiden.
2. *Basalzellen* sind von runder Gestalt und unterhalb der Stützzellschicht angesiedelt. Bei den Basalzellen handelt es sich um neuronale Stammzellen. Sie sind also auch im adulten Nervensystem noch teilungsfähig. Aus ihnen können zeit lebens kontinuierlich Riechzellen nachgebildet werden.
3. *Riechzellen* sind in die Stützzellenschicht eingebettet.

1.1.3. Die Riechzelle

Die Riechzellen sind hochdifferenzierte bipolare Sinnesnervenzellen, die an ihrem apikalen Ende, dem sogenannten Riechköpfchen (Dendrit), ein Bündel aus Zilien ($9 \times 2 + 2$ Bau) tragen, die in den Mucus hineinragen. Die Membran dieser Zilien stellt die chemosensorische Oberfläche der Riechzellen dar.

Eingeatmete Duftstoffe führen über eine Transduktionskaskade (vgl. Kapitel 1.2) zu einer elektrischen Erregung. Am basalen Ende der Riechzellen befinden sich die Nervenfortsätze (Axone), die durch die Siebinnenplatte in den Riechkolben (Bulbus olfactorius) projizieren. Aufgrund der eigenen Axone, die direkt auf Zellen im Gehirn projizieren, spricht man hier von primären Sinneszellen, im Gegensatz zu den sekundären Sinneszellen, wie etwa Geschmackszellen, deren Signale zunächst an zum Gehirn führende (afferente) Nervenzellen übertragen werden müssen. Der Mensch besitzt etwa 30 Millionen Riechzellen, die im Durchschnitt nur etwa einen Monat alt werden. Dann werden sie durch Ausdifferenzierung von Basalzellen erneuert.

1.2. Die olfaktorische Signaltransduktion

An der Membran der Riechzellzilien findet die Rezeption der Duftstoffe statt (vgl. Abb. 1.4). Die Information über die chemische Struktur von Duftstoffmolekülen wird hier in elektrische Signale umgewandelt, die schließlich zu Aktionspotenzialen am Axon der Riechsinneszellen führen. Dies wird als Transduktion des Signals bezeichnet.

Damit eine Signaltransduktion stattfinden kann, müssen die kleinen (< 400 Da) und meist lipophilen Duftstoffmoleküle durch den Mucus zu den Rezeptorproteinen in der Zilienmembran gelangen. Dies geschieht zum Teil mit Hilfe von löslichen Geruchsstoff bindenden Carrier-Proteinen (*odorant binding proteins*; OBPs), die vermutlich recht unspezifisch an bestimmte Gruppen von Duftstoffen binden. Durch die Bindung an die lipophilen Duftstoffe erleichtern sie deren Transport durch den Mucus zu den Rezeptorproteinen in der Zilienmembran. (Buck, 1996)

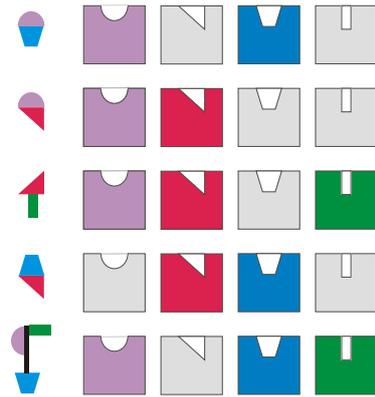


Abbildung 1.3: Schematische Darstellung der kombinatorischen Codierung von Düften. Die rechts farbig dargestellten Duftstoffrezeptoren erkennen die links dargestellten Duftstoffe aufgrund ihres entsprechenden Bindungsareals. Zudem kann jeder Rezeptor als eine Komponente in einer Kombination aktivierter Rezeptoren dienen, die zusammen einen Duft codieren. Verändert nach Malnic et al., 1999.

Die transmembranen Rezeptorproteine gehören zur Familie der G-Protein gekoppelten Rezeptoren, deren molekulare Struktur sich stark ähnelt: Sie besitzen grundsätzlich eine Quartärstruktur, in der helicale, hydrophobe Domänen die Membran siebenfach durchspannen. In dem Bindungsareal für Liganden unterscheidet sich die Struktur der Proteine jedoch entscheidend. Beim Menschen geht man von der Existenz etwa 350 verschiedener Rezeptortypen aus.¹

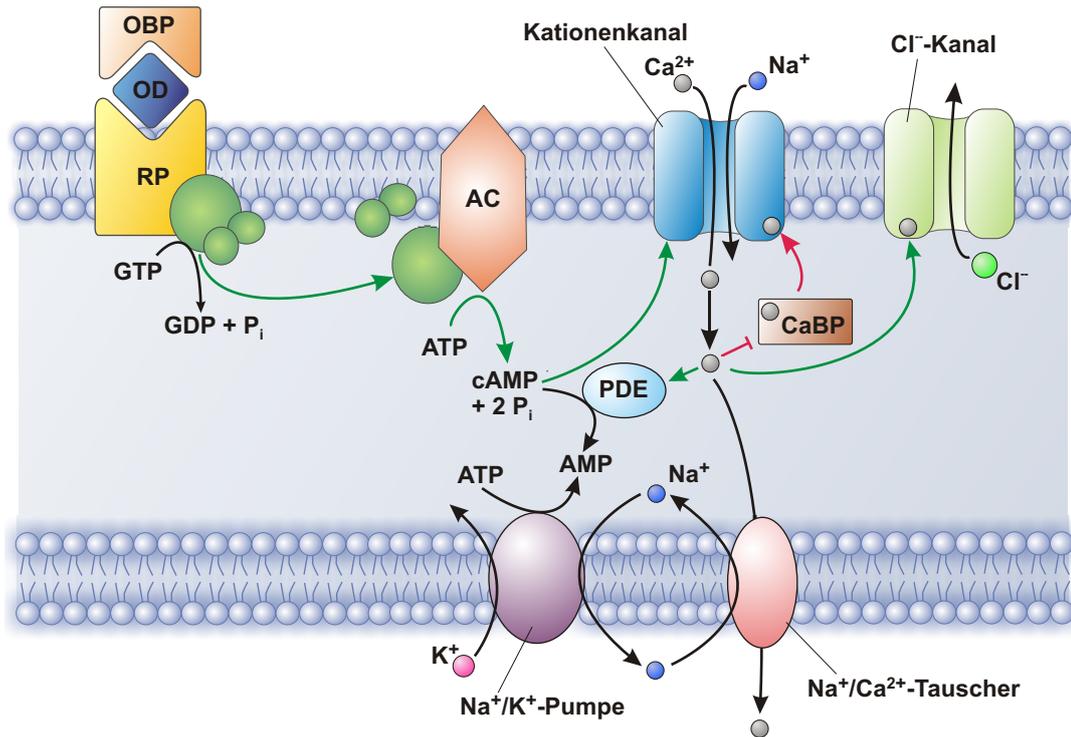
Jede der etwa 30 Millionen Riechzellen im menschlichen Riechsystem besitzt nur jeweils einen dieser Rezeptortypen, so dass der Mensch in der Lage ist, etwa 350 verschiedene chemische Strukturen zu unterscheiden. Allerdings ist jeder Rezeptortyp in der Lage, verschiedene Duftstoffe mit eben dieser chemischen Struktur zu binden. Umgekehrt können unterschiedliche Strukturelemente eines Duftstoffes an verschiedenen Rezeptoren binden. Diese kombinatorische Codierung eines Duftes macht es dem Menschen möglich, mittels der etwa 350 Rezeptorentypen mehr als 10 000 unterschiedliche Düfte wahrzunehmen und zu unterscheiden, die aus einem Gemisch von zum Teil hunderten unterschiedlicher Duftstoffe bestehen (vgl. Abbildung 1.3).

Bindet ein Duftstoff an dem Bindungsareal eines Rezeptorproteins, so führt dies zu einer Konformationsänderung der Molekülstruktur des transmembranen Rezeptorproteins, so dass auf dessen intrazellulärer Seite ein olfaktorisches G-Protein anknüpfen kann (Malnic et al., 1999).

1.2.1. Die cAMP-Kaskade

Das olfaktorische G-Protein besteht aus drei Untereinheiten (α , β und γ) und ist mit der inneren Lipidschicht assoziiert. Die α -Untereinheit ($G_{\alpha\text{olf}}$) bindet im Ruhe-

¹Es gibt bei höheren Säugern und Primaten etwa 1000 Gene, die für Rezeptorproteine codieren. Davon wurden zwei Drittel im Verlauf der menschlichen Evolution zu Pseudogenen, so dass nur noch 347 aktiv sind. Trotzdem stellen die für die olfaktorischen Rezeptorproteine codierenden Gene mit mehr als 1% der vermutlich etwa 25 bis 30 Tausend aktiven menschlichen Gene die bei weitem größte bekannte Genfamilie im menschlichen Genom dar (Hatt, 2003; Axel, 1995; Southan, 2004).



Anmerkung.

OBP: *odorant-binding protein*, Geruchsstoff-bindendes Protein; Od: *odorant*, Geruchsstoff; RP: Rezeptorprotein; AC: Adenylatcyclase; CaBP: Calcium-bindendes Protein (Calmodulin); PDE: Phosphodiesterase

Abbildung 1.4: Signaltransduktion an der Membran einer Riechzellzilie: Die cAMP-Kaskade. Nähere Erläuterungen im Text, S. 9. Verändert nach Firestein, 2001.

zustand Guanosindiphosphat (GDP). Bindet nun, wie in Abbildung 1.4 dargestellt, G_{olf} an der durch die Konformationsänderung entstandenen Bindungsstelle am Rezeptorprotein, so kann das GDP durch Guanosintriphosphat (GTP) ersetzt werden. Das G-Protein befindet sich nun im aktivierten Zustand: Sobald GTP gebunden ist, dissoziiert die α - von der $\beta\gamma$ -Untereinheit. Damit entsteht eine Molekülkonformation, die in ein Bindungsareal des in die Membran eingebetteten Enzyms Adenylatcyclase (AC) passt. Das an der Membran assoziierte und deshalb leicht bewegliche G_{olf} kann dann an der AC andocken, wodurch deren katalytische Funktion aktiviert wird, so dass sie aus Adenosintriphosphat zyklisches Adenosinmonophosphat (cAMP) synthetisiert.

Durch die zwei Verstärkungsschritte dieser Kaskade können insgesamt mehr als 1000 cAMP-Moleküle durch das Andocken eines Duftstoffes synthetisiert werden: Erstens kann ein Rezeptorprotein etwa 10 bis 20 G-Proteine aktivieren bevor der Duftstoff sich löst und die ursprüngliche Konformation wieder hergestellt ist, zweitens ist die AC so lange aktiv, dass pro gebundenem G_{olf} 100 und mehr cAMP-Moleküle entstehen können.

Die stark erhöhte Konzentration des intrazellulären Botenstoffes² cAMP führt zur Öffnung cAMP-gesteuerter Natrium- und Calciumionenkanäle, die in hoher Dichte in der Zilienmembran liegen. Aufgrund eines Konzentrationsgradienten zwischen extra- und intrazellulärem Raum hat dies einen Einstrom von Na⁺- und Ca²⁺-Ionen aus dem Mucus zur Folge. Dieser Influx von Ca²⁺-Ionen führt wiederum zur Öffnung von Ca²⁺-gesteuerten Chloridkanälen, was schließlich aufgrund einer erhöhten Chloridionenkonzentration im intrazellulären Raum einen Cl⁻-Ausstrom bewirkt.

Die Ladungsverhältnisse an der Membran der Riechzellzilien unterscheiden sich damit wesentlich von denen an der Membran von Neuronen des Zentralnervensystems. Der nötige Chloridionengradient wird hier durch aktive Akkumulation von Cl⁻ einerseits und durch Vermeidung der sonst üblichen Chloridtaucher andererseits erreicht (Kaneko, Putzier, Frings, Kaupp & Gensch, 2004).

Durch Kationeneinstrom und Anionenausstrom wird eine Verschiebung des in Ruhe negativen Membranpotenzials (etwa -70 mV) bewirkt. Dieses weitergeleitete Rezeptorpotenzial öffnet am Dendritenhügel zahlreiche spannungsabhängige Kationenkanäle (Na⁺, K⁺, Ca²⁺). Wird eine Schwelle von ca. -50 mV überschritten, so wird das Rezeptorpotenzial am Dendritenhügel in Aktionspotenziale umgesetzt. Diese werden dann über das Axon des Riechneurons weiter ins Gehirn geleitet (siehe Abschnitt 1.3).

1.2.2. Der IP₃-Weg

Bisher nicht vollständig geklärt ist, inwiefern der Pfad über den intrazellulären Botenstoff Inositol-1,4,5-trisphosphat (IP₃) an der olfaktorischen Signaltransduktion von Vertebraten beteiligt ist. Möglicherweise ist dieser IP₃-Weg für eine bestimmte Gruppe von Duftstoffen (Aldehyde, Amine) zuständig (Hatt, 1998).

Die Signaltransduktion über diesen Weg verläuft vermutlich wie folgt: G_{olf} regt Phospholipase C zur Umwandlung von Phosphatidylinositol-4,5-bisphosphat in IP₃ und Diacylglycerol (DAG) an. IP₃ bindet an einen Calciumionenkanal der sich daraufhin öffnet und so einen Ca²⁺-Influx auslöst.

1.2.3. Der PI₃-Kinaseweg

Neueren Forschungsergebnissen zufolge besteht, zumindest bei Ratten, zudem die Möglichkeit, dass durch einen zweiten, am gleichen Rezeptorprotein andockenden Duftstoff ein weiterer Signalweg angeschaltet wird. Dieser wird als PI₃-Kinaseweg bezeichnet, da hier durch Phosphatidylinositol-3-Kinase Phosphatidylinositol-3,4,5-trisphosphat (PIP₃) als entscheidender intrazellulärer Botenstoff hergestellt wird. Die-

²Für intrazelluläre Botenstoffe hat sich in der Fachliteratur auch der Begriff „second messenger“ eingebürgert. Dieser Begriff ist aber vor allem aufgrund der oft langen Signalketten, die über eine Vielzahl solcher Botenstoffe ablaufen, missverständlich, weshalb hier der o. g. allgemeinere Begriff verwendet wird.

ser Weg führt zu einer Blockade oder Hemmung der Geruchswahrnehmung auf zellulärer Ebene (Spehr, Wetzel, Hatt & Ache, 2002).

1.2.4. Termination des Signals

Die Termination des Signals läuft über verschiedene Mechanismen. Zum einen wirkt $G_{\alpha\text{olf}}$ selbst als Enzym, das die Umsetzung von GTP zu GDP unter Abspaltung eines Phosphatrestes beschleunigt, so dass es selbst für seine Inaktivierung sorgt und anschließend mit der $G\beta\gamma$ -Untereinheit reassoziert. Zum anderen wirkt Ca^{2+} rückkoppelnd als hemmender Faktor: Calmodulin wird durch die Bindung von Ca^{2+} aktiviert und sorgt seinerseits für die Aktivierung der Phosphodiesterase. Dies führt schließlich zur Senkung der cAMP-Konzentration. Außerdem sorgt das Calciumionen-bindende Calmodulin für eine Abschaltung der Kationenkanäle.

Über Natrium-Calcium-Tauscher wird schließlich das Ca^{2+} wieder in den extrazellulären Raum befördert, Na^+ muss dann unter ATP-Verbrauch mittels einer Na^+/K^+ -Pumpe aus den Zilien gepumpt werden. So wird das Ruhepotential an der Membran der Riechzellzilie wiederhergestellt.

1.3. Informationsverarbeitung im Gehirn

1.3.1. Verschaltung der Riechzellen im Riechkolben

Die gebündelten Axone der Riechzellen ziehen als Riechnerv (Nervus olfactorius) durch die Poren der Siebbeinplatte am Nasendach in den vorgelagerten Gehirnteil Bulbus olfactorius. Dort sind sie in als Glomeruli bezeichneten Strukturen vor allem mit Mitralzellen synaptisch verschaltet. Dabei enden jeweils etwa 1000 Axone des gleichen Riechzelltyps an einer einzigen Mitralzelle. Einige synaptische Eingänge finden sich auch zu sogenannten periglomerulären Zellen, die aufgrund ihres hohen inhibitorischen Potenzials für eine Hemmung der Mitralzellen sorgen. Auf diesen auch als äußere plexiforme Schicht bezeichneten Bereich folgt die Schicht der Körnerzellen (innere plexiforme Schicht), in der sich auch die Zellkörper der Mitralzellen befinden. Körnerzellen sind vor allem lateral verschaltet und wirken als Interneurone mit dendro-dendritischen Synapsen³ ebenfalls inhibitorisch auf die Mitralzellen.

Die komplizierten Wechselwirkungen dieses neuronalen Netzwerkes sind noch nicht vollständig geklärt. Festzuhalten bleiben die wichtigsten Merkmale: starke Konvergenz, umfangreiche Hemmungsmechanismen (rekurrente und laterale Inhibition) und zentrale Kontrolle durch efferente Bahnen.

³Synapsen des sogenannten „Renshaw-Typus“, die rekurrente Hemmung proportional zur Aktivität der Mitralzellen ermöglichen.

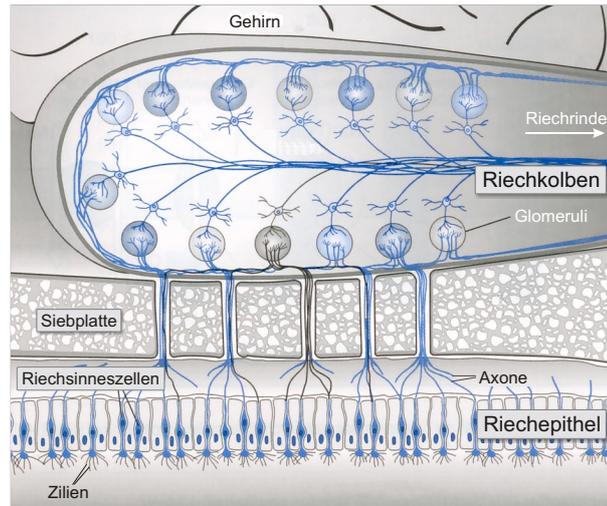


Abbildung 1.5: Schematische Darstellung des Riechepithels und des Riechkolbens. Verändert nach Sebold, 2004. (Bildquelle: Unterricht Biologie 295, S. 6.)

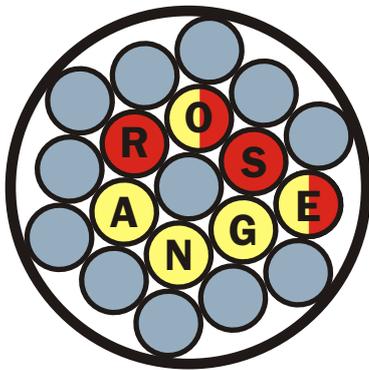


Abbildung 1.6: Modell der Aktivierung der Glomeruli. Glomeruli, die durch Rosenduft (rot), bzw. Orangenduft (hellgelb) oder durch beide Duftstoffgemische aktiviert werden, führen zu charakteristischen Aktivierungsmustern, die vom Gehirn eindeutig interpretiert werden können. Verändert nach Hatt, 2003.

1.3.2. Topologische Repräsentation der Information

Riechzellen eines Typus finden sich immer in einer von vier Zonen auf der Riechschleimhaut wieder. Eine klare räumliche Ordnung liegt jedoch nicht vor, da sich in jeder der vier Zonen unterschiedliche Riechzelltypen finden. Trotzdem wird vermutet, dass dies einer groben Vorsortierung der Information dient (Buck, 2000).

Eine genauere Sortierung der Information erfolgt erst an der ersten Verschaltstelle des Gehirns, den Glomeruli. Das Axon einer Riechzelle endet an den Dendriten einer Mitralzelle in genau einem Glomerulus, so wie alle Dendriten einer Mitralzelle immer nur in einen Glomerulus ausstrahlen. Allerdings werden die Axone mehrerer Tausend Riechsinneszellen auf nur 20 bis 50 Neurone umgeschaltet. Diese konvergente Verschaltung der Axone der Riechzellen eines Typs mit einer Mitralzelle führt also zu einer Reduktion der Informationskanäle um das bis zu Tausendfache.

Bei weniger als 1000 Glomeruli enden die Axone eines Riechzelltyps also meist

nur in einem oder wenigen Glomeruli. Über diese Zuordnung von Riechzelltyp zu Glomerulus findet eine räumliche Ordnung des Geruchssignals statt, so dass es zu einer topologischen Repräsentation der Information kommt (vgl. Abbildung 1.6). Ein Duft, bestehend aus einer charakteristischen Mischung von Duftstoffen, führt also zu einem charakteristischen Aktivitätsmuster der Glomeruli, das von den nachgeschalteten Ebenen des Riechsystems, wie etwa der Riechrinde, als eindeutiger Geruch interpretiert werden kann. (Axel, 1995; Buck, 2000)

1.3.3. Verarbeitung der sensorischen Information im Gehirn

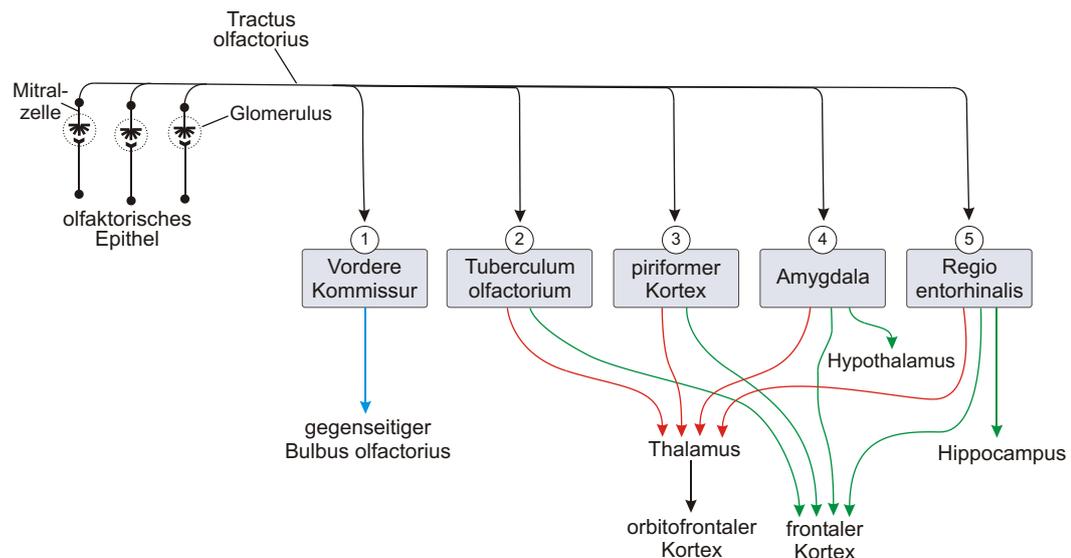


Abbildung 1.7: Die Riechbahnen verlaufen von den Mitralzellen über den Tractus olfactorius in fünf Regionen des sogenannten Riechhirns und von dort in tiefere Hirnbereiche: Über die vordere Kommissur (1.) verläuft eine Bahn (blau) zum gegenseitigen Bulbus. Für die bewusste Wahrnehmung ist vor allem der Weg über Tuberculum olfactorium (2.) und piriformen Kortex (3.) zum Thalamus zuständig (rot), der von dort in den Neokortex projiziert. Die unbewusste Wahrnehmung verläuft dagegen vor allem über Projektionen zu Amygdala (4.) und Regio entorhinalis (5.) und von dort aus zu Hypothalamus und Hippocampus (grün). Verändert nach Buck, 2000.

Die etwa 30 000 Axone der Mitralzellen ziehen gebündelt als Tractus olfactorius, gegliedert in drei Hauptäste, in tiefere Hirnbereiche (vgl. Abb. 1.7).

Der erste Hauptast jedes Riechkolbens zieht über die vordere Kommissur (1.) zum jeweils gegenseitigen Bulbus. *Der zweite Hauptast* ist zuständig für die bewusste Geruchswahrnehmung. Er verläuft über das Tuberculum olfactorium (2.) sowie über den piriformen Kortex (3.) zum Thalamus, dem „Tor zum Bewusstsein“, und von dort aus zum orbitofrontalen Kortex und zum Neokortex. *Der dritte Hauptast* projiziert auf zahlreiche Gebiete des Paleokortex (u. a.: 3. Piriformer Kortex und 5. Regio entorhinalis), die zusammen als primäres Riechhirn bezeichnet werden, sowie direkt

zur Amygdala (4.). Vom primären Riechhirn aus ziehen Bahnen zum limbischen System (Amygdala und Hippocampus), und weiter zu Hypothalamus und Formatio reticularis und erst dann zum orbitofrontalen Kortex. Über diese Verschaltungen wird die Information also direkt an solche Hirnzentren geleitet, die für die Steuerung des menschlichen Verhaltens, die hormonelle Regulation sowie Emotionen zuständig sind.

Dadurch, dass auf diesem Weg ein Teil der Informationen ohne das bei anderen Sinneswahrnehmungen übliche Passieren des Thalamus (thalamo-frontales Gating) direkt ins limbische System gelangt, fällt diese Kontrollinstanz weg. So entfällt auch die Möglichkeit für das Gehirn Informationen herauszufiltern, die über das Riechsystem aufgenommen werden.

2. Fachdidaktische Überlegungen zum Thema Olfaktorik

2.1. Neurowissenschaften im Biologieunterricht

Die Neurowissenschaften sind ein interdisziplinär arbeitender, wissenschaftlicher Bereich, der sich aus Unterdisziplinen traditionell getrennter Fachdisziplinen wie Biologie, Psychologie, Medizin, Informatik und Philosophie zusammensetzt. Ziel dieser Zusammenführung ist es, „das Nervensystem auf allen Komplexitätsebenen zu verstehen.“ (Dudel, Menzel & Schmidt, 1996, S. 7)

Der schnell voranschreitende Erkenntnisgewinn in den letzten Jahrzehnten hat die Neurowissenschaften innerhalb der Biologie zu einer Leitdisziplin heranwachsen lassen. Das letzte Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts wurde gar zur „Decade of the Brain“ ausgerufen. Das wachsende Verständnis der Funktionsweise und der Entwicklung des Gehirns, seiner Lernfähigkeit über die gesamte Lebensspanne eines Menschen, neue Erkenntnisse zu Wahrnehmung und Emotionen, sowie Behandlungsansätze für neuronale Krankheiten wie Alzheimer und Multipler Sklerose weisen zudem auf die weitreichende gesellschaftliche Relevanz der Neurowissenschaften hin. (Neurowissenschaftliche Gesellschaft, 2004; The European Dana Alliance for the Brain (EDAB), 2004)

Bisher haben die Ergebnisse der modernen Neurowissenschaften jedoch kaum Eingang in den Unterricht gehalten. Dies mag vor allem an immanenten Eigenschaften dieses Forschungsbereiches liegen, die mit der Komplexität und Dynamik neurowissenschaftlicher Konzepte und Phänomene einhergehen: fehlende Anschaulichkeit, Interdisziplinarität und hoher Vernetzungsgrad stellen erhöhte kognitive Anforderungen an die Lernenden und sind somit auch eine Herausforderung für die Lehrenden (Sebald et al., 2003, S. 123). Zugleich bieten die genannten Charakteristika aber auch Chancen zur innovativen Gestaltung von Unterricht, wie etwa durch fachübergreifende Elemente und starke Bezüge zu Alltag und Lebenswelt der Lernenden.

Ansatzpunkte die Neurowissenschaften in den Unterricht zu bringen, bieten die bereits in den Lehrplänen verankerten klassischen neuro- und sinnesphysiologischen Themen. Allerdings wird im Lehrplan des Bundeslands Schleswig-Holstein¹ für die Sekundarstufe II für den Bereich „Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung

¹Die vorliegende Studie wurde in Schleswig-Holstein durchgeführt. Daher wird im Folgenden nur dieses Bundesland als Bezugspunkt gewählt.

und Verhalten“ darauf hingewiesen, dass „im Unterricht deutliche Schwerpunkte zu setzen“ sind, und dass im Grundkurs gar eine Entscheidung zwischen Verhaltensbiologie und Neurobiologie fallen sollte (Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein [MBWFK S-H] , 2002, S. 101f.). Es gibt zwar auch die Möglichkeit, neurowissenschaftliche Themen unter dem Bereich „Sinne, Nerven und Gehirn“ in der Sekundarstufe I aufzugreifen, der am Gymnasium in der 10. Klasse vorgesehen ist, in Haupt- bzw. Realschule in der 8. bzw. 9. Klasse (Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein [MBWFK S-H] , 1997, S. 21). Die erwähnte Komplexität der Inhalte dürfte allerdings dazu führen, dass zwar die erforderlichen Grundlagen vermittelt werden, eine Vernetzung dieser Inhalte und ein tieferes Verständnis jedoch nicht oder nur sehr begrenzt erreicht werden kann.

Neurowissenschaftliche Themen können vor allem dann sinnvoll in den Unterricht eingebracht werden, (a) wenn sie sich sinnvoll mit anderen behandelten Themengebieten vernetzen lassen, (b) wenn sie durch lebensweltliche Bezüge in der Lage sind trotz ihrer eher geringen Anschaulichkeit unmittelbare Bezüge zwischen Erfahrung und Lerninhalt herzustellen und (c) wenn die Interdisziplinarität als Anlass für fachübergreifendes Arbeiten genutzt wird. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass grundlegende Wissensvoraussetzungen für ein Verständnis entsprechend vorbereitet sind.

2.2. Signaltransduktion am Beispiel der Geruchswahrnehmung

Das für diese Studie ausgewählte neurowissenschaftliche Thema der Geruchswahrnehmung, der *Olfaktorik*, stellt ein wichtiges und aktuelles Thema innerhalb der Neurowissenschaften dar. So erhielten in diesem Jahr Linda Buck und Richard Axel den Nobelpreis für Medizin für ihre bahnbrechenden Arbeiten zur Erkennung von Gerüchen. Dabei bietet das Thema die Möglichkeit die genannten Herausforderungen bei der Behandlung neurowissenschaftlicher Konzepte und Phänomene im Unterricht, als vielversprechende Anknüpfungspunkte für eine innovative Gestaltung des Unterrichts zu nutzen: Die *Vernetzung* der Themen Wahrnehmung und Emotion ermöglicht es, sowohl an sinnes- als auch an verhaltensbiologische Themen anzuknüpfen, die vielfältigen *lebensweltlichen Bezüge*, wie zum Beispiel Gedächtnis, Partnerwahl oder modernes Duftdesign, bieten trotz der fehlenden Anschaulichkeit die Möglichkeit, den Lerninhalt auf der Grundlage unmittelbarer Erfahrungen zu situieren. Das Thema bietet zudem die Möglichkeit *fachübergreifend* mit dem Chemieunterricht die molekulare Struktur von Geruchsstoffen zu behandeln oder mit dem Deutschunterricht über eine Lektüre des Romans *Das Parfum* von Patrick Süskind (1985) die Bedeutung der durch Geruchswahrnehmung ausgelösten Emotionen zu thematisieren (vgl. Brauner & Prectl, 2004; Sebald, 2004).

Als thematischer Teilbereich wurde für diese Studie das zentrale neurowissen-

schaftliche Konzept der Signaltransduktion über intrazelluläre Botenstoffe ausgewählt. Es spielt in vielen im Biologieunterricht zu behandelnden Themen eine entscheidende Rolle, wie etwa der Sehkaskade, Neurotransmittern, der Ausschüttung von Hormonen und der Genexpression, um nur einige zu nennen. Am Beispiel des menschlichen Riechsystems lässt sich dieses Konzept durch die relative Unmittelbarkeit zwischen Erfahrung und Lerninhalt anschaulich vermitteln: Während es für das Verständnis der Signaltransduktion meist nötig ist, komplexe vor- und nachgeschaltete Vorgänge mit in Betracht zu ziehen, startet die Riechkaskade mit dem Duftstoff als einem lebensnahen Ausgangspunkt und endet mit der unmittelbar erfahrbaren Geruchswahrnehmung. Ähnlich direkt ist dies sonst wohl nur über die Sehkaskade zu vermitteln, wenngleich die Isomerisierung des Retinals einiges an chemischem Vorwissen erfordert.

Tabelle 2.1: Vorauszusetzende Themen und Klassenstufe.

Thema	Klassenstufe nach Schulform		
	HS ^a	RS ^a	Gym ^a
Zellulärer Aufbau von Lebewesen	7	8	8
Aufbau der Zelle	7	8	8
Bau und Funktion des Nervensystems	8	9	10
Kommunikation und Regulation auf zellulärer Ebene	- ^b	-	11
Steuerung von Stoffwechselprozessen in der Zelle	-	-	11

^aHS: Hauptschule, RS: Realschule, Gym: Gymnasium; oder die jeweils entsprechende Schulstufe in Kursen der Gesamtschule

^bFehlt eine Angabe des Jahrgangs, so ist dieses Thema in dieser Schulform nicht vorgesehen.

Um einen Zugang zu dem genannten Thema zu bekommen, sollte die Zielgruppe über grundlegendes Wissen in einigen Bereichen verfügen: zellulärer Aufbau von Lebewesen, Aufbau der Zelle, Bau und Funktion des Nervensystems, Kommunikation und Regulation auf zellulärer Ebene sowie Steuerung von Stoffwechselprozessen. In Tabelle 2.1 sind diese Themen und die Klassenstufe, in der sie behandelt werden, aufgelistet. Daraus geht hervor, dass die notwendigen Vorkenntnisse für eine Behandlung des Themas Signaltransduktion erst im Laufe des 11. Jahrgangs erworben werden. Besonders gut ließe sich das Thema demnach in der 11. Jahrgangsstufe im Gebiet „Steuerung von Stoffwechselprozessen in der Zelle“ und im 13. Jahrgang zur Verbindung der beiden Gebiete „Reiz – Erregung – Reaktion“ und „Informationsverarbeitung im Gehirn“ verorten.

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass sich das komplexe neurobiologische Thema der olfaktorischen Signaltransduktion sinnvoll in den Unterricht der gymnasialen Oberstufe einbinden lässt. Es bleibt allerdings noch die entscheidende Frage offen, wie die Darstellung der Komplexität und Dynamik dieses Konzepts so gelin-

2. Fachdidaktische Überlegungen zum Thema Olfaktorik

gen kann, dass Schüler in die Lage versetzt werden, zu einem tieferen Verständnis dieses Themas gelangen zu können.

3. Lernen mit Multimedia

Alles, was man pädagogisch erreichen will, erreicht man besser ohne den Computer.

(Hartmut von Hentig, 1993)

Computer machen Kinder schlau.

(Wolfgang Bergmann, 2000)

Der Einsatz multimedialer Lernumgebungen liefert einen vielversprechenden Ansatz für die Darstellung von komplexen und dynamischen Konzepten, wie sie die olfaktorische Signaltransduktion darstellt. In diesem Kapitel wird zunächst die Möglichkeit des Einsatzes multimedialer Lernumgebungen im Unterricht besprochen. Anschließend werden grundlegende kognitionspsychologische Modellvorstellungen zum Lernen mit Multimedia beschrieben, um dann mit deren Hilfe die Bedingungen und Anforderungen dieser besonderen Lernsituation genauer zu analysieren. Am Ende dieses Kapitels wird dann der zum Teil entscheidende Einfluss von Lernermerkmalen auf den Wissenserwerb mit multimedialen Lernumgebungen beschrieben.

3.1. Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Unterricht

Wie die einleitenden Zitate zu diesem Kapitel zur pädagogischen Wirkung des Computers im Allgemeinen unterscheiden sich auch die Meinungen in Bezug auf einen Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Unterricht. In den letzten Jahren hat sich aber nach zum Teil kontrovers geführten Debatten (vgl. Clark, 1994; Kozma, 1994) vor allem die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Einsatz des Mediums Computer im Unterricht nicht die diffizile Suche nach der richtigen Methode ersetzen kann. Computereinsatz kann nur insofern wirksam werden, als die spezielle Lernsituation durch die Wahl des Mediums Computer effektiver gestaltet werden kann. Entsprechend stellen Dörr und Strittmatter (2002, S. 32 f.) zusammenfassend fest, dass Medien „nur im Rahmen einer Lernumgebung zusammen mit bestimmten Lernaufgaben in einem didaktischen Konzept wirksam werden.“

Zu den häufig zitierten Stärken multimedialer Lernumgebungen zählt, dass sie das Lernen mit mehreren Sinneskanälen ermöglichen, bewegte Bilder (Animatio-

nen) beinhalten und dass sich damit interaktive Lehrangebote sowie Hypertext- und Hypermediastrukturen realisieren lassen, die als lernförderlich angesehen werden (Mayer & Gallini, 1990; Aufenanger, 1996; Tergan, 1997). Besonders von der Kombination von Bildern und Animationen mit geschriebenem oder gesprochenem Text verspricht man sich eine bessere Vermittlung komplexer Strukturen und Prozesse und damit auch ein besseres Verständnis durch die Lernenden (Mayer & Anderson, 1992; Chandler & Sweller, 1996; Lewalter, 1997a). Daher bieten sich computergestützte Lernumgebungen, in denen diese verschiedenen Darstellungsweisen kombiniert sind, auch zunehmend für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht an.

3.1.1. Computergestütztes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht

„Der Computer – nur ein Exot im Biologieunterricht?“ – Während es nicht verwundert, dass Titzmann diese Frage im Jahr 1993 noch mit Recht bejahen konnte (vgl. auch Pelgrum & Plomp, 1993; Hansen & Lang, 1993), wäre zehn Jahre später, nach Programmen wie „Schulen ans Netz“, der „INITI@TIVE D²¹“ und dem Programm „IT in der Bildung – Anschluss statt Ausschluss“, eine Veränderung zu erwarten.

Laut Bericht des BMBF hat sich der Anteil der mit Computern ausgestatteten Sekundarschulen in Deutschland im Jahr 2004 auf erstaunliche 99% gesteigert, davon sind aber nur knapp 67% „multimediafähig“¹ (Krützer & Probst, 2004, S. 9). Dabei kommen in den Sekundarschulen im Mittel 13 Schüler auf einen PC, allerdings müssen sich 19 Schüler einen multimediafähigen PC teilen. Im gesamten naturwissenschaftlichen Unterricht wird der Computer in 79% der Schulen überhaupt eingesetzt, davon in 21% der Fälle häufig (Krützer & Probst, 2004, S. 21), eine genauere Definition der Kategorien „häufig“ bzw. „gelegentlich“ liefert der Bericht leider nicht. Außerdem fehlt eine Aufschlüsselung des Anteils der Computernutzung in denzelfächern. Im Biologieunterricht dürfte der Computereinsatz anderen Untersuchungen nach zu urteilen jedoch sehr viel seltener erfolgen als der Einsatz in den Fächern Chemie oder Physik. Eine Untersuchung im Rahmen der „e-nitiative.nrw“ konnte etwa zeigen, dass über 80% der Schüler Nordrhein-Westfalens im Biologieunterricht *gar nicht* mit dem Computer in Kontakt kommen (Rösner, Bräuer & Riegas, 2003, S. 45). Der in der BMBF-Studie genannte Wert für die Naturwissenschaften dürfte also kein stimmiges Bild für den Biologieunterricht zeichnen.

Wenn der Computer im Biologieunterricht vielleicht auch kein Exot mehr ist – er ist doch immer noch die Ausnahme. Einen Grund dafür sieht Graf (2001, S. 141), neben der Zusatzbelastung, fehlender Medienkompetenz und verbreiteter Skepsis der Lehrer, in dem Fehlen geeigneter Programme für den Unterricht. Dort, wo der Computer im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt wird, dient er vor allem

¹Das BMBF nennt diese Zahl nicht, aber sie lässt sich leicht aus den Angaben auf S. 8 des zitierten Berichts errechnen. Dabei gilt jeder PC mit einem Prozessor, der schneller ist als eine Intel 80486er-CPU bzw. Intel Pentium-CPU bis 133 MHz (oder vergleichbar) als „multimediafähig“. Ein solcher Rechner war im Berichtsjahr bis zu (ungefähr) sieben Jahre alt.

der Veranschaulichung, der Modellentwicklung und -anwendung durch Multimedia-Präsentationen und Simulationen sowie der Messwerterfassung (vgl. Graf, 2001, S. 143 ff.; Bofinger, 2004, S. 46 ff.).

3.2. Der Begriff Multimedia

Der Begriff *Multimedia*, 1995 von der Gesellschaft für deutsche Sprache in Wiesbaden zum Wort des Jahres gekürt, ist etwa ab Mitte der 1990er-Jahre zum Modewort avanciert und wird für Medienmischformen jeglicher Art geradezu inflationär gebraucht.² Auch im Bereich Bildung hat das Etikett Multimedia um sich gegriffen, „Multimedia in der Schule“ (Arbeitsgruppe Multimedia an der ZS Augsburg, 1994; Bauer, 1995; Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1998) ist allgegenwärtig. Wie jedoch dieser schillernde Begriff im Kontext von Lernumgebungen und Schulunterricht mit Bedeutung erfüllt werden kann, bedarf einer genaueren Klärung.

Die Besonderheit multimedialer Lernumgebungen lässt sich auf verschiedene Weise charakterisieren. Die einfachste Definition begnügt sich mit der Feststellung, dass verschiedene Medienformate zum Einsatz kommen. Etwas genauer ist Hasebrook (1995, S. 180), der unter dem Begriff Multimedia „ein kombiniertes Hard- und Softwaresystem“ versteht, „das neben Text und Standbild einige elementare Interaktionsmöglichkeiten und zumindest ein dynamisches Medium wie Ton, Animationen oder Video bietet.“ Diese Definition ist für den Alltagsgebrauch sicherlich hinreichend, sie unterscheidet jedoch nicht die verschiedenen Dimensionen, die für eine wissenschaftliche Analyse des Phänomens notwendig sind. Weidenmann (2002b) unterscheidet dagegen differenzierter zwischen:

- (a) dem *Medium*, im Sinne eines technischen Gerätes oder sonstigen Objektes, das der Speicherung oder Kommunikation von Informationen dient,
- (b) der *Kodierungsform*, also der Form des Symbolsystems, mit dem eine Botschaft übermittelt werden soll (Text, Bilder, Zahlen) und
- (c) der *Sinnesmodalität* (auditiv, visuell), über die ein mediales Angebot rezipiert wird.

Entsprechend unterscheidet er zwischen multi- bzw. monomedialen, -kodalen und -modalen Angeboten. Eine computergestützte Lernumgebung mit Texten und Bildern, Sprechertexten und Animationen wäre demnach monomedial (Computer), multikodal (Text und Bilder) und multimodal (visuell und auditiv). Dagegen wäre ein (fiktives) auf CD-ROM gespeichertes Telefonbuch, das am Computer Seite für Seite lesbar wäre, multimedial (PC und CD-ROM), monokodal (Text) und monomodal (visuell). So logisch und stringent die Definition von Multikodierung und Multimodalität ist, so weit ist diese Definition von Multimedialität von einer allgemeinen

²Die Internet-Suchmaschine Google liefert immerhin 39 700 000 Einträge.

Verständlichkeit entfernt. Dem Begriff Multimedia und seiner Bedeutung wird man damit sicherlich nicht gerecht.

In dieser Arbeit wird daher, im Versuch einer Fusion der Verständlichkeit des Begriffs nach Hasebrook mit der begrifflichen Genauigkeit Weidenmanns, Multimedia als Überbegriff für ein hard- und softwaregestütztes System verstanden, das multi-kodale *und* multimodale Elemente enthält und zumindest einige elementare Interaktionsmöglichkeiten bietet. Damit bezeichnet der Begriff all jene computergestützten Anwendungen, die neben Text und Standbild auch vertonte Animationen oder Videos anbieten.

3.3. Modellvorstellungen zum Lernen mit Multimedia

Um zu verdeutlichen, wie die verschiedenen Codes und Modalitäten, aus denen sich eine Multimedia-Lernumgebung zusammensetzt, verarbeitet werden, werden im Folgenden einige grundlegende kognitionspsychologische Modellvorstellungen zum Lernen mit Multimedia dargestellt. Diese Vorstellungen zum Lernen mit Multimedia fußen wiederum auf einem Gedächtnismodell, das hier daher zunächst kurz erläutert werden soll.

Das menschliche Gedächtnis wird meist als ein Mehrspeichersystem angesehen, das aus einem vorgeschalteten sensorischen Gedächtnis, dem Langzeitgedächtnis und dem Arbeitsgedächtnis besteht (Atkinson & Shiffrin, 1968). Über das sensorische Gedächtnis laufen die Informationen ein. Von dort aus werden sie ans Arbeitsgedächtnis weitergeleitet, der zentralen Gedächtnisinstanz für den Prozess des Lernens. Hier werden die eingehenden Informationen in eine Organisationsform gebracht, die eine optimale Verknüpfung mit den bereits vorhandenen Informationen des Langzeitgedächtnisses ermöglichen, so dass schließlich ein Überführung der Informationen vom Arbeitsgedächtnis ins Langzeitgedächtnis ermöglicht wird (Haselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001, S. 17 f.). Grundlegend für die Theorien zum Lernen mit Multimedia ist vor allem die Instanz des Arbeitsgedächtnisses.

3.3.1. Das Arbeitsgedächtnis

Das Arbeitsgedächtnis ist zuständig für die kurzfristige Speicherung und die Bearbeitung von Information während der Bearbeitung kognitiver Aufgaben. Im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beschränkt. Miller (1956) konnte zeigen, dass nur etwa sieben („seven, plus or minus two“) bedeutungstragende Elemente, sogenannte *chunks*, gleichzeitig behalten und verarbeitet werden können.

Baddeley (1992, 2002) nimmt eine Unterteilung des Arbeitsgedächtnisses in zwei Hilffsysteme und eine modalitätsunspezifische Kontrolleinheit vor:

- Die *phonologische Schleife* besteht aus zwei Komponenten, wovon eine, der sogenannte phonologische Speicher, für die kurzfristige (etwa zwei Sekunden) Speicherung von akustischer und verbaler Information zuständig ist. Die zweite Komponente ist das artikulatorische Übungs- und Wiederholungssystem³, das durch permanent wiederholendes, subvokales Artikulieren („stilles Sprechen“) den Speicher wieder auffrischen und so den Zerfallsprozess der Information im phonologischen Speicher aufhalten kann.
- Der *visuell-räumliche Notizblock* ist zuständig für das kurzfristige Behalten und Manipulieren von visuellen und räumlichen Informationen, möglicherweise in getrennten Unterkomponenten.
- Die *zentrale Exekutive* ist das übergeordnete Steuerelement. Hier wird die Information aus den beiden Subsystemen koordiniert. Vor allem liegt die Aufgabe in der Aufmerksamkeitslenkung (Fokussieren, Teilen und Wechseln der Aufmerksamkeit) sowie der Herstellung von Beziehungen zum Langzeitgedächtnis.

Diese Vorstellung des Arbeitsgedächtnisses spielt für das Lernen mit unterschiedlichen externen Repräsentationen eine entscheidende Rolle, so dass Baddeleys Theorie des Arbeitsgedächtnisses als Grundlage für die folgenden Theorien und Modellvorstellungen zu verstehen ist.

3.3.2. Repräsentationsformen

Bei allen Vorstellungen zum Text- und Bildverstehen nimmt der Begriff „Repräsentation“ eine zentrale Position ein. Eine Repräsentation stellt aus semiotischer Sicht ein Zeichen dar, das für etwas steht, zum Beispiel für ein Objekt oder einen Prozess. Dabei handelt es sich bei Repräsentationen nicht nur um die Darstellung von Zeichen, sondern auch um die Interpretation oder die Vorstellung⁴ eines Zeichens (Eco, 1972/1994, S. 77). Diese semiotische Definition der Repräsentation gilt auch für die kognitionspsychologische Lehr-Lernforschung.

Externe und mentale Repräsentation

Grundsätzlich werden externe, außerhalb einer Gedächtnisstruktur existierende Repräsentationen von internen, mentalen Repräsentationen unterschieden. *Externe Repräsentationen* können als Zeichenkombinationen aufgefasst werden, die außerhalb der Wissensstruktur eines Lerners ein Objekt repräsentieren. Eine Zeichenkombination ist gekennzeichnet durch einen bestimmten Kode (z. B. symbolisch in Form von Schriftsprache oder ikonisch in Form eines Abbildes) und eine Modalität (z. B. visuell oder verbal). Beispiele für externe Repräsentationen sind also geschriebener

³Baddeley benutzt den Begriff „articulatory rehearsal system“.

⁴semiotisch ausgedrückt: das *Interpretans*

oder gesprochener Text, Bilder, Animationen und Geräusche, aber auch unterschiedliche Kombinationsformen wie zum Beispiel Diagramme, logische Bilder, chemische Formeln, die typischerweise symbolisch und ikonisch kodierte Elemente enthalten. Durch die aktive Auseinandersetzung mit externen Repräsentationen konstruiert ein Lerner daraus eigene Wissensstrukturen im Arbeits- und Langzeitgedächtnis, die aus internen oder *mentalen Repräsentationen* bestehen. Mentale Repräsentationen lassen sich allgemein auch als notwendige Verarbeitungsstufen bei kognitiven Vorgängen beschreiben. (Schnotz & Bannert, 1999, S. 221; Schnotz, 2002, S. 67 f.)

Mentales Modell und propositionale Repräsentation

Mentales Modell und *propositionale⁵ Repräsentation* stellen besondere Formen mentaler Repräsentationen auf der Ebene des Arbeitsgedächtnisses dar. Sie entstehen nach dem Durchlaufen mehrerer kognitiver Verarbeitungsstufen und durch Einbeziehung von bereits vorhandenen Wissensstrukturen, wie in Abschnitt 3.3.5 ausführlich beschrieben wird. Propositionale Repräsentationen sind das direkte Resultat der Verarbeitung von sprachlichen Informationen und zeichnen sich durch eine Nähe zu deren semantischer Struktur aus. Eine propositionale Repräsentation verhält sich arbiträr zum repräsentierten Inhalt, so wie auch die linguistische Struktur der Sprache selbst keine natürliche Beziehung zum bezeichneten Objekt besitzt. Hier genau liegt der Unterschied zum mentalen Modell, das das repräsentierte Objekt durch eine analoge Beziehung zu Struktur, Funktion oder Verhalten „abbildet“.⁶ Während propositionale Repräsentationen also eine Art mentale Quasi-Sprache mit eigener Semantik und Struktur darstellen, kann ein mentales Modell als internes Quasi-Objekt angesehen werden, das eine dem repräsentierten Objekt analoge Struktur oder Funktion aufweist. (Schnotz, 1988, S. 308 ff.; Schnotz & Bannert, 1999, S. 221; vgl. auch Johnson-Laird, 1983; Martschinke, 2001, Kap. 3)

Schemata und Skripte

Bei der Ausbildung der Repräsentationsformen des Arbeitsgedächtnisses wird von einer Korrespondenz mit Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses ausgegangen (vgl. Abschnitt 3.3.5).

Die Schematheorie (Bartlett, 1932; Bartlett, 1958; Rumelhart, 1980) stellt eine mögliche Erklärung dafür dar, wie diese Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses gebildet werden und wie sie aufgebaut sind. Kognitive Schemata sind organisierte Wissens Elemente, die beim Lernen ausgebildet oder modifiziert werden. Meist sind Schemata auf Begriffe, nicht aber auf Handlungen bezogen. Es gibt Schemata zu Ob-

⁵Eine Proposition wird definiert als kleinste sprachliche Bedeutungseinheit, die als selbstständige Behauptung stehen kann.

⁶Diese Art der analogen Beziehung darf allerdings nicht mit einer physischen Ähnlichkeit verwechselt werden. Vgl. hierzu Abschnitt 3.3.4, S. 28.

jekten, Personen und Situationen, aber auch für Relationen zwischen Objekten. Sie zeichnen sich vor allem durch einen gewissen Grad der Abstraktion durch Prototypisierung des Einzelfalls aus.⁷ So kann ein Schema als Schablone für die Erkennung von Objekten, Situationen etc. dienen, ohne dass genau dieses Objekt, diese Situation bekannt sein muss. Schemata werden so beim Wissenserwerb als Instrumente zum Aufbau von propositionalen Repräsentationen und mentalen Modellen genutzt. (vgl. Schnotz, 1994a, S. 86–90; Steiner, 2001, S. 165 f.)

Die Verarbeitungsprozesse beim Aufbau von Wissensstrukturen des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses werden auf zwei eng miteinander verknüpfte Prozesse von Schemata beeinflusst: Wird ein Schema datengeleitet aktiviert, also über die konkreten Eigenschaften eines Betrachtungsgegenstandes oder einer Situation aufgerufen, spricht man von aufsteigenden oder *Bottom-up*-Prozessen. Dienen die Schemata der Steuerung der Ableseprozesse am Betrachtungsgegenstand, spricht man dagegen von absteigenden oder *Top-down*-Prozessen. Erst durch die Kombination alternierender *Bottom-up*- und *Top-down*-Verarbeitungsprozesse können schließlich Wissensstrukturen modifiziert und neu aufgebaut werden.

Für handlungsbezogene Wissens Elemente hat sich dagegen der Begriff des *Skripts* durchgesetzt, der vor allem von Schank und Abelson (1977) geprägt wurde. Demnach stellt ein Skript eine Art mentales Drehbuch für stereotypisierte Situationen dar, wie den Besuch eines Restaurants und den damit verbundenen üblichen Vorgängen. Das Restaurant-Skript besteht demnach aus vier Hauptkomponenten mit jeweils einigen untergeordneten Einzelaktionen.⁸ (vgl. Eysenck & Keane, 2000, S. 253 f.)

3.3.3. Textverstehen

Theorien des Textverstehens liegt die Annahme zugrunde, dass der Rezipient eines Textes durch Dekodierung auf unterschiedlichen Ebenen mentale Repräsentationen konstruiert, die letztlich zu einer Internalisierung der im Text inhärenten Wissensstruktur führen. Der Textkonstrukteur (Autor, Sprecher) versucht bei der Abfassung eines Sachtextes seinerseits durch die Wahl konventionalisierter, auch dem Rezipienten bekannter Kodierungsschritte, eine möglichst eindeutige Externalisierung seiner Wissensstruktur in Form eines Textes zu erreichen (Schnotz, 1994a, 2001b).

Die *Re-Konstruktion* durch den Leser erfolgt schrittweise über mehrere Ebenen. Die drei wesentlichen Ebenen mentaler Repräsentationen, über die ein Textverstehen erfolgt, sind nach der Theorie des Textverstehens von Kintsch und van Dijk (1978;

⁷Das Schema für „Auto“ beinhaltet z. B. Wissen über die äußere Form (groß, meist vier Räder, Fahrgestell, Karosserie), die Art des Antriebs (motorgetrieben) oder die Art der Fortbewegung (rollen, fahren).

⁸Ein Skript zum Besuch eines Restaurants beinhaltet nach Schank und Abelson (1977) folgende Haupt- und Unterkomponenten: Eintreten (inkl. Tisch aussuchen und Platz nehmen), Bestellen (inkl. Speisekarte lesen, Speisen und Getränke bestellen), Essen (inkl. Essen wird serviert, essen, unterhalten), Gehen (inkl. Rechnung bestellen, zahlen, Restaurant verlassen).

erweitert von van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch, 1986) die *Oberflächenrepräsentation*, die *propositionale Repräsentation* und die *situative Repräsentation*.

Nach van Dijk und Kintsch (1983, S. 189 f.) unterscheiden sich die Ebenen des Textverstehens vor allem durch den Grad der Kohärenz. Dabei kann zwischen *lokaler Kohärenz* und *globaler Kohärenz* unterschieden werden. Lokale Kohärenz entsteht aus Verknüpfungen zwischen Propositionen, globale Kohärenz dagegen aus Relationen zwischen größeren Textteilen oder dem gesamten Text. Der Begriff der Kohärenz wird dabei auf alle Schritte des Kommunikationsprozesses bezogen. Da also der Textkonstrukteur eine mehr oder weniger kohärente externalisierte Wissenstruktur erzeugt, aus der der Rezipient wiederum eine mehr oder minder kohärente mentale Repräsentation konstruiert, kann Kohärenz nur als dynamisch zwischen den Kommunikationspartnern „verhandelte“ Größe verstanden werden (Seufert, 2003, S. 23 f.).

An folgendem Beispiel soll die Bedeutung der einzelnen Ebenen erläutert werden.

- (1) *Moritz war zu Max' Geburtstag eingeladen.*
- (2) *Max hasst kalten Kaffee.*
- (3) *Moritz schenkte Max einen Thermosbecher.*

Auf der Ebene der Oberflächenrepräsentation werden sprachliche Details des Textes verarbeitet, wie etwa Buchstaben und Wörter oder die syntaktische Struktur (*Kaffee* wird in (2) z. B. als Substantiv identifiziert, *kalt* als Adjektiv). Auf dieser Ebene werden jedoch keine bedeutungstragenden Verbindungen zwischen den Einzelelementen ausgebildet.

Auf der Ebene der propositionalen Repräsentation wird die geschaffene Textbasis semantisch weiter verarbeitet. Hier erfolgt die Erkennung der Propositionen des Textes. Sie stellen Bedeutungseinheiten dar, die in der Oberflächenrepräsentation durchaus noch unterschiedlich ausfallen können. Aus dem zweiten Satz (2) der obigen Aussage werden so zum Beispiel die Propositionen (*HASSEN, MAX, KAFFEE*)⁹ und (*KAFFEE, KALT*) extrahiert, die zudem über das Argument *KAFFEE* miteinander verknüpft sind. Durch diese Verknüpfungen entsteht ein Relationsgefüge, das als lokale Kohärenz bezeichnet wird.

Auf der Ebene der situativen Repräsentation wird eine integrierte Wissensstruktur erzeugt, die über die unmittelbar im Text gegebene Information hinausgeht. So kann im genannten Beispiel die Verbindung zwischen (1) und (3) verstanden werden, da es zum Kontext *GEBURTSTAG* gehört jemandem etwas zu *SCHENKEN*. Auch das Wissen, dass ein Thermosbecher Flüssigkeiten heiß hält und dass daher aus (*HASSEN,*

⁹Die Schreibweise ist folgendermaßen zu lesen: Großschreibung bedeutet, dass nicht die geschriebenen Wörter, sondern das dahinter liegende Konzept gemeint ist. Die Klammern schließen Propositionen ein. Als erstes wird, soweit vorhanden, immer das Prädikat genannt, dann folgen die einzelnen Argumente der Proposition.

MAX, KAFFEE) und (KAFFEE, KALT) wahrscheinlich auch (LIEBEN, MAX, THERMOSBECHER) folgt, kann in das Verständnis des Satzes einfließen, ohne dass dies im Text selbst explizit geäußert wird (vgl. Schnotz, 1994a). Eine solche Einbeziehung von Kontextbegriffen, Weltwissen und logischen Schlussfolgerungen wird auch als Bildung von *Inferenzen* bezeichnet. Das durch Verknüpfungen dieser Art entstehende Relationsgefüge wird auch als globale Kohärenz bezeichnet.

Dabei muss betont werden, dass diese Inferenzen durchaus nicht notwendigerweise in der Kohärenzstruktur des Textes begründet sind. Vielmehr stellen Inferenzen „Antworten des Lesers auf von ihm selbst gestellte Fragen“ dar (Schnotz, 1988, S. 307). Je nachdem ob solche Fragen nahe am Text bleiben oder sich weit von ihm entfernen, kann unterschieden werden zwischen *intendierten Inferenzen*, die sich innerhalb des vom Text gesteckten Rahmens bewegen und *elaborativen Inferenzen*, die textexterne Verknüpfungen mit dem Vor- und Weltwissen des Lesers darstellen. Über die Herstellung von Inferenzen kann schließlich die situative Repräsentation als übergeordnete mentale Einheit gebildet werden.

Es bleibt festzuhalten, dass die Textverstehensforschung von einem dreischrittigen Aufbau mentaler Repräsentationen ausgeht: Über die Identifikation der syntaktischen Struktur eines Textes wird zunächst eine *Oberflächenrepräsentation* eines Sachverhalts gebildet, aus der über lokale Kohärenzbildung eine *propositionale Repräsentation* wird. Erst durch globale Kohärenzbildung und Herstellung von Inferenzen wird schließlich eine *situative Repräsentation* gebildet. Diese übergeordnete mentale Repräsentation, nach van Dijk und Kintsch (1983) auch als Situationsmodell bezeichnet, ähnelt der Auffassung eines mentalen Modells nach Johnson-Laird (1983). Ein mentales Modell zeichnet sich jedoch zusätzlich durch die explizite Einbeziehung bildhafter, räumlicher und abstrakter Elemente aus (Schnotz, 2001b, S. 711). Wie die wissenschaftlichen Vorstellungen zur Ausbildung mentaler Repräsentationen auf der Grundlage von Bildern aussehen, soll im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

3.3.4. Bildverstehen

Während Texte aus symbolischen Zeichen arbiträren Charakters bestehen, zeichnen sich Bilder durch eine scheinbare Ähnlichkeit zum abgebildeten Objekt aus. „Scheinbar“ deshalb, weil es sich auch bei Bildern so wie bei Texten, um einen Kode handelt, der keineswegs eine physische Ähnlichkeit zum Objekt aufweist. Weidenmann bezeichnet Bilder daher, angelehnt an Gruber (1823, S. 160), als „Scheinduplikate“. Der bildliche oder *ikonische* Kode nutzt jedoch, anders als Texte, neben kulturellen Konventionen auch wahrnehmungspsychologische Universalien um im Betrachter eine Wahrnehmungsstruktur aufzubauen, die derjenigen nahekommt, die beim Betrachten des abgebildeten Objektes entstehen würde (Weidenmann, 1988, S. 62 f.; Eco, 1972/1994, S. 213 f.). Für die Entschlüsselung des ikonischen Kodes wird ebenfalls eine mehrstufige Verarbeitung angenommen, die sich, angelehnt an Neisser (1967, S. 86–93), grob in präattentive und attentive Rezeptionsprozesse einteilen lässt (Wei-



Abbildung 3.1: Ein GESICHTS-Schema ermöglicht es dem Betrachter, in nebenstehendem Bild auf den ersten Blick ein Gesicht zu erkennen.

Giuseppe Arcimboldo
 Italien, ca. 1527–1593
 Vertumnus, 1591
 Öl auf Leinwand, 70,5 × 57,5 cm
 Skoklosters Slott, Bålsta (Stockholm)

denmann, 1994, S. 26). Die präattentive Verarbeitung beruht auf automatisierten Verarbeitungsmechanismen, die dem „Erkennen bestimmter visueller Eigenschaften der Objektwelt“ (Schnotz, 1994b, S. 120) dienen. Dieses Erkennen erfolgt über Schemata, die beim ersten Blickkontakt direkt über den piktorialen Stimulus, also *bottom up*, aktiviert werden. Ein Gemälde des italienischen Malers Giuseppe Arcimboldo, wie es auf Abbildung 3.1 zu sehen ist¹⁰, nimmt ein Beobachter beispielsweise unmittelbar als Gesicht wahr, da ein gespeichertes GESICHTS-Schema inklusive untergeordneter Schemata (NASE, WANGEN) auf die Ansammlung von Obst und Gemüse passt. Gleichzeitig werden auch, ebenfalls präattentiv, einzelne OBST-Schemata (BIRNE, APFEL) aktiviert. Diese Gleichzeitigkeit macht zumindest einen Teil des Reizes dieses Gemäldes aus. Eine willentliche Beeinflussung dieser vorbewussten, nur Sekundenbruchteile benötigenden Wahrnehmungsstufe ist kaum möglich. (Weidenmann, 1994; Schnotz, 1994b)

Die attentive Verarbeitung beruht dagegen auf einer systematischen Bildbetrachtung, die dazu dient, gezielt zu weitergehenden Informationen über das Bild zu kommen. Durch die Lenkung der Aufmerksamkeit werden quasi einzelne Informationen aus dem Gesamtbild „abgelesen“. Durch eine intensive Interaktion von aufsteigenden Schemaaktivierungsprozessen und absteigenden Informationsableseprozessen werden dabei das Vorwissen und das Ziel der Bildbetrachtung miteinander abgeglichen. Diese Art der bewusst gesteuerten attentiven Verarbeitung führt dann zu einem Verständnis des Bildes. (Weidenmann, 1994; Schnotz, 1994b, 2001b)

¹⁰Dieses Beispiel stammt von Palmer (1978).

Das Gemälde Arcimboldos könnte also bei einem Betrachter, der versucht, den Kunststil des Gemäldes auszumachen, die folgenden Verarbeitungsprozesse auslösen: Nach der präattentiven Aktivierung des OBST- bzw. GEMÜSE-Schemas über attentive Prozesse wird ein attentiver Abgleich mit einem für Kunstobjekte vorhandenen STILLEBEN-Schema durchgeführt. Dies versetzt den Betrachter in die Lage Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu erkennen. Parallel kann zudem über attentive Verarbeitungsprozesse das GESICHTS-Schema mit einem PORTRÄT-Schema abgeglichen werden. Möglicherweise wird beim Betrachter über die gleichzeitige Aktivierung des STILLEBEN-Schemas und des PORTRÄT-Schemas das Schema „NICHT-PASSUNG“ aktiviert. Dies kann nun wieder über weitere attentive Prozesse, durch Ablesen weiterer Merkmale des Bildes, mit Schemata zu Kunststilen auf Passung überprüft werden. Verfügt der Betrachter über das Schema MANIERISMUS, so wird er nach diesen attentiven Verarbeitungsprozessen das Gemälde möglicherweise diesem Kunststil zuordnen.

Weidenmann (1988, S. 76 ff.; 1994, S. 25 ff.) unterscheidet zudem noch zwei Verstehensmodi: den natürlichen oder *ökologischen Verstehensmodus* und den *indikatorischen Verstehensmodus*. Ökologisches Bildverstehen beruht nach Weidenmann auf Prozeduren, die auch für die Wahrnehmung der „natürlichen Umgebung“ verantwortlich sind. Ökologisches Bildverstehen kann sowohl über präattentive als auch attentive Verarbeitung erreicht werden. Während das Erkennen des Gesichts in dem Gemälde Arcimboldos über präattentive Rezeptionsprozesse gesteuert wird, werden die einzelnen Gemüse- und Obstsorten erst über attentive Analyse der Details erkannt. Der indikatorische Bildverstehensmodus ist dagegen auf „das Erfassen des im Bild visualisierten Arguments“ (Weidenmann, 1994, S. 27) ausgerichtet und ist somit Teil einer tieferen Verarbeitung. Auch indikatorisches Bildverstehen kann präattentiv und attentiv ablaufen. In einem Prozess präattentiven indikatorischen Bildverstehens wird einem Betrachter im obigen Beispiel die Inkongruenz von Früchten und Porträt sofort klar. Über Prozesse attentiven indikatorischen Bildverstehens kann er schließlich versuchen die Bedeutung dieser Inkongruenz zu interpretieren.¹¹

Neben den Verstehensmodi schlägt Weidenmann (1988, S. 88–93) auch noch eine Unterscheidung der Verstehensintensität vor, die vor allem von zwei Variablen abhängig sei: dem *Normalisierungsbedarf* und der *Virulenz*. Der bei der Bildbetrachtung vom Beobachter perzipierte Normalisierungsbedarf wird durch die Wechselwirkung der Einstellung des Betrachters und den Merkmalen des Bildes bestimmt. Ein

¹¹Bereits hier wird deutlich, dass Bild- und Textverstehen kaum voneinander zu trennen sind: Zum Beispiel könnte der Betrachter Informationen des Ausstellungskatalogs und den Titel des Bildes in seine Interpretation einbeziehen: Arcimboldos Gemälde ist zugleich ein Porträt Kaiser Rudolfs II. zu Prag. Der Hof Rudolphs II. war ein Zentrum von Künstlern und Wissenschaftlern der Spätrenaissance und der Titel „Vertemnus“ ist zugleich der Name des römischen Gottes der Jahreszeiten und der Vegetation, der in der Lage ist, seine Gestalt zu wandeln. Die Interpretation des Bild- und Textbetrachters könnte daraufhin lauten, dass das Gemälde eine Allegorie des positiv verändernden Einflusses des Monarchen darstellt.

hoher Normalisierungsbedarf besteht beispielsweise, wenn ein Betrachter ein informationshaltiges Schaubild als für den Lernprozess wichtig einstuft. Dies führt laut Weidenmann zu einer größeren Intensität des Verstehens. Ein niedriger Normalisierungsbedarf, der zum Beispiel durch ein vom Betrachter als informationsarm und einfach eingeschätztes Bild entsteht, führt zu einer niedrigen Verstehensintensität.

Die *Virulenz* der aktivierten Schemata ist dagegen abhängig von dem Grad, in dem diese mit weiteren Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses verknüpft werden und inwieweit diese in der Folge noch zu weiteren Aktivierungen führen. Diese Art mehrfacher Verknüpfungen von Repräsentationen wird von Weidenmann (1988, S. 90 f.) als *Elaborationen* bezeichnet, die gemäß Ballstaedt und Mandl (1984a, S. 331) phänomenologisch als Ideen, Assoziationen und Vorstellungen in Erscheinung treten. Eine intensive Auseinandersetzung mit dem Bild findet dann statt, wenn es eine Herausforderung darstellt, also ein hoher Normalisierungsbedarf besteht, und das Bild als anregend empfunden wird, also eine Virulenz der aktivierten Schemata besteht (Weidenmann, 1994).

Eine entscheidende Rolle beim Bildverstehen spielen zudem die folgenden Bestrebungen des Betrachters: (a) möglichst geringer Aufwand der Verarbeitung und (b) Abwechslung der Stimulation. Diese komplementären Bestrebungen werden auch als Prinzipien der *Ökonomie* und der *Abwechslung* bezeichnet. Das Ökonomieprinzip besagt, dass das verstehende Subjekt durch Aufwandsminimierung möglichst zügig zu einem Verstehen zu gelangen sucht, während das Abwechslungsprinzip das Verlangen nach immer neuen Stimuli beschreibt. (Weidenmann, 1988)

Der Prozess des Bildverstehens steht daher ständig in einem Spannungsverhältnis zwischen Normalisierungsbedarf und Virulenz auf der einen und dem Streben nach Ökonomie und Abwechslung auf der anderen Seite.

Wie für die Verarbeitung von Texten wird auch für die Bildverarbeitung der Aufbau eines mentalen Modells in mehreren Phasen angenommen. Das Weidenmann'sche Prozessmodell des Bildverstehens (Weidenmann, 1988, S. 97–99) beschreibt ebenfalls eine Progression in mehreren Phasen.

In der *Vorphase*, dem Moment des ersten Bildkontaktes, findet die momentane Orientierung des Betrachters statt. Es schließt sich unmittelbar die *Initialphase* an, in der das ökologische Bildverstehen dominiert und automatische Normalisierungsprozesse ablaufen. Werden keine weiteren virulenten Konzepte in Form von Schemata aktiviert, erfolgt hier bereits der Abbruch des Bildkontaktes. Am Ende der Initialphase steht eine Repräsentationsform, die Weidenmann (S. 83) als Bildverstehen erster Ordnung bezeichnet.¹² Die nachfolgenden Prozesse führen somit zu einer Repräsentationsform, die über die im Modell des Textverstehens beschriebenen mentalen Re-

¹²Weidenmann parallelisiert dieses Bildverstehen erster Ordnung mit dem Situationsmodell von van Dijk und Kintsch (1983), stuft damit aber das situative Modell tiefer ein als van Dijk und Kintsch. Die Autoren nehmen eine intensive Einbeziehung von Vorwissen und somit, um mit Weidenmann zu sprechen, die Aktivierung indikatorischer Schemata für das Situationsmodell an. Damit steht es aber eher auf der Stufe einer in der Progressionsphase entstehenden mentalen Repräsentation.

präsentationen hinausgeht. Durch die Aktivierung indikatorischer Schemata kommt es zum Eintritt in die *Progressionsphase*, in der eine tiefergehende Verarbeitung und Interpretation des Bildes stattfindet. Im Laufe der Progressionsphase entsteht nach Weidenmann das Bildverstehen zweiter Ordnung, in das zusätzliches Wissen über Bildproduktion und Bildverwendung einfließt. In der *Stabilisierungsphase* kommt es schließlich zur Konsolidierung eines mentalen Modells. Mit zunehmendem Bildverstehen nimmt der Normalisierungsbedarf ab, da das zunächst als schwierig und unverständlich eingestufte Bild zunehmend als einfacher und verständlicher wahrgenommen wird. Schließlich wird der Blickkontakt abgebrochen und das entstandene mentale Modell wird Teil der Wissensstruktur des Langzeitgedächtnisses (*Speicherphase*).

Weidenmanns Modell des Verstehensprozesses von Bildern geht somit über den dreischrittigen Textverstehensprozess nach van Dijk und Kintsch (1983) hinaus. Vor- und Initialphase und die daraus entstehende mentale Repräsentation lassen sich in etwa mit der Ausbildung eines propositionalen Modells parallelisieren. Bei dem über Progressions- und Stabilisierungsphase entstehenden mentalen Modell handelt es sich um eine weiter elaborierte mentale Repräsentation, die in etwa dem Situationsmodell der Textverstehensforschung entspricht. Dies impliziert jedoch nicht, dass die Text- und Bildverarbeitung völlig getrennt voneinander verlaufen würden. Vielmehr scheint die Trennung von Text- und Bildverstehen in Bezug auf übergeordnete mentale Repräsentationen problematisch, da sich mentale Modelle, wie oben erwähnt, gerade durch die explizite Einbeziehung text- und bildhafter Elemente auszeichnen (Schnotz, 2001b, S. 711). Neuere Modelle, die im Folgenden dargestellt werden, versuchen daher die Vorstellungen zum Text- und Bildverstehen zu integrieren.

3.3.5. Integrierte Modelle

Die Modelle des Text- und Bildverstehens beschreiben ausführlich – weitaus ausführlicher als hier dargestellt – die Schritte, die zu einem Verstehen mit dem jeweiligen Kode nötig sind. Die Trennung der Verstehensprozesse erweist sich, wie oben dargestellt, zum einen aufgrund der Vermischung text- und bildhafter mentaler Repräsentationen als problematisch. Zum anderen tritt bei der Beschäftigung mit Lernsituationen, und zwar insbesondere beim Lernen mit multimedialen Lernumgebungen, neben der Betrachtung der singulären Codes die Frage nach der Verknüpfung und Integration dieser in Lernsituationen vorherrschenden Kombination von Codes in den Vordergrund. Dieser Frage widmen sich die folgenden Modelle, die Vorstellungen des Text- und Bildverstehens integrieren.

Theorie der Dualen Kodierung

Grundlegend für einen Großteil der zur Zeit gängigen Erklärungen der Wirkung von Texten und Bildern auf den Wissenserwerb ist nach wie vor die Theorie der dualen

Kodierung, die zuerst 1971 von Allan Paivio formuliert wurde (vgl. auch Paivio, 1978; 1986). Darin wird, wie in Abbildung 3.2 dargestellt, von zwei unterschiedlichen kognitiven Systemen der Informationsverarbeitung ausgegangen.

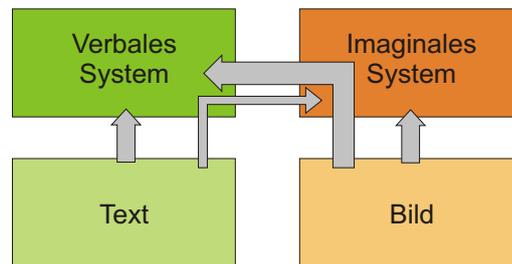


Abbildung 3.2: Theorie der Dualen Kodierung. Nach Paivio, 1986.

Im verbalen System werden sprachliche und sequentiell strukturierte Informationen verarbeitet, wie sie in geschriebenen oder gesprochenen Texten enthalten sind. Das nicht-verbale, visuelle System ist für räumliche und synchron dargebotene Informationen zuständig. Diese Art der Repräsentation ist räumlich-analog aufgebaut, das heißt in ihr sind Gestalt und Lagebeziehungen mehrdimensionaler Strukturen der visuellen Umgebung abgebildet (Paivio, 1986). Entscheidend für das Lernen ist die Verknüpfung der beiden Repräsentationsformen: Weil ein Bild auch verbale Konnotationen hervorruft, wird es in beiden Systemen, also dual, kodiert. Gleiches gilt, allerdings in schwächerem Maße, für ein Wort, das konkrete bildliche Vorstellungen hervorrufen kann. Ein solchermaßen doppelt kodierter Wissensgegenstand wird besser im Gedächtnis verankert und ist somit auch leichter (visuell und verbal) abrufbar. Damit erklärt Paivio den sogenannten Bildüberlegenheitseffekt. Der Bildüberlegenheitseffekt wurde in Studien mit Begriffslisten und -karten festgestellt: Lernende erinnerten als Bilder präsentierte Objekte besser als solche, die ihnen nur in Form von Wörtern präsentiert wurden (z. B. Nelson, Reed & Walling, 1976). Eine generelle Überlegenheit von Bildern kann daraus allerdings nicht gefolgert werden. Ebenfalls lässt sich mit der dualen Kodierung erklären, dass konkret Vorstellbares besser erinnert wird als Abstraktes: Die auch als Bild kodierbaren konkreten Begriffe sind fester im Gedächtnis verankert und so auch leichter wieder abrufbar als abstrakte, nur einfach kodierte Begriffe.

Erweiterungen der Theorie der Dualen Kodierung

Die grundsätzliche Annahme, dass es mehrere Systeme für die kognitive Verarbeitung von Informationen gibt, gilt nach wie vor als akzeptiert. Durch diese Aufteilung wurde allerdings nahegelegt, dass noch weitere Repräsentationsformen existieren könnten, wie etwa motorische (Engelkamp & Zimmer, 1984, 1994) und abstrakte Speicherformen (z. B. Anderson & Bower, 1974; Pylyshyn, 1973; Pylyshyn, 1981).

Entsprechend der dargelegten Erkenntnisse aus der Textverstehensforschung (vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 26) wird zudem die Unterteilung der aufgebauten mentalen Repräsentationen in die Ausbildung einer oberflächlichen und einer tiefer verarbeiteten Repräsentationsform nötig. Die Theorie des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (vgl. Abschnitt 3.3.1, S. 23) stützt die Idee einer dualen Kodierung. Allerdings wird zugleich die Frage aufgeworfen, ob Paivios Theorie den Sachverhalt nicht zu stark vereinfachend darstellt. Vor allem wird eine Korrespondenz mit dem Langzeitgedächtnis nicht berücksichtigt, wie sie etwa die Schematheorie (vgl. Abschnitt 3.3.2, S. 25) beschreibt. Trotz dieser Erweiterungen von Paivios Theorie bleibt jedoch die grundsätzliche Annahme unangefochten, dass es eine eigene bildnahe Repräsentationsform gibt (Weidenmann, 1988, S. 18 f.).

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die wenig differenzierte Betrachtungsweise strukturell unterschiedlicher Bilder. So konnten Schnotz und Bannert (2003) zeigen, dass sich bei informationsäquivalenten, aber strukturell unterschiedlichen Abbildungen keine generelle Überlegenheit der dualen Kodierung bestätigen ließ. Es kommt also nicht nur auf die Repräsentationsform an, sondern auch auf die Passung der Repräsentationsstruktur zur repräsentierten Information.

Eine genauere Betrachtung der kognitiven Vorgänge, die das Lernen mit Text und Bild in multimedialen Umgebungen ausmachen, liefern Modelle, die diese Erkenntnisse integrieren. Vor allem die Theorien von Mayer (2001) sowie Schnotz und Mitarbeitern (Schnotz & Bannert, 1999; Schnotz, Seufert & Bannert, 2001) bauen auf Paivios Theorie der dualen Kodierung auf, erweitern diese jedoch entscheidend, indem sie die wesentlichen Kritikpunkte berücksichtigen.

Kognitive Theorie des Lernens mit Multimedia von Mayer

Richard E. Mayer (1997, 2001) benennt in seinem Modell drei Grundannahmen, die sich an verschiedene Theorien anlehnen:

- *Zwei Kanäle.* Hier lehnt sich Mayer an Paivios *Dual-coding*-Theorie und Baddeleys Arbeitsgedächtnistheorie an. Diese Annahme besagt, dass es zwei Kanäle für die Verarbeitung von Informationen gibt: einen für die verbale oder audiotische Verarbeitung und einen für die visuelle oder bildliche Verarbeitung.
- *Limitierte Kapazität.* Vor allem in Anlehnung an die *Cognitive-Load*-Theorie von John Sweller (vgl. Abschnitt 3.3.6, S. 36) nimmt Mayer an, dass jeder der beiden Kanäle nur eine limitierte Kapazität für die Verarbeitung von Informationen besitzt.
- *Aktive Verarbeitung.* Wie Wittrock (1974; 1989) in seiner Theorie des generativen Lernens, geht auch Mayer von der Notwendigkeit kognitiver Aktivität aus. Er entwickelt die Annahme, dass aktives Lernen das Ausführen einer Reihe ko-

ordinierter kognitiver Prozesse notwendig macht: Selektion, Organisation und Integration.

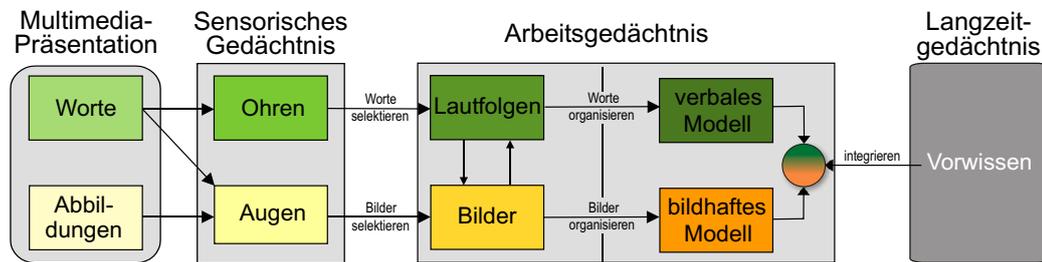


Abbildung 3.3: Schematische Darstellung der Modellvorstellung Mayers. Worte und Bilder werden über zwei Kanäle verarbeitet: Zunächst werden aus den gehörten Worten bestimmte Lautfolgen und aus gesehenen Abbildungen Bilder selektiert. Aus dieser ersten Form interner Repräsentation entsteht dann über Organisationsmechanismen ein verbales bzw. bildhaftes Modell. Über Einbeziehung von Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis kommt es schließlich zu einem integrierten mentalen Modell. Nach Mayer, 2001; Übersetzung des Autors.

Der Weg der Verarbeitung der Informationen verläuft also gemäß der ersten Annahme über zwei unterschiedliche Verarbeitungskanäle (vgl. Abb. 3.3): einen visuell/piktorialen Kanal (unterer Bereich) und einen auditorisch/verbalen Kanal (oberer Bereich). Nachdem über die Sinnesorgane Informationen in das sogenannte sensorische Gedächtnis gelangt sind, entstehen über Selektionsprozesse jeweils erste kanalspezifische Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis. Diese ermöglichen dem Lernenden das Erfassen der oberflächlichen Zusammenhänge von Text- bzw. Bildelementen sowie das Einprägen von Begriffen und Aussagen. Die durch Selektion entstehende textliche Repräsentation entspricht damit der Oberflächenrepräsentation des Modells der Textverstehensforschung. Die aus Selektion von Bildelementen entstandene Repräsentation entspricht der über präattentive Verarbeitung entstandenen Repräsentation, wie sie die Vorstellungen zum Bildverstehen postulieren.

Der sich anschließende Schritt der Organisation führt zu einer internen Repräsentationsform, die ein Verständnis des Lerngegenstandes ermöglicht: Es entsteht ein verbales Modell, das der propositionalen Repräsentation der Textverstehensforschung entspricht und ein bildhaftes Modell, das dem Weidenmannschen Bildverstehen erster Ordnung ähnelt. Über die Integration dieser beiden Modelle mit dem Vorwissen, kann dann, nach Mayer, ein integriertes mentales Modell entstehen. Dieses entspricht in etwa den Vorstellungen eines Situationsmodells der Textverstehensforschung und denen eines Bildverstehens zweiter Ordnung nach Weidenmann.

Integriertes Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz

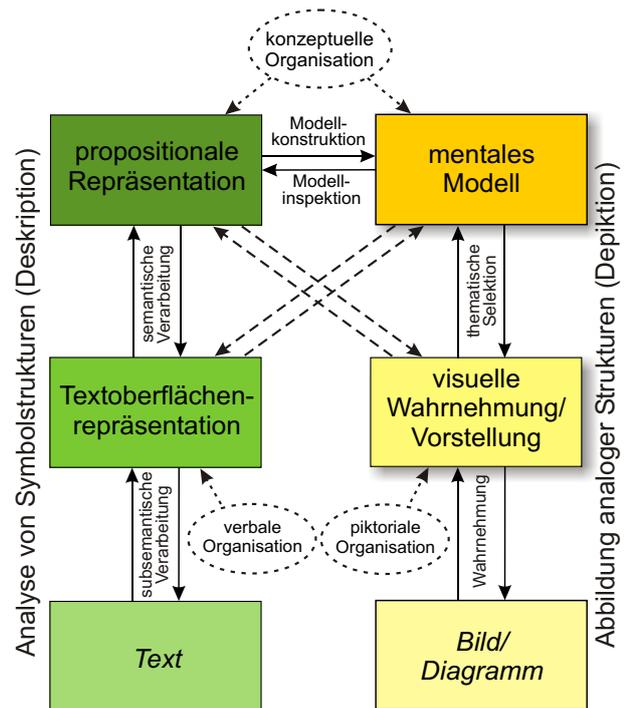
Ein weiteres Modell des Lernens mit Texten und Bildern wurde von der Arbeitsgruppe um Wolfgang Schnotz entwickelt (Schnotz & Bannert, 1999; Schnotz, 2001c;

Schnotz et al., 2001). Dieses Modell (siehe Abb. 3.4 auf der nächsten Seite) ist in der Wahl der Begriffe näher an die Textverstehensforschung angelehnt und versucht stärker semiotische Erkenntnisse einzubinden. Viele dieser Ansätze sind für ein tiefergehendes Verständnis der Vorgänge beim multikodalen Lernen äußerst hilfreich. Der wesentliche Unterschied zu Mayers (2001) Modell besteht in der Annahme, dass ein mentales Modell über die (meist visuelle) Verarbeitung so genannter analoger Strukturen auf direkterem Wege entsteht als über den Weg der Verarbeitung von Symbolstrukturen. Dies sei, so Schnotz und Bannert, im Wesentlichen auf die andere Reihenfolge zurückzuführen, in der die Ebenen mentaler Repräsentationen durchlaufen werden: Während die Reihenfolge der Deskription, also dem Textverstehensprozess durch die Analyse von Symbolstrukturen, von der Oberflächenrepräsentation über die propositionale Ebene zum mentalen Modell verlaufe, würde bei der Depiktion, also dem Bildverstehen durch analoge Strukturabbildung, nach der Oberflächenrepräsentation zunächst die Modell- und dann die Propositionsebene erreicht (Schnotz, 2001c, S. 308). Die Vorgänge der internen Depiktion und Deskription verlaufen also, anders als bei Mayer, nicht völlig parallel, so dass hier das aus visueller Wahrnehmung entstehende mentale Modell (Mayers bildhaftes Modell) und die konzeptuell organisierte Repräsentation analoger Strukturen (Mayers verbales Modell) in der Instanz „Mentales Modell“ zusammenfallen. Auch wird die Idee der dualen Kodierung bei Schnotz anders interpretiert als bei Paivio. Zwar werden auch zwei unterschiedliche Kodierungsformen angenommen, aber die duale Kodierung findet gleichermaßen auf Seiten der Text- und Bildverarbeitung statt. Außerdem entsteht durch die jeweils zweite Kodierung nicht nur ein quantitativer Vorteil, sondern eine qualitative Steigerung durch sich ergänzende Repräsentationsprinzipien (Schnotz & Bannert, 1999, S. 223). So wie Mayer betont auch Schnotz, dass Selektions- und Organisationsprozesse an diesen Konstruktionsprozessen beteiligt sind. Allerdings unterscheiden sich die Modelle auch hier. Während Mayer Selektions- und Organisationsprozesse als hintereinander geschaltet ansieht, finden diese Prozesse nach Schnotz' Modell auf jeder Ebene statt: Schemageleitete Informationsselektion, in Abbildung 3.4 auf der nächsten Seite durch absteigende Pfeile dargestellt, meint sowohl die Selektion von Informationen aus den externen Repräsentationen (Text/Bild) als auch die weitere Selektion von mentalen Oberflächenrepräsentationen. Organisation wird dagegen über eine Wechselwirkung von auf- und absteigenden Prozessen der Aktivierung und Abgleichung von Schemata, sowohl auf der strukturellen Ebene (verbale bzw. piktoriale Organisation) als auch auf der konzeptuellen Ebene erreicht.

3.3.6. Die *Cognitive-Load-Theorie*

Eine weitere Modellvorstellung, die beim Lernen mit Multimedia eine entscheidende Rolle spielt, ist die bereits im Zusammenhang mit Mayers Theorie erwähnte *Cognitive-Load-Theorie* von John Sweller und Mitarbeitern (z. B. Sweller, 1988; Chandler & Sweller, 1991; Sweller, Merriënboer & Paas, 1998; Pollock, Chandler & Swel-

Abbildung 3.4: Schematische Darstellung des multimedialen Lernens mit Texten, Bildern und Diagrammen (nach Schnotz, 2001c). Absteigende Pfeile stellen die *top-down* verlaufende schemageleitete Informationsselektion dar, aufsteigende Pfeile stehen für die *bottom-up* verlaufende Schemaaktivierung.



ler, 2002). Diese Theorie beschreibt, wie sich die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses auf den Lernprozess auswirkt. Grundsätzlich nimmt die *Cognitive-Load*-Theorie folgendes an (Sweller et al., 1998):

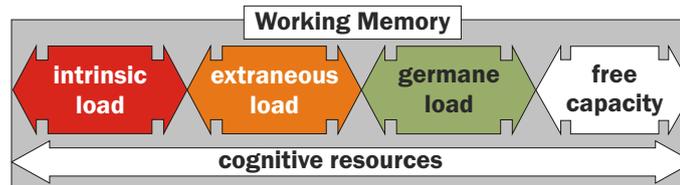
- Die Anzahl der Elemente, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können, ist begrenzt (angelehnt an Miller, 1956, vgl. Abschnitt 3.3.1, Seite 23).
- Das Langzeitgedächtnis besitzt quasi unbegrenzte Kapazität und diese Ressourcen können zum Überwinden der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses genutzt werden.
- Die hierarchische Struktur von im Langzeitgedächtnis gespeicherten Schemata (vgl. Abschnitt 3.3.2, Seite 25) macht es möglich, auch komplexe Zusammenhänge in Form übergeordneter Schemata „Platz sparend“ im Arbeitsgedächtnis aufzurufen und zu verarbeiten.
- Über Automatisierung werden Schemata ohne Eingriff bewusster Gedächtnisstrukturen aufgerufen und verarbeitet, was zu einer weiteren Entlastung des Arbeitsgedächtnisses führt.

Cognitive load ist der übergreifende Begriff für die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses bei der Verarbeitung von Informationen aller Art.¹³ Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass bei einer Auslastung innerhalb der Kapazitäten des Arbeitsge-

¹³Im deutschen Sprachraum hat sich der Begriff „kognitive Belastung“ durchgesetzt. Wie im Folgenden deutlich wird, ist die damit einhergehende negative Konnotation jedoch nur bedingt zutreffend, weshalb „kognitive Auslastung“ eine wesentlich treffendere Übersetzung darstellt.

dächtnisses die Verarbeitung ungehindert erfolgen kann. Bei einer kognitiven Überlastung (*cognitive overload*), also einer Überschreitung der Kapazitäten, wird das Lernen dagegen behindert.

Es wird zudem von unterschiedlichen Arten von *cognitive load* ausgegangen. Die Unterteilung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Ursachen für die Auslastung, die sich in ihren Auswirkungen auf den Lernprozess deutlich unterscheiden (vgl. Abbildung 3.5).



Anmerkung.

Die englischen Unterbegriffe von *cognitive load* lassen sich v. l. n. r. sinngemäß übersetzen mit lerngegenstandsbezogene, lernumgebungsbezogene und lernprozessbezogene kognitive Auslastung sowie freie Kapazität.

Abbildung 3.5: Schematische Darstellung der *Cognitive-Load-Theorie* (nach Sweller et al., 1998). Während die Größe *intrinsic cognitive load* durch die Schwierigkeit des Lerngegenstandes selbst zustande kommt, und daher auch notwendig ist, handelt es sich bei *extraneous cognitive load* um eine überflüssige Belastung, die sich aus der Lernumgebung ergibt und möglichst minimiert werden sollte. *Germane cognitive load* ist dagegen von Belang für den Lernprozess und stellt die für das Lernen notwendigen kognitiven Ressourcen dar. Freie Kapazität (*free capacity*) bleibt daher nur übrig, wenn diese drei Größen die kognitiven Ressourcen (*cognitive resources*) des Arbeitsgedächtnisses (*working memory*) nicht vollständig in Anspruch nehmen.

Intrinsic cognitive load kommt durch die Schwierigkeit des behandelten Gegenstandes selbst zustande und kann daher als lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung bezeichnet werden. Diese Schwierigkeit des Lerngegenstandes ist vor allem abhängig von dem Grad der Interaktion der Einzelelemente (*element interactivity*) des Lerngegenstandes. So bewirkt etwa das Erlernen des Namens einer biologischen Struktur („Rezeptorprotein“) und auch einfacher Funktionen („bindet Duftstoff und ändert daraufhin seine Struktur“) aufgrund eines niedrigen Interaktionsgrades nur ein geringes Ausmaß an *intrinsic cognitive load*. Das Verstehen eines komplexen biologischen Prozesses („Transduktionskaskade“) mit einem sehr hohen Grad an Interaktion zwischen einer Fülle von Einzelelementen führt dagegen in hohem Maße zu *intrinsic cognitive load*. Ein so komplexer Prozess kann nur erlernt werden, wenn ein Lerner zunächst untergeordnete Schemata zu Teilaspekten, also kleineren Gruppen von interagierenden Einzelelementen, ausbildet. Durch einen schrittweisen Aufbau einer hierarchischen Struktur von Schemata kann somit die lerngegenstandsbezogene Auslastung minimiert werden, die ein komplexer Lerngegenstand bei einem Lerner verursacht.

Extraneous cognitive load ist in der Form der Darbietung der Information begründet, ohne für den Lernprozess förderlich oder notwendig zu sein und kann daher mit lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung übersetzt werden. Es handelt sich also um eine belanglose, überflüssige Auslastung, die beispielsweise durch eine schlechte Strukturierung, überflüssige Details oder Nichteinhaltung von Designprinzipien hervorgerufen wird (vgl. Abschnitt 5.3). *Extraneous cognitive load* sollte durch die Gestaltung und Strukturierung des Lernmaterials oder der Lernsituation möglichst minimiert werden.

Germane cognitive load ist dagegen von Belang für den Lernprozess und stellt die für das Lernen notwendigen kognitiven Ressourcen dar, weshalb lernprozessbezogene kognitive Auslastung eine geeignete Übersetzung darstellt. Nur wenn neben der lerngegenstands- und lernumgebungsbezogenen Auslastung noch ausreichend kognitive Ressourcen für die aktive Auseinandersetzung mit dem Lernprozess bleiben, kann gelernt werden. Im Gegensatz zu *intrinsic* und *extraneous cognitive load* sollte *germane cognitive load* durch die Förderung eines aktiven Lernprozesses maximiert werden.

Freie Kapazität (*free capacity*) bleibt daher nur übrig, wenn diese drei Größen das Arbeitsgedächtnis nicht vollständig in Anspruch nehmen.

Je nachdem wie komplex der Lerninhalt (*intrinsic cognitive load*) oder wie belastend die Lernumgebung ist (*extraneous cognitive load*), bleiben entweder noch genügend Ressourcen frei, die lernwirksam eingesetzt werden können (*germane cognitive load*) oder es fehlen die entsprechenden Ressourcen, so dass das Lernen behindert wird (vgl. hierzu Abbildung 3.6). Es lässt sich also festhalten, dass bei der Gestaltung von Lernumgebungen immer angestrebt werden sollte, (a) ausreichendes Vorwissen zu komplexen Inhalten durch die vorherige Ausbildung von Schemata sicherzustellen, um so die lerngegenstandsbezogene Auslastung des einzelnen Lerners zu minimieren, (b) durch gute Strukturierung, die Einhaltung von Designprinzipien und durch Vermeidung überflüssiger Details die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung gering zu halten und (c) durch die Anregung kognitiver Aktivität die Ausnutzung von Arbeitsgedächtniskapazitäten in Form von lernprozessbezogener Auslastung zu fördern.

3.4. Lernen mit multiplen externen Repräsentationen

Nachdem nun über die Modellvorstellungen der Rahmen für ein Verständnis der Vorgänge beim Lernen mit Multimedia gesteckt ist, sollen im folgenden Abschnitt empirische Belege für die unterschiedlichen Bedingungen beim Lernen mit mehreren Repräsentationsformen beschrieben werden. Daraus ergeben sich besondere Anforderungen an die Gestaltung von Lernumgebungen, die in Abschnitt 3.4.2 auf Seite 43

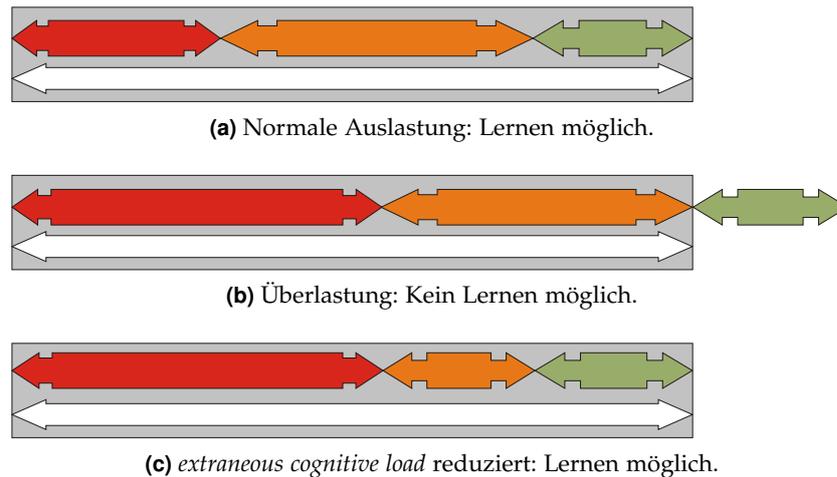


Abbildung 3.6: Schematische Darstellung der Auswirkung unterschiedlicher Arten von *cognitive load* (CL). Die Bedeutung der Farben wird in Abb. 3.5 erläutert. (a) zeigt eine Lernsituation, in der *intrinsic* und *extraneous* CL so niedrig sind, dass genügend kognitive Ressourcen für *germane* CL verbleiben: Lernen ist möglich; in (b) soll eine schwierigere Aufgabe mit einem höheren *intrinsic* CL bearbeitet werden, aber aufgrund eines ebenfalls hohen *extraneous* CL sind keine kognitiven Ressourcen für die Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt übrig: Es bleibt kein Platz für *germane* CL; (c) zeigt, dass eine schwierige Aufgabe durch Reduktion des *extraneous* CL dennoch bewältigt werden kann.

dargestellt werden. Zunächst noch einige Anmerkungen zu dem Begriff der *multiplen externen Repräsentationen*.

Werden Informationen in einer Lernumgebung durch verschiedene externe Repräsentationen (vgl. Abschnitt 3.3.2) dargestellt, so spricht man vom Lernen mit multiplen externen Repräsentationen¹⁴ (Ainsworth, Bibby & Wood, 1997; Ainsworth, 1999).

MER sind keine neue Erscheinung, sie kommen traditionell in Form von Diagrammen, Abbildungen und Lehrtexten in Schulbüchern vor. Allerdings ist im Zuge des Einsatzes „Neuer Medien“ im Schulunterricht zum einen die Palette unterschiedlicher Repräsentationsformen angewachsen (Simulationen, interaktive Animationen und dynamische Diagramme sind neu hinzugekommen), zum anderen ist Lernen mit Multimedia immer durch die immanente Multikodalität und Multimodalität von einer simultanen Nutzung mehrerer Repräsentationen geprägt.

Im Bereich der Wirkung von Multimedia auf den Erwerb von Wissen existieren eine ganze Reihe an Mythen und naiven Annahmen. Diese reichen von der Idee, dass ein mehr an verfügbarer Information automatisch zu mehr Lernen führe (Dillon, 1996, S. 31), über simple Summation der Behaltensleistung von verschiedenen Sinnesmodalitäten (vgl. Abb. 3.7 sowie Weidenmann, 2002b, S. 48) bis hin zu der vereinfachenden Vorstellung, dass multimediale Lernumgebungen durch ihren Abwechslungsreichtum motivierend wirken (Weidenmann, 2002b, S. 56).

¹⁴im Folgenden abgekürzt mit MER

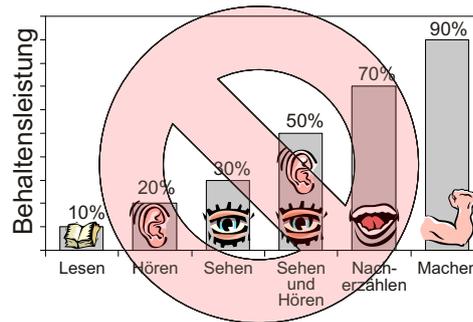


Abbildung 3.7: Verbreitete naive Annahmen der Wirkung multimodalen Lernens sowie verschiedener Lernaktivitäten auf die Behaltensleistung als einfache Summation. Nach Weidenmann, 2002b.

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Lernen mit MER zeichnet ein deutlich differenzierteres Bild der Wirksamkeit von Multimodalität und Multikodalität auf den Wissenserwerb. Im Folgenden sollen die Vorteile und die Schwierigkeiten dargestellt werden, die mit dem Lernen mit MER einhergehen.

3.4.1. Bedingungen des Lernens mit multiplen externen Repräsentationen

Eine Reihe von Studien hat sich mit der Untersuchung der Wechselwirkungen verschiedener Repräsentationsformen beschäftigt. Eine Darstellungsweise, bei der dem Lernenden gelesener und insbesondere gehörter Text zusammen mit einer Grafik präsentiert werden, die in inhaltlichem Zusammenhang zum Text steht, hat sich dabei als überlegen gegenüber Texten ohne Grafik herausgestellt (ausführliche Metaanalysen hierzu finden sich in Levie & Lentz, 1982; Levin, Anglin & Carney, 1987). Dies gilt entsprechend auch für eine Kombination von bewegten Bildern, also Animationen, und gehörtem Text (z. B. Mayer & Anderson, 1992). Für diese Überlegenheit von MER werden unterschiedliche Begründungen angeführt, doch neben den Vorteilen zeigen sich auch einige hartnäckige Probleme.

Doppelte Kodierung, *Split-Attention*-Effekt und Hemmungsthese

Eine Erklärung für den positiven Effekt von MER bietet die Vorstellung einer internen Mehrfachkodierung der Information, wie sie Paivios *Theorie der doppelten Kodierung* (1986, vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 32) annimmt. In den weiter entwickelten integrierten Modellvorstellungen anderer Autoren (Mayer & Anderson, 1992; Mayer, 1997; Schnotz & Bannert, 1999, vgl. 3.3.5) wird zudem die Vorstellung einer Reduktion der kognitiven Auslastung des Arbeitsgedächtnisses miteinbezogen (Chandler & Sweller, 1991; Baddeley, 1992, vgl. Abschnitt 3.3.1 und 3.3.6). Demnach ließe sich der positive Effekt der simultanen Präsentation von Information als Text und Bild mit der simultanen Nutzung des verbalen und des visuellen Subsystems des Arbeitsgedächtnisses erklären. Idealerweise sollten dabei unterschiedliche Eingangskanäle, also Augen

und Ohren, genutzt werden. Wird dagegen nur ein Eingangskanal genutzt, kann es zum so genannten *Split-Attention*-Effekt kommen (Chandler & Sweller, 1991): Die Aufmerksamkeit muss zwischen den zwei Informationsquellen aufgeteilt werden. Die Verknüpfung von gesprochenem Text und einer Abbildung gelingt daher müheloser als die Integration eines geschriebenen Textes und eines Bildes.

Die Gefahr eines *Split-Attention*-Effekts bei Nutzung nur eines Eingangskanals kann jedoch reduziert werden, wenn zumindest Text und Bild durch räumliche Nähe möglichst integriert präsentiert werden. Diese räumliche Kontiguität verhindert eine zusätzliche kognitive Belastung durch die Aufgabe der Aufmerksamkeitslenkung, die das Lernen behindert (Chandler & Sweller, 1991; Moreno & Mayer, 1999).

Werden Text und Bild oder Animation und gesprochener Text zwar gleichzeitig, aber nicht synchron präsentiert, kommt es auch hier zum *Split-Attention*-Effekt: Es entsteht zusätzlicher Bedarf an kognitiven Ressourcen, da Informationen, die in einer Repräsentationsform präsentiert werden, im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen, damit sie trotz zeitlicher Verzögerung mit der zweiten Repräsentation integriert werden können. Diese lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung behindert das Lernen (Moreno & Mayer, 1999).

Allerdings zeigte sich in einigen Studien, dass in multimodalen und multikodalen Lernumgebungen die angebotenen externen Repräsentationen durchaus nicht gleich intensiv verarbeitet wurden, wenn sie zu schnell aufeinander folgten oder nicht optimal aufeinander abgestimmt waren. So kann es, vor allem bei komplexem Lernmaterial, zu einer Überforderung des Lerners durch mehrere externe Repräsentationen kommen. Weidenmann (2002b, S. 57) bezeichnet dies als Hemmungsthese¹⁵.

Stimulationshypothese, Text-Bild-Schere und Verstehensillusion

Eine andere Erklärung macht den unterschiedlichen Informationsgehalt von korrespondierenden externen Repräsentationen für deren Effektivität verantwortlich. Dieses teilweise komplementäre Verhältnis analoger (z. B. Bild) und symbolischer (z. B. Text) Darstellungsformen wird auch als „semantisches Gefälle“ (Bock, 1983; Schnotz, Zink & Pfeiffer, 1996) bezeichnet. Werden einem Lerner beide Repräsentationsformen angeboten, so kann dieser die semantischen Leerstellen einer Darstellungsweise durch Einbezug von Informationen aus der anderen ergänzen (*Stimulationshypothese*). Dieses von Schnotz und Bannert (1999) auch empirisch bestätigte Zusammenspiel zweier Darstellungsformen kann so umfangreichere Bedeutungszusammenhänge der zu lernenden Konzepte ermöglichen.

Es können sich allerdings auch Schwierigkeiten ergeben, wenn semantische Diskrepanzen zwischen parallel dargebotenen Repräsentationen bestehen. Diese sogee-

¹⁵Dabei lehnt sich Weidenmann an die Medienforscherin Hertha Sturm an, die bei schnellen Bildfolgen im Fernsehen festgestellt hat, dass die „fehlende Halbsekunde“ zum Verlust der inneren Verbalisierung und somit zu einer rein passiven, oberflächlichen Enkodierung führt (Sturm, 1984, 1996).

nannte *Text-Bild-Schere*, ein Begriff, der aus der Medienforschung zu Fernsehreportagen stammt (Wember, 1976; Drescher, 1997), kann ebenfalls zu *split attention* und somit zu erhöhter kognitiver Belastung führen. In der Folge wird kaum etwas von den dargebotenen Informationen behalten, auch wenn die untersuchten Fernsehzuschauer in Wembers Studie sich durchaus informiert fühlten – sie unterliegen einer Verstehensillusion (*illusion of knowing*; Glenberg, Wilkinson & Epstein, 1982).

Zu einer solchen Verstehensillusion kann es insbesondere dann kommen, wenn die Bilder als simples, einfach zu verstehendes Lernmaterial unterschätzt werden. Wie Salomon (1984) in einer Studie herausfand, neigen Lernende zu dem wenig lernförderlichen Vorurteil: "Television is 'easy' and print is 'tough.'" Fernsehbilder werden also häufig als einfach eingeschätzt, Geschriebenes dagegen eher als schwierig. Dies führt, laut Salomon, beim Lernen mit bildhaftem Lernmaterial zu einer geringeren Anstrengungsbereitschaft, folglich zu einer oberflächlichen Verarbeitung und somit zu einem geringeren Lernerfolg. Weidenmann (1989) konnte zeigen, dass eine solche Unterschätzung bildhaften Lernmaterials auch bei stehenden Bildern zum Tragen kommt. Weidenmann beobachtete, dass diese Unterschätzung bei den Lernenden, so wie die oben beschriebene Text-Bild-Schere, zu Verstehensillusionen führen kann. In besonderer Weise gilt dies allerdings für animierte Bilderfolgen oder Filmsequenzen (Salomon, 1983; Chun & Plass, 1996). Dies mag daran liegen, dass diese zeitlich fließenden Darstellungsformen keine intensive Interaktion zwischen den Modalitäten zulassen (Schnotz & Grzondziel, 1996; Schnotz, 2001a).

Kognitive Flexibilität und Integrationsschwierigkeiten

Einen weiteren Hinweis, wie die positiven Befunde zum Lernen mit MER zu erklären sind, liefert die *Cognitive-Flexibility*-Theorie von Spiro und Mitarbeitern (Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988). Diese Theorie stammt aus der Forschung zum Umgang von Experten mit unstrukturierten Domänen (*ill-structured domains*). In Bezug auf das Lernen mit MER besagt sie, dass durch die multiple Repräsentation eines Konzepts geistige Flexibilität im Umgang mit komplexen Problemen erlangt werden kann. Dies versetzt Lerner in die Lage, neue Informationen in ihrem kognitiven System leichter zu vernetzen, flexibler zu handhaben und übermäßige Simplifizierungen sowie daraus entstehende Misskonzepte zu vermeiden (Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991, S. 26–27).

Auch hier muss eine einschränkende Anmerkung gemacht werden: Ainsworth (1999) weist beispielsweise auf deutliche Schwierigkeiten hin, die Lerner mit wenig Vorwissen bei der Integration unterschiedlich kodierter Informationen haben.

3.4.2. Anforderungen multipler externer Repräsentationen an den Lerner

Die Bedingungen des Lernens mit MER stellen sich als Vor- und Nachteile dar, die in einem Spannungsverhältnis zueinander stehen. Unter günstigen Bedingungen

kommt es zu verständnisvollem Lernen, ungünstige Bedingungen führen dagegen zu deutlichen Lernschwierigkeiten. Schlimmstenfalls können sich die genannten Probleme aufaddieren, so dass es zu einem kognitiven „Absturz“ kommt und ein Lernen unmöglich wird.

Weidenmann (1993) fasst die besonderen Aufgaben, denen Lerner bei der Verarbeitung von MER gegenüberstehen, in drei Punkten zusammen. Sie sollen hier mit den oben beschriebenen Bedingungen des Lernens mit MER in Beziehung gesetzt werden.

Erstens muss die *Selektivität des Aufmerksamkeitsfokus*, also die Lenkung der Aufmerksamkeit, zwischen verschiedenen externen Repräsentationen koordiniert werden. Bei gelungener Selektion kommen die Vorteile der doppelten Kodierung zum Tragen und die Informationen unterschiedlicher Repräsentationsformen können sich gemäß der Stimulationshypothese ergänzen. Gelingt diese Lenkung der Aufmerksamkeit nicht, besteht die Gefahr des *Split-Attention*-Effekts, der Unterschätzung des Lernmaterials und von Verstehensillusionen.

Lerner müssen zweitens die *Übergänge zwischen den verschiedenen Kodierungsformen koordinieren*, die synchron (z. B. akustischer Text zu einer Animation) oder alternierend (z. B. geschriebener Text zu einem Bild) erfolgen. Gelingt dem Lernenden die Koordination der Übergänge, ermöglicht dies die Ausbildung einer verbal und visuell kodierten mentalen Repräsentation. Fehlt diese Koordination der Übergänge, kann es auch hier zum *Split-Attention*-Effekt und zu den in der Hemmungsthese genannten Problemen kommen.

Drittens muss die Kohärenz eines mentalen Modells durch *Integration unterschiedlicher Codes* hergestellt werden. Optimal integrierte mentale Modelle ermöglichen kognitive Flexibilität und stehen für ein stabiles Verständnis des Lerngegenstands. Misslingt die Integration, bleibt das entstehende mentale Modell eindimensional und unflexibel.

Den entscheidenden Schritt für die Bildung eines elaborierten mentalen Modells stellt der Prozess der Integration dar. Seufert (2003, S. 23) weist jedoch mit Recht darauf hin, dass der Integrationsprozess zwischen den mentalen Repräsentationsformen in den integrierten Modellen von Mayer (2001, ; vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 34 f.) und Schnotz (2001c, ; vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 35 f.) nicht genau beschrieben wird. Angelehnt an den Begriff der Kohärenz aus der Textverstehensforschung (vgl. 3.3.3, S. 26) und die aus der Analogieforschung stammende Theorie des *structure mapping* (Gentner, 1983; Gentner & Markman, 1997) entwickelt Seufert ein Modell, das die Anforderungen des Integrationsprozesses zu beschreiben versucht (S. 23–31). Sie kommt zu dem Schluss, dass die Begriffe der lokalen und globalen Kohärenzbildung auch auf die Verarbeitung von multiplen Repräsentationsformen angewendet werden können, wobei der Integrationsprozess als ein globaler Kohärenzbildungsprozess einzuordnen ist.

Aus der *Structure-mapping*-Theorie übernimmt Seufert die Idee einer dreischritti-

gen Abbildung („mapping“) von Systemeigenschaften: (1) Identifikation relevanter Elemente, Attribute und Relationen innerhalb einer Repräsentationsform, (2) Mapping zwischen Elementen und deren Attributen unterschiedlicher Repräsentationsformen, (3) Mapping zwischen Relationen unterschiedlicher Repräsentationsformen. (S. 28f). Beim ersten Schritt handelt es sich um eine lokale Kohärenzbildung, während Schritt zwei und drei globale Kohärenzbildungsprozesse darstellen. Kohärenzbildungsprozesse stellen für Seufert zudem ein Kontinuum zwischen lokal und global dar (S. 24), das auch die Tiefe der Verarbeitung widerspiegelt: Während für den Erwerb von Faktenwissen eher oberflächliche lokale Kohärenzbildung ausreichend ist, kann Verständnis nur über lokale *und* globale Kohärenzbildungsprozesse entstehen (S. 264). Die Integration von Text und Bild kann also nur über globale Kohärenzbildungsprozesse erreicht werden, die mit einer höheren mentalen Anforderung einhergehen.

3.5. Einfluss von Lernermerkmalen

Die aktuellen Untersuchungen zum Lernen mit Multimedia zeigen, dass alle Effekte stark von den individuellen kognitiven und motivationalen Voraussetzungen der Lernenden abhängig sind, die daher zumindest als Einflussfaktoren entsprechend berücksichtigt werden müssen (Lewalter, 1997b, S. 14). Dabei werden im Bereich der kognitiven Voraussetzungen das domänenspezifische Vorwissen und der im Zusammenhang mit der Text-Bildverarbeitung besonders interessante Einfluss von verbalen und visuellen Lernpräferenzen diskutiert. Als wichtige affektive Einflussgröße auf den Lernprozess hat sich vor allem das Interesse herauskristallisiert.

3.5.1. Einfluss des Vorwissens

Bereits bei präattentiven Wahrnehmungsprozessen kann das Vorwissen eine entscheidende Rolle spielen. So weist Schnotz (2002, S. 72) darauf hin, dass ein Lerner zumindest über entsprechende Grafikschemata verfügen muss, um einem Diagramm die zum Verstehen notwendigen Informationen zu entnehmen. Im Zusammenhang dieser Arbeit soll es jedoch vor allem um den Einfluss des Vorwissens auf attentive Wahrnehmungsprozesse gehen (zusammenfassende Informationen zu präattentiver Wahrnehmung finden sich bei Weidenmann, 2001, S. 427 f. sowie Lewalter, 1997b, S. 65 f.).

Der Einfluss des Vorwissens auf das Lernen mit MER im Bereich der bewussten Wahrnehmung ist durch die Wechselwirkung verschiedener Effekte geprägt. Wie einige Studien zeigen, entfalten sowohl stehende Bilder als auch Animationen ihre verständnisfördernde Wirkung eher bei Lernenden mit geringem Vorwissen, während Lerner mit größeren Vorkenntnissen auch anhand nicht illustrierter Lehrtexte

ein tieferes Verständnis des vermittelten Sachverhaltes entwickeln können (Mayer, 1997; Mayer & Gallini, 1990).

So fand auch Lewalter (1997b) eine Tendenz zur Wechselwirkung zwischen Vorwissen und Illustrationsformen: Während Lerner mit hohem Vorwissen beim Lernen mit der reinen Text-Version einer computergestützten Lernumgebung deutlich bessere Lernergebnisse erzielten als Lerner mit wenig Vorwissen, fallen die Unterschiede bei der Bild- und der Animationsversion wesentlich geringer aus. Die Vorwissensdefizite konnten hier durch die Illustrationen bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden. Peeck (1994b, S. 77) führt die relative Unabhängigkeit der Lernenden mit hohem Vorwissen von der Repräsentationsform darauf zurück, dass diese Lerner die nötigen Strategien und Techniken zur Ausbildung mentaler Modelle besitzen und somit auch ohne Illustrationen zu umfangreichen Modellen gelangen können.

Salomon (1974, 1979) differenziert die Vorteile bewegter Bilder gegenüber statischen Abbildungen bei der Darstellung von Prozessen ebenfalls hinsichtlich des Vorwissens der Lernenden. Lernende mit geringem Vorwissen profitieren demnach von der expliziten Darstellung eines komplexen Vorganges, der ihnen noch nicht vertraut ist, wenn sie nicht in der Lage sind, diesen Vorgang intern zu verstehen. Hier wird also quasi der zu verstehende Vorgang externalisiert und so Lernenden geringeren Vorwissens näher gebracht. Dieses wird, nach Salomon, auch als *Supplantation* bezeichnet. Unter bestimmten Bedingungen kann der positive Effekt der Supplantation jedoch auch ausbleiben oder sich gar umkehren. Ein Grund dafür ist, dass die Nutzung mehrerer Darstellungsformen auch zusätzliche kognitive Kapazitäten erfordert, was sich gerade für Lernende mit zu wenig Vorwissen als nachteilig herausstellen kann: Das Arbeitsgedächtnis stößt aufgrund der hohen lerngegenstandsbezogenen kognitiven Auslastung (*intrinsic cognitive load*) bereits mit der Verarbeitung der inhaltlichen Information an seine Belastungsgrenze, so dass allein die zusätzliche Aufgabe der Integration zweier Repräsentationen zu einer kognitiven Überlastung führen kann (vgl. Moreno & Mayer, 1999; Lowe, 1999). Nur der vorherige Aufbau der nötigen Schemata, sprich ein Aufbau des nötigen Vorwissens, kann dieser Gefahr entgegenwirken. Ein weiterer möglicher Grund für das Scheitern der Supplantation ist, dass der Prozess der aktiven Verarbeitung weniger intensiv abläuft. So entsteht die Gefahr einer geringeren Verarbeitungstiefe und in der Folge eines unvollständigen Verständnisses des Lerngegenstandes (Craik & Lockhart, 1972). Im Sinne der *Cognitive-Load-Theorie* kann dies mit einer fehlenden Anregung der lernprozessbezogenen kognitiven Auslastung (*germane cognitive load*) erklärt werden.

Einen weiteren Vorteil für Lerner mit fachspezifischem Vorwissen erkennt Lowe (1993) darin, dass sie mittels einer tieferen Informationsverarbeitung zu stabileren und stärker in die vorhandenen Wissensstrukturen eingebundenen mentalen Modellen gelangen können. Lerner mit unterschiedlichen Fachkenntnissen unterscheiden sich in der Qualität ihrer mentalen Modelle insofern, als Lerner ohne viel Vorwissen eher visuell-räumlich orientiert sind, während Lerner mit Vorwissen stärker domä-

nenspezifische Symbolstrukturen (z. B. Fachsprache) in ihre mentale Repräsentation einbinden. Wird den Lernern mit hohem Vorwissen die Nutzung von Bildern jedoch explizit vorgeschrieben, so kann sich dies auch negativ auf ihren Lernerfolg auswirken (Mayer & Gallini, 1990).

Zusammenfassung. Das Vorwissen der Lerner stellt also einen äußerst wichtigen Einflussfaktor für das Lernen mit Multimedia dar. Insgesamt zeigt sich, dass Lerner mit geringem Vorwissen zwar einerseits von den Möglichkeiten des Lernens mit MER profitieren können, dass sie aber andererseits besonders anfällig für die möglichen Probleme sind, die mit dieser Lernform einhergehen. Ohne wenigstens grundlegende Vorkenntnisse in einer Domäne beansprucht die lerngegenstandsbezogene Auslastung (*intrinsic CL*) ein solches Ausmaß an kognitiven Ressourcen, dass die kognitive Überlastung vorprogrammiert ist. Daher sollte ein Mindestmaß an kognitiven Schemata aufgebaut werden, bevor mehrere Repräsentationsformen eingesetzt werden. Lerner mit ausreichend Vorwissen sind dagegen unempfindlich gegenüber den meisten Fallstricken des Lernens mit MER. Solange sie weitgehend selbst entscheiden können, wie sie mit den angebotenen Repräsentationsformen lernen, bieten ihnen die vorhandenen Schemata genügend Anknüpfungspunkte für erfolgreiches Lernen.

3.5.2. Einfluss der Verbalisierer-Visualisierer-Dimension

Das Verbalisierer-Visualisierer-Paradigma ist als theoretisches Konstrukt in die Kritik geraten, da sich kaum Studien finden, die solche stabilen Lernertypen nachweisen konnten. So zeigte sich in einer Studie von (Wippich, Schulte & Mecklenbräuer, 1989), dass Lerner, die nach einem Experiment zufällig als visueller oder verbaler Lerntyp bezeichnet wurden, in der Retrospektive ihr Lernverhalten entsprechend der zufälligen Zuordnung verzerrt wiedergaben. Obwohl nicht von überdauernden Lernertypen ausgegangen werden kann (Weidenmann, 2001, S. 430), scheint gleichwohl die Unterscheidung von Lernern sinnvoll, die in einer gegebenen Lernsituation eher eine verbale bzw. eine visuelle Repräsentationsform bevorzugen, da dies für die Gestaltung von Lernumgebungen entscheidende Konsequenzen hat (vgl. Leutner & Plass, 1998; Kozhevnikov, Hegarty & Mayer, 2002).

Leider werden in der Literatur die Begriffe Lernpräferenz und kognitiver Stil wie auch ihre anglo-amerikanischen Pendanten *learning preferences* bzw. *learning styles* und *cognitive style*, die die Verbalisierer-Visualisierer-Dimension beschreiben, nicht einheitlich benutzt. Grundsätzlich kann jedoch eine Unterscheidung von Verbalisierern und Visualisierern nach den folgenden Einzelfacetten erfolgen: der Lernpräferenz, dem kognitiven Stil und dem räumlichen Vorstellungsvermögen (Leutner & Plass, 1998; Plass, Chun, Mayer & Leutner, 1998; Mayer & Massa, 2003).

Lernpräferenz. Die individuelle Präferenz eines Lerners für verbal oder visuell dargebotene Informationen ist eine häufig diskutierte lernerabhängige Variable innerhalb von instruktionalen Lernumgebungen. Zur Definition der *Lernpräferenz* wird zwischen Verbalisierern und Visualisierern unterschieden, je nachdem ob ein Lerner Text oder Bild als *externe* Repräsentationsform bevorzugt. Diese Lernpräferenz hat ebenfalls Auswirkungen auf die Lernwirksamkeit externer Repräsentationen. So können sich beispielsweise positive Bildwirkungen insbesondere für schlechtere Leser, also eher visuell orientierte Lerner, positiv auswirken (Levie & Lentz, 1982, S. 226).

Im Falle einer Wahlmöglichkeit neigen Lernende dazu, eine der angebotenen Kodierungsformen zu bevorzugen. So konnten Plass et al. (1998) auf der Basis von Mayers kognitiver Theorie des Multimedia-Lernens zeigen, dass Lernende beim Lesen eines fremdsprachlichen Textes mit Übersetzungshilfen dann ein größeres Textverständnis aufbauen konnten, wenn ihnen die Hilfen die Übersetzung in der jeweils von ihnen bevorzugten und ausgewählten Kodierungsform (Text oder Illustration) präsentierten. Die Ergebnisse der Studie differenzieren also die aus Mayers Modell resultierenden Vorhersagen für das Lernen mit Texten und Bildern dahingehend, dass Visualisierer mehr von der Illustrierung von Lehrtexten profitieren werden als Verbalisierer. Multiple Repräsentationen bieten den Lernern also die Möglichkeit mit der ihm entsprechenden Darstellungsform zu lernen und so bessere Lernergebnisse zu erzielen (Plass et al., 1998).

Kognitiver Stil. Der verbale oder visuelle *kognitive Stil* stellt eine weitere Facette der Verbalisierer-Visualisierer-Dimension dar. Der kognitive Stil beschreibt die Vorliebe eines Lerners für verbale oder visuelle *interne* Repräsentationen, einfacher ausgedrückt, das Denken in Sprache oder in Bildern. Diese Facette ist sicherlich nicht unabhängig von der Lernpräferenz. Riding und Watts (1997) konnten zeigen, dass Lerner mit einem verbalen kognitiven Stil beim Lernen auch verbale externe Repräsentationen bevorzugten, während Visualisierer bildhaftes Lernmaterial vorzogen. Meist wird auch davon ausgegangen, dass eine Präsentation des bevorzugten Lernmaterials vorteilhaft ist (vgl. Kirby, 1993). Es gibt jedoch auch das Argument, dass durch eine Inkongruenz zwischen Lernerpräferenz und Lernmaterial eine konstruktive „Reibung“ entstehen kann, die Lernende kognitiv und motivational anregt (Dekeyser, 2001, S. 100, in Anlehnung an Forschung zu *learning styles* von Vermunt, 1992; vgl. auch Vermunt & Verloop, 1999).

Raumvorstellung. Erst in letzter Zeit ergeben sich vermehrt Hinweise, dass auch die *Raumvorstellung* als Teil der Visualisierer-Verbalisierer-Dimension angesehen werden muss. In einer Studie von Kozhevnikov et al. (2002) zeigte sich, dass es zwei Typen von Visualisierern mit unterschiedlich ausgeprägter Raumvorstellung gibt, die grundsätzlich unterschiedlich mit externen visuellen Repräsentationen umgehen: Lerner mit gering ausgeprägter Raumvorstellung interpretierten dynamische

Diagramme als reine Abbildungen auf niedrigem Abstraktionsgrad, während Lerner mit stark ausgeprägter Raumvorstellung die Ebene der abstrakten Repräsentation in den Diagrammen identifizierten. Auch Mayer und Massa (2003) plädieren nach faktorenanalytischer Auswertung von 14 unterschiedlichen Messverfahren für eine Einbeziehung des räumlichen Vorstellungsvermögens in die Unterscheidung von Verbalisierern und Visualisierern.

Zusammenfassung. Die Verbalisierer-Visualisierer-Dimension muss also als Konstrukt angesehen werden, das aus den drei Facetten Lernpräferenz, kognitiver Stil und räumliches Vorstellungsvermögen besteht. Sie beeinflussen die Wirksamkeit der unterschiedlichen Repräsentationsformen für die Lerner: Passen Repräsentationsform und Lernpräferenz bzw. kognitiver Stil zueinander, sind sie also *kongruent*, scheint dies meist lernförderlich zu sein. Das bedeutet allerdings, dass bei ausschließlicher Auswahl der bevorzugten Repräsentationsform die in Abschnitt 3.4.1 ab Seite 41 beschriebenen Vorteile des Lernens mit MER nicht zum Tragen kommen könnten. Eine *inkongruente* Präsentation – wenn also die angebotene externe Repräsentation und die bevorzugte externe oder interne Repräsentationsform nicht zusammen passen – kann also durchaus auch vorteilhaft sein.

Beim Lernen mit Multimedia stellt sich daher die Frage, wie Lerner einerseits durch Kongruenz des Angebots und ihrer bevorzugten Repräsentationsform beim Lernen unterstützt werden können, aber andererseits zur Förderung multipler interner Repräsentationen einer Inkongruenz von Repräsentationsform und Lernangebot ausgesetzt werden sollten. Eine Möglichkeit könnte das Angebot von MER bei gleichzeitiger Förderung zur Nutzung der nicht bevorzugten Repräsentationsform sein.

3.5.3. Einfluss des Interesses

Neben den genannten kognitiven Lernvariablen stellt vor allem eine affektive Voraussetzung des Lernenden eine wichtige Einflussvariable für den Lernprozess dar: das Interesse des Lernenden am Lerngegenstand. Das pädagogisch-psychologische Interessenskonstrukt steht in engem Zusammenhang mit der intrinsischen Lernmotivation (entsprechend der Selbstbestimmungstheorie nach Deci, 1975; Deci & Ryan, 1985) und teilt mit dieser den selbstintentionalen Charakter, unterscheidet sich jedoch vor allem durch den Bezug des Individuums zu einem speziellen Lerngegenstand (Krapp, 1992a). Dabei werden nach Krapp (1992b,

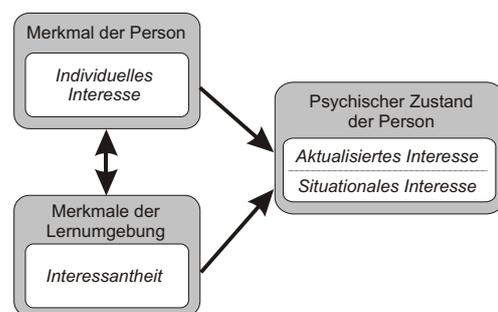


Abbildung 3.8: Strukturelle Beziehungen der Bedeutungsvarianten des Interessenskonstruktes (nach Krapp, 1992a).

S. 11–16) verschiedene Bedeutungsvarianten des Interessenkonstruktes unterschieden, bei denen er einerseits zwischen dem aktuellen psychischen Zustand einer Person, der Disposition einer Person und den Merkmalen der Lernumgebung sowie andererseits die zwei wesentlichen Konzepte des Interessensbegriffs unterscheidet (vgl. Abb. 3.8):

- das *individuelle* oder *persönliche Interesse* als dauerhafte Disposition einer Person, die in einer konkreten Lernsituation mit dem Gegenstand des Interesses zu *aktualisiertem Interesse* führt und
- das *situationale Interesse*, das einen situationsabhängigen aktuellen Zustand darstellt, der von der *Interessanz* der Lernumgebung abhängt.

Für das Lernen mit Multimedia ergeben sich bezüglich des Interesses zwei wesentliche Fragen: (1) Wie beeinflusst das individuelle Interesse das Lernen? (2) Wie beeinflussen Merkmale einer Lernumgebung das situationale Interesse?

Individuelles Interesse. Eine positive Korrelation von individuellem Interesse und schulischer Leistung konnte zum Beispiel von Schiefele, Krapp und Schreyer (1993) im Rahmen einer Metaanalyse nachgewiesen werden.¹⁶ Eine Reihe von Studien gibt jedoch Anlass zu der Vermutung, dass der positive Einfluss auf den Lernerfolg vor allem über Mediatorvariablen ausgeübt wird (Rheinberg, 1996; Schiefele, 1998; Artelt, 1999). Die dauerhafte Disposition der Lernenden wirkt sich vermutlich vor allem durch eine Intensivierung der kognitiven Funktionen und durch eine stärkere Fokussierung auf den Lerninhalt auf die Behaltensleistung aus (Krapp, 2001, S. 288). So wird etwa ein Zusammenhang zwischen Interesse und tiefenorientierten, also zum Beispiel elaborativen Lernstrategien in einer Reihe von Studien angenommen (z. B. Prenzel, 1990; Wild, Krapp & Winteler, 1992; Artelt, 1999). Die Ergebnisse von Schiefele, Wild und Winteler (1995) legen dagegen nahe, dass sich das Interesse vor allem über den Mediator eines erhöhten Lernaufwandes auf die Studienleistung auswirkt.

Das individuelle Interesse kann insofern über die Mediatorvariablen als „Katalysator“ für das Lernen mit Multimedia wirken. Aktives Lernen, stärkere Fokussierung, elaborative Lernstrategien und Bereitschaft zu höherem Lernaufwand bieten beste Voraussetzungen, den Anforderungen des Lernens mit MER gerecht zu werden und somit von den Vorteilen zu profitieren.

Situationales Interesse. Grundsätzlich konnte ein positiver Effekt der Interessanz von Lernumgebungen – und somit des situationalen Interesses – sowohl auf die Behaltensleistungen als auch auf das Verständnis vor allem in Studien zum Textverstehen vielfach gezeigt werden (zusammenfassend Krapp, 1992b, S. 28 f.; 2001, S. 287 f.). Es ist daher durchaus anzustreben eine Lernumgebung möglichst interessant zu gestalten. Es gibt allerdings auch kritische Stimmen, die zu dem Schluss

¹⁶Die Effektstärken sind dabei allerdings relativ gering (im Mittel $r = 0,30$).

kommen, dass die bessere Motivation der Lernenden nicht immer zu messbar besseren Lernergebnissen führt (z. B. Steinberg, 1989).

Positive Auswirkungen die vom Lernen mit Multimedia auf das situationale Interesse erwartet werden, hat Weidenmann (2000) beschrieben: (1) die Wirkung von stehenden und bewegten Bildern, (2) das Ausschmücken (*embellishment*) von Lernumgebungen zu multimedialen Erlebnisräumen und (3) die Möglichkeit zur Selbststeuerung.¹⁷ Allerdings werden die Erwartungen nicht immer erfüllt. So wird zwar vielfach von einem allgemein positiven Einfluss von stehenden und bewegten Bildern auf Motivation und Interesse ausgegangen (Levie & Lentz, 1982; Peeck, 1994b), allerdings gibt es kaum empirische Befunde, die diese Aussage stützen (Weidenmann, 2000, S. 119). Auch das Ausschmücken von Lernumgebungen mit visuellen und auditiven Elementen kann zwar zu positiven Effekten führen, aber, wie Weidenmann weiter ausführt, gerade bei Erwachsenen ohne große Lernmotivation kann es leicht auf Ablehnung stoßen (S. 120f). Als problematisch kann sich eine ausgeschmückte Lernumgebung auch dann erweisen, wenn durch die Interessantheit einzelner für das Lernen irrelevanter „verführerischer“ Details¹⁸, wie dekorativen Bildern oder auflockernden Textpassagen, von den lernrelevanten Elementen der Lernumgebung abgelenkt wird (Harp & Mayer, 1998). Dass die Selbststeuerung, die vor allem in konstruktivistischen Lernumgebungen wirklich umgesetzt wird, positive Auswirkungen auf das situationale Interesse hat, ergibt sich nicht nur aus den psychologischen Theorien der Selbstbestimmung (Deci, 1975; Deci & Ryan, 1985) und Selbstkontrolle (Bandura, 1977; Bandura, 1982), sondern ist auch durch empirische Arbeiten gut belegt (zusammenfassend Brunstein & Spörer, 2001).

Ebenfalls auf das Lernen mit Medien beziehen sich Studien, die den Einfluss der Organisation von Texten untersuchen. Schraw, Flowerday und Lehman (2001, S. 217f.) identifizieren zusammenfassend drei Faktoren der Textorganisation, die einen entscheidenden Einfluss auf das situationale Interesse haben: Kohärenz, Relevanz und Lebendigkeit (*vividness*). Texte, die eine hohe Kohärenz aufweisen (vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 27), zeichnen sich durch Verknüpfungen zwischen den Textpassagen aus, nehmen also Bezug auf bereits Erwähntes und ermöglichen so einen kontinuierlichen Lesefluss. Solche Texte erscheinen Lernern interessanter als Texte mit niedriger Kohärenz, die vom Lernenden selbst die Ausbildung von Inferenzen erfordern. Ebenso spielt die wahrgenommene Relevanz des Textes eine Rolle. Ein relevanter Text, der an die Ziele und Bedürfnisse des Lernalters anknüpft, wird mit mehr Interesse gelesen, als ein Text, der dieses Kriterium nicht erfüllt. Der Faktor *Lebendigkeit*, für dessen vielfältige Verwirklichung Schraw et al. (2001) „Spannung“ als Beispiel anführen, erhöht ebenfalls das situationale Interesse an einem Text.

¹⁷Außerdem nennt Weidenmann noch den eher im Rahmen von Lernplattformen wichtigen Aspekt der interpersonellen Kommunikation, auf den hier nicht näher eingegangen werden soll.

¹⁸Garner, Brown, Sanders und Menke (1992) bezeichnen solche nebensächlichen, aber offensichtlich für Lerner sehr attraktiven Details als „seductive details“.

Zusammenfassung. Insgesamt lässt sich also festhalten, dass sich ein ausgeprägtes individuelles Interesse über verschiedene Moderatorvariablen positiv auf das Lernen mit Multimedia auswirkt. Es stellt damit eine wichtige lernerspezifische Kontrollvariable für Untersuchungen in diesem Bereich dar. Die Befunde zu den positiven Effekten von situationalem Interesse legen zudem nahe, dass es sich lohnt, Lernumgebungen so zu gestalten, dass sie vom Lerner als interessant wahrgenommen werden. Die Hinweise darauf, wie dies geschehen könnte sind vielfältig, die positiven Wirkungen der einzelnen Maßnahmen aber kaum zwingend. In jedem Falle sollte allerdings auch das situationale Interesse kontrolliert werden, um festzustellen, ob ein Gestaltungsmerkmal möglicherweise über seine Auswirkungen auf das Interesse Einfluss auf den Lernerfolg ausübt.

4. Unterstützung des Lernens mit Multimedia

Help doesn't!

(Jakob Nielsen, 1994)

Die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Erkenntnisse zum Lernen mit Multimedia zeigen die Chancen, aber auch die Schwierigkeiten auf, die mit einem Einsatz multimedialer Lernumgebungen einhergehen. Ziel der Gestaltung multimedialer Lernumgebungen muss es sein, die Lernenden bei der Vermeidung der Schwierigkeiten und der Nutzung der Chancen zu unterstützen. Es werden unterschiedliche Formen von instruktionalen Maßnahmen diskutiert, wie dieses Ziel erreicht werden kann. Wie im Folgenden genauer ausgeführt wird, kann die Unterstützung der Lernenden entweder implizit durch das Design der Lernumgebung oder explizit durch die Formulierung instruktionaler Hilfen erfolgen.

4.1. Implizite Unterstützung durch Multimedia-Design

Die Unterstützung der Lernenden durch die Optimierung des Arrangements der Einzelelemente innerhalb der Lernumgebung ist empirisch in einer Vielzahl von Studien untersucht und nachgewiesen worden (z. B. Kalyuga, Chandler & Sweller, 1999; Mayer et al., 1997; Schnotz & Bannert, 1999). Die Unterstützung des Lerners erfolgt hierbei durch die innere Gestaltung des Lernmaterials. Solche inhärenten Hilfen sollen hier als *implizite Unterstützung* bezeichnet werden.

Die Arbeitsgruppe um Richard E. Mayer hat, gestützt von Studien anderer Forscher (z. B. Chandler & Sweller, 1991; Lewalter, 1997b; Brünken et al., 2004), eine Reihe empirisch gut fundierter Grundprinzipien des Multimedia-Designs aufgestellt (zusammenfassend Mayer, 1997; Mayer, 2001), die mit der in Abschnitt 3.3.5 auf Seite 34 beschriebenen *Kognitiven Theorie des Lernens mit Multimedia* korrespondieren. Moreno und Mayer (2000b) und Mayer (2001) zählen zu den wichtigsten Prinzipien des Multimedia-Designs ...

- ... die Präsentation von Text und Bild anstatt der ausschließlichen Präsentation eines Textes (*multiple representation principle* oder *multimedia principle*),
- ... die Beschränkung auf wesentliche Erläuterungen und Bildelemente statt belangloser zusätzlicher Wörter und Bilder (*coherence principle*),

- ... die Vermeidung einer redundanten Doppelung von Text und Sprechertext als Erläuterung zu Bildern (*redundancy principle*),
- ... die enge räumliche und zeitliche Verschränkung von Text und Bild (*spatial/temporal contiguity principle*),
- ... die Darbietung verbaler Informationen in Form von Sprechertexten (auditorisch) statt als geschriebenen Text (visuell), sowohl bei simultanen als auch bei sequentiellen Präsentationen (*modality principle*).

Diese Prinzipien fassen in prägnanter Form wesentliche Erkenntnisse zur impliziten Unterstützung der Lernenden zusammen.

4.2. Explizite Unterstützung durch instruktionale Hilfen

Neben dieser impliziten Art der Unterstützung werden auch Formen expliziter Verarbeitungshinweise als Unterstützung vorgeschlagen (Schnotz, 2001c, S. 305). Solche *expliziten Hilfestellungen* sind beim Lernen mit Multimedia weit seltener untersucht. Entsprechend fehlen auch empirisch basierte Modelle, die eine kriteriengeleitete Entwicklung instruktionaler Unterstützung zulassen würde. Im Folgenden soll anhand bisheriger Forschungsergebnisse ein Rahmen für ein solches Modell skizziert werden.

Leutner (2004) schlägt vor, die Klauer'schen Lehrfunktionen (Klauer, 1985) als Rahmenkonzeption für instruktionale Maßnahmen zu nutzen, wobei sich Leutner auf das Anwendungsgebiet adaptiver Lernumgebungen bezieht (vgl. auch Leutner, 1992). Die in Abbildung 4.1 auf der nächsten Seite dargestellten Lehrfunktionen ermöglichen eine grundlegende Einordnung der instruktionalen Unterstützung in ein bestehendes Modell. Die Lehrfunktionen lassen sich auch allgemeiner als *Lernfunktionen* betrachten, die je nach Handlungsrichtung als *instruktionale Unterstützung* (Lernfunktion liegt bei der Lernumgebung) oder als *Lernstrategie* (Lernfunktion liegt beim Lernenden) bezeichnet werden können. Je stärker selbstreguliert die Lernsituation eingerichtet ist, desto weiter liegt die Verantwortung für die Erfüllung der Lernfunktionen auf Seiten des Lernenden (vgl. Leutner & Leopold, 2003).

Für ein erfolgreiches Lernen sind sicherlich alle Lehrfunktionen notwendig, die beschriebenen Probleme beim Lernen mit multimedialen Lernumgebungen stellen sich jedoch vor allem im Bereich der Lernfunktion *Informationsverarbeitung* ein. Im Folgenden wird deshalb darauf eingegangen, wie die explizite Unterstützung genau dieses Bereiches nach Maßgabe bisheriger Forschungsergebnisse beschaffen sein sollte.

4.2.1. Steigerung der Verarbeitungsintensität

Ziel der Gestaltung multimedialer Lernumgebungen muss es sein, die Lernenden bei der Vermeidung der Schwierigkeiten und der Nutzung der Chancen zu unterstützen. Aus den in Abschnitt 3.4 beschriebenen Schwierigkeiten beim Lernen mit Text und



Abbildung 4.1: Adaptive Lehrfunktionen nach Klauer (1985). Die Verantwortung für die einzelnen Lehrfunktionen wird je nach Lernervoraussetzungen dynamisch zwischen Lernumgebung und Lernendem vergeben. (Abbildung nach Leutner, 2004)

Bild ergibt sich vor allem die Notwendigkeit die Verarbeitungsintensität und -tiefe sowie die Integration der externen Repräsentationen zu unterstützen. Wie lässt sich ein solches Ziel mithilfe expliziter Unterstützung erreichen?

Grad der Konkretheit. Einige Untersuchungen belegen, dass zu allgemeine Hinweise und Aufforderungen an Lernende keine einheitliche Wirkung haben. So zeigte sich in einer Untersuchung von Hayes und Readence (1982), dass ein globaler, vorausgeschickter Hinweis auf die Nützlichkeit von Bildern keinerlei Auswirkung auf deren Bearbeitung hat. Dagegen zeigten solche Hilfsangebote einen positiven Effekt, die als konkrete Aufgabenstellungen formuliert waren (vgl. Peeck, 1993). So fand etwa Weidenmann (1989) einen deutlichen Vorteil für Lerner, die bildorientierte inhaltliche Instruktionen erhielten. Peeck (1994a) konnte Lerner erfolgreich durch explizite Bearbeitungshinweise zur Verknüpfung von Text und Bild dazu anregen, relevante Bildinhalte intensiver zu rezipieren. Und auch Bernard (1990b) konnte zeigen, dass intruktionale Unterstützung in Form konkreter Aufgaben hilfreich für Lerner sind. Eine Voraussetzung für erfolgreiche instruktionale Unterstützung der Lernenden ist also eine *konkrete Aufgabenstellung*.

Verarbeitungstiefe. Nun stellt sich die Frage, wie solche konkreten Aufgaben beschaffen sein sollten. Ergebnisse aus der Textverstehensforschung deuten darauf hin, dass die Anregung auf einer Ebene ansetzen sollte, die von dem Lernenden verlangt, aufgenommene Information intensiv und bewusst zu verarbeiten. Verarbeitungshilfen sollten demnach nicht auf der Ebene von Oberflächenmerkmalen stehen bleiben. Eine größere „Verarbeitungstiefe“ (Craik & Lockhart, 1972) verlangt die Verarbeitung auf der Bedeutungsebene von Zeichen. Diese entspricht der Ebene der konzeptuellen Organisation nach Schnotz (2001c). Craik und Tulving (1975) konnten zeigen, dass Wörter insbesondere dann gut behalten wurden, wenn Lerner dazu Aufgaben zur

Semantik bearbeiteten, die ein elaboriertes Verarbeiten erfordern (z. B. Zugehörigkeit zu einer Kategorie bestimmen). Formale Aufgaben (z. B. Größe der Buchstaben bestimmen), die lediglich eine oberflächliche Auseinandersetzung erforderten, führten dagegen zu schlechteren Behaltensleistungen.

Ein weiteres Experiment von Ballstaedt und Mandl (1984b) bestätigt diese Befunde auch für das Erinnern eines längeren Textes. Diese Befunde aus der Textverstehensforschung bestätigten sich in einer Untersuchung von Bock, Kirberg und Windgasse (1992) auch für das Lernen mit Videos. Eine Gruppe Lernender, die beim Betrachten eines Videos eine formale Aufgabe (Zählen des Vorkommens des Wortes „und“) erledigte, schnitt deutlich schlechter ab, als eine Gruppe die eine semantische Aufgabe (aufeinanderfolgende Informationen inhaltlich miteinander verbinden) gestellt bekam. Insgesamt lässt sich also festhalten, dass die *Anregung zu tieferer Verarbeitung* eine wichtige Grundlage für erfolgreiche instruktionale Unterstützung darstellt.

Lernstrategien. Die Betrachtung erfolgreicher Lernstrategien könnte genauere Hinweise geben, wie Lernende zu einer tieferen Verarbeitung angeregt werden könnten. Drewniak (1992) konnte zeigen, dass ein wichtiger Faktor erfolgreichen Lernens mit MER die Nutzung der folgenden Lernstrategien ist: Aufmerksamkeitsfokussierung, Bildung von Text-Bild-Verknüpfungen und Verstehensüberwachung. Außerdem fiel die bei erfolgreichen Lernern hohe Quote von elaborativen Bildverarbeitungsstrategien auf.

Diese erfolgreichen Lernaktivitäten decken sich gut mit den in Abschnitt 3.4.2 auf Seite 43 ff. beschriebenen Anforderungen des Lernens mit MER. Die kontrollierende Lernstrategie der Aufmerksamkeitsfokussierung wird dem Anspruch der Selektivität des Aufmerksamkeitsfokus gerecht und spielt in das Entstehen von Übergängen mit hinein. Die Bildung von Text-Bild-Verknüpfungen ist ebenfalls Teil der Bewältigung der Übergänge zwischen den Kodierungsformen, die bereits an der Integration unterschiedlicher Codes zur Ausbildung kohärenter mentaler Repräsentationen beteiligt ist. Die elaborativen Bildverarbeitungsstrategien, die Drewniak bei erfolgreichen Lernern beobachtet hat, sind zudem sicherlich entscheidende Lernstrategien für die Integration von mentalen Repräsentationen. Die Verstehensüberwachung ist eine metakognitive, kontrollierende Lernstrategie, die dazu beiträgt, die Kohärenz eines mentalen Modells zu überprüfen. Diese Entsprechung findet sich auch in Bezug auf die von Seufert (2003) verwendete Terminologie des *structure mapping* und der Kohärenzbildung: die Aufmerksamkeitsfokussierung dient sowohl der Identifikation relevanter Elemente, Attribute und Relationen innerhalb einer Repräsentationsform, als auch dem Mapping zwischen Elementen und Attributen verschiedener Repräsentationsformen. Es ist somit Teil lokaler und globaler Kohärenzbildungsprozesse. Die Text-Bild-Verknüpfungen sind ebenfalls entscheidend für das Mapping zwischen Repräsentationsformen und dienen somit der globalen Kohärenzbildung. Elaborative Bildverarbeitungsstrategien dürften dagegen hilfreich für das Mapping

zwischen Relationen unterschiedlicher Repräsentationsformen und somit für die globale Kohärenzbildung sein. Die Text-Bild-Verknüpfungen und die elaborativen Bildverarbeitungsstrategien scheinen daher besonders gute Hebel für die Unterstützung der Lerner bei Integrationsprozessen sein.

Lewalter (1997b) untersuchte die Lernstrategien bei der Bearbeitung von Bildern und Animationen. Dabei unterscheidet sie in Anlehnung an Weinstein und Mayer (1986) drei Kategorien kognitiver Lernstrategien (Wiederholung, Elaboration und Organisation) sowie eine metakognitive Kategorie (Kontrolle). In dieser Studie stellte sich heraus, dass Lernende, die elaborative und kontrollierende Lernstrategien häufig nutzten, signifikant bessere Lernleistungen zeigten, als Lernende, die diese Strategien selten oder nie nutzten. Allerdings verwendeten die Lerner bei der Bearbeitung von stehenden Bildern und Animationen vor allem Wiederholungs- und Organisationsstrategien, aber sehr wenig elaborative Lernstrategien (Lewalter, 1997b, S. 222 f.). Dies deutet darauf hin, dass gerade hier Defizite der Lernenden liegen könnten, die mithilfe von Verarbeitungshilfen unterstützt werden könnten. Lewalter (2003) stellt in einer späteren Darstellung zudem fest, dass Wiederholungsstrategien vor allem das Faktenwissen unterstützen, während die Nutzung von Kontrollstrategien das Verständnis fördert. Allerdings könnte für Lerner mit niedrigem oder mittlerem Vorwissensniveau die zusätzliche kognitive Auslastung durch die metakognitive Aufgabe, die zu den ohnehin auszuführenden kognitiven Aufgaben hinzukäme, zu einer kognitiven Überlastung führen. Aus den Studien von Drewniak und Lewalter lässt sich daher die Forderung nach einer direkten *Anregung elaborativer Text- und Bildverarbeitungsstrategien* ableiten.

Kognitive Auslastung. Wie bei der Anregung von Lernstrategien, so ist auch bei allen anderen genannten Ansätzen für die Unterstützung zu berücksichtigen, dass die Lernenden durch die zusätzlichen Hilfen nicht kognitiv überlastet werden (vgl. Nerdel, 2003, S. 230). Im Sinne der *Cognitive-Load-Theorie* (vgl. Abschnitt 3.3.6, S. 36) sollten sich Verarbeitungshilfen, die nach den bisher beschriebenen Maßgaben entwickelt werden, in einer Steigerung der lernbezogenen kognitiven Auslastung (*germane CL*) niederschlagen und daher das Lernen unterstützen. Dabei besteht allerdings die Gefahr über das Ziel hinauszuschießen. Selbst eine optimierte Lernumgebung, mit entsprechend niedriger hieraus resultierender kognitiver Auslastung (*extraneous CL*), führt bei der Präsentation komplexer Lerninhalte – also hoher intrinsischer Auslastung – zu einer hohen Auslastung des Arbeitsgedächtnisses. Wird nun durch die Steigerung der lernbezogenen kognitiven Auslastung die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses überschritten, würde sich diese kognitive Überlastung negativ auf den Lernprozess auswirken. Hier kommt es also auf die genaue Dosierung an. Die gewählten Verarbeitungshilfen dürfen also das *Arbeitsgedächtnis nicht über Gebühr belasten*.

Zusammenfassung. Um die Verarbeitungsintensität beim Lernen mit Multimedia zu steigern, ergeben sich demnach aus der Theorie die folgenden Anforderungen an Verarbeitungshilfen:

- *konkrete Aufforderungen* statt allgemeiner, eher vager Hinweise
- die Lernenden sollten zu einer *tieferen Verarbeitung* der Lerninhalte angeregt werden,
- Lernende sollten zu *elaborativen Text- und Bildbearbeitungsstrategien* angeregt werden
- damit es nicht zu kognitiver Überlastung kommt, muss die *Schwierigkeit der Verarbeitungshilfen genau dosiert* werden

4.2.2. Optimierung der Verarbeitungsqualität

Neben der Steigerung der Verarbeitungsintensität ergeben sich aus den in Abschnitt 3.4.1 auf Seite 41 ff. beschriebenen Bedingungen des Lernens mit multiplen Repräsentationen weitere Ansätze für Verarbeitungshilfen. Anhand der Anforderungen, die der Aufbau mentaler Repräsentationen aus Text-Bild-Kombinationen an die Lernenden stellt (siehe Abschnitt 3.4.2, S. 43) sollen im Folgenden Anforderungen für die Verarbeitungshilfen formuliert werden, deren Ziel eine Optimierung der Bearbeitungsqualität ist.

Lenkung der Aufmerksamkeit. Um die Vorteile der dualen Kodierung nutzen zu können und die Abstimmung der Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses zu optimieren, sollten Verarbeitungshilfen den Lerner in der Lenkung der Aufmerksamkeit auf die verschiedenen angebotenen Repräsentationsformen unterstützen. So kann etwa die Aufmerksamkeit auf Zusammenhänge in Bildern gelenkt werden, die bei einer Unterschätzung des Lernmaterials als „easy media“ übersehen worden wären. So soll auch der Gefahr von Verstehensillusionen entgegengewirkt werden, die sich oftmals aus der Unterschätzung ergeben. Durch die Entlastung der Lernenden von der metakognitiven Aufgabe, die Aufmerksamkeit den verschiedenen Repräsentationsformen eigenständig zuzuteilen, könnte zudem die überflüssige kognitive Auslastung (*extraneous CL*) verringert werden. Die Verarbeitungshilfen sollten daher *Aufmerksamkeit auf Text und Bild lenken*.

Koordination der Übergänge zwischen Repräsentationsformen. Eine weitere Anforderung an die Verarbeitungshilfen ist es, den Lerner bei der Herstellung von Verbindungen zwischen verschiedenen Darstellungsformen zu unterstützen. In einer Lernsituation, in der ein semantisches Gefälle zwischen zwei Darstellungsformen besteht, könnten Hinweise auf zu füllende Leerstellen einer Repräsentationsform den Lerner gezielt dazu anzuregen, die entsprechend korrespondierenden Informationen

der anderen Repräsentationsform zu ergänzen. Dies sollte sich im Sinne der Stimulationshypothese vorteilhaft auf den Lernprozess auswirken. Weiterhin sollte der Lerner so, entgegen der Wirkrichtung des „Ökonomieprinzip“, zur Nutzung beider Repräsentationsformen angeregt werden und so würde ihm auch die Möglichkeit zu eigenständiger Verbindung der angebotenen Repräsentationsformen gegeben. Also sollten instruktionale Hilfen *Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Repräsentationsformen herausstellen*.

Förderung der Integration unterschiedlicher Kodes und globale Kohärenzbildung. So wie Seufert (2003, S. 23 f.) weist auch Weidenmann (1993, S. 48 f.) darauf hin, dass die Notwendigkeit zur Kohärenz nicht nur auf Seiten des Lernmaterials besteht, sondern dass vor allem der Rezipient in der Lage sein muss, eine kohärente mentale Repräsentation auszubilden. Insofern benötigt der Lerner darin Unterstützung, zwischen Text- und Bildelementen eine Verbindung herzustellen, indem globale Kohärenzbildungsprozesse angestoßen werden, so dass letztlich Verständnis erworben werden kann.

Die in Abschnitt 4.2.1 auf Seite 57 bereits diskutierte Anregung elaborativer Text- und Bildverarbeitungsstrategien sollte zu vielfältigen Austauschprozessen zwischen den verschiedenen mentalen Repräsentationen und zugleich zu einer stärkeren Einbeziehung des Vorwissens führen. Verarbeitungshilfen die elaborative Text- und Bildverarbeitungsstrategien anregen, sollten den Problemen beim Lernen mit multiplen Repräsentationen entgegenwirken, indem die Integration von dargestellten Texten und Bildern, sowie die Verknüpfung mit dem Vorwissen und weitere elaborative Verarbeitungsstrategien, wie z. B. das Schlussfolgern, beim Lerner angeregt werden. Letztlich sollte dadurch die Ausbildung eines kohärenten mentalen Modells begünstigt werden. Auch eine Rückwirkung auf die Vorgänge der Wahrnehmung und der semantischen Verarbeitung ist denkbar (vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 35 f.): Da einige Schemata erst bei einer tiefgehenden Verarbeitung aktiviert werden, werden dadurch wiederum weitere schemageleitete Selektionsprozesse auf niedrigeren Verarbeitungsstufen nötig oder anders formuliert, im Laufe des Verstehens werden fehlende Informationen bemerkt und können nun erst aus den vorhandenen externen und internen Repräsentationen ergänzt werden. Hier wiederholt sich also die Forderung nach der *Anregung elaborativer Text- und Bild-Verarbeitungsstrategien* für die intruktionale Unterstützung.

Zusammenfassung. Um die Verarbeitungsqualität beim Lernen mit Multimedia zu optimieren, sollten Verarbeitungshilfen daher die folgenden Kriterien erfüllen:

- die Aufmerksamkeit der Lerner soll auf Text und Bild gelenkt werden,
- den Lernern sollen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Repräsentationsformen verdeutlicht werden und

- Lernende sollen zu elaborativen Text- und Bildbearbeitungsstrategien angeregt werden.

4.2.3. Berücksichtigung der Lernermerkmale

Vorwissen. Das individuelle Vorwissen des Lernenden in der betreffenden Domäne stellt für die Wirksamkeit von Hilfen zur Integration von Text und Bild eine entscheidende Einflussgröße dar. Auch die in den vorhergehenden Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 beschriebenen Kriterien instruktorischer Unterstützung können, wie schon angesprochen, nicht für alle Stufen von Vorwissen gleich wirksam sein können. Nach Seufert (2003, S. 107) ist dabei eine Unterscheidung in drei Lernertypen sinnvoller, als die gängige Dualisierung in geringes versus hohes Vorwissen, da sich die erwarteten Auswirkungen des Vorwissens auf die Wirksamkeit von Hilfen ebenfalls dreigeteilt darstellen. Seufert unterscheidet die drei Typen nach den zwei Faktoren der „Notwendigkeit der Hilfe“ und der „Fähigkeit zur Nutzung der Hilfe“, die sich in Abhängigkeit vom Vorwissen gegenläufig zueinander verhalten, wie in Abbildung 4.2 modellhaft dargestellt ist.

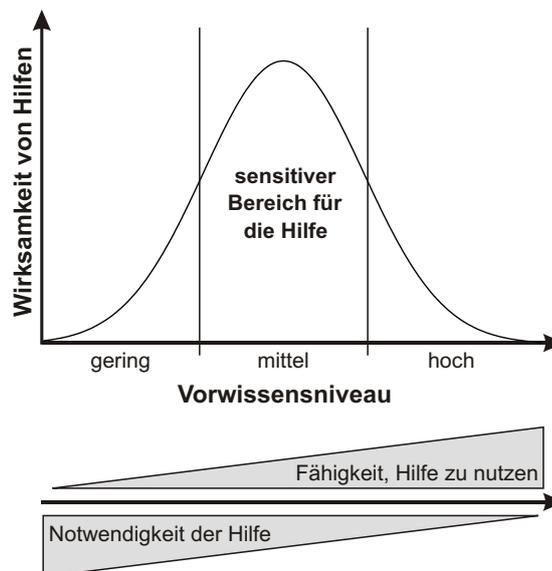


Abbildung 4.2: Modellhafte Darstellung der Abhängigkeit der Wirksamkeit von instruktorischen Hilfen vom Vorwissen der Lernenden. Aus Seufert, 2003.

Je mehr ein Lernender in einer Domäne bereits weiß, desto weniger wird er einer Hilfe zum Verständnis eines neuen Zusammenhangs in dieser Domäne bedürfen und umgekehrt. Daraus ergibt sich für instruktorische Hilfen ein Optimum für die Wirksamkeit im Bereich mittleren Vorwissens. Dies ergibt sich aus der *Cognitive-Load*-Theorie (vgl. Abschnitt 3.3.6, S. 36): Lerner mit geringem Vorwissen sind zwar hilfebedürftig, sind aber bereits mit den Anforderungen des Lerngegenstands stark

ausgelastet (*intrinsic CL*), so dass zusätzliche instruktionale Hilfen zu einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses führen würden. Lerner mit mittlerem Vorwissen sind dagegen noch hilfebedürftig, verfügen aber bereits über einige Schemata, so dass die lerngegenstandsbezogene Auslastung nicht alle kognitiven Ressourcen bindet. Somit können diese Lernenden die Hilfen als Unterstützung beim Lernen mit multimedialen Lernumgebungen sinnvoll nutzen. Lerner mit hohem Vorwissen haben zwar ebenfalls genügend kognitive Ressourcen zur Nutzung der Hilfen, bedürfen aber kaum der Unterstützung, um das angebotene Lernmaterial eigenständig zu organisieren und sinnvoll miteinander sowie mit vorhandenem Vorwissen zu verknüpfen.

Verbalisierer/Visualisierer. Die individuelle *Lernpräferenz* für verbal oder visuell dargebotene *externe* Repräsentationen (siehe auch Abschnitt 3.5.2, S. 47) spielt eine entscheidende Rolle für das Lernen mit multimedialen Lernangeboten. Durch geschickte Gestaltung eines multimedialen Lernangebots können Lerner auch mit Repräsentationsformen konfrontiert werden, die sie in einem Buch überlesen bzw. übersehen hätten. Lernen nach dem Ökonomieprinzip (Weidenmann, 1988, vgl. 3.3.4, S. 31) kann so zumindest erschwert werden. Die Nachteile, die sich aus der Präferenz für eine externe Repräsentationsform ergeben können, lassen sich also schon auf der Ebene des Designs bewältigen. Über instruktionale Hilfen, die das Kriterium der Aufmerksamkeitslenkung auf Text und Bild berücksichtigen, das bereits in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 gefordert wurde, ist zusätzlich eine Förderung der Lerner mit ausgeprägter Lernpräferenz zu erwarten. Ob es sich um eine Präferenz für die visuelle oder die verbale Repräsentationsform handelt, sollte dabei keine Rolle spielen, da der entscheidende Vorteil die Einbeziehung einer zweiten Repräsentationsform ist. Die Stimulation des Text-Bild-Bezuges kann dagegen bei den Lernern, die ohnehin sowohl verbal als auch visuell kodierte Informationen in ihren Lernprozess einbeziehen, keine über die schon genannten Vorteile hinausgehenden positiven Auswirkungen haben.

Der *kognitive Stil*, der beschreibt, welche *mentalen* Repräsentationen ein Lerner bevorzugt verwendet, ist dagegen wesentlich schwieriger durch reines Softwaredesign zu beeinflussen. Ob ein Lerner bei der Präsentation eines Bildes vor allem visuelle Repräsentationen ausbildet oder ob er sich das Bild in propositionale Repräsentationen „MER, übersetzt“, ist durch die Präsentation des Bildes allein nicht zu beeinflussen. Doch gerade die Präferenz für eine interne mentale Repräsentation ist kontraproduktiv für das Lernen mit MER. Gerade diejenigen Lerner, die einen ausgeprägten kognitiven Stil zeigen, neigen dazu, die Informationen aus der jeweils anderen Repräsentationsform nicht oder nur oberflächlich zu verarbeiten. Diese Lerner laufen dadurch Gefahr, nicht von den positiven Auswirkungen des Lernens mit multiplen externen Repräsentationen zu profitieren, wie zum Beispiel der dualen Kodierung und der kognitiven Flexibilität, die in Abschnitt 3.4.1 ab Seite 41 ausführ-

lich dargestellt sind. Die kognitive Flexibilität im Umgang mit unterschiedlichen Repräsentationsformen kann ein Lerner nur dann erreichen, wenn er nicht nur unterschiedliche externe Repräsentationen verwendet, sondern auch flexibel mit seinen internen Repräsentationsformen umgehen kann. Eine Beschränkung auf eine mentale Repräsentationsform erschwert dagegen im Sinne der Theorie von Schnotz (vgl. 3.3.5, S. 35) die Prozesse der Modellkonstruktion und Modellinspektion und somit einen flexiblen Umgang mit unterschiedlichen Problemanforderungen. Daher sollten Lerner, die eine mentale Repräsentationsform bevorzugen, durch instruktionale Maßnahmen dazu angeregt werden, zunehmend auch die jeweils andere Repräsentationsform in ihr Denken zu integrieren. Die *Koordination der Übergänge zwischen den Repräsentationsformen* ist demnach auch für die Förderung von Lernern mit ausgeprägtem kognitiven Stil die entscheidende Anforderung an die instruktionalen Hilfen (vgl. auch 4.2.2, S. 58). Auch hier ist nicht relevant, ob es sich um einen verbalen oder visuellen kognitiven Stil handelt, da sich die Förderung der Koordination der Übergänge auf beide Repräsentationsformen bezieht. Lerner ohne einen ausgeprägten kognitiven Stil, die ohnehin sowohl verbal als auch visuell kodierte Informationen in ihren Lernprozess einbeziehen, können dagegen keinen zusätzlichen positiven Nutzen aus den Hilfen ziehen.

Die *Raumvorstellung*, die dritte Facette der Verbalisierer-Visualisierer-Dimension, wirkt sich, wie in Abschnitt 3.5.2 auf Seite 48 dargestellt, nach neueren Studien in Form eines unterschiedlichen Abstraktionsvermögens in Bezug auf Abbildungen aus (z. B. Kozhevnikov et al., 2002). Lerner mit gering ausgeprägter Raumvorstellung sollten daher in der Ausbildung von Abstraktionen unterstützt werden, um die Bedeutung hinter der reinen Abbildungsebene zu erkennen. Wie schon bei der Lernpräferenz und dem kognitiven Stil zeigt sich, dass eines der bereits aufgestellten Kriterien diese Unterstützung leisten kann: Die Anregung zu elaborativen Text- und Bildverarbeitungsstrategien verlangt von den Lernern auch über den Bedeutungsgehalt als reine Abbildung hinauszugehen und so der Abbildung einen höheren Abstraktionsgrad beizumessen.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass die in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 entwickelten Kriterien für Verarbeitungshilfen auch diejenigen Lerner unterstützen, die durch ihre Lernpräferenz, ihren kognitiven Stil oder ihre Raumvorstellung beim Lernen mit MER eher benachteiligt wären: Lenkung der Aufmerksamkeit auf Text und Bild, Koordination der Übergänge zwischen den Repräsentationsformen und Anregung elaborativer Text- und Bildbearbeitungsstrategien.

Interesse. Bei der Berücksichtigung des Konstruktes „Interesse“ in Bezug auf den Einsatz von instruktionalen Maßnahmen muss sowohl das situationale als auch das individuelle Interesse in Betracht gezogen werden (vgl. Abschnitt 3.5.3, S. 49). Für das Lernen mit einer multimedialen Lernumgebung als singulärem Ereignis spielen vor allem der Einfluss des individuellen Interesses auf die Wirkung von instruktionalen

len Hilfen (Interesse als unabhängige Variable) und der Einfluss von instruktionalen Hilfen auf das situationale Interesse (Interesse als abhängige Variable) eine Rolle.

Die instruktionalen Hilfen zielen insbesondere auf die Anregung einer intensiveren und tieferen Verarbeitung ab. Daher ist zu erwarten, dass das *individuelle Interesse* die Wirkung der Hilfen beeinflusst. Ein besonders interessierter Lerner würde auch ohne die Hilfen eher tiefenorientierte und elaborative Lernstrategien verwenden (vgl. Prenzel, 1990; Wild et al., 1992; Artelt, 1999). Die anregende Funktion der instruktionalen Aufgaben wäre in dem Fall überflüssig. Für den Fall eines niedrigen individuellen Interesses ist dagegen damit zu rechnen, dass die instruktionalen Maßnahmen eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt anregen können.

Inwiefern das *situationale Interesse* durch die instruktionalen Aufgaben beeinflusst wird, ist ohne eine umfassende Analyse der vielfältigen Einflussfaktoren, die Interesse bedingen, kaum vorhersagbar. Eine solche Analyse ist im Rahmen dieser Arbeit allerdings kaum möglich. Dennoch seien hier zwei Variablen herausgegriffen, die im Zusammenhang mit instruktionalen Hilfen eine Rolle spielen dürften. Der Einfluss der Selbstbestimmung (Deci & Ryan, 1985; Deci & Ryan, 1993) könnte sich als problematisch für zusätzliche, eher kontrollierend wirkende instruktionale Hilfen erweisen. Zu viel Kontrolle würde die Autonomie des Lerners einschränken und sich letztlich mindernd auf das Interesse auswirken. Dies gilt jedoch nur für den Fall, dass die instruktionalen Hilfen auch als einschränkend und wenig hilfreich empfunden werden. Nach der Selbstbestimmungstheorie ist das Bedürfnis nach Kompetenzerfahrung ein ebenso wichtiger Faktor. Die Wahrnehmung der eigenen Kompetenz würde aber durch instruktionale Hilfen, die den Lernenden erfolgreich unterstützen, gestärkt werden. Ziel instruktionaler Hilfen muss es letztlich sein, so viel Unterstützung zum erfolgreichen Lernen wie nötig mit *so wenig Kontrolle wie möglich* zu erreichen.

Zusammenfassung. Individuelle Lernermerkmale bestimmen ganz wesentlich, ob und inwiefern eine instruktionale Hilfestellung wirksam sein kann oder nicht. Die drei für das Lernen mit MER entscheidenden Lernermerkmale des Vorwissens, der Verbalisierer-Visualisierer-Dimension und des Interesses liefern daher weitere Hinweise darauf, wie instruktionale Hilfen gestaltet sein sollten und für welche Lerner diese Form der Unterstützung hilfreich sein kann:

- Lerner unterschiedlicher Vorwissensniveaus sind unterschiedlich sensitiv für instruktionale Hilfen, wobei Hilfen für Lerner auf mittlerem Vorwissensniveau den größten Vorteil bringen.
- Das Lernermerkmal Verbalisierer bzw. Visualisierer verlangt je nach Facette – Lernpräferenz, kognitiver Stil oder Raumvorstellung – unterschiedliche Unterstützung, die mit bereits aufgestellten Kriterien aus Abschnitt 4.2.1 und 4.2.2 übereinstimmen: Aufmerksamkeit der Lerner auf Text und Bild lenken, Übergänge zwischen den Repräsentationsformen koordinieren und elaborative Text- und Bildbearbeitungsstrategien anregen.

- Instruktionale Hilfen, die den bisher geforderten Kriterien entsprechen, dürften sich insbesondere für Lerner mit niedrigem individuelle Interesse positiv auf den Lernprozess auswirken, während Lerner mit hohem individuellen Interesse der Hilfen nicht bedürfen.
- Zur Förderung des situationalen Interesse sollten instruktionale Hilfen so gestaltet sein, dass die nötige Unterstützung mit möglichst wenig Kontrolle des Lerners einhergeht.

Teil II.

Gestaltung der Lernumgebung

5. Die multimediale Lernumgebung

Im Rahmen dieser Dissertation wurde eine Lernsoftware entwickelt, die das Konzept biologischer Signalketten am Beispiel der Riechsinneszelle in Form einer multimedialen Lernumgebung aus Bildern, geschriebenem und gesprochenem Text sowie Animationen darstellt. Zur Programmierung wurden die Autorenprogramme Macromedia® Director® 8.0 Shockwave® Studio (2000) und Macromedia® Authorware® 6.0 (2001) verwendet.

5.1. Inhaltliche Darstellung

Für die Darstellung der olfaktorischen Signaltransduktion in der Untersuchungssoftware wurden aus den in Kapitel 1 dargestellten fachwissenschaftlichen Grundlagen die für die Zielgruppe¹ angemessenen Inhalte ausgewählt und sprachlich vereinfacht. Im Sinne der *Cognitive-Load-Theorie* (vgl. Abschnitt 3.3.6) wird so eine unnötige kognitive Auslastung des Arbeitsgedächtnisses minimiert und es bleiben mehr Ressourcen für eine lernwirksame Auslastung, die es den Lernern ermöglicht ein Verständnis für den Lerninhalt zu entwickeln. Vor allem die Reduktion von nicht lernrelevanten Einzelementen erleichtert Lernern gemäß der *Cognitive-Load-Theorie* das Verständnis (Sweller & Chandler, 1994).

5.1.1. Anatomie des olfaktorischen Systems

Für ein Verständnis der Vorgänge an der Riechzellzilienmembran ist eine grobe Orientierung über die Anatomie des olfaktorischen Systems erforderlich. Die Software stellt dabei nur die wesentlichen Strukturen, deren Lage und Aufbau dar. So wird der Aufbau der Nasenhöhle mit Konchen, respiratorischem Epithel, Riechepithel, Siebbein und Riechkolben dargestellt. Bei der Veranschaulichung des Riechepithels wird nur die Schicht aus Stützzellen und eingestreuten Riechzellen genannt, während Basalzellen und Bowman'sche Drüsen bewusst ausgelassen werden, da diese im direkten Zusammenhang der Signaltransduktion von untergeordneter Bedeutung sind. Entsprechend wird in der Darstellung der Riechzellen auf die Bipolarität mit den zum Gehirn ziehenden Axonen und den in den Mucus ragenden Zilien fokussiert, während auf Details, wie zum Beispiel den $9 \times 2 + 2$ -Bau der Zilien, verzich-

¹Bei der Zielgruppe handelt es sich um Schülerinnen und Schüler der 11. bis 13. Jahrgangsstufe (vgl. Abschnitt 8.1).

tet wird. Die Membran der Riechzellzilie, einschließlich transmembranem Rezeptorprotein, assoziiertem G-Protein, Adenylatcyclase und Kationenkanälen, ist dagegen vergleichsweise ausführlich dargestellt. Auf Einzelheiten wie die Geruchsstoff bindenden Carrier-Proteine, die Quartärstruktur der Proteine oder die Aufteilung des G-Proteins in drei Untereinheiten wurde jedoch auch hier verzichtet.

5.1.2. Die olfaktorische Signaltransduktion

In der Darstellung des Prozesses der olfaktorischen Signaltransduktion (vgl. Abschnitt 1.2) wurde auf zwei Prinzipien besonderer Wert gelegt: Einerseits auf die Verstärkungsschritte der Transduktionskaskade und andererseits auf die Öffnung der Ionenkanäle durch den intrazellulären Botenstoff cAMP.

Da für das Verständnis des Prinzips der Verstärkung ein Transduktionsweg ausreicht, wurde hier die cAMP-Kaskade ausgewählt, während auf die für den Menschen bisher weniger erforschten Kaskaden des IP_3 -Wegs und des PI_3 -Kinasewegs nicht eingegangen wird. Die cAMP-Kaskade wird detailliert anhand der folgenden Einzelschritte dargestellt: Rezeption des Duftstoffs, Konformationsänderung des Rezeptorproteins, Bindung des G-Proteins am Rezeptor, GDP-/GTP-Tausch (unter Auslassung der Dissoziation der $G\alpha$ - von der $G\beta\gamma$ -Untereinheit), Konformationsänderung des G-Proteins, Andocken des G-Proteins an der Adenylatcyclase (AC), Aktivierung der AC, enzymatisch katalysierte cAMP-Bildung aus ATP.

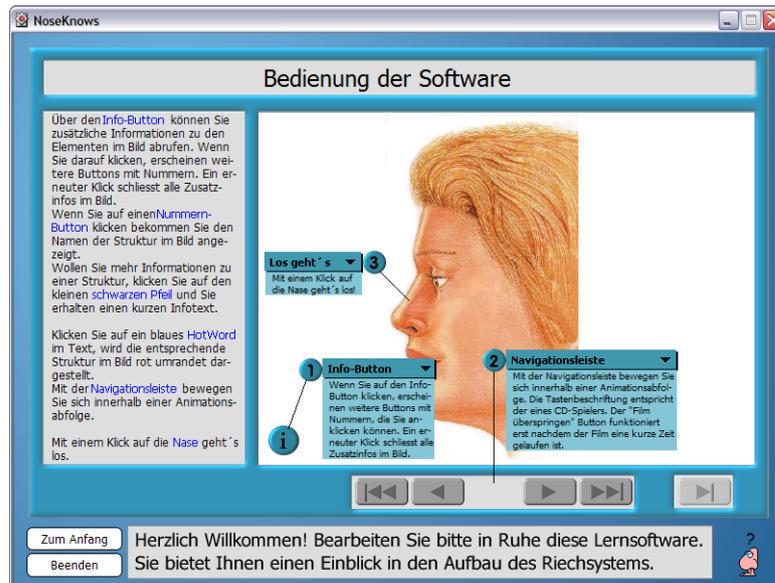
Für die Entstehung des Aktionspotentials wurde ebenfalls eine vereinfachte Darstellung gewählt. Die Depolarisierung wird durch den Kationeneinstrom durch cAMP-gesteuerte Ionenkanäle verdeutlicht, der zusätzliche Chloridausstrom wird aufgrund der für Nervenzellen untypischen Ionenverteilung (Chloridüberschuss im Zellinneren) nicht berücksichtigt.

5.1.3. Informationsverarbeitung im Gehirn

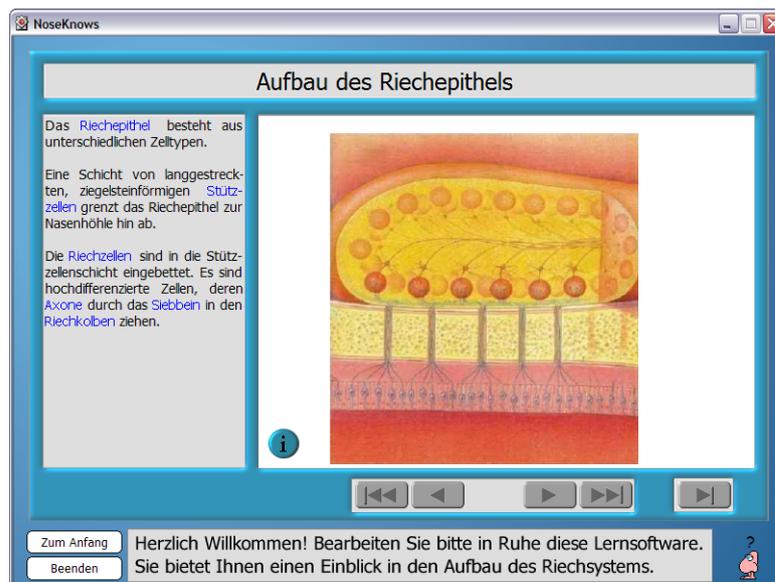
Da als Schwerpunkt für diese Software die Transduktionskaskade ausgewählt wurde, erfolgt keine Darstellung der Informationsverarbeitung im Gehirn. Nur die Weiterleitung der Information ans Gehirn in Form von Aktionspotentialen wird angedeutet.

5.2. Struktur der Lernumgebung

Die Lernumgebung ist grob in drei Teile gegliedert: Eine Einleitung zur Anatomie von Nase, Riechepithel und Riechzelle sowie ein aus zwei Abschnitten bestehender Hauptteil, wobei der erste Abschnitt die cAMP-Bildung darstellt und der zweite die Entstehung des Aktionspotentials. Eine ausführliche Darstellung der Lernsoftware mit allen Standbildern findet sich in Anhang A.



(a) Einführung in die Bedienung



(b) Darstellung der Strukturen

Abbildung 5.1: Standbilder aus der Softwareeinleitung. **(a)** Ein Überblick über die Bedienungselemente zu Beginn der Einleitung. Die blauen Informationsfelder sind beim Aufruf der Seite stets geöffnet. Anschließend wird nach und nach tiefer in die Nase „hineingezoomt“. **(b)** Die Strukturen werden in Form von Standbildern mit begleitendem Text dargestellt. Der Übergang zwischen zwei Standbildern erfolgt durch eine animierte Vergrößerung („Zoom-in“).

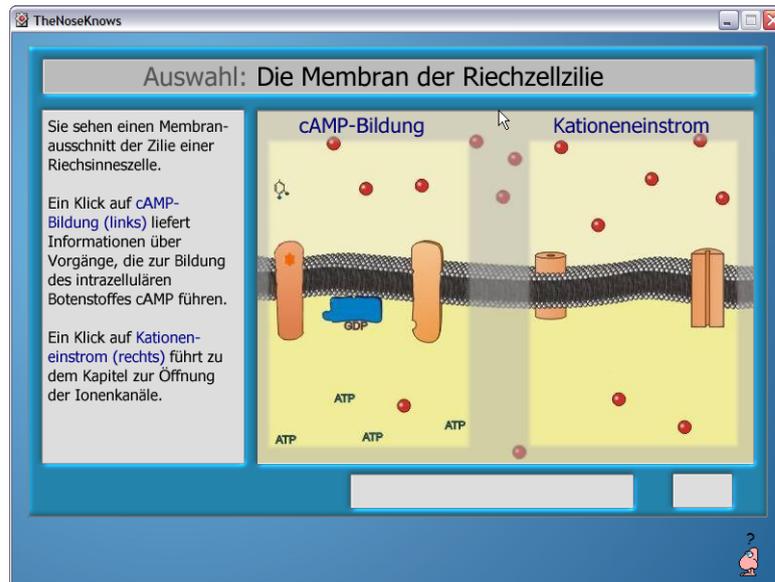
5.2.1. Einleitung der Software

Die Einleitung der Software beginnt mit einer Übersicht über die Bedienungselemente der Software (Abb. 5.1 a). Dafür wird ein Informationsbildschirm mit geöffneten blauen Informationsfeldern dargestellt. Verlassen die Lerner diese Startseite, so startet eine Animation, die einen Einblick in die Nasenhöhle eröffnet. Die folgenden Standbilder (z. B. Abb. 5.1 b) bieten einen Überblick über die anatomischen Strukturen des olfaktorischen Systems. Dabei wird nach und nach ein immer kleinerer Ausschnitt gewählt (vgl. auch Anhang A, Abb. A.1 b–e). Die Übergänge werden mit Hilfe von Animationen dargestellt, so dass der Eindruck einer schrittweisen Vergrößerung („Zoom-in“) über Riechepithel und Riechzelle auf den Zielbereich der Membran der Riechzellzilie entsteht. Dieser Zoomeffekt stellt eine Art der Top-down-Strukturierung dar, die sich als hilfreich für ein Verständnis komplexer Zusammenhänge erwiesen hat (Weidenmann, Paechter & Hartmannsgruber, 1999). Die Lerner werden somit von der ihnen bekannten Außenansicht nahtlos an die elektronenmikroskopische Ebene der Membran der Riechzellzilien herangeführt.

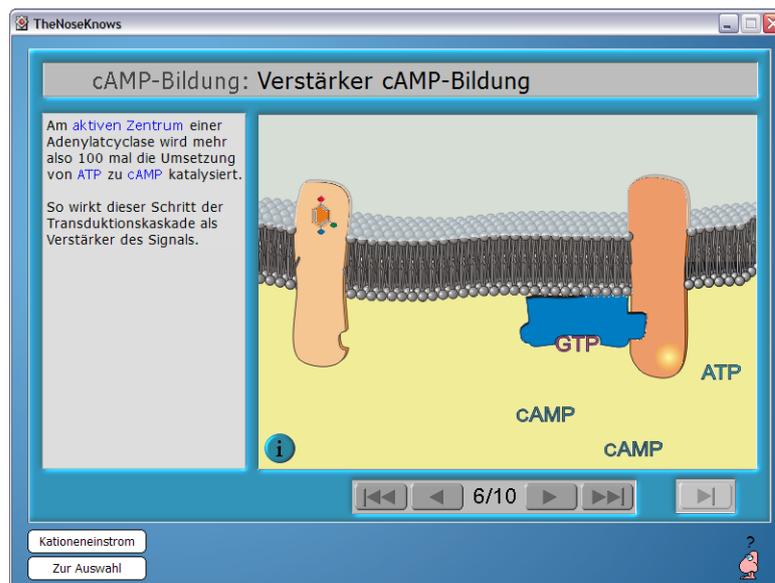
5.2.2. Hauptteil der Software

Der Hauptteil beginnt nun direkt mit der Ansicht der Membranebene. Um das Verständnis des Gesamtvorgangs nicht durch eine zu lange Sequenz zu gefährden (vgl. Pollock et al., 2002), ist der Hauptteil der Software in zwei grobe Stränge eingeteilt, die über einen Auswahlbildschirm zugänglich sind, der in Abbildung 5.2a auf der nächsten Seite dargestellt ist. Der erste Strang reicht von der Rezeption eines Duftstoffes bis zur Bildung von cAMP (Abbildung 5.2b auf der nächsten Seite) und fokussiert somit auf die zwei Verstärkungsschritte der Transduktionskaskade. Der zweite Strang beschreibt, wie die erhöhte Konzentration des Signalmoleküls cAMP über die Öffnung von Kationenkanälen (Abb. 5.2 c) zur Depolarisation des Membranpotentials und somit letztlich zur Auslösung von Aktionspotentialen (Abb. 5.2 d) führt.

Diese komplexen Prozesse, in dieser Software in Form von Animationen dargestellt, werden zudem in noch kleinere Untersequenzen heruntergebrochen. Grundsätzlich wurde die Einteilung der Untersequenzen so vorgenommen, dass jeweils am Ende eines Bewegungsvorgangs oder bei Erreichen eines erkennbar neuen Zustandes eine Sequenz beendet wurde. An diesen zentralen Stellen wird die Animation unterbrochen und ein Informationsbildschirm wird angezeigt (vgl. Abschnitt 5.3.1, S. 73). Diese zusätzliche Unterteilung wurde vorgenommen, weil zu komplexe Informationen für eine hohe intrinsische kognitive Auslastung der Lernenden verantwortlich sind. Durch Aufsplitten in kleine Häppchen wird die Information nicht weniger komplex, aber ein Verstehensschritt kann abgeschlossen werden, bevor ein neuer beginnt (Sweller, 1994).

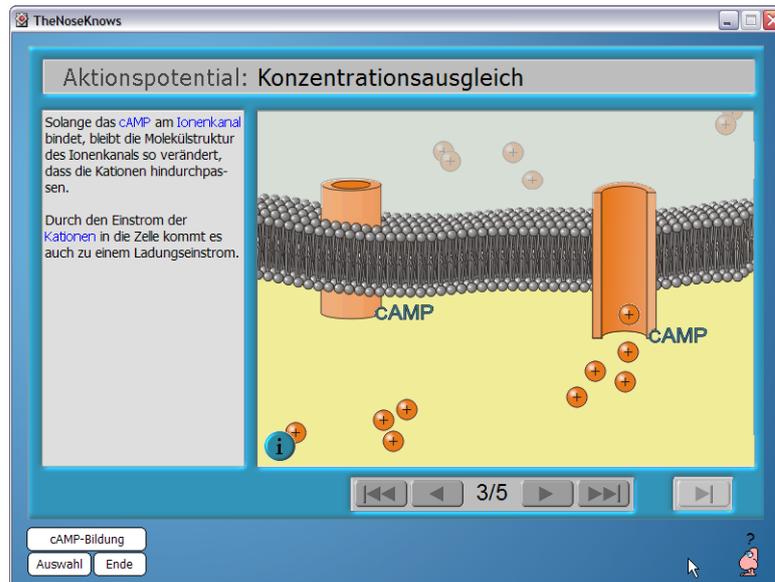


(a) Auswahlseite

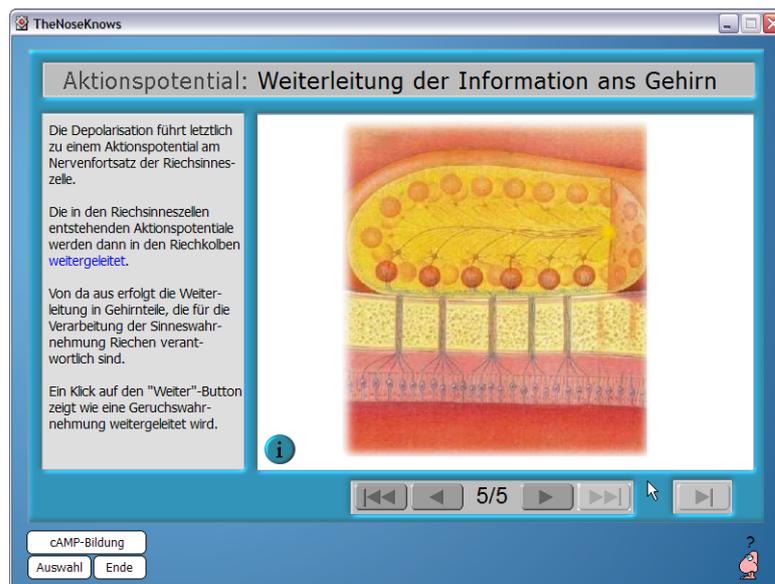


(b) Enzymatisch katalysierte cAMP-Bildung

Abbildung 5.2: Hauptteil der Software. (a) Über die Auswahlseite kann zwischen den zwei Teilbereichen ausgewählt werden. (b) Den ersten Bereich stellt die Transduktionskaskade von der Duftstoffrezeption bis zur cAMP-Bildung dar. Fortsetzung nächste Seite.



(c) Konzentrationsausgleich



(d) Aktionspotentiale

Abbildung 5.2: Hauptteil der Software. (c) Den zweiten Teilbereich des Hauptteils stellt die Öffnung der cAMP-gesteuerten Ionenkanäle und der Kationeneinstrom dar. (d) Am Ende der Software wird nur kurz auf die Bildung von Aktionspotentialen eingegangen. Die Übergänge zwischen den Standbildern erfolgen jeweils durch Animationen.

5.3. Design der Lernumgebung

Bei der Programmierung der Software wurden die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Designkriterien aus der kognitionspsychologischen Forschung berücksichtigt, wie in Tabelle 5.1 zusammenfassend dargestellt ist.

Tabelle 5.1: Umsetzung der Designprinzipien innerhalb der Lernumgebung.

Designprinzip	Umsetzung durch ...
Multimediaprinzip	...Nutzung von Text und Bild, Animation und Sprechertext.
Kohärenzprinzip	...Verwendung kurzer, präziser Zustands- bzw. Ablaufbeschreibungen.
Redundanzprinzip	...keine Doppelung gesprochener Texte zu Animationen durch geschriebenen Text.
Prinzip der räumlichen Kontiguität	...Einsatz interaktiver Elemente, wie „HotButtons“, die den Aufruf von Textinformationen zu einzelnen Bildelementen ermöglichen und „HotWords“, die Begriffe im Text mit den entsprechenden Bildelementen verbinden.
Prinzip der zeitlichen Kontiguität	...Text und Bild werden zeitgleich dargestellt, Animationen werden von Sprechertexten begleitet, die mit den Bewegungen synchronisiert sind.
Modalitätsprinzip	...die Darbietung verbaler Informationen zu Animationen in Form von Sprechertexten.

Anmerkungen. Designprinzipien nach Moreno und Mayer (2000b) und Mayer (2001); vgl. Abschnitt 4.1, S. 53.

Dem Multimediaprinzip folgend, wurde eine Kombination von Text und Bild zur Darstellung von Strukturen und wichtigen Zwischenstationen genutzt, während Prozesse in Form von Animationen mit synchron ablaufendem Sprechertext, aber ohne geschriebenen Text dargestellt wurden. Die Texte und Sprechertexte wurden kurz und präzise, in Form von Zustands- bzw. Ablaufbeschreibungen, formuliert und enthielten keine überflüssigen Informationen. In den Bildern und Animationen wurden nur solche Strukturen und Prozesse dargestellt, die notwendige Informationen darstellten. Rein dekorative, aber nicht lernrelevante Details (zusätzliche Textinformationen, illustrierende Fotos, Musik, Soundeffekte) wurden ausgespart.

Im Folgenden werden die einzelnen Designelemente beschrieben, die zur Umsetzung der mayerschen Prinzipien des Multimedia-Designs genutzt wurden. Die Kombination der Designelemente, die aus geschriebenem und gesprochenem Text, Bildern und Animationen bestehen, erfüllt bereits das in Tabelle 5.1 an erster Stelle genannte *Multimediaprinzip*.

5.3.1. Infobildschirme

Zur Darstellung der Strukturen und wesentlicher Stationen, die für ein Verständnis der Signaltransduktion wichtig sind, wurden spezielle Informationsbildschirme² (vgl. Abb. 5.3) entwickelt. Der Aufbau des Bildschirms ist bewusst einfach gehalten. Unter dem Titel, der einen ersten Hinweis auf den Inhalt des Infobildschirms bietet, sind Text und Bild nebeneinander angeordnet. Der Text ist, gemäß dem *Kohärenzprinzip* (Mayer, Heiser & Lonn, 2001), als kurze, präzise Zustandsbeschreibung formuliert und enthält keine zusätzlichen Informationen. Dadurch ist es zudem möglich, die Texte in gut lesbarer Größe und auf einer Seite (ohne Bildlaufleiste, um nach unten zu *scrollen*) darzustellen (vgl. Piolat, Roussey & Thunin, 1997). Auf einen zusätzlichen Sprechertext wurde bewusst verzichtet, da eine solche redundante Doppelung von Text und Sprechertext bei gleichzeitiger Präsentation von Bildern zu kognitiver Überlastung führen kann (*Redundanzprinzip*; Mayer & Anderson, 1991).

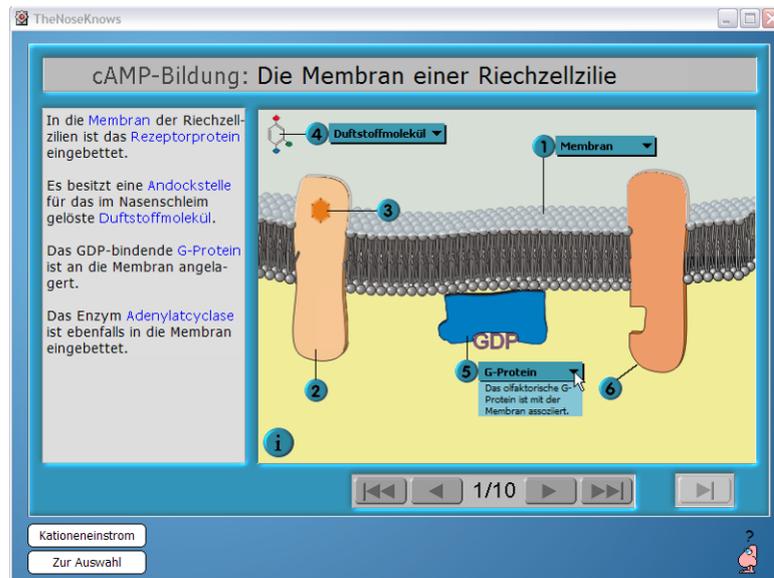
Die Bilder sind ebenfalls klar gegliedert und farblich einfach gestaltet. Die Dreidimensionalität wird angedeutet, weil in Szene 9 im Hauptteil der Software (vgl. Abbildung A.2j, S. 174) Bewegungen in die Tiefe des Bildes stattfinden.

Unterhalb von Text und Bild sind Steuerfunktionen angebracht (siehe Abbildung 5.4), mit deren Hilfe ein Lerner zwischen den Infobildschirmen wechseln kann.

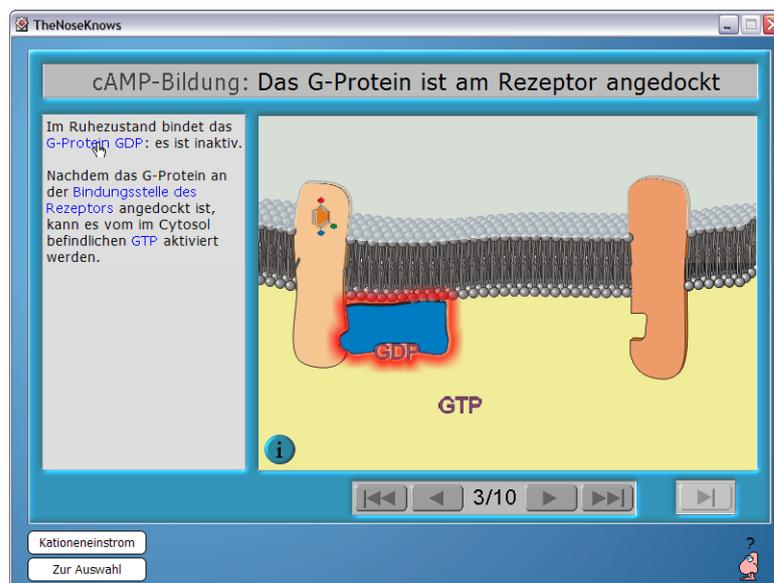
Bei den Infobildschirmen handelt es sich um sogenannte „interaktive Abbilder“ (Weidenmann, 2002a, S. 96), da die Darstellung von Text und Bild durch zwei spezielle interaktive Bedienelemente begleitet wird, mittels derer der Lerner zusätzlich zum gezeigten Bild oder Text Informationen abrufen kann. Eine solche Darstellungsform hat den Vorteil, dass der Lerner selber steuern kann, wann er zusätzliche Information aufruft. Weidenmann (2002a, S. 96) bezeichnet dies als „Pull-Funktion“ eines interaktiven Bedienelementes.

Infobuttons. Eines der interaktiven Bedienelemente ist eine Informationsschaltfläche (kurz *Infobutton*, vgl. Abb. 5.3a), die in jedem der Standbilder links unten im Bild eingeblendet wird und über die in zwei Stufen zusätzliche Informationen zu relevanten Bildelementen abgerufen werden können: Die erste Informationsstufe öffnet lediglich ein Textfeld mit der Bezeichnung des jeweiligen Elements. In der zweiten Informationsstufe wird dann ein weiteres kleines Fenster geöffnet, das einen kurzen Text (max. zwei kurze Sätze) enthält, der etwas über den Zustand des Elements und seine Beziehung zu anderen Elementen aussagt. Dies unterstützt das Designprinzip der *zeitlichen und räumlichen Kontiguität*, also der Verschränkung von Text- und Bildinformationen (Moreno & Mayer, 1999): kurze Textbausteine können mit Hilfe der Infobuttons in räumlicher Nähe zu dem korrespondierenden Bildelement aufgerufen werden. Dadurch wird zudem nicht die gesamte Textinformation gleichzeitig dargestellt, was das Bild unübersichtlich machen und große Teile davon verdecken würde.

²kurz: Infobildschirme



(a) Infobuttons



(b) Hotwords

Abbildung 5.3: Interaktive Bedienelemente. **(a)** Die *Infobuttons* öffnen sich in drei Schritten: Durch einen Klick auf den blauen **i**-Button, links unten im Bild, öffnen sich die nummerierten Infobuttons. Ein weiterer Klick auf die Infobuttons öffnet die erste Informationsebene – nur die Bezeichnung ist zu lesen (Bsp.: Punkt 1, Membran). Noch ein Klick auf den Pfeil rechts neben der Bezeichnung und die Beschreibung des Elements wird, nah am Element selbst, angezeigt (Bsp.: Punkt 5, G-Protein, „Das olfaktorische G-Protein ist ...“). **(b)** Ein Klick auf eines der blauen *Hotwords* hebt das entsprechende Element im Bild durch eine farbige Rahmung (Bsp.: G-Protein) hervor.



Abbildung 5.4: Mittels der typischen Steuerfunktionen können die kurzen Animationssequenzen gestartet werden. Von links nach rechts: zum Anfang, zum vorherigen Infobildschirm, zum nächsten Infobildschirm (= Animation starten), zum Ende, Animation überspringen (wird 1 sec nach Start der Animation aktiviert).

Außerdem entsteht durch die „Pull-Funktion“ eine zeitliche Nähe: Im dem Moment, in dem der Lerner der Zusatzinformation bedarf, kann er diese, unmittelbar und zeitnah, zur Betrachtung „heranziehen“.

Hotwords. Als zweites interaktives Bedienelement wurden Begriffe im Fließtext blau hervorgehoben. Diese Begriffe bezeichnen bestimmte Strukturelemente im Bild (z. B. Membran, Rezeptorprotein, G-Protein etc.). Ein Mausklick auf ein solches, an einen Hyperlink³ erinnerndes *Hotword* umrahmt das entsprechende Element im Bild farbig (vgl. Abb. 5.3b). Dies ermöglicht es dem Lerner, ausgehend vom Text bildhafte Zusatzinformationen über Lage und Umfang der betreffenden Struktur im Bild „heranzuziehen“. Die Funktion der Hotwords ist somit komplementär zur Funktion der oben beschriebenen Infobuttons, welche ausgehend vom Bild zusätzliche Textinformationen bereitstellen. So unterstützt auch dieses interaktive Bedienelement die *zeitliche und räumliche Kontiguität* von Text und Bild.

Die Infobildschirme dienen also einerseits der Präsentation von essentieller Information in Form von Text und Bild, andererseits stellen sie, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, Schlüsselstationen in der Grundstruktur des Gesamtprozesses dar.

5.3.2. Animationssequenzen

Zusätzlich zur Kombination der Repräsentationsformen Text und Bild in Form der Infobildschirme wurden zur Darstellung der Prozesse Animationen gewählt. Sie stellen die Verbindung zwischen den einzelnen Infobildschirmen dar und schaffen einen inhaltlichen Übergang. Die Animationen werden von Sprechertexten unterstützt und nicht von geschriebenem Text. Dies entspricht dem *Modalitätsprinzip*, da für die Verarbeitung der Sprechertexte der auditive und für die Animationen der visuelle Eingangskanal genutzt werden kann. Geschriebener Text würde, wie die Animation, den visuellen Eingangskanal beanspruchen und so die Gefahr einer kognitiven Überlastung erhöhen (vgl. Mayer, 1992; Mayer & Moreno, 1998; Chandler & Sweller, 1992). Darüber hinaus wird damit das *Kontiguitätsprinzip* gewahrt, da mittels einer strengen Synchronisierung von Sprechertext und Animation eine starke zeitliche Verschränkung der Informationen erreicht wird (Mayer, 2001, Kap. 5 und 6).

³Hyperlinks sind die charakteristischen Verknüpfungen zwischen Internetseiten des World Wide Web. Sie entsprechen funktionell klassischen Querverweisen.

Auch die Animationen wurden, gemäß *Redundanzprinzip*, auf die wesentlichen Informationen beschränkt und nicht mit weiteren, potentiell interessanten Informationen bereichert, da sich solche zusätzlichen „verführerischen“ Details, sofern sie nicht von direkter Relevanz für den Lernprozess sind, als hinderlich erwiesen haben (vgl. Abschnitt 3.5.3; Mayer et al., 2001). Auf weitere akustische Informationen (Hintergrundmusik, Geräusche) neben dem Sprechertext wurde aus diesen Gründen ebenfalls bewusst verzichtet (vgl. Moreno & Mayer, 2000a).

5.3.3. Navigationselemente

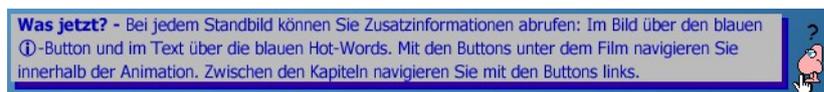
Die Navigation der Software wurde bewusst einfach gehalten. Vom Auswahlbildschirm (vgl. Abbildung 5.2a, S. 70) gelangt man über einen Link (sowohl vom Text, als auch vom Bild) zu den zwei Kapiteln der Software (cAMP-Bildung, Kationeneinstrom). Innerhalb der Kapitel gelangt man über Schaltflächen entweder zurück zur Übersicht oder zum anderen Kapitel.

Die Navigation innerhalb jedes Kapitels erfolgt mittels der bereits erwähnten Steuerungselemente (vgl. Abb. 5.4).

5.3.4. Hilfefunktionen

In der rechten unteren Ecke des Bildschirms befindet sich ein Hilfesymbol, über das der Lerner einen kurzen Text zur Erläuterung der interaktiven Bedienelemente, sowie der Navigationselemente aufrufen kann (vgl. Abb. 9.1 a).

Die Steuerungsfunktionen sind zudem mit einer intuitiven Roll-over-Schnellinformation ausgestattet: Bewegt ein Nutzer den Mauszeiger über eine Schaltfläche, so erscheint automatisch eine kleine gelbe Box, in der die Funktion der Schaltfläche angegeben ist (vgl. Abb. 9.1 b).



(a) Strategische Hilfe



(b) Hilfe zu Steuerungselementen

Abbildung 5.5: Hilfefunktionen. (a) Die kurze strategische Hilfe, die auf die wichtigsten Bedienelemente der Software hinweist. (b) zeigt die Schnellhilfe, die erscheint, wenn der Nutzer mit dem Mauszeiger über eine der Schaltflächen fährt.

6. Die instruktionale Hilfestellung

Das Ziel bei der Gestaltung der instruktionalen Hilfestellungen im Rahmen dieser Arbeit ist es, Lernende bei der Bearbeitung der multimedialen Lernumgebungen zu komplexen naturwissenschaftlichen Lerninhalten zu unterstützen, indem den Schwierigkeiten bei der Verarbeitung mit multiplen Repräsentationen entgegenge-wirkt wird, während die Vorteile erhalten bleiben (vgl. Abschnitt 3.4 auf Seite 39). Zu diesem Zweck wurden direkt auf die Software abgestimmte instruktionale Hilfestellungen zur Integration von Text und Bild entwickelt. Nach welchen Prinzipien diese Hilfen entwickelt wurden, wird im Folgenden dargestellt.

6.1. Gestaltung der Hilfen

In Abschnitt 4.2 auf Seite 54 werden theoriebasiert eine Reihe von Anforderungen an instruktionale Hilfestellungen gestellt. Zur Erfüllung dieser Anforderungen wurde für jeden der Infobildschirme der Software (vgl. Abschnitt 5.3.1, S. 73 ff.) eine spezielle Aufgabe entwickelt. Im folgenden Abschnitt werden die Anforderungen an die zu entwickelnden Aufgaben in konkrete Gestaltungsprinzipien übersetzt. Im darauf folgenden Abschnitt 6.1.2 auf Seite 79 ff. werden diese Prinzipien angewendet, um Aufgaben als instruktionale Hilfestellung für die in Kapitel 5 beschriebene multimediale Lernumgebung zu entwickeln.

6.1.1. Prinzipien für die Gestaltung instruktionaler Hilfen

Prinzip 1: Konkrete Aufforderung. Die Aufgaben wurden in Form von Fragen oder zu vervollständigenden Sätzen entwickelt, da diese einen unmittelbaren Aufforderungscharakter haben. Durch eine knappe, aber eindeutige Form der Aufgaben soll eine Auseinandersetzung des Lerners mit dem Inhalt erreicht werden. Da für das Verständnis des Arbeitsauftrags keine weiteren Erläuterungen notwendig sind, kann so die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung niedrig gehalten werden (vgl. Prinzip 4).

Prinzip 2: Bezugnahme auf die Bedeutungsebene. Zugleich soll durch die Fragen eine *tieferer Verarbeitung* der Lerninhalte angeregt werden. Um dies zu erreichen, zielen die Aufgaben auf eine Bearbeitung auf der Bedeutungsebene ab. Im Sinne von Mayer (2001; vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 34) sollen die Hilfen also die Organisations-

und Integrationsprozesse anregen, nach der etwas anders lautenden Nomenklatur von Schnotz (1999; vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 35) müssen entsprechend semantische Verarbeitungsprozesse, sowie Modellinspektions- und -konstruktionsprozesse angeregt werden. Für die konkrete Umsetzung heißt das, dass die Aufgaben nicht nur auf die Verarbeitung einzelner Oberflächenmerkmale von Text und Bild, sondern auf eine tiefere Verarbeitung abzielen sollten. Hinsichtlich textbasierter Information sollten also nicht nur lokale, sondern auch globale Kohärenzbildung werden angeregt. Hinsichtlich bildbasierter Informationen sollten sich die Aufgaben nicht auf einzelne Struktur- (Farbe, Form) bzw. Prozesselemente (Richtung, zeitliche Reihenfolge), sondern auf Beziehungen zwischen Elementen, auf Bedingungen und Kausalitäten beziehen.

Prinzip 3: Bezug auf Text- und Bildelemente. Die Aufgaben sollen so formuliert werden, dass zu ihrer Bearbeitung die Elemente aus Text *und* Bild einbezogen werden müssen. Die Lerner werden durch diesen notwendigen Bezug auf Text- und Bildelemente darin unterstützt, den in Abschnitt 3.4.2 ab Seite 43 formulierten Anforderungen der Verarbeitung von Text und Bild gerecht zu werden:

- Erstens erfordert dies vom Lerner die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf beide Repräsentationsformen. So wird der Unterschätzung einer Repräsentation und der Gefahr von Verstehensillusionen entgegengewirkt, die Lerner werden von der metakognitiven Aufgabe der Aufmerksamkeitslenkung entlastet und Lerner mit einer ausgeprägten Lernpräferenz für Text oder Bild werden zur Nutzung der jeweils anderen Repräsentationsform angeregt.
- Zweitens wird, da die Frage nicht nur auf Oberflächenmerkmale abzielt (Prinzip 2), eine Verknüpfung der mentalen Repräsentationen von Text und Bild notwendig, so dass die Übergänge zwischen den Repräsentationsformen verstärkt werden und so Unterschiede und Gemeinsamkeiten im Informationsgehalt deutlich herausgestellt werden. Damit wird die Lernstrategie der aktiven Bildung von Text-Bild-Verknüpfungen angeregt, die nach Drewniak (1992, S. 276) hilfreich für das Lernen mit multiplen externen Repräsentationen ist. Nach Seufert (2003) entspricht dies der Anregung eines Mappings zwischen Elementen und Attributen unterschiedlicher Repräsentationsformen und somit einer Form globaler Kohärenzbildung.
- Drittens werden die Lerner durch die Beantwortung von Aufgaben, die inhaltliche Aspekte behandeln, dazu angeregt, Repräsentationen auf der Bedeutungsebene zu verknüpfen. Es werden daher *elaborierende* Text- und Bildverarbeitungsstrategien (Weidenmann, 1988; vgl. Abschnitt 3.3.4, S. 31) angeregt und die Integration unterschiedlicher Codes wird gefördert. Auch dies stellt eine Anregung globaler Kohärenzbildung dar, die durch das Mapping von Relationen unterschiedlicher Repräsentationsformen erreicht wird.

Prinzip 4: Primat der kognitiven Auslastung. Bei der Erfüllung der vorhergehenden Prinzipien muss stets beachtet werden, dass der Komplexitätsgrad der Fragen nicht zu hoch sein darf. Durch eine Berücksichtigung aller genannten Anforderungen könnte es bei einem zu hohen Anspruchsniveau zu einer durch die Verarbeitungshilfen selbst hervorgerufenen kognitiven Auslastung (*extraneous CL*) kommen, die dann letztlich das Lernen behindern würde (vgl. Abb. 3.6, S. 40). Besteht die Gefahr, dass eine instruktionale Hilfe zu *extraneous CL* führt, so sollte die Komplexität der Hilfe reduziert werden, auch wenn eines der vorgenannten Prinzipien dadurch weniger stark berücksichtigt werden kann. Hier ist ein Abwägen von Fall zu Fall unumgänglich.

Anhand dieser vier Prinzipien wurden die instruktionalen Hilfen entwickelt, die aufgrund ihrer Kürze im Folgenden als „Mikroaufgaben“ bezeichnet werden. Eine Übersicht über die entwickelten Mikroaufgaben findet sich in Tabelle 6.1. An zwei Beispielen soll nun verdeutlicht werden, wie die Prinzipien in die Formulierung der Mikroaufgaben umgesetzt wurden.

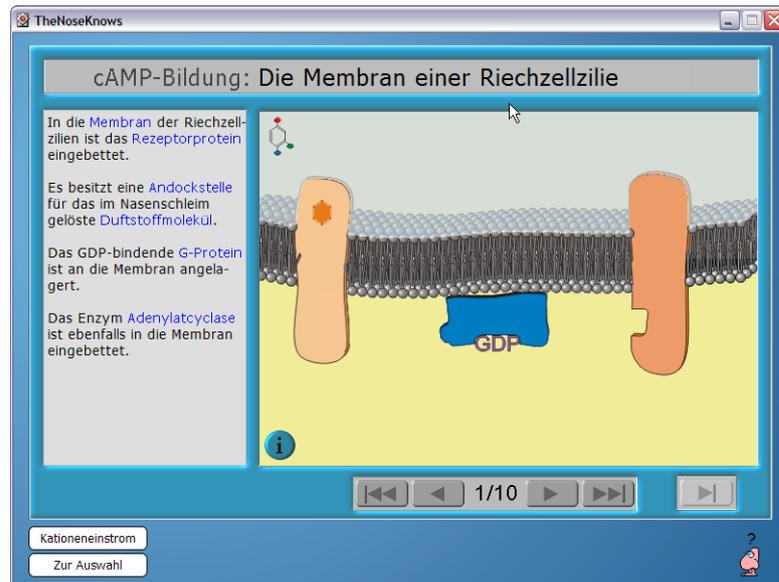
6.1.2. Umsetzung der Prinzipien für instruktionale Hilfestellungen

In Abbildung 6.1 auf der nächsten Seite werden zwei Infobildschirme und die dazugehörigen Mikroaufgaben dargestellt. Das erste Beispiel (Abb. 6.1a) ist dem ersten Abschnitt des Hauptteils der Software zur cAMP-Bildung entnommen, Beispiel 2 (Abb. 6.1b) stammt aus dem zweiten Abschnitt des Hauptteils der Software zum Kationeneinstrom und der Entstehung eines Aktionspotentials.

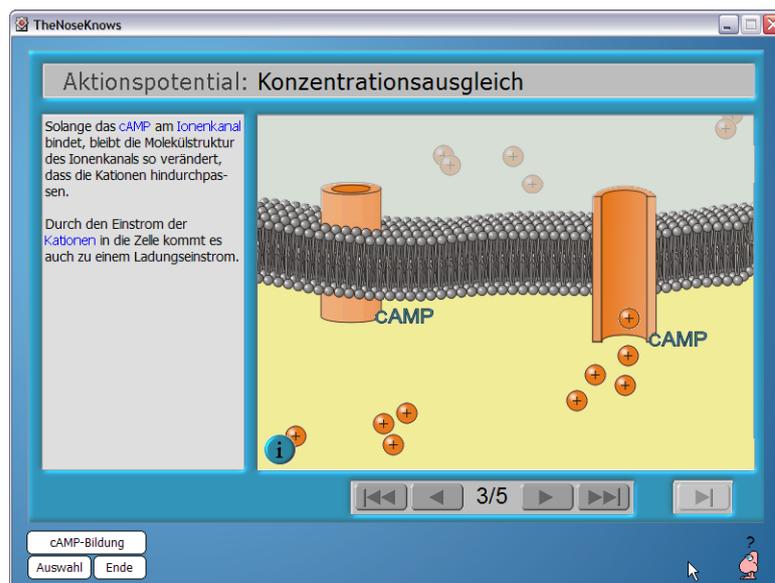
Entsprechend dem *ersten Prinzip* für die Gestaltung von instruktionalen Hilfen sind die beiden Mikroaufgaben in Form einer Frage formuliert und stellen somit eine konkrete Aufforderung an die Lernenden zur Auseinandersetzung mit dem Inhalt dar.

Die Mikroaufgaben zielen, wie das *zweite Prinzip* fordert, auf die Bedeutungsebene, indem über ein Interrogativadverb („weshalb“ bzw. „wie“) nach einem inhaltlichen Zusammenhang gefragt wird, der nur durch eine Bearbeitung mehrerer Elemente und ihrer Zusammenhänge erschlossen werden kann (z. B. „Der Rezeptor besitzt eine Andockstelle, in die das Duftstoffmolekül hineinpasst.“).

In der zweiten Aufgabe (Abb. 6.1b) wird es für die Lernenden nötig, die qualitativen Informationen aus dem Text („Einstrom der Kationen“ und „Ladungseinstrom“) durch quantitative Informationen aus dem Bild zu ergänzen („Wieviele Kationen waren vorher da?“), womit das *dritte Prinzip* der Text-Bild-Verknüpfung erfüllt wird. Obwohl die erste Mikroaufgabe (Abb. 6.1a) auch aus den Informationen im Text allein beantwortet werden kann („Der Rezeptor besitzt eine Andockstelle, ...“), zielt auch sie auf eine Bearbeitung des Bildes. Die offene Frageform fordert den Lernenden nämlich auf noch weitere Möglichkeiten abzuwägen und zwar auch solche, die



(a) „Weshalb kann ein Molekül am Rezeptor andocken?“



(b) „Wie verändert sich die Ladung im Zellinneren durch den Einstrom von Kationen?“

Abbildung 6.1: Zwei Infobildschirme mit den dazugehörigen Mikroaufgaben. (a) Aufgabe 1 aus dem ersten Abschnitt des Hauptteils der Software zur cAMP-Bildung; (b) Aufgabe zu Szene 3 aus dem zweiten Abschnitt des Hauptteils der Software zum Kationeneinstrom und der Entstehung eines Aktionspotentials.

sich erst aus dem Bild ergeben, wie etwa die Passung von Duftstoff und Andockstelle.

Gemäß dem *vierten Prinzip* bleiben beide Mikroaufgaben trotz der Berücksichtigung der ersten drei Prinzipien relativ übersichtlich. So kann in der ersten Aufgabe (Abb. 6.1a) der Lerner, ausgehend von den zwei in Text und Mikroaufgabe genannten Elementen „Molekül“ und „Rezeptor“, deren Beziehung aus Text und Bild erschließen. Der Komplexitätsgrad bleibt somit überschaubar.

An diesen zwei näher ausgeführten Beispielen wird deutlich, wie die Prinzipien in den Mikroaufgaben umgesetzt wurden. In Tabelle 6.1 auf der nächsten Seite sind alle Mikroaufgaben dargestellt. Darin wird auch angegeben inwieweit sie die vier Gestaltungsprinzipien für instruktionale Hilfen erfüllen.

6.2. Äußere Form der Hilfen

Grundsätzlich war die Entscheidung zu treffen, ob die Hilfen in die Software integriert oder extern, in Form von begleitenden Arbeitsbögen, präsentiert werden sollen. Es gibt ein entscheidendes Argument, das für diese Untersuchung gegen eine Integration in die Software spricht: Die Einbeziehung in die Software führt zu einer komplexeren Bedienoberfläche. Während das Ausfüllen von Arbeitsbögen eine vertraute „Lernumgebung“ für Schüler ist, stellt eine, wie auch immer geartete softwaregestützte Eingabemöglichkeit zunächst eine ungewohnte Lernumgebung dar. Entsprechend ist durch eine Softwarelösung eine höhere lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung zu erwarten als durch die Verwendung von begleitenden Arbeitsbögen.

Um die Zuordnung der Mikroaufgaben zu den Infobildschirmen der Software eindeutig zu gestalten, entsprechen sich die Reihenfolge und die Überschriften auf den Begleitbögen und in der Lernumgebung.

Tabelle 6.1: Mikroaufgaben

Titel des Bildes	Mikroaufgabe	Erfüllung der Prinzipien			
		1	2	3	4
Teil I: cAMP-Bildung					
Szene 1: Die Membran einer Riechzellzilie	Weshalb kann ein Molekül am Rezeptor andocken?	+	+	○	+
Szene 2: Ein Duftstoff ist am Rezeptor angedockt	Die im Text beschriebene Konformationsänderung bedeutet nichts anderes als ...	+	+	○	+
Szene 3: Das G-Protein ist am Rezeptor angedockt	Findet der Austausch von GDP durch GTP am G-Protein im Zellinneren oder im Nasenschleim statt?	+	-	+	+
Szene 4: Das G-Protein ist aktiviert	Wohin bewegt sich das G-Protein, nachdem der GDP/GTP-Tausch stattgefunden hat?	+	+	○	+
Szene 5: Die Adenylatcyclase ist aktiviert	Befindet sich das „aktive Zentrum“ der Adenylatcyclase im Zellinneren oder außerhalb der Zelle?	+	-	+	+
Szene 6: Verstärker cAMP-Bildung	Wozu dient das G-Protein während der cAMP-Bildung?	+	+	○	+
Szene 7: Aktives Zentrum ist inaktiv	Wird das aktive Zentrum „ausgeschaltet“ vor, nach oder gleichzeitig mit der Ablösung des G-Proteins?	+	○	+	+
Szene 8: G-Protein im Ruhezustand	Nach der Ablösung eine Phosphatrests besitzt das G-Protein eine neue Konformation. Passt es jetzt noch in die Bindungsstelle des Rezeptorproteins?	+	○	+	+
Szene 9: Verstärker G-Protein-Aktivierung	Wo werden die weiteren G-Proteine aktiviert?	+	○	+	+
Szene 10: Wiederherstellung des Grundzustands	Mit welchem letzten Schritt wird der Grundzustand des Rezeptors wieder hergestellt?	+	+	○	+

Titel des Bildes	Mikroaufgabe	Erfüllung der Prinzipien			
		1	2	3	4
Teil II: Kationeneinstrom und Aktionspotential					
Szene 1: Das Ruhepotential	Auf welcher Seite ist die Zellmembran im Ruhezustand positiver geladen – innerhalb oder außerhalb der Zelle?	+	-	+	+
Szene 2: Öffnung der Ionenkanäle	Die im Text beschriebene Konformationsänderung bedeutet nichts anderes als ...?	+	+	+	+
Szene 3: Konzentrationsausgleich	Wie verändert sich die Ladung im Zellinneren durch den Einstrom von Kationen?	+	+	+	+
Szene 4: Schließen der Ionenkanäle	Die Ionenkanäle schließen sich, wenn ...	+	○	○	+

Anmerkungen. Die folgenden Prinzipien können erfüllt (+), mit Abstrichen erfüllt (○) oder in einer Mikroaufgabe eher nicht erfüllt (-) sein. 1: Konkrete Aufforderung; 2: Bezugnahme auf die Bedeutungsebene; 3: Bezug auf Text- und Bildelemente; 4: Primat der kognitiven Auslastung.

Teil III.

Empirischer Teil

7. Fragestellung und Forschungshypothesen

Soll ein so komplexes sinnesphysiologisches Thema wie die olfaktorische Signaltransduktion im Schulunterricht behandelt werden, so bietet sich als eine vielversprechende Methode der Einsatz einer multimedialen Lernumgebung an. Die Verwendung von multiplen externen Repräsentationen (MER) stellt dabei einen Ansatz dar, der den Lernern nicht nur die Kenntnis der beteiligten Strukturen und Prozesse, sondern auch das Verständnis dieses komplexen Konzepts ermöglichen könnte. Im Sinne des in Kapitel 3 skizzierten Hintergrundes ist dabei vor allem die Integration der aus den unterschiedlichen Repräsentationsformen generierten internen Repräsentationen von entscheidender Bedeutung. Da der Einsatz von MER allerdings auch zu einer Reihe von besonderen Problemen beim Lernen führen kann, wurden instruktionale Hilfestellungen zur Unterstützung der Lerner entwickelt (Abschnitt 6.1). Gegenstand dieser Arbeit ist daher die Untersuchung, wie diese theoriebasiert entwickelten instrukionalen Hilfestellungen zur Integration text- und bildbasierter Informationen („Mikroaufgaben“) das Lernen mit einer multimedialen Lernumgebung zu einem komplexen biologischen Thema am Beispiel der olfaktorischen Signaltransduktion beeinflussen. Zudem ergeben sich aus den theoretischen Überlegungen weitere Fragen: Gelingt es trotz der integrierten und zusätzlich zu bearbeitenden Mikroaufgaben die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung der Lernenden niedrig zu halten? Wird der Erwerb von Faktenkenntnis anders von den Mikroaufgaben beeinflusst als der Erwerb von Verständnis? Wie wirken sich unterschiedliche Lernervoraussetzungen (Vorwissen, kognitiver Stil, Individuelles Interesse) auf das durch Mikroaufgaben unterstützte Multimedia-Lernen aus?

Um diesen Fragen in einer empirischen Untersuchung nachzugehen, werden im Folgenden die Hypothesen formuliert, die sich aus dem skizzierten theoretischen Hintergrund ableiten.

7.1. Haupteffekt der Mikroaufgaben auf den Lernerfolg

Diese erste Hypothese stützt sich auf die theoriebasierte Entwicklung der Mikroaufgaben. Entsprechend der Theorien von Mayer (vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 34) und Schnotz (vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 35) sollte die Verwendung von Mikroaufgaben letztlich Lernen dahingehend positiv beeinflussen, dass Lernende eher zu integrierten

und elaborierten mentalen Modellen kommen als ohne diese Hilfen. Da mentale Modelle kein direkt operationalisierbares Konstrukt darstellen, werden in dieser Arbeit einerseits das Erinnern von Fakten (Faktenkenntnis) und andererseits das Verständnis als Indikatoren für die Qualität der mentalen Modelle herangezogen (vgl. Abschnitt 8.3.3, S. 99).

Auf der Basis der dargestellten Theorien kann angenommen werden, dass es bei Lernern, die Mikroaufgaben verwenden, zu intensiveren Selektions-, Organisations- und Integrationsprozessen kommt. Daher sollten einerseits einzelne Wissens-elemente besser mit anderen verknüpft sein, weshalb eine bessere Erinnerungsleistung vermutet wird. Andererseits sollten elaborierte, integrierte mentale Modelle entstehen, die den Lernern ein tieferes Verständnis des dargestellten Sachverhalts ermöglichen.

Es wird daher ein Haupteffekt der Mikroaufgaben auf den Lernerfolg im Faktenkenntnistest und im Verständnistest angenommen:

*HYPOTHESE 1: Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Text-Bild-integrierende Mikroaufgaben beantworten, erwerben **mehr Faktenkenntnis** als Lerner, die solche Aufgaben nicht erhalten.*

*HYPOTHESE 2: Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Text-Bild-integrierende Mikroaufgaben beantworten, erwerben **mehr Verständnis** als Lerner, die solche Aufgaben nicht erhalten.*

7.2. Der Einfluss von Lernermerkmalen

7.2.1. Vorwissen

Da das Vorwissen für die Ausbildung mentaler Modelle vor allem bei integrativen Prozessen eine wesentliche Rolle spielt, sind außerdem die HYPOTHESEN 1 und 2 durch Einbeziehung des *Vorwissens* als weiterer unabhängiger Variable zu präzisieren. Wie in Abschnitt 4.2.3 auf Seite 60 dargestellt, wird angenommen, dass die Lerner der drei unterschiedlichen Vorwissensniveaus (niedrig/mittel/hoch) unterschiedlich sensitiv für den Einsatz von Mikroaufgaben sind. Zusätzlich sollte auch die Art des erwarteten Lernergebnisses eine Rolle spielen. Zum Erwerb von Faktenkenntnis sind vermutlich auch Lerner mit geringerem Vorwissen in der Lage. Ein tieferes Verständnis sollte dagegen vor allem durch den Prozess der Integration mit dem Vorwissen möglich werden und wird daher vermutlich vor allem von Lernern mit mittlerem und hohem Vorwissen erreicht.

Lerner mit geringem Vorwissen würden zwar Hilfe benötigen, besitzen aber, gemäß der *Cognitive-Load-Theorie*, sehr wenige kognitive Schemata zu einem gegebenen Lerngegenstand, weshalb die kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand (*intrinsic cognitive load*) bei dieser Lernergruppe mehr kognitive Ressourcen benötigt.

Die zur Bearbeitung der Mikroaufgaben nötigen kognitiven Ressourcen stellen zudem einen weiteren potentiellen Faktor der lernumgebungsbezogenen kognitiven Auslastung dar. Da sich aber auch bei diesen Lernern die Mikroaufgaben durch eine intensivere Auseinandersetzung mit Text und Bild im Sinne einer lernprozessbezogenen kognitiven Auslastung (*germane cognitive load*) auswirken sollte, ist für den Erwerb von Faktenkenntnis eine Verbesserung zu erwarten. Für ein tieferes Verständnis, fehlt diesen Lernern jedoch das nötige Vorwissen, weshalb für sie kein Effekt der Mikroaufgaben auf den Verständniserwerb angenommen wird.

Lerner mit mittlerem Vorwissen benötigen ebenfalls noch Hilfe, besitzen aber bereits eine Anzahl kognitiver Schemata, die letztlich zu einer niedrigeren lerngegenstandsbezogenen Auslastung führen (vgl. Abschnitt 4.2.3, S. 60). Somit verkraften sie auch die zusätzliche kognitive Auslastung der Mikroaufgaben und können beim Erlernen von Faktenkenntnis von den Hilfen profitieren. Dieser Vorteil sollte auch deshalb deutlicher ausfallen, als dies bei Lernern mit wenig Vorwissen möglich ist, da sie die Lerninhalte auch mit bereits vorhandenen Wissensstrukturen verknüpfen können. Diese bestehenden Wissensstrukturen und die niedrigere lerngegenstandsbezogene Auslastung ermöglichen es den Lernern mit mittlerem Vorwissen zudem, beim Verständniserwerb von der Unterstützung der Mikroaufgaben zu profitieren.

Lerner mit hohem Vorwissen können zwar auch problemlos die Mikroaufgaben bearbeiten, aber aufgrund der großen Anzahl kognitiver Schemata und damit einhergehenden niedrigen lerngegenstandsbezogenen kognitiven Auslastung benötigen sie die Hilfen nicht, um sich den Lerninhalt anzueignen, weder für den Erwerb von Faktenkenntnis noch für das Verständnis. Sie profitieren also nicht von den Mikroaufgaben. Allerdings befinden sie sich dabei, wie in HYPOTHESE 3 und 4 formuliert, auf einem insgesamt höheren Niveau als Lerner mit geringem und mittlerem Vorwissen, da sie sich auch ohne Mikroaufgaben einer effizienten Informationsverarbeitung bedienen.

Vorwissenseffekt. Grundsätzlich wird in der gegenwärtigen Forschung angenommen, dass der Lernerfolg vom Vorwissen der Lerner positiv beeinflusst wird. Um jedoch auch für diese Studie die Abhängigkeit des Lernerfolgs empirisch abzusichern, wird ein Vorwissenseffekt auf den Erwerb von Faktenwissen und Verständnis nach folgendem Muster als Hypothese formuliert:

HYPOTHESE 3: *Lerner mit **mittlerem** Vorwissensniveau erwerben im Vergleich zu Lernern mit **geringem** Vorwissensniveau mehr ...*

- (a) ... **Faktenkenntnis**.
- (b) ... **Verständnis**.

HYPOTHESE 4: *Lerner mit **hohem** Vorwissensniveau erwerben sowohl im Vergleich zu Lernern mit **geringem**, als auch zu Lernern mit **mittlerem** Vorwissensniveau mehr ...*

- (a) ... **Faktenkenntnis**.
- (b) ... **Verständnis**.

Interaktionseffekt. Für den Effekt der Gruppenzugehörigkeit in Bezug auf den Erwerb von *Faktenkenntnis* kann angenommen werden, dass Lerner mit hohem Vorwissen nicht von den Mikroaufgaben profitieren. Für diese Vorwissensgruppe wird daher die Nullhypothese angenommen. Für die beiden anderen Vorwissensniveaus sollte sich dagegen ein positiver Effekt ergeben, der für Lerner mit mittlerem Vorwissensniveau größer ausfällt, als für Lerner mit niedrigem Vorwissen. Es ergibt sich die folgende Hypothese im Sinne eines ordinalen Interaktionseffekts:

HYPOTHESE 5: Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Mikroaufgaben beantworten, erwerben im Vergleich zu Lernern, die solche Aufgaben nicht erhalten ...

- (a) ... **mehr Faktenkenntnis**, wenn sie über **mittleres Vorwissen** in der Domäne verfügen und
- (b) ... **mehr Faktenkenntnis**, wenn sie über **geringes Vorwissen** in der Domäne verfügen,
- (c) ... wobei dieser Effekt für Lerner mit **mittlerem Vorwissen stärker ausfällt**, als für Lerner mit geringem Vorwissen und
- (d) ... sich dieser Effekt nicht für Lerner mit **hohem Vorwissen** in der Domäne zeigt.

Für den Erwerb von *Verständnis* ist für Lerner mit geringem und hohem Vorwissen keine Veränderung zu erwarten. Für beide wird demnach die Nullhypothese angenommen. Daher lauten die Hypothesen für diesen Interaktionseffekt in Bezug auf das Verständnis:

HYPOTHESE 6: Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Mikroaufgaben beantworten, erwerben im Vergleich zu Lernern, die solche Aufgaben nicht erhalten ...

- (a) ... **mehr Verständnis** bei einem mittleren Vorwissensniveau.

Dieser Effekt zeigt sich nicht für Lerner mit

- (b) *geringem Vorwissen und*
- (c) *hohem Vorwissen.*

7.2.2. Kognitiver Stil

In Abschnitt 4.2.3 auf Seite 61 wurde beschrieben, dass es für die Wirkung der Verarbeitungshilfen theoretisch auch einen Unterschied macht, ob ein Lerner stark zur Auswahl einer Repräsentationsform (Text *oder* Bild) neigt oder ob er beide Repräsentationsformen (Text *und* Bild) beim Lernen einbezieht. In dieser Studie liegt der Schwerpunkt auf der Anregung mentaler Repräsentationen, weshalb dieser Effekt hier nur für den kognitiven Stil in Form einer Hypothese formuliert wird, obwohl er für die Lernpräferenz für eine externe Repräsentationsform gleichermaßen vermutet werden kann.

Wenn ein Lerner stark zur Nutzung einer mentalen Repräsentationsform neigt, also eine eindeutige Ausprägung eines kognitiven Stils zeigt, sollte er von der Anregung der zusätzlichen Text-Bild-Verknüpfungen profitieren können. Wenn ein Lerner dagegen keinen stark ausgeprägten kognitiven Stil besitzt, also bereits beide Repräsentationsformen beim Lernen einbezieht, wird er mit den Mikroaufgaben vermutlich nicht besser lernen können, als ohne diese Hilfe, weshalb für diese Lerner die Gültigkeit der Nullhypothese angenommen wird. Insgesamt wird also ein Interaktionseffekt der Ausprägtheit des kognitiven Stils und der Gestaltung der Begleitbögen erwartet, der wie folgt ausfällt:

*HYPOTHESE 7: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von **Faktenkenntnis** ist insofern abhängig vom **kognitiven Stil** der Lerner, als dass ...*

- (a) ...Lerner mit einem **stark ausgeprägten kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben.*
- (b) ...Lerner mit einer **schwach ausgeprägten kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.*

*HYPOTHESE 8: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von **Verständnis** ist insofern abhängig vom **kognitiven Stil** der Lerner, als dass ...*

- (a) ...Lerner mit einem **stark ausgeprägten kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben.*
- (b) ...Lerner mit einer **schwach ausgeprägten kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.*

7.2.3. Individuelles Interesse

In Abschnitt 4.2.3 auf Seite 62 wurde dargestellt, inwiefern die Wirkung instruktionaler Hilfestellungen, wie der hier eingesetzten Mikroaufgaben, durch das individuelle Interesse beeinflusst werden kann. Es ist zu vermuten, dass der anregende Einfluss der Mikroaufgaben bei Lernern mit hohem individuellem Interesse nicht nötig ist

und die Lernergebnisse daher nicht durch ihren Einsatz beeinflusst werden. Bei Lernern mit niedrigem individuellem Interesse sollte die anregende Funktion der Mikroaufgaben dagegen zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt führen, weshalb hier ein Interaktionseffekt mit dem Lernergebnis (Faktenkenntnis und Verständnis) vermutet wird:

*HYPOTHESE 9: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von **Faktenkenntnis** ist insofern abhängig vom **individuellen Interesse** der Lerner, als dass ...*

- (a) ...Lerner mit **geringem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben.
- (b) ...Lerner mit **hohem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.

*HYPOTHESE 10: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von **Verständnis** ist insofern abhängig vom **individuellen Interesse** der Lerner, als dass ...*

- (a) ...Lerner mit **geringem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben.
- (b) ...Lerner mit **hohem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.

7.3. Einfluss der kognitiven Auslastung

Neben den Lernermerkmalen sollte die kognitive Auslastung der Lerner einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Mikroaufgaben haben.

Die Mikroaufgaben wurden nach verschiedenen Prinzipien konstruiert, die alle unter dem Primat der kognitiven Auslastung standen (vgl. Abschnitt 6.1.1, S. 79). Daher ist zu vermuten, dass die Gestaltung der Begleitbögen in Form von Mikroaufgaben keinen anderen Einfluss auf die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung (*extraneous CL*) hat, als die Begleitbögen die keine Mikroaufgaben enthalten. Hier wird also die Nullhypothese angenommen.

HYPOTHESE 11: Die Gestaltung der Begleitbögen (Notizen/Mikroaufgaben) wirkt sich nicht auf die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung aus.

Eine Kernaussage der Theorie der kognitiven Auslastung besagt, dass die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung von dem Vorwissen der Lerner abhängt, da Lerner mit höherem Vorwissen über mehr kognitive Schemata verfügen. Zur empirischen Überprüfung in dieser Untersuchung wurde die folgende Hypothese formuliert:

HYPOTHESE 12: *Die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung ist bei Lernern mit hohem Vorwissen geringer, als bei Lernern mit niedrigem Vorwissen.*

Die letzte Hypothese, die sich auf die kognitive Auslastung der Lerner bezieht, ergibt sich aus der Überlegung, dass es ein Optimum kognitiver Auslastung gibt, bei der das Arbeitsgedächtnis ausgelastet, aber nicht überlastet ist. Lerner, deren kognitive Auslastung überhalb des Optimums liegt, sollten schlechtere Lernergebnisse erzielen, als Lerner deren Auslastung im Optimumsbereich liegt. Ebenso sollten Lerner, deren kognitive Auslastung unterhalb des Optimums liegt schlechtere Lernergebnisse erzielen, als Lerner deren Auslastung im Optimumsbereich liegt. Dies sollte sowohl für Lernergebnisse in der Faktenkenntnis, als auch für das Verständnis gelten.

HYPOTHESE 13: *Lerner, deren kognitive Auslastung sich im optimalen Bereich befindet, erzielen bessere Lernergebnisse in der **Faktenkenntnis** als ...*

- (a) ... Lerner deren kognitive Auslastung **überhalb** des Optimums liegt.
- (b) ... Lerner deren kognitive Auslastung **unterhalb** des Optimums liegt.

HYPOTHESE 14: *Lerner, deren kognitive Auslastung sich im optimalen Bereich befindet, erzielen bessere Lernergebnisse im **Verständnis** als ...*

- (a) ... Lerner deren kognitive Auslastung **überhalb** des Optimums liegt.
- (b) ... Lerner deren kognitive Auslastung **unterhalb** des Optimums liegt.

8. Methoden

8.1. Stichprobe

Entsprechend der Analyse in Kapitel 2 auf Seite 16 wurden als Zielgruppe für diese Studie Schüler aus Grund- und Leistungskursen der Sekundarstufe II (Klassenstufen 11 bis 13) ausgewählt. Die Untersuchung fand gegen Ende des zweiten Schulhalbjahres statt (Ende April bis Ende Juni), so dass die relevanten Themen in der 11. Klasse bereits abgehandelt waren. Die Untersuchung fand während der normalen Unterrichtszeit des Biologieunterrichts statt, somit bestand für die Schüler schulische Anwesenheitspflicht.

Insgesamt nahmen 144 Schüler aus zehn Biologiekursen der 11. bis 13. Jahrgangsstufe an der Untersuchung teil. Ein Kurs mit neun Schülern musste allerdings aus der Auswertung ausgeschlossen werden, da er zwischen Vor- und Nachtest zusätzlichen Unterricht zum Thema Olfaktorik erhalten hatte. Außerdem wurden 16 Schüler von der Auswertung ausgeschlossen, da sie an einem der zwei Testtage nicht anwesend waren.

Somit gingen 119 Schüler (weiblich: $n = 68$, männlich: $n = 51$) in die Auswertung ein. Das Alter der Schüler variierte zwischen 16 und 21 Jahren ($M = 18,39$; $SD = 1,17$). Unter den neun ausgewerteten Kursen waren drei Kurse ($n = 41$) in der Einführungsphase der Oberstufe (11. Klasse), ein Leistungskurs der 12. Klasse ($n = 20$) sowie ein Grundkurs ($n = 11$) und vier Leistungskurse der 13. Klasse ($n = 47$). Davon waren fünf Kurse ($n = 68$) von Gymnasien und vier Kurse ($n = 51$) von Gesamtschulen.

Die Verteilung der Versuchspersonen auf die Experimental- und Kontrollgruppe erfolgte in jedem Kurs zufällig, aber gleichmäßig. Aufgrund des Ausfalls einiger Schüler am zweiten Versuchstag konnte die Anzahl jedoch nicht exakt gehalten werden. Insgesamt ergab sich eine Kontrollgruppe von 56 Schülern (47,1%), die nur mit Notizen lernten, sowie eine Versuchsgruppe von 63 Schülern (52,9%), die mit den Mikroaufgaben lernten. Die Verteilung von weiblichen und männlichen Versuchspersonen innerhalb der Gruppen war nicht ganz paritätisch, wie aus Tabelle 8.1 auf der nächsten Seite ersichtlich wird. Weibliche Versuchspersonen waren in der Mikroaufgabengruppe etwas überrepräsentiert (63,5%). In der Notizengruppe war die Verteilung dagegen gleichmäßig.

Tabelle 8.1: Geschlechterverteilung auf die Versuchsgruppen.

Geschlecht		Versuchsgruppe		Σ
		Notizen	Mikroaufgaben	
männlich	n	28	23	51
	Prozent	50,0	36,5	42,9
weiblich	n	28	40	68
	Prozent	50,0	63,5	57,1
Σ	n	56	63	119
	Prozent	100,0	100,0	100,0

8.2. Experimentelles Design

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde ein Kontrollgruppendesign mit Pre- und Posttest entworfen. Dafür wurden die Teilnehmer zufällig auf eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe verteilt. Alle Schüler lernten mit der in Kapitel 5 auf Seite 66ff beschriebenen multimedialen Lernumgebung zum Thema der olfaktorischen Signaltransduktion. Zur explorativen Beurteilung der Lernwirksamkeit der multimedialen Lernumgebung wurde der *Lernzuwachs* der Schüler zwischen Vor- und Nachtest erhoben.

8.2.1. Variablen

Die *Gestaltung der Begleitbögen*, die zur Bearbeitung der Lernsoftware ausgehändigt wurden, stellt die eine unabhängige Variable dieser Untersuchung dar.

Dabei erhielten die Schüler der Versuchsgruppe Begleitbögen mit den in Abschnitt 6.1.2 auf Seite 79ff beschriebenen Mikroaufgaben. Diese Begleitbögen mit den insgesamt 14 *Mikroaufgaben* wurden direkt vor Bearbeitung der Lernsoftware in Form von fünf DIN-A4-Bögen im Querformat¹ ausgehändigt. Jede Mikroaufgabe war zudem mit einer Überschrift versehen, die der Überschrift eines Infobildschirms in der Software entsprach. Die Lerner wurden aufgefordert, auf diesen Bögen während der Bearbeitung der Lernsoftware die Antworten zu den Mikroaufgaben zu notieren. Zudem war auf den Begleitbögen *Platz für weitere Notizen* vorgesehen. Die Umschlagseite enthielt die Anweisung „Bitte füllen Sie diesen Begleitbogen aus.“

Um für die Kontrollgruppe alle Bedingungen so konstant wie möglich zu halten, bekamen auch die Lerner in der Kontrollgruppe Begleitbögen in Form von fünf DIN-A4-Bögen ausgehändigt, die sich nur dadurch von den Begleitbögen der Experi-

¹Das Querformat für die Arbeitsbögen wurde aus dem pragmatischen Grund gewählt, dass auf den Arbeitstischen in schulischen Computerräumen vor der Tastatur oft nicht genug Platz für einen hochformatigen Begleitbogen vorhanden ist.

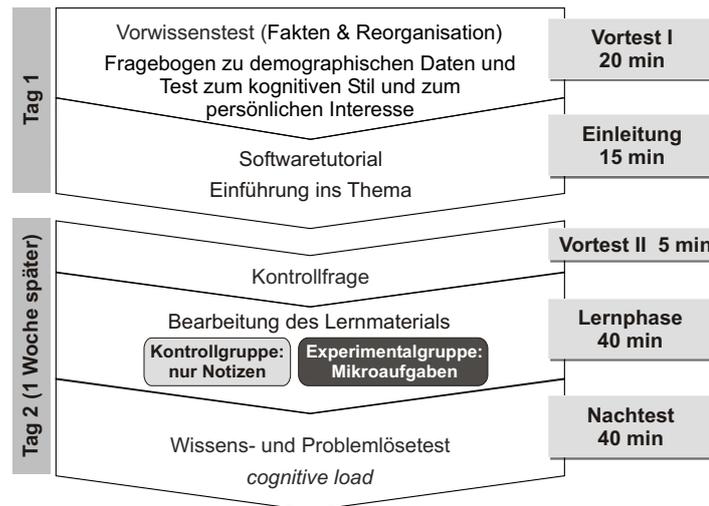


Abbildung 8.1: Der Ablauf der Untersuchung.

mentalgruppe unterschieden, dass sie die 14 Abschnitte mit den Überschriften *ohne Mikroaufgaben* erhielten. Diese Begleitbögen enthielten also statt der Mikroaufgaben *nur Platz für Notizen*. Die Umschlagseite enthielt die Anweisung „Bitte nutzen Sie diesen Begleitbogen für Ihre Notizen.“

Als weitere unabhängige Variablen, neben der Gestaltung der Begleitbögen, wurden das themenspezifische *Vorwissen* (hoch/mittel/niedrig), die Lernermerkmale *kognitive Ausprägung* (stark/gering) und *individuelles Interesse* (hoch/niedrig) sowie die *optimale kognitive Auslastung* (unter Optimum/im Optimum/über Optimum) erhoben.

Die abhängigen Variablen, die in dieser Arbeit erhoben wurden, waren zum einen die Lernergebnisse der Schüler, unterteilt in Faktenkenntnis und Verständnis, zum anderen die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung durch Begleitbögen und die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung.

Als Kontrollvariablen wurde das *situationale Interesse* der Lerner mit erhoben, das im Falle einer Ungleichverteilung zwischen den Gruppen der unabhängigen Variablen als Kovariaten in die Berechnung einfließen soll.

8.2.2. Ablauf

Die Untersuchung fand bei allen teilnehmenden Kursen an zwei, etwa eine Woche auseinanderliegenden Terminen, während der normalen Unterrichtsstunden des Biologiekurses statt. Der Ablauf der Untersuchung ist in Abbildung 8.1 dargestellt.

Am ersten Untersuchungstag wurden in einer Einzelstunde ein Vortest zur Erhebung demographischer Daten, des Vorwissens (themenspezifische Faktenkenntnis) und weiterer psychologischer Variablen (vgl. Anhang C.1, S. 185). Nach einer vor-

gegebenen Anleitung von den Versuchspersonen ein persönlicher Code erstellt, der auf diesen und alle weiteren Fragebögen eingetragen wurde um so die Daten zusammenzuführen. Nach 20 Minuten wurden die Vortestfragebögen eingesammelt und die Versuchsteilnehmer bearbeiteten für 15 Minuten in Einzelarbeit an Desktop-PCs oder Laptops die Einleitung der Lernsoftware, die aus einer kurzen Einführung in die Bedienung der Software, sowie der in Abschnitt 5.2.1 auf Seite 69 beschriebenen Einleitung bestand.

Am zweiten Untersuchungstag wurde in einer Doppelstunde zunächst mit einer einzelnen kurzen halboffenen Kontrollfrage, die identisch mit der Frage des Erinnerungstests war (vgl. Abschnitt 8.3.3, S. 103), überprüft, ob die Lerner bereits vor dem Treatment Faktenkenntnis über die olfaktorische Signaltransduktion besaßen. Nach 5 Minuten wurde der Fragebogen eingesammelt und die Begleitbögen wurden ausgeteilt. Die Verteilung der unterschiedlichen Bögen (Mikroaufgaben bzw. Notizen) erfolgte zufällig, womit gleichzeitig eine Randomisierung von Versuchs- und Kontrollgruppe erreicht wurde. Anschließend arbeiteten die Lerner für 40 Minuten in Einzelarbeit an mit Kopfhörern ausgestatteten multimedialfähigen Desktop-PCs oder Laptops und füllten parallel dazu die Begleitbögen aus. Nach Ablauf der 40 Minuten wurden die Begleitbögen eingesammelt, und der Nachtestfragebogen mit dem Faktenkenntnis- und Verstehenstest und Testskalen zu kognitiver Auslastung, situativem und individuellem Interesse wurde ausgeteilt (vgl. Anhang C.2, S. 193). Für die Beantwortung der Nachtestitems hatten die Schüler 40 Minuten Zeit.

8.3. Material

8.3.1. Lernumgebung

Die multimediale Lernumgebung wurde in Kapitel 5 auf Seite 66ff beschrieben, Abbildungen aller Infobildschirme finden sich in Anhang A ab Seite 166.

8.3.2. Testinstrumente für psychologische Konstrukte

Interesse

Es wurden zwei Skalen eingesetzt, von denen die eine das situationale Interesse operationalisiert, die andere das individuelle Interesse (vgl. Anhang D.3.2, S. 212). Das individuelle Interesse an Biologie und Naturwissenschaften wurde über eine vierstufige Skala (vier Items, $\alpha = 0,80$) operationalisiert, deren Items die Häufigkeit der Beschäftigung mit Naturwissenschaften und Biologie sowie die Vorliebe für diese Domäne erfragen.

Das situationale Interesse wurde über eine Skala mit fünf Items von Urhahne

(2002) gemessen, die mit einem Reliabilitätskoeffizienten von $\alpha = 0,83$ ebenfalls eine mittlere Reliabilität² erreicht.

Kognitiver Stil

Zur Erhebung des kognitiven Stils werden, angelehnt an Nerdel (2003), vier Subskalen aus dem *Individual Difference Questionnaire* (IDQ) von Paivio und Harshman (1983) verwendet, die vier Faktoren der sechsfaktoriellen Auflösung des IDQ entsprechen (vgl. Tab. D.1, S. 211). Zwei der verwendeten Subskalen beziehen sich auf den verbalen kognitiven Stil, „gute verbale Ausdrucksfähigkeit und Sprachbeherrschung“ (VERBAUSDR, vier Items) und „Selbsteinschätzung von Leseschwierigkeiten“ (VERBLES, zwei Items). Die zwei anderen Subskalen beschreiben den visuellen kognitiven Stil, mit vier Items zum „gewohnheitsmäßigen Gebrauch von bildhaften Vorstellungen“ (VISVORST) und zwei Items zur „Nutzung von Bildern zum Problemlösen“ (VISPROBL).

Die Skalen haben sich in einer Studie von Nerdel (2003, S. 62 f.) grundsätzlich als brauchbar erwiesen. Der Reliabilitätskoeffizient Cronbachs Alpha für die Subskala VERBAUSDR lag bei $\alpha = 0,75$, und für die Subskala VERBLES trotz der geringen Itemzahl bei $\alpha = 0,64$. Eine Faktorenanalyse zeigte zudem, dass die Items zur Beschreibung verbaler Fähigkeiten auf den gleichen Faktoren laden, wie bei Paivio und Harshman. Diese Subskalen wurden im Wesentlichen auch für diese Studie übernommen. Die nur zwei Items umfassende Subskala VERBLES wurde noch um ein weiteres Item³ aus dem IDQ erweitert. Die Subskala VERBAUSDR wurde direkt übernommen.

Diese beiden Skalen zeigten auch in dieser Studie gute (VERBAUSDR: $\alpha = 0,82$) bzw. etwas zu niedrige (VERBLES: $\alpha = 0,61$) Reliabilitätswerte. Das neu in die Teilskala VERBLES eingeführte Item konnte überzeugen, da ohne dieses Item nur ein Cronbachs Alpha von $\alpha = 0,53$ erreicht würde. Als gemeinsame Skala zur Messung des verbalen kognitiven Stils ergibt sich ein Reliabilitätskoeffizient von $\alpha = 0,75$.

Die Faktorladungen, die einen visuellen kognitiven Stil auszeichnen, wichen in der Studie von Nerdel allerdings deutlich von den von Paivio und Harshman gemessenen Werten ab. Zwei der Items, die im IDQ den gewohnheitsmäßigen Gebrauch von bildhaften Vorstellungen beschreiben, ließen sich gar nicht sinnvoll zuordnen, während die anderen Items auf einem Faktor luden, den Nerdel zur Beschreibung von „Visualisierern“ verwendet.

Nerdel (S. 64) führt dies einerseits auf Übersetzungsschwierigkeiten, andererseits auf die Verwendung zu komplizierten Vokabulars im Originalfragebogen von Paivio und Harshman zurück, der an Psychologiestudenten getestet wurde. Tatsächlich

²Die Bewertung des Reliabilitätskoeffizienten Cronbachs α erfolgt nach Weise, 1975, S. 219, zitiert nach Bortz & Döring, 2002, S. 199.

³„In meiner Freizeit lese ich oft und viel.“

sind bezeichnenderweise die beiden herausgefallenen Items solche, die die Visualisierer charakterisieren. Mögliche Verständnisschwierigkeiten der Visualisierer mit den Items sind also nicht unwahrscheinlich. Die zwei betreffenden Items wurden daher etwas umformuliert.

Eine Übersetzungsschwierigkeit des Wortes „scene“ könnte den Sinn des einen Items (VISVORST-2) verändert haben. Daher wird in der Skala für diese Untersuchung aus „Wenn ich mich an eine Szene erinnere, denke ich eher in Worten als in Bildern.“ das Item „Wenn ich mich an einen *Vorgang* erinnere, benutze ich dazu eher Worte als Bilder.“ Im einem zweiten Item (VISVORST-1) wurde statt „Ich finde es schwierig, mir etwas bildlich vorzustellen.“ etwas näher am Original übersetzt mit: „Es fällt mir schwer, mir etwas als Bild vor meinem inneren Auge vorzustellen.“⁴

Der derart veränderte Test (vgl. Anhang D.3.1, S. 211) erzielte für die beiden Subskalen, die sich auf einen verbalen kognitiven Stil beziehen, akzeptable Reliabilitäten (VISVORST: $\alpha = 0,69$; VISPROBL: $\alpha = 0,73$). Das neu übersetzte Item VISVORST-1 konnte allerdings auch in dieser Studie nicht überzeugen, da der Trennschärfekoeffizient mit 0,21 deutlich unter denen der drei anderen Items der Subskala lag. Deshalb wurde dieses Item für die weitere Auswertung eliminiert. Die zusammengefasste Skala „Visueller kognitiver Stil“ kann mit einer Reliabilität von $\alpha = 0,84$ überzeugen.

Kognitive Auslastung

Zur Erfassung der kognitiven Auslastung wurde in dieser Studie ein Testinstrument von Urhahne (2002) adaptiert, das auch bei Nerdel (2003) Anwendung fand. Das Instrument besteht aus vier Subskalen: „Selbsteinschätzung der benötigten Anstrengung“ (zwei Items), „Subjektive Beurteilung der geistigen Auslastung“ (zwei Items), „Selbstberichtete Bewertung des inhaltlichen Verständnisses“ (zwei Items) und „Wahrgenommene optimale Komplexität des Lernprogramms“ (zwei Items).

Angelehnt an die in Abschnitt 3.3.6 auf Seite 36 dargestellte theoretische Unterscheidung der kognitiven Auslastung nach Sweller et al. (1998) in *intrinsic*, *extraneous* und *germane cognitive load*, sowie der *freien Kapazität* des Arbeitsgedächtnisses, wurden einige eigene Erweiterungen der Skalen vorgenommen. Die Subskalen mit allen Items sind in Anhang D.3.3 auf Seite 213 dargestellt.

Die Subskala „Optimale Komplexität“ von Urhahne wurde wie folgt modifiziert: Die zwei Items zur optimalen Komplexität wurden leicht umformuliert, so dass sie sich klar auf den Lerngegenstand beziehen und nun als „Wahrgenommene optimale Komplexität des Lerninhalts“ (zwei Items) bezeichnet werden kann. Außerdem wurde ein neues Item eingeführt, das sich auch auf die Komplexität bezieht, aber nicht im Sinne eines Optimums formuliert ist, so dass es mit den anderen linearen Items vergleichbar ist („Wahrgenommene Komplexität des Lerninhalts“, ein Item). Dieses

⁴Originalitem im IDQ: „I find it difficult to form a mental picture of anything.“

Item kann gemeinsam mit den linearen Subskalen Geistige Auslastung, Verständnis und Anstrengung als Indikatoren für *intrinsic cognitive load* gedeutet werden.

Zusätzlich wurden zwei neue Subskalen konstruiert, die eine mit zwei Items zur „Wahrgenommenen kognitiven Auslastung durch die Bedienung der Lernumgebung“, die andere mit drei Items zur Messung der „Wahrgenommenen kognitiven Auslastung durch die Begleitbögen“. Beide Subskalen besitzen ebenfalls eine lineare Antwortskala. Diese beiden Subskalen sollen dazu dienen, den Einfluss der Bedienung der Lernsoftware bzw. der Begleitbögen auf den *extraneous cognitive load* zu operationalisieren.

Um einen weiteren Hinweis auf die Qualität der kognitiven Auslastung zu bekommen, wurden auch parallel zu den Subskalen Anstrengung und Geistige Auslastung Items formuliert, die eine „Wahrgenommene optimale Anstrengung“ (zwei Items) und eine „Wahrgenommene optimale geistige Auslastung“ (zwei Items) beschreiben. Mittels dieser Subskalen soll die *freie Kapazität* des Arbeitsgedächtnisses beschrieben werden. Liegen die wahrgenommenen optimalen Werte für die Komplexität, Anstrengung und kognitive Auslastung unterhalb des Optimums, so ist dies ein Hinweis auf freie Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses. Liegen sie oberhalb des Optimums kann von kognitiver Überlastung gesprochen werden. Optimale Werte deuten dagegen auf wenig freie Kapazitäten ohne Überlastung hin.

Alle Subskalen zur kognitiven Auslastung wurden als fünfstufige Ratingskalen konstruiert, um mit der mittleren Position einen Optimalwert zur Verfügung zu stellen.

Zur Bestimmung der Dimensionalität des Tests wurden zwei Faktorenanalysen der eingesetzten Items durchgeführt. Dabei wurden die „Optimumitems“ und die linearen Items getrennt voneinander untersucht, da sich die Polung der Skalen grundsätzlich voneinander unterscheidet. Die Varimax-rotierte Lösung für die linearen Items ergibt drei Komponenten (vgl. Tab. 8.2 auf der nächsten Seite), die insgesamt 64,3% der Gesamtvarianz aufklären.

Die drei Items zur „Wahrgenommenen Auslastung durch Begleitbögen“ erreichen eine hohe Reliabilität ($\alpha = 0,88$) und laden überzeugend auf einem Faktor. Sie werden daher als eigene Skala in den Auswertungen berücksichtigt, gerade weil diese Skala Aufschluss über mögliche Einflüsse des Treatments auf die wahrgenommene kognitive Belastung liefern kann.

Die zwei Items „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch Softwarebedienung“ laden auf einem gemeinsamen Faktor. Dieser Faktor wird im folgenden als eine Skala behandelt, die trotz der geringen Itemzahl eine ausreichende Reliabilität erzielt ($\alpha = 0,67$).

Alle anderen linear formulierten Items laden dagegen auf einem zweiten Faktor. Die Items dieses Faktors beziehen sich alle auf den Lerngegenstand, weshalb dieser Faktor, ebenfalls entsprechend der Theorie, als Skala zur „Wahrgenommene kogni-

Tabelle 8.2: Faktorenanalyse der linearen Items zur lerngegenstandsbezogenen und lernumgebungsbezogenen kognitiven Auslastung. Rotierte Komponentenmatrix (Varimax).

Item	Item-Interkorrelationen			Skala
	Kmp. 1	Kmp. 2	Kmp. 3	
Geistige Auslastung	0,83			
Verständnis-1	0,76			
Verständnis-2	0,58			Kognitive Auslastung durch Lerngegenstand
Anstrengung-1	0,67			
Anstrengung-2	0,76			
Komplexität des Lerninhalts	0,74			
Auslastung durch Begleitbögen-1		0,91		
Auslastung durch Begleitbögen-2		0,87		
Auslastung durch Begleitbögen-3		0,86		
Komplexität der Navigation-1			0,88	Kognitive Auslastung durch Softwarebedienung
Komplexität der Navigation-2			0,83	

Anmerkungen. Kmp.: Komponente; Als Extraktionsmethode wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit der Rotationsmethode Varimax mit Kaiser-Normalisierung gewählt.

tive Auslastung durch den Lerngegenstand“ behandelt wird. Hier kann die innere Konsistenz überzeugen ($\alpha = 0,84$).

Die Faktorenanalyse der Items die auf ein Optimum hin formuliert sind, zeigt dagegen, dass es sich um eine eindimensionale Skala handelt. Die Item-Interkorrelationen liegen zwischen 0,84 und 0,71 und die eine Komponente klärt 61,9% der Gesamtvarianz auf. Diese Items werden somit ebenfalls zu einer Skala zusammengefasst, die als „Wahrgenommene optimale kognitive Auslastung“ bezeichnet wird. Entsprechend hoch ist auch die Reliabilität dieser Skala ($\alpha = 0,87$).

8.3.3. Wissenstests

Begriffsklärung

Der Wissensbegriff, so wie er in dieser Arbeit verstanden wird, bezieht sich auf biologische Konzepte und Inhalte. Er setzt sich somit aus den zwei Wissensaspekten Faktenkenntnis und Verständnis zusammen. Zur Operationalisierung von Verständnis wird hier zudem der Anwendungsaspekt des Problemlösens verwendet.

Faktenkenntnis besteht in dem reinen Erinnern von Fachtermini, formalen Regeln, Gesetzen und Definitionen, während *konzeptuelles Verständnis* das anwendbare Wissen über Zusammenhänge, Phänomene und Ereignisse sowie Veränderungen beschreibt. *Problemlösen* stellt dagegen die Fähigkeit dar, in einer gegebenen Situation konzeptuelles Verständnis anzuwenden um Vorhersagen zu treffen, Fehler zu

beheben oder eine Umgestaltung zu planen. Insofern kann Problemlösen als Anwendungsfall für konzeptuelles Verständnis verstanden werden.

Die Aufteilung der Wissensaspekte in Faktenkenntnis und konzeptuelles Verständnis lehnt sich einerseits an die Unterscheidung Mayers (2001, S. 13 f.) von *remembering* und *understanding* an, die bei Mayer wiederum über zwei verschiedene Tests gemessen werden: *retention tests* und *transfer tests*. Entsprechend werden auch hier zwei unterschiedliche Tests zum Einsatz kommen, ein Test zur Erhebung der Faktenkenntnis und ein Verständnistest. Dies entspricht auch der Auffassung von naturwissenschaftlichen Konzepten und Inhalten, die der PISA-2000-Studie zugrunde liegt (vgl. Prenzel, Rost, Senkbeil, Häußler & Klopp, 2001, S. 199 f.), aus der zudem die hier verwendete Terminologie übernommen wurde.

Der Anwendungsaspekt des Problemlösens findet sich ebenfalls bei Mayer (2001, S. 29), der zur Erhebung des konzeptuellen Verständnisses in seinem *Transfer*-Test Schüler Fragen beantworten lässt, in denen diese Probleme lösen müssen. In analoger Form findet auch das Problemlösen in der PISA-2003-Studie Anwendung (vgl. Leutner, Klieme, Meyer & Wirth, 2004).

Verwendete Wissenstests

Im Vortest wurden ein Vorwissenstest zur Faktenkenntnis und ein Lernzuwachstest zur Faktenkenntnis eingesetzt. Im *Vorwissenstest* kamen Items zum Einsatz die Wissen im nahen Umfeld der Software erfragten, aber im Zusammenhang mit Themen des Lehrplans der Oberstufe stehen. Der *Lernzuwachstest* weist einen deutlicheren Bezug zur Software auf, da nach Fakten gefragt wird, die explizit oder implizit in der Software behandelt werden. Auf die Erhebung von Verständnis wurde im Vortest verzichtet, da der gewählten Stichprobe das Thema „Signaltransduktion“ unbekannt war, und somit ein Verständnis im Vortest ausgeschlossen werden kann. Im Nachtest kamen erneut die Items des *Lernzuwachstests* zum Einsatz, außerdem wurden ein Faktenkenntnistest und ein Verständnistest eingesetzt. Der *Faktenkenntnistest* diente, anders als der Vorwissenstest und der Lernzuwachstest, ausschließlich der Erhebung der speziellen, direkt anhand der Software erlangten Faktenkenntnis. Der speziell entwickelte *Verständnistest* erforderte von den Lernern die problemorientierte Anwendung des mittels der Lernumgebung erlangten Verständnisses. Im Folgenden werden die Testinstrumente im Einzelnen vorgestellt.

Vorwissenstest

Der für diese Studie verwendete Vorwissenstest besteht aus sechs Items, die konstruiert wurden, um das themenspezifische Vorwissen im Bereich der Faktenkenntnis zu erheben. Die kompletten Items mit den Antwortmöglichkeiten finden sich in Anhang D.1 auf Seite 207. Die Items beziehen sich nicht direkt auf die in der Lernsoftware behandelten Themen, sondern zielen auf eine Kenntnis von Fakten angrenzender

Themen ab. Es wurden Items konstruiert, die sich durch die richtige Antwortmöglichkeit und die Distraktoren auf folgende Themen beziehen:

- Kenntnis des Grundbauplans und der Strukturen eines Neurons (Soma, Dendriten, Axon, Ranvier-Schnürring, Synapsen),
- Erregungsleitung am Axon (unidirektionale Ausbreitung, saltatorischer Mechanismus der Impulsleitung, Funktion von Ionenkanälen),
- Membranen als Zellbegrenzung und Bau einer biologischen Membran,
- an der Auslösung einer Signalkette beteiligte Strukturen,
- Ablauf einer enzymatisch katalysierten Reaktion.

Vier dieser Items sind in Form von *Single-Choice*-Fragen abgefasst, wobei ein Item bildlich repräsentiert ist (vgl. Anhang D.1, S. 207). Diese vier Items bieten also jeweils vier Antwortvorgaben an, von denen jeweils nur eine richtig ist.

Zwei Items erfordern das Anfertigen einer Zeichnung. Die Auswertung der Zeichnungsitems erfolgt nach folgendem Bewertungssystem: Bei Darstellung und Beschriftung wichtiger Strukturen werden festgelegte Punktzahlen vergeben (vgl. Anhang D.1, S. 208). Fehlt eine Beschriftung, wird diese Punktzahl halbiert. Die Beschriftung muss korrekt, aber nicht identisch mit den hier genannten sein. Wird beispielsweise ein Protein das die Membran durchspannt mit „eingelagert“ beschriftet, so wird dies ebenfalls als gültige Beschriftung gewertet. Wird ein Item mit mindestens 50% der erreichbaren Punkte beantwortet, so wird es als „richtig“ codiert sonst als „falsch“.

Eine Itemanalyse zeigte, dass der Test sich für die Versuchspersonen als relativ schwierig herausstellte. Die Schwierigkeitsindizes lagen zwischen 44,5% und 18,5%. Zwei Items blieben unterhalb des empfohlenen Minimalwerts von 20%, waren also sehr schwierig. Allerdings ist mit sechs Items bereits die untere Grenze einer sinnvollen Skalengröße erreicht, so dass die zwei Items trotz der hohen Schwierigkeit beibehalten wurden. Zudem zeigt sich, dass der Test trotz einer gewissen inhärenten Heterogenität – es werden ja unterschiedliche Wissensbereiche abgefragt – immerhin eine passable Reliabilität erreicht, wie die Berechnung von Cronbachs α zeigt ($\alpha = 0,583$). Dies ist sicherlich kein befriedigender Wert, trotzdem kann eine grundsätzliche Verwendbarkeit der Vorwissensskala angenommen werden.⁵

Test zur Erhebung des Lernzuwachses (TEL)

Während der Vorwissenstest sich auf angrenzende Themen bezieht, besteht bei den Fragen des TEL ein deutlicherer Bezug zum Thema der olfaktorischen Signaltransduktion. Um den Lernzuwachs der Versuchspersonen im Bereich Faktenkenntnis zu erheben, wurden ursprünglich acht Items konstruiert, die sowohl im Vortest I als

⁵Cronbachs α sollte im Zusammenhang mit Wissenstests nicht zu streng bewertet werden, da Wissenstest aufgrund der unterschiedlichen Inhalte einzelner Fragen als heterogen einzustufen sind. Bei heterogenen Tests unterschätzt Cronbachs α allerdings die Reliabilität (Bortz & Döring, 2002, S. 198).

auch im Nachtest eingesetzt wurden. Die Differenz aus dem erreichten Nachtestergebnis und dem Vortestergebnis gibt den Lernzuwachs einer Versuchsperson an. Alle verwendeten Items sind im *Single-Choice*-Format mit vier Antwortmöglichkeiten abgefasst (vgl. Anhang D.2, S. 209). Vier der Items beziehen sich explizit auf die in der Software behandelten Themen. Zwei Items sind so konstruiert, dass sie auch mit allgemeinen themenspezifischen Kenntnissen (Funktion von Membranproteinen, intrazelluläre Botenstoffe) zu beantworten sind.

Es wurden Items zu den folgenden, in der Lernsoftware behandelten Themen konstruiert:

- intrazellulärer Botenstoff cAMP (LZ01),
- Funktion von Membranproteinen (LZ02),
- Strukturen der Zilienmembran von Riechsinneszellen (LZ03),
- Bau von Duftstoffrezeptoren (LZ04 und LZ07),
- Elemente und Ablauf der Signaltransduktion (LZ05 und LZ06).

Eine strenge Itemanalyse des Tests zur Erhebung des Lernzuwachses (TEL) ist aus zwei wesentlichen Gründen problematisch. Zum einen konnten aufgrund der gesamten Testlänge nicht sehr viele Items eingesetzt werden, was den Spielraum zur Elimination von Items reduziert. Zum anderen ist der zu erwartende Lernzuwachs bei der eingesetzten Lernumgebung vor allem dadurch gekennzeichnet, dass die Lerner neue Sachverhalte erlernen. Daher ist im Vortest bei vielen Items mit geringen Schwierigkeitsindizes, also einer geringen Antwortwahrscheinlichkeit, zu rechnen. Dies senkt die Reliabilität des Vortests natürlich erheblich. Aus diesen inhaltlichen Gründen wird hier auf eine Itemanalyse des Vortests verzichtet. Als Minimalkriterium sollen aber die Items des Nachtests im Folgenden genauer analysiert werden.

Ein Item (VT01/NT02)⁶ wurde aufgrund eines zu niedrigen Trennschärfekoeffizienten (0,05) eliminiert. Das Item LZ07 (VT17/NT17) wurde trotz eines sehr hohen Schwierigkeitsindex im Nachtest (98% der Versuchspersonen konnten das Item im Nachtest richtig beantworten) beibehalten, da es sich zumindest für den Vortest mit einem Schwierigkeitsindex von 61,3% als brauchbar erwiesen hat. Item LZ05⁷ (VT13/NT16) lag bei kritischen 84,5%. Da das Item jedoch den inhaltlich wesentlichen Punkt des Ablaufs der Signalkette erfragte, wurde es trotzdem beibehalten. Die restlichen Schwierigkeitsindizes im Nachtest lagen zwischen 29,3% und 70,7%. Der so konstruierte Test aus den verbleibenden sieben Items (vgl. Anhang D.2, S. 209) erreichte im Nachtest einen Reliabilitätswert von $\alpha = 0,63$, der als ausreichend bewertet werden kann.

⁶Die Itemnummer in Klammern gibt bei eliminierten Items die Position im Vortest- bzw. Nachtestfragebogen an, die in Anhang C ab Seite 185 zu finden sind.

⁷Die Itemnummer bezieht sich auf den in Anhang D.2, S. 209 dargestellten Test.

Test zur Erhebung der Faktenkenntnis (TEF)

Die Erhebung der Faktenkenntnis im Nachtest zielte darauf ab zu überprüfen, wie viel die Schüler von dem in der Lernsoftware behandelten Thema der olfaktorischen Signaltransduktion erinnerten. Dieser Test war also noch deutlicher auf die Lerninhalte der Software ausgerichtet als der Lernzuwachstest.

In diesem Test wurden die Schüler aufgefordert, die folgende halboffene Frage⁸ zu beantworten:

Stellen Sie sich vor, Ihnen steigt Kaffeeduft in die Nase. Beschreiben Sie den Weg des Signals von der Kaffeetasse bis zur Geruchswahrnehmung.

Die Antworten wurden dann daraufhin untersucht, welche der in der Software genannten Inhalte, unterteilt in Haupt- und Unterpunkte, von den Versuchspersonen genannt werden konnten. Die folgende Liste beschreibt den maximal erwarteten Erwartungshorizont. Hauptpunkte sind fett gesetzt, Unterpunkte normal.

1. **Der Duftstoff bindet an den Duftstoffrezeptor.**
2. Der Rezeptor erfährt eine Konfigurationsänderung.
3. Das nicht aktive G-Protein bindet GDP.
4. **Das G-Protein dockt am Rezeptorprotein an.**
5. GDP wird durch GTP ausgetauscht und so aktiviert.
6. **Das G-Protein dockt an der Adenylatcyclase an.**
7. Die Adenylatcyclase ist aktiviert.
8. **Die Adenylatcyclase katalysiert die Umsetzung von ATP zu cAMP.**
9. **Das cAMP aktiviert/öffnet Ionenkanäle.**
10. **Ionen strömen in die Zilie ein.**
11. Die führt zu einer Depolarisation, die letztlich ein Aktionspotential auslöst.

Einer dieser sechs Haupt- und fünf Unterpunkte wurde als genannt gezählt, wenn er sinngemäß wiedergegeben war. Begriffe durften auch gekürzt auftauchen (z. B. „Rezeptor“ für „Rezeptorprotein“). Auch Zeichen wie Pfeile, Abkürzungen oder Zeichnungen, die erkennbar den Sinn einer Aussage repräsentierten, waren gültig.

Je nachdem wieviele der Haupt- bzw. Unterpunkte ein Schüler genannt hat, wurde der Test mit einer Kategorie bewertet, die aussagt, wieviel der Schüler von der Software erinnert. In Tabelle 8.3 auf der nächsten Seite ist dargestellt, nach welchen Maßstäben eine Kategorisierung der Antworten erfolgt ist.

Die Kategorisierung wurde von zwei Urteilern vorgenommen. Die Übereinstimmung der Urteiler wurde anhand eines Subsets von 40 zufällig ausgewählten Versuchspersonen überprüft. Die Übereinstimmungsrate zwischen den Urteilern (*inter-rater reliability*) war hoch (Cohens $\kappa = 0,83$) und bei nicht übereinstimmender Kodierung wurde in gegenseitigem Einverständnis eine Kategorie festgelegt.

⁸Zur Unterscheidung zwischen offenen und halboffenen Fragen vgl. (Bortz & Döring, 2002, S. 212).

Tabelle 8.3: Beschreibung der Kategorien im Test zur Erhebung der Faktenkenntnis (TEF).

Kategorie	Beschreibung
sehr viel erinnert	alle Haupt- und Unterpunkte genannt
viel erinnert	max. ein Hauptpunkt fehlt, ein oder zwei Unterpunkte fehlen
eher viel erinnert	max. ein Hauptpunkt fehlt, mehr als zwei Unterpunkte fehlen
eher wenig erinnert	zwei oder drei Hauptpunkte nicht genannt
wenig erinnert	weniger als drei Hauptpunkte, aber mehr als zwei Unterpunkte genannt
sehr wenig erinnert	weniger als drei Unterpunkte genannt
fehlender Wert	keine Antwort

Verständnistest

Im Nachtest wurde neben den TEL-Nachtestitems und der TEF-Frage auch das konzeptuelle Verständnis der Lerner erhoben. Entsprechend der Theorie sollten die Mikroaufgaben die Qualität des mentalen Modells optimieren. Um die sich daraus ergebenden Hypothesen zu überprüfen, wurde ein Test zum *Verständnis im weiteren Sinne* entwickelt, der zur Operationalisierung der Qualität des mentalen Modells dienen soll. Für einen solchen erweiterten Verständnisbegriff werden zwei wesentliche Komponenten des oben definierten Wissensbegriffs kombiniert: Ein Schüler hat dann ein Verständnis von einem Sachverhalt erlangt, besitzt demnach also ein elaboriertes mentales Modell, wenn er in der Lage ist, das erlangte konzeptuelle Verständnis einzusetzen, um ein Problem zu lösen, das mit dem Konzept in Verbindung steht.

Theoriebasis. Um Aufgaben zu entwickeln, die eine Anwendung von Wissen durch *Problemlösen* testen, ist es zunächst notwendig zu klären, wie ein Problem definiert werden kann. Grundsätzlich muss bei einem Problem eine Barriere beseitigt werden um von einem Anfangszustand über einen bestimmten Weg zu einem angestrebten Endzustand zu kommen (Klix, 1971, S. 639 f.; Dörner, 1976, S. 10 f.; vgl. auch Putz-Osterloh, 1988, S. 247). In der folgenden Abbildung ist diese Beziehung der drei Problemkomponenten Ausgangszustand, Weg und Zielzustand dargestellt.

**Abbildung 8.2:** Die drei Komponenten eines Problems.

Die Barriere besteht meist darin, dass *der Weg* vom Ausgangszustand zum Zielzustand verstellt ist. Es liegt allerdings nach obiger Definition auch dann ein Problem vor, wenn die „Barriere“ darin besteht, dass die *Ausgangssituation* unbekannt oder zum Erreichen des erwünschten Zielzustandes über einen gegebenen Weg verändert werden muss. Ebenso handelt es sich um ein Problem, wenn zwar von einer

bekannten Ausgangssituation ein bestimmter Weg beschritten werden soll, aber der *Zielzustand* zunächst genau bestimmt werden muss (vgl. Abb. 8.3).

Zur Erhebung der Fähigkeit des Problemlösens in der gegebenen Domäne wurde für diese Studie, angelehnt an Mayer (2001), ein Test entwickelt, der die folgenden drei Aufgabentypen enthält, die sich auf die drei Teilkomponenten eines Problems beziehen.

Umgestaltung Durch Umgestaltung der Ausgangssituation muss die Situation so geändert werden, dass ein gegebener Weg beschritten werden kann, um das bekannte Ziel zu erreichen (vgl. Abb. 8.3a).

Fehlerbehebung Durch Analyse einer Anfangssituation, die fehlerbehaftet ist, und eines angestrebten Endzustandes, in dem diese Fehler behoben sind, muss die Barriere, die den Weg verstellt, identifiziert und beseitigt werden (vgl. Abb. 8.3b).

Vorhersage Ausgehend von einer gegebenen Ausgangssituation und einem ebenfalls bekannten geplanten Weg muss der Zielzustand vorgeschätzt werden (vgl. Abb. 8.3c).

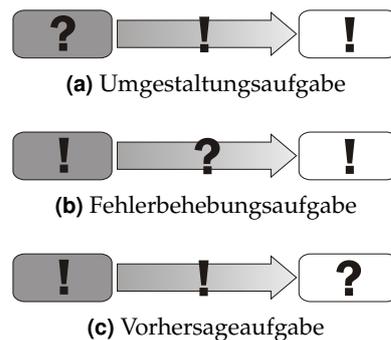


Abbildung 8.3: Struktur der Mayerschen Problemlöseaufgaben in Bezug zu den drei Komponenten eines Problems (Ausgangszustand, Weg, Zielzustand).

In der PISA-2003-Studie (Prenzel et al., 2004) wurde im internationalen Test zum analytischen Problemlösen eine analoge Einteilung in drei unterschiedliche *Problemstellungen* vorgenommen, indem unterschieden wird zwischen (a) Systeme analysieren und entwerfen (b) Fehler suchen und (c) Entscheidungen treffen (vgl. Leutner et al., 2004, S. 148 f.). Analyse und Entwurf eines Systems entspricht der Analyse und Veränderung der Ausgangssituation, Fehler suchen der Identifikation der Barriere und das Treffen von Entscheidungen ist auf das Abwägen unterschiedlicher Zielzustände angewiesen.

Mit den drei Aufgaben dieses Tests, die in Form halboffener Fragen gestellt sind, soll jeweils eine dieser Problemstellungen realisiert werden.

Das *konzeptuelle Verständnis*, das mittels der Anwendungskomponente Problemlösen eingesetzt werden soll, bezieht sich auf das in der Software behandelte Hauptkonzept der Signaltransduktion über intrazelluläre Botenstoffe (vgl. Abschnitt 2.2, S. 17). Zur Realisation wurden drei Teilkonzepte dieses Hauptkonzeptes identifiziert, die gemeinsam ein umfassendes Bild des Hauptkonzeptes zeigen. Diese Subkonzepte sind (a) das Prinzip der kaskadenartigen Verstärkung des Signals über mehrere Schritte, (b) beeinflussende Faktoren auf anderen Systemebenen und (c) der Ablauf der Signalkette über verschiedene, voneinander abhängige Schritte. Jede der Aufgaben zielt in Form einer Problemstellung auf eines dieser Teilkonzepte ab.

Das Ergebnis des Gesamttests zeigt somit, inwieweit ein Lerner in der Lage ist erworbenes konzeptuelles Verständnis der Signaltransduktion auf durch Problemlösen anzuwenden. Daraus kann wiederum auf ein elaboriertes, stabiles mentales Modell rückgeschlossen werden.

Items, Itemkodierung und Kategoriensystem. Zur Auswertung der entwickelten Items wurde ein zweistufiges Kodiersystem entworfen, das auf der ersten Stufe die gültigen Argumente innerhalb einer Antwort bestimmt und auf der zweiten Stufe diese Argumente nach einem festgelegten Schema in vier Kategorien einteilt. Diese zweite Stufe dient dazu, die Antworten aller drei Fragen gleich zu gewichten.

Im Folgenden sind die drei Aufgaben⁹ und Beispiele für mögliche Antworten sowie das Schema zur Kategorisierung für jede Frage dargestellt. Bei der Auswertung waren alle Antworten gültig, die die Idee einer möglichen Antwort ausdrückten, ohne Rücksicht auf den Schreibstil oder die Verwendung der richtigen Terminologie. Antworten die auf reinem Alltagswissen basieren oder trivial sind, wurden in allen Aufgaben als niedrigste Kategorie (Kategorie 0) gewertet.

Item 1: Umgestaltung/Signalverstärkung

[...] Nach allem, was Sie über die Funktionsweise der menschlichen Nase wissen: Wie könnte das menschliche Riechsystem umgestaltet werden, damit es empfindlicher auf Geruchsstoffe reagiert?

Ein mögliches Argument wäre beispielsweise die Erleichterung des Starts der Transduktionskaskade (z. B. durch leichteres Andocken der Duftstoffe). Die Antwort „Man müsste eine größere Oberfläche der Nasenschleimhaut konzipieren.“ fällt zum Beispiel darunter. Die zweite Kodierungsstufe verläuft bei dieser Antwort über die Anzahl der genannten Argumente. Kategorie 1 wird bei einem, Kategorie 2 bei zwei und Kategorie 3 bei mehr als zwei gültigen Argumenten erreicht.

⁹Die Aufgaben sind hier um eine im wesentlichen situierende Einleitung gekürzt wiedergegeben. Die vollständige Version der Aufgaben sind in Anhang C.2 auf Seite 193 (Fragen 3, 7 und 14 im zweiten Teil des Nachttests) dargestellt.

Item 2: Fehlerbehebung/Systemebenen

[...] Wenn Sie Arzt wären, welche Wirkung müssten Medikamente haben, die Sie einem Patienten mit Sinusitis zur Wiederherstellung des Geruchssinnes verabreichen würden?

Ein Argument kann auf verschiedenen Ebenen ansetzen, zum Beispiel auf der makroskopischen Ebene unter Berücksichtigung des olfaktorische Epithels oder der Nasenschleimhaut (Beispiel: „... damit die Riechschleimhaut ... wieder freigelegt und funktionsbereit wäre“), oder auf der Zellebene, wo Schädigungen der ganzen Zelle oder von Zellteilen genannt werden (Beispiel: „Stoffe, die den Organismus helfen, die geschädigten Zellen wieder aufzubauen“). Die zweite Kodierungsstufe verläuft bei dieser Antwort über die Anzahl der genannten Systemebenen. Kategorie 1 wird bei einer, Kategorie 2 bei zwei und Kategorie 3 bei mehr als zwei berücksichtigten Systemebenen erreicht.

Item 3: Vorhersage/Signalkette

Wie würde sich der Ablauf der Signalkette ändern, wenn [...] alle G-Proteine dauerhaft an dem Enzym Adenylatcyclase gebunden blieben?

Bei dieser Aufgabe können unmittelbare Konsequenzen der Problemstellung, wie etwa die ständige ATP-Bildung durch die Adenylatcyclase (Beispiel: „Wenn das Enzym Adenylatcyclase so dauerhaft aktiv wäre, würde die ganze Zeit cAMP produziert.“), bis hin zu abgeleiteten Konsequenzen genannt werden, wie etwa den Folgen für die Bildung eines Aktionspotentials (Beispiel: „Es gäbe keine Aktionspotentiale, die zum Gehirn geleitet werden.“). Der Score für die Antwort wird bei dieser Frage nach der Entfernung der genannten Konsequenzen von der Problemstellung bemessen: Kategorie 1, wenn nur unmittelbare Konsequenzen genannt sind, Kategorie 2 bei Nennung mittelbarer Konsequenzen und Kategorie 3 bei Nennung abgeleiteter Konsequenzen.

Beobachterübereinstimmung Die Kategorisierung wurde von zwei Urteilern vorgenommen. Die Übereinstimmungsrate zwischen den Urteilern wurde für jedes der Items einzeln bestimmt. Bei allen Items war die Übereinstimmung zwischen den Urteilern hoch. Item 1 erreichte eine gute Übereinstimmung (Cohens $\kappa = 0,76$), noch besser war die Übereinstimmung bei Item 2 (Cohens $\kappa = 0,86$). Bei Item 3 lag das Cohens Kappa mit $\kappa = 0,69$ nur sehr knapp unterhalb des für eine gute Übereinstimmung nötigen Wertes von 0,70. Für nicht übereinstimmende Kodierungen wurde in gegenseitigem Einverständnis der Urteiler eine Kategorie festgelegt.

8.4. Angewendete statistische Verfahren

Zur Auswertung der Ergebnisse wurden übliche statistische Verfahren angewendet, die in dieser Arbeit nicht näher erläutert werden. Im Folgenden werden gängige Verfahren lediglich aufgezählt, weniger gängige Verfahren werden zum Teil kurz erläutert. Für eine ausführliche Darstellung und Erläuterung der Verfahren sei hier auf die gängige Literatur zu statistischen Verfahren in den Human- und Sozialwissenschaften verwiesen (im Besonderen Bortz, 1999 und Bortz & Döring, 2002 sowie zur Einführung in das Thema Zöfel, 2003).

Die statistischen Auswertungen in dieser Arbeit wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS in der Version 10.0 für Windows¹⁰ und des Programms G*Power (Faul & Erdfelder, 1992) durchgeführt.

8.4.1. Deskriptive Statistik

Median und Perzentil bei gehäuften Werten. In einigen Fällen wurden in dieser Studie Antworten von Schülern nach ihrer Qualität gestaffelt kategorisiert, so dass diese Variablen Ordinalniveau besitzen. Zur Beschreibung solcher Variablen wird normalerweise der Median herangezogen, der allerdings aufgrund der Häufung von Daten auf einem Wert nicht sehr aussagekräftig ist.

Für diesen Fall lassen sich die Medianwerte nach folgender Formel für gehäufte Daten genauer bestimmen:

$$\text{Median} = u + \frac{b}{f_m} \cdot \left(\frac{n}{2} - F_{m-1} \right)$$

Dabei bedeuten:

- n Anzahl der Messwerte
- m Kategorie, in welcher der Median liegt
- u untere Grenze der Klasse m
- f_m absolute Häufigkeit in der Kategorie m
- F_{m-1} kumulative Häufigkeit bis zur Kategorie $m - 1$
- b Breite der Kategorie

Entsprechendes gilt für alle angegebenen Perzentilwerte, inclusive der Quartile, die nach folgender erweiterter Formel errechnet werden:

$$\text{Perzentil} = u + \frac{b}{h_m} \cdot (P - H_{m-1})$$

Wobei gilt:

¹⁰Für die Anwendung von SPSS hat sich das Lehrbuch von Bühl und Zöfel (2004) als sehr hilfreich erwiesen.

m	Kategorie, in welcher das Perzentil liegt
u	untere Grenze der Klasse m
P	Prozentzahl des Perzentils
h_m	prozentuale Häufigkeit in der Kategorie m
F_{m-1}	prozentuale Häufigkeit in der Kategorie $m - 1$
b	Breite der Kategorie

Die Werte des ersten Quartils (Q1) und dritten Quartils (Q3) werden bei gehäuftem Daten dann nach der üblichen Formel zur Berechnung des mittleren Quartilabstands (QA) als Streuungsmaß genutzt:

$$QA = \frac{Q3 - Q1}{2}$$

8.4.2. Parameterfreie Testverfahren

Parameterfreie Tests werden in dieser Arbeit nur dann eingesetzt, wenn die Voraussetzungen für parametrische Tests (Skalenniveau, Varianzhomogenität, Normalverteilung) nicht gegeben sind und sich eine Verwendung von parametrischen Tests trotz verletzter Voraussetzungen nicht rechtfertigen lässt (vgl. Abschnitt 8.4.3 auf der nächsten Seite). Ein Argument für dieses Vorgehen ist die verständliche Darstellung der Ergebnisse, die bei Verwendung einer großen Menge unterschiedlicher Testverfahren gefährdet wäre. Ein zweites, sicherlich gewichtigeres Argument ist methodischer Art. Für die Einzelvergleiche von zentralen Tendenzen mittels parameterfreier Verfahren stehen keine Prozeduren zur α -Fehler-Korrektur zur Verfügung, weshalb bei einer Häufung von Einzelvergleichen die Gefahr zufällig gefundener Signifikanzen besteht.

Die Effizienz nichtparametrischer Testverfahren beträgt gegenüber parametrischen Verfahren etwa 95%, es sind also 5% mehr Versuchspersonen nötig, um Unterschiede als signifikant zu erkennen.

Kolmogorov-Smirnov-Test. Der Kolmogorov-Smirnov-Test eignet sich, so wie der gebräuchlichere U-Test von Mann und Whitney, zum Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben. Er ist dem U-Test vorzuziehen, wenn wenige Kategorien vorliegen, da keine Rangplätze vergeben werden, sondern die maximale Differenz zwischen den kumulierten Häufigkeiten beider Stichproben berechnet wird. Da in allen Fällen, in denen ein parameterfreies Verfahren in dieser Arbeit eingesetzt wird, wenige Kategorien vorliegen, ersetzt er in dieser Arbeit die Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests.

Zum Überprüfen der Normalverteilung wurde ebenfalls das Verfahren von Kolmogorov und Smirnov herangezogen, wobei in diesem Fall ein Anpassungstest von

gegebener Verteilung und Normalverteilung vorgenommen wird. Da Streuung und Mittelwert unbekannte Größen der Population sind, müssen die Parameter anhand der vorliegenden Daten geschätzt werden. Bei größeren Fallzahlen sollten daher die kritischen Werte zum Erreichen des Signifikanzniveaus korrigiert werden. Hierzu wird die Lilliefors-Korrektur zur Berechnung des Signifikanzniveaus bei geschätzten Populationsparametern verwendet, die bei Fallzahlen über 30 den Grenzwert durch

$$\frac{0,886}{\sqrt{n}}$$

festlegt. Wird ein signifikanter Wert erreicht, bedeutet dies, dass die Hypothese der Normalität der Verteilung nicht akzeptiert werden kann.

8.4.3. Parametrische Testverfahren

In den meisten Fällen werden zur Überprüfung der Hypothesen in dieser Arbeit parametrische Testverfahren verwendet. Um diese Tests anwenden zu dürfen, sollten die Skalen mindestens Intervallskalenniveau besitzen, und die Voraussetzungen der Varianzhomogenität und Normalverteilung erfüllen.

Unter bestimmten Bedingungen ist es jedoch auch bei einem Verstoß gegen diese drei Anforderungen möglich, parametrische Testverfahren zu verwenden. So können bei den hier für viele Variablen verwendeten Ratingskalen parametrische Testverfahren eingesetzt werden, obwohl diese vermutlich *kein exaktes Intervallskalenniveau* aufweisen (vgl. Bortz & Döring, 2002, S. 180 f.). Auch für Summenscores aus noch als ordinalskaliert anzusehenden Einzelitems geht eine Variable hervor, die annähernd Intervallskalenniveau erreicht, so dass auch hier die Verwendung parametrischer Tests angemessen erscheint. Gegen *Abweichungen von der Normalverteilung* sind parametrische Verfahren wie t-Test und Varianzanalyse recht robust, vor allem bei Stichproben von mehr als 30 Versuchspersonen (vgl. Bortz, 1999, S. 93). Es empfiehlt sich aber das Signifikanzniveau auf $p = 0,04$ anzupassen (Zöfel, 2003, S. 217). Eine *Verletzung der Varianzhomogenität* ist dagegen problematischer, weshalb im Falle von inhomogenen Varianzen mit $p = 0,01$ getestet werden sollte, um ein faktisches Signifikanzniveau von $p = 0,05$ zu erreichen (Zöfel, 2003, S. 217). Parametrische Tests erweisen sich auch dann als sehr robust gegen Verletzungen von Normalverteilung und Varianzhomogenität, wenn gleich große Stichproben aus möglichst eingipflig-symmetrischen Grundgesamtheiten gezogen werden (Bortz, 1999, S. 138).

Zur Absicherung wurden im Falle einer Verletzung der Voraussetzungen bei erreichter Signifikanz stets auch nichtparametrische Verfahren (Mann-Whitney-U-Test und H-Tests nach Kruskal und Wallis) berechnet. Da die mit parametrischen Verfahren erreichten Signifikanzen allesamt bestätigt wurden, wird hier im Interesse einer flüssigeren Darstellung von einem Bericht dieser Ergebnisse abgesehen.

T-Test und Varianzanalysen. Zur Überprüfung des Einflusses einer unabhängigen Variable mit zwei Gruppen auf eine abhängige Variable wird der t-Test nach Student verwendet, bei mehr als zwei Gruppen kommt eine einfaktorielle Varianzanalyse zum Einsatz. Soll der Einfluss mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable untersucht werden, kommt eine univariate Varianzanalyse nach dem allgemeinen linearen Modell zum Einsatz.

Für die Überprüfung der A-priori-Einzelvergleichshypothesen kamen folgende Verfahren zum Einsatz: (1) Einzelvergleiche für die einfaktorielle Varianzanalyse wurden mittels eines Scheffé-Tests überprüft. (2) Für den auf eine mehrfaktorielle Varianzanalyse folgenden Vergleich unterschiedlicher Stufen eines Faktors innerhalb der Stufen eines zweiten Faktors, also zum Beispiel der Vergleich der drei Vorwissensniveaus innerhalb der Kontrollgruppe, wurde eine Analyse der bedingten Haupteffekte (*simple main effects*) verwendet. Zur weiteren Analyse wurden bei Bedarf paarweise Vergleiche durchgeführt. Für die Einzelvergleiche wurde das Konfidenzintervall mittels der Bonferroni-Korrektur angepasst.

Das α -Fehler-Niveau wurde im Allgemeinen bei 5% festgelegt, das β -Fehler-Niveau bei 20%. Die Wahrscheinlichkeit für einen β -Fehler¹¹ wird als p_β angegeben, aus dem leicht über $1 - \beta$ die Teststärke (*Power*) berechnet werden kann. Für die Überprüfung von Nullhypothesen gelten die umgekehrten Signifikanzniveaus ($\alpha = 0,2$ und $\beta = 0,05$). Als Maß für die Effektgröße wird η^2 angegeben.

¹¹Der Begriff „ β -Fehler-Wahrscheinlichkeit“ wird hier im Sinne von Bortz und Döring (2002, S. 500) benutzt.

9. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Studie berichtet. Zunächst werden in Abschnitt 9.1 deskriptive Statistiken für Variablen dargestellt, die für die Interpretation aller Ergebnisse von Bedeutung sind. Anschließend werden in Abschnitt 9.2, S. 115 ff. und 9.3, S. 124 ff. die Ergebnisse für die in Kapitel 7 formulierten Hypothesen dargestellt. Für jede Hypothese werden jeweils die hypothesenspezifischen deskriptiven Statistiken der beteiligten Variablen und anschließend die hypothesenprüfenden statistischen Auswertungen dargestellt. Um den Zusammenhang der Ergebnisse und deren Interpretation transparent zu machen, fließen schon in dieses Kapitel erste Auswertungen mit ein. Eine zusammenhängende Analyse und Diskussion der Ergebnisse im Kontext der Theorie erfolgt dann anschließend in Kapitel 10 auf Seite 148 ff.

9.1. Allgemeine deskriptive Statistiken

9.1.1. Lernzuwachs

Die Auswertung des Tests zur Erhebung des Lernzuwachses (TEL), in dem zwischen 0 und 7 Punkte erreicht werden konnten, ergab im Vortest eine Verteilung zwischen 0 und 5 und im Nachtest zwischen 0 und 7 Punkten. Die Häufigkeiten zeigen im Vortest (vgl. Abb. 9.1a) eine linkssteile, im Nachtest (vgl. Abb. 9.1b) aber eine rechtssteile Verteilungskurve. Diese Verteilungen weichen also von der Normalverteilung ab, wie Kolmogorov-Smirnov-Lillefors-Tests bestätigen (Vortest: $a = 0,157$; $p < 0,001$; Nachtest: $a = 0,195$; $p < 0,001$).

Im Vortest tritt also ein Bodeneffekt auf, bei dem 38 Schüler (32%) keine oder eine Frage richtig beantworten. Die statistische Ratewahrscheinlichkeit liegt bei 7 *Single-Choice*-Items mit jeweils 4 Antwortalternativen, bei $7 \cdot 0,25 = 1,75$ richtig beantworteten Items.

Dies deutet darauf hin, dass die Schüler, die keine richtige Antwort wussten, nicht geraten haben, sondern die für sie plausibelste Antwortmöglichkeit ausgewählt haben, und damit „naheliegende“ Distraktoren ausgewählt haben. Vor allem Items LZ01 und LZ02 scheinen dafür verantwortlich zu sein, da ihre Antwortwahrscheinlichkeit unter $p = 0,20$ liegt, wie aus Abbildung 9.1d ersichtlich wird. Im Nachtest ist dagegen ein Deckeneffekt zu beobachten, bei dem 35% der Schüler maximal eine Frage falsch beantworten.

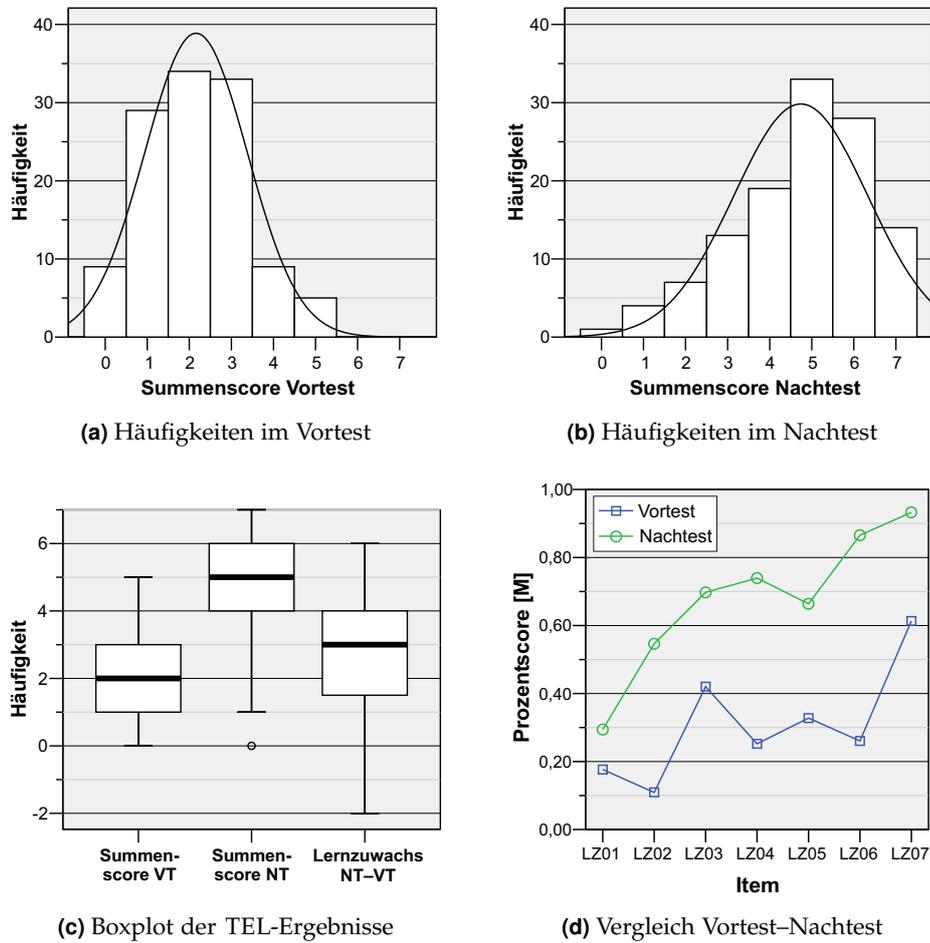


Abbildung 9.1: Ergebnisse des TEL im Vor- und Nachtest. (a) Die Häufigkeiten im Vortest zeigen eine linkssteile, (b) die im Nachtest eine rechtssteile Verteilungskurve; (c) zeigt die Boxplots für die Summenscores im Vortest (VT), Nachtest (NT) und den Lernzuwachs; (d) Vergleich des mittleren Prozentscores der Items zur Erhebung des Lernzuwachses in Vor- und Nachtest.

In Tabelle 9.1 sind die statistischen Kennwerte des TEL angegeben. Der Median liegt im Vortest bei 2, im Nachtest bei 5 richtig beantworteten Items. Ein Vergleich von Vor- und Nachtestergebnis mittels eines Wilcoxon-Tests zeigt, dass dieser Unterschied höchst signifikant ist ($z = -8,85; p < 0,001$). Die Lernumgebung hat also zu einem deutlich besseren Nachtestergebnis geführt.

Der Lernzuwachs der Schüler ergibt sich aus der Differenz von Vor- und Nachtest. Es handelt sich also um den Bereich, der in Abbildung 9.1d auf der vorherigen Seite zwischen den Linien von Vor- und Nachtest liegt. Wie in Tabelle 9.1 dargestellt, liegt der Median bei 3, was zeigt, dass bei der Hälfte der Schüler ein Lernzuwachs von 3 oder mehr zusätzlich beantworteten Items zu verzeichnen ist. Allerdings streut der Lernzuwachs recht stark und liegt zwischen einem Minimum von -2 (Nachtestergebnis 2 Punkte niedriger als Vortestergebnis) und einem Maximum von 6.

Tabelle 9.1: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse im Test zur Erhebung des Lernzuwachses (TEL).

	N	M	SD	Median	Min	Max	Spannweite
Vortest (VT)	119	2,16	1,22	2	0	5	5
Nachtest (NT)	119	4,74	1,59	5	0	7	7
Lernzuwachs (NT – VT)	119	2,58	1,7	3	-2	6	8

9.1.2. Situationales Interesse

Das situationale Interesse der Versuchspersonen für die multimediale Lernumgebung verteilt sich über die gesamte Breite des Spektrums (Min = 0,20; Max = 4,00), wobei ein Großteil der Schüler im mittleren Bereich liegt (vgl. Tab. 9.2 und Abb. 9.2a auf der nächsten Seite). Der Mittelwert liegt bei insgesamt relativ großer Streuung knapp oberhalb des mittleren Wertes der fünfstufigen Skala (M = 2,08; SD = 0,748), der Median bei 2,0. Im Boxplot (vgl. Abb. 9.2b) ist allerdings innerhalb des 25% Bereichs oberhalb des Medians eine etwas größere Streuung zu erkennen als unterhalb, so dass sich die Werte etwas rechtssteil verteilen. Die Werte erweisen sich nicht als normal verteilt, wie ein Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors-Test zeigt ($a = 0,105; p = 0,003$).

Tabelle 9.2: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse im situationalen Interesse.

	N	M	SD	Median	Min	Max	Spannweite
Notizen	55	2,07	0,701	2	0,2	4,0	3,8
Mikroaufgaben	62	2,08	0,792	2	0,4	4,0	3,6
Gesamt	117	2,08	0,748	2	0,2	4,0	3,8

Ein Unterschied zwischen den Mittelwerten der Experimental- und Kontrollgruppe (Notizen/Mikroaufgaben) besteht nicht, wie ein t-Test zeigt, $t(115) = -0,132; p =$

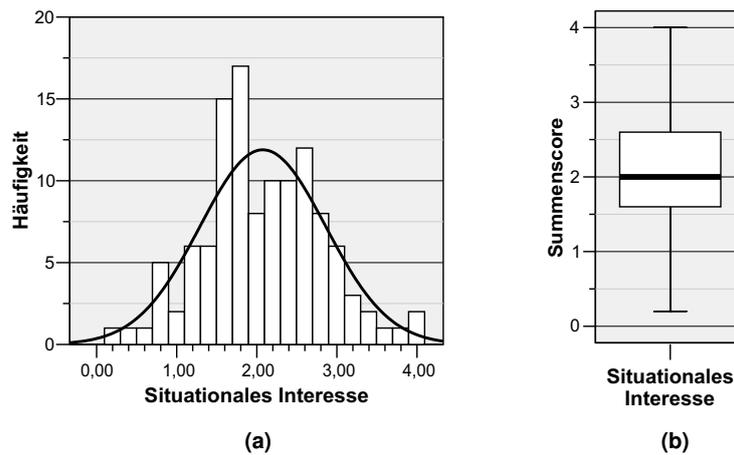


Abbildung 9.2: Darstellung der Mittelwerte des Tests zur Erhebung des situationalen Interesses, bestehend aus fünf Items mit Scores von 0 bis 4, (a) als Histogramm und (b) als Boxplot.

0,895, so dass von einer Berücksichtigung dieser Variablen in den weiteren Analysen abgesehen werden kann.

9.2. Einfluss der Mikroaufgaben auf den Lernerfolg

9.2.1. Hypothese 1: Lernerfolg in der Faktenkenntnis

Deskriptive Statistiken

Die Kategorisierung der halboffenen Frage, die dem Ergebnis des Tests zur Erhebung der Faktenkenntnis (TEF) zugrunde liegt, wurde bereits in Abschnitt 8.3.3 auf Seite 103 beschrieben. Es sei nur daran erinnert, dass jeder Versuchsperson eine Kategorie zugeordnet wurde. Die Ergebnisse des TEF, dargestellt in Tabelle 9.3 auf der nächsten Seite, zeigen, dass die Beantwortung über sämtliche Kategorien streut. Insgesamt 19 Probanden (16%) haben die Aufgabe gar nicht bearbeitet und fallen deshalb aus der Auswertung heraus.

Legt man die Annahme zugrunde, dass ein solcher Test mit unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen normalverteilt ist, fällt allerdings auf, dass die Kategorie „sehr wenig“ mit 30% der Versuchspersonen unverhältnismäßig häufig besetzt ist. Auch die Kategorie „viel“ wäre leicht überrepräsentiert. Hier scheint also keine Normalverteilung der Werte vorzuliegen, was ein Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors-Test bestätigt ($\alpha = 0,173; p < 0,001$).

Die aus gruppierten Daten errechneten Median- und Quartilwerte sind in Tabelle 9.4 auf Seite 117 dargestellt. Sie zeigen, dass ein Viertel der Versuchspersonen einen Wert von 0,42 oder weniger erreichen, also „sehr wenig“ erinnern. Allerdings

Tabelle 9.3: Besetzung der Kategorien im TEF; absolute Häufigkeit, prozentuale Häufigkeit und kumulierte Prozente.

	Kategorie („Vp erinnert ...“)	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültige Werte	sehr wenig	30	25,2	30,0
	wenig	18	15,1	48,0
	eher wenig	21	17,6	69,0
	eher viel	13	10,9	82,0
	viel	15	12,6	97,0
	sehr viel	3	2,5	100,0
	Gesamt	100	84,0	
Fehlende Werte		19	16,0	
Gesamt		119	100,0	

Anmerkungen. Jeder Vp ist eine Kategorie zugeordnet. Die fehlenden Fälle kommen durch Nichtbeantwortung des Items zustande.

liegen immerhin 25% der Fälle über einem Wert von 2,97 und erinnern somit „eher viel“ oder mehr.

Die große Anzahl von Versuchspersonen in der Kategorie „sehr wenig“ scheint den Schluss nahezu legen, dass tatsächlich sehr oft sehr wenig erinnert wurde. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass die Probanden bis zu dem Punkt, in dem die halboffene Frage im Fragebogen zu beantworten ist, bereits eine ganze Reihe Wissensitems, auch zwei weitere halboffene Fragen, beantwortet haben. Es könnte sich also um einen Testlängeneffekt handeln. Eine Ermüdung der Testteilnehmer zum Zeitpunkt der Beantwortung des Faktenkenntnis-Items könnte dazu geführt haben, dass nur oberflächlich geantwortet wurde, obwohl tatsächlich mehr erinnert wurde. Wesentlicher für die Interpretation dieses Ergebnisses dürfte allerdings die Testkonstruktion sein. Da es sich um einen Test mit einem für diese Studie neu erstellten Kategoriensystem handelt und der Test zudem nicht primär auf das Erreichen einer Normalverteilung abzielt, ist es jedoch nicht verwunderlich, dass die Kategorien auch nicht gemäß der Normalverteilung besetzt sind.

Hypothesenprüfung

Die erste Frage, die in dieser Arbeit untersucht werden sollte, war, ob es mithilfe der auf dem theoretischen Fundament der kognitionspsychologischen Forschung entwickelten Mikroaufgaben möglich ist, Lernende so zu unterstützen, dass sie besser in der Lage sind, sich an die dargestellten Zusammenhänge zu erinnern. Die dazu formulierte Hypothese lautet:

HYPOTHESE 1: *Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung*

Text-Bild-integrierende Mikroaufgaben beantworten, erwerben mehr Faktenkenntnis als Lerner, die solche Aufgaben nicht erhalten.

Die Ergebnisse des Tests zur Erhebung der Erinnerung für die beiden Gruppen, von denen die eine keine Mikroaufgaben erhielt, aber Notizen machen durfte (Gruppe „Notizen“), die andere aber mit Mikroaufgaben gearbeitet hat (Gruppe „Mikroaufgaben“) sind in Abbildung 9.3 grafisch dargestellt. Die genauen Werte des Medians, der Quartile und des mittleren Quartilabstands für gehäufte Daten stellt Tabelle 9.4 dar.

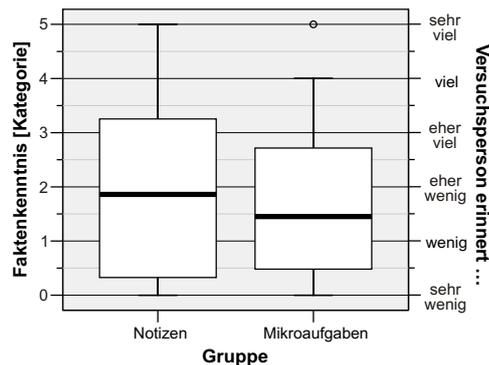


Abbildung 9.3: Boxplot des Gruppenvergleichs im TEF. Links sind die Werte numerisch, rechts in Form der Kategorienbezeichnungen aufgetragen. Median und Quartilwerte wurden aus gruppierten Daten berechnet.

Tabelle 9.4: Median und Quartilwerte (aus gruppierten Daten) des Gruppenvergleichs im TEF.

	Gesamt	Notizen	Aufgaben
N	100	45	55
1. Quartil	0,42	0,33	0,48
Median	1,56	1,82	1,46
3. Quartil	2,97	3,22	2,74
mittlerer Quartilabstand	1,28	1,45	1,13

In der Darstellung des Boxplots ist ersichtlich, dass die Unterschiede minimal sind und sich die Interquartilbereiche komplett überschneiden. Die hohe Streuung, die sich im mittleren Quartilabstand von 1,45 bzw. 1,13 zeigt, zeigt ebenfalls, dass die geringen Unterschiede im Median wenig aussagekräftig sind. Ein Kolmogorov-Smirnov-Test¹ der die beiden Gruppen hinsichtlich eines Unterschieds ihrer zentralen Tendenz untersucht, bestätigt, dass hier kein signifikanter Unterschied zwischen

¹Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde hier aufgrund der geringen Anzahl von Kategorien anstatt des sonst für ordinalskalierte Variablen üblichen Mann-Whitney-U-Tests verwendet.

den beiden Gruppen vorliegt ($z = 0,814$; ns.). *Hypothese 1 muss demnach abgelehnt werden.*

9.2.2. Hypothese 2: Lernerfolg im Verständnis

Deskriptive Statistiken

Die drei in Form halboffener Fragen formulierten Items des Verständnistests wurden in Abschnitt 8.3.3 auf Seite 106ff ausführlich beschrieben. Es sei nur daran erinnert, dass jedes Item in Form einer anderen Problemstellung formuliert wurde und darüberhinaus ein Schlüsselkonzept aus der Software behandelt:

Item 1 Problemstellung: Umgestaltung; Schlüsselkonzept: Signalverstärkung

Item 2 Problemstellung: Fehlerbehebung; Schlüsselkonzept: Systemebenen

Item 3 Problemstellung: Vorhersage; Schlüsselkonzept: Signalkette

Auch die Kategorisierung des Verständnistests wurde bereits in Abschnitt 8.3.3 auf Seite 106 beschrieben: In einem zweistufigen Kodiersystem wurde für jeden Schüler für jedes der Items eine Kategorie zwischen 0 und 3 bestimmt.

Die Ergebnisse des Verständnistests, dargestellt in Tabelle 9.5 auf der nächsten Seite, zeigen für die einzelnen Items recht unterschiedliche Ergebnisse. Vor allem in Item 2 erreicht die Hälfte der Schüler nur die Kategorie 0, die das Niveau von Alltagswissen ausdrückt. Der Großteil der Schüler erreicht in Item 1 (80,2%) und Item 2 (90,5%) nur die Kategorie 0 oder 1. In Item 3, das das Teilkonzept der Schritte der Signalkette erfragt, erreichen dagegen fast die Hälfte der Schüler die Kategorien 2 oder 3 und zeigen damit ein profundes Verständnis des Themas. Auch anhand der Mediane und Quartilwerte (siehe Tabelle 9.6 auf der nächsten Seite), die hier aufgrund der geringen Kategorienanzahl aus gehäuften Daten berechnet wurde, wird ersichtlich, dass Item 3 am besten, Item 2 aber am schlechtesten beantwortet wurde.

Auch hier könnte ein Testlängeneffekt zum Tragen kommen. Einen Hinweis darauf, dass dies zumindest bei Item 1, dem letzten Item im Fragebogen, der Fall ist, liefert der große Anteil von Versuchspersonen (19,3%), der dieses Items gar nicht beantwortet hat.

Zur weiteren Auswertung des Verständnistests werden die Werte der drei Items als Summenenscore in einer Variablen zusammengefasst. Insgesamt 6 Probanden (5%) haben keines der drei Items bearbeitet und fallen deshalb aus der weiteren Auswertung des Verständnistests heraus. Die Abbildung 9.4 auf Seite 120 stellt das Ergebnis grafisch dar. Kein Schüler hat die theoretisch erreichbaren neun Punkte (in allen drei Items volle Punktzahl) erreicht. Zwölf Probanden (10,1%) erreichen in allen drei Items nur die Stufe des Allgemeinwissens (Summenscore von 0). Der Mittelwert aller Schüler liegt bei 2,81, die Standardabweichung beträgt 1,76. Damit erreichen die Schüler im Durchschnitt bei drei beantworteten Items etwa die Kategorie 1. Die zweigipflige und linkssteile Verteilung lässt vermuten, dass die Werte

Tabelle 9.5: Besetzung der Kategorien im Verständnistest; Versuchspersonen, absolute Häufigkeit, prozentuale Häufigkeit und kumulierte Prozente.

Kategorie		Item 1			Item 2			Item 3		
		n	%	kum. %	n	%	kum. %	n	%	kum. %
Gültig	0	12	10,08	12,50	53	44,54	50,48	30	25,21	28,57
	1	65	54,62	80,21	42	35,29	90,48	25	21,01	52,38
	2	17	14,29	97,92	6	5,04	96,19	29	24,37	80,00
	3	2	1,68	100,00	4	3,36	100,00	21	17,65	100,00
	Σ	96	80,67		105	88,24		105	88,24	
Fehlend		23	19,33		14	11,76		14	11,76	
Σ		119	100,00		119	100,00		119	100,00	

Anmerkungen. Jeder Vp ist eine Kategorie zugeordnet. Die Bedeutung der Kategorien ist die von null nach drei aufsteigende Komplexität des mentalen Modells (vgl. Abschnitt 8.3.3, S. 106 ff.). Fehlende Fälle kommen durch Nichtbeantwortung des Items zustande.

Tabelle 9.6: Median und Quartilwerte der Einzelitems des Verständnistests.

	Item 1	Item 2	Item 3
N	96	105	105
1. Quartil	0,47	0 ^a	0,41
Median	1,09	0,55	1,37
3. Quartil	1,67	1,20	2,37
mittlerer Quartilabstand	0,60	0,60	0,98

Anmerkungen. Median und Quartilwerte wurden aus gehäufteten Daten berechnet.

^aWert gleich 0 gesetzt, da die untere Grenze bei einem Median von 0 nicht berechnet werden kann.

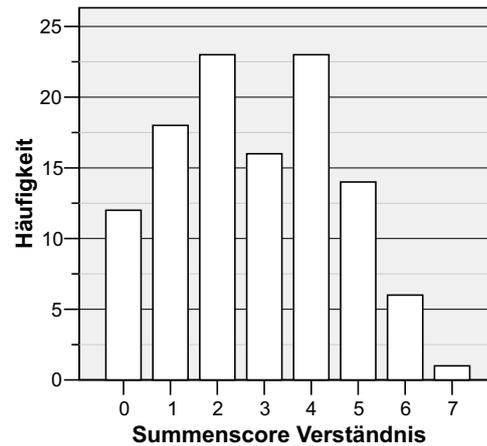


Abbildung 9.4: Ergebnis des Verständnistests.

nicht normalverteilt sind, was durch einen Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors-Test bestätigt wird ($a = 0,145$; $p < 0,001$).

Hypothesenprüfung

Die zweite Hypothese, die im Sinne eines Haupteffekts der Mikroaufgaben formuliert wurde, bezieht sich auf das Verständnis des Sachverhalts:

*HYPOTHESE 2: Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Text-Bild-integrierende Mikroaufgaben beantworten, erwerben **mehr Verständnis** als Lerner, die solche Aufgaben nicht erhalten.*

Das Gesamtergebnis des Verständnistests für den Faktor „Gestaltung der Begleitbögen“ (Notizen/Mikroaufgaben) ist in Abbildung 9.5 auf der nächsten Seite in Form eines Boxplots dargestellt. Es zeigt sich, dass die Kontrollgruppe, die nur Notizen machen konnten, ein besseres Lernergebnis im Verständnistest erreichen, als die Experimentalgruppe, die mit Mikroaufgaben gelernt hat.

Der Unterschied der Mittelwerte der Notiz-Gruppe ($n = 53$; $M = 3,3$; $SD = 1,705$) und der Mikroaufgaben-Gruppe ($n = 60$; $M = 2,37$; $SD = 1,707$) fällt hoch signifikant aus, wie ein t-Test² zeigt ($t(111) = 2,908$; $p_\alpha = 0,004$; $p_\beta = 0,1095$). *Dieses Ergebnis verläuft konträr zur Hypothese 2, die daher abzulehnen ist.*

Weitere Analysen

Für eine genauere Analyse des Effekts der Mikroaufgaben auf das Verständnis sollen im Folgenden die Ergebnisse in den einzelnen Items betrachtet werden. In Ab-

²Für die Auswertung des Verständnistests werden trotz der nicht gegebenen Normalverteilung parametrische Verfahren angewendet. Für eine Begründung dieses Vorgehens vgl. Abschnitt 8.4.3, S. 110.

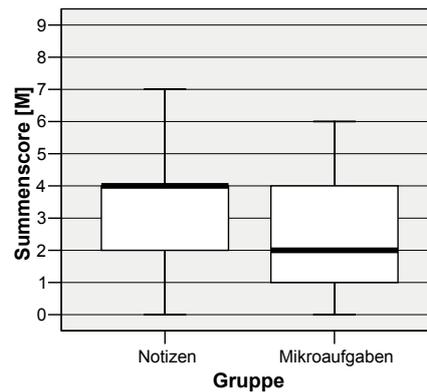


Abbildung 9.5: Ergebnis des Gruppenvergleichs im Verständnistest (mittlerer Summenscore).

Abbildung 9.6 auf der nächsten Seite sind die Ergebnisse in Form von Boxplots der einzelnen Items dargestellt. Die genauen Werte des Medians und der Quartile sowie der mittlere Quartilabstand für gruppierte Daten aller drei Items sind in Tabelle 9.7 dargestellt.

Beide Gruppen zeigen den größten Lernerfolg in Item 3. Außerdem wird deutlich, dass der größte Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf den Median ebenfalls bei Item 3 besteht (0,54; Item 1: 0,18; Item 2: 0,29). Dies geht allerdings auch mit der größten Streuung einher, die sich in einem mittleren Quartilabstand von 0,99 bei der Gruppe „Notizen“ und 0,89 bei der Gruppe „Aufgaben“ ausdrückt.

Tabelle 9.7: Median, Quartilwerte und mittlerer Quartilabstand der drei Items des Verständnistests.

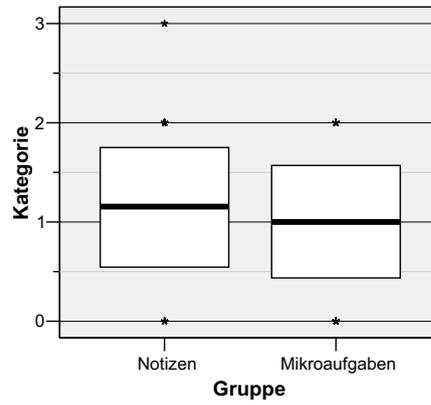
	Item 1		Item 2		Item 3	
	Notizen ^a	Aufgaben ^b	Notizen	Aufgaben	Notizen	Aufgaben
N gültig	46	50	50	55	52	53
N fehlend	10	13	6	8	4	10
1. Quartil	0,54	0,40	0,14	0 ^c	0,57	0,31
Median	1,18	1,00	0,70	0,41	1,65	1,11
3. Quartil	1,75	1,60	1,41	0,95	2,55	2,08
mittlerer Quartilabstand	0,60	0,60	0,64	0,48	0,99	0,89

Anmerkungen. Item 1: Umgestaltung/Signalverstärkung; Item 2: Fehlerbehebung/Systemebenen; Item 3: Vorhersage/Signalkette. Zur weiteren Erläuterung der Items vgl. Abschnitt 8.3.3 auf Seite 104ff. Median und Quartilwerte wurden aus gehäuften Daten berechnet.

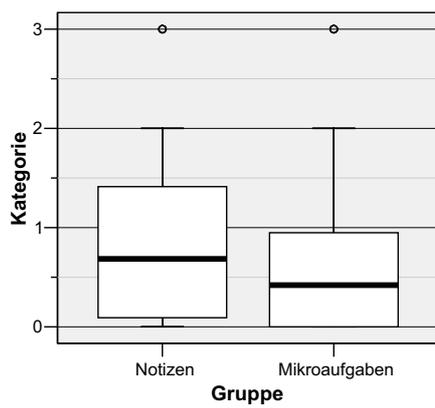
^aKontrollgruppe mit Möglichkeit zum Anfertigen von Notizen

^bExperimentalgruppe mit Mikroaufgaben

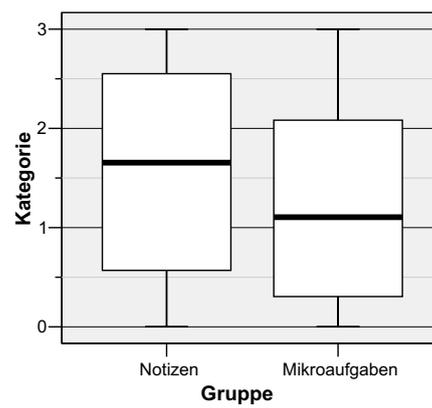
^cWert gleich 0 gesetzt, da die untere Grenze bei dem hier vorliegenden „ungehäufteten“ Median von 0 nicht berechnet werden kann.



(a) Item 1



(b) Item 2



(c) Item 3

Abbildung 9.6: Gruppenvergleiche Verständnistest. (a–c) Boxplots für die drei Einzelitems. Median und Quartile sind aus gruppierten Daten berechnet.

Ein Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Unterschiede der beiden Gruppen zeigt bei Item 1 keinen signifikanten Unterschied ($z = 0,387$; ns.), die Unterschiede innerhalb der beiden anderen Items werden in der Tendenz bestätigt (Item 2: $z = 1,29$; $p = 0,10$; Item 3: $z = 1,22$; $p = 0,10$).

9.2.3. Fazit zu Hypothese 1 und 2

Insgesamt zeigen sich für die Gesamtgruppe eher geringe Werte im Faktenkenntnis- und im Verständnistest. Da es sich allerdings um halboffene Fragen handelt und die höchsten Kategorien so konstruiert wurden, dass sie ein hohes Maß an Erinnerung und Verständnis widerspiegeln, sind diese Ergebnisse nicht mit schlechten Lernergebnissen gleichzusetzen. Die Ergebnisse im Test zur Erhebung des Lernzuwachses zeigen, dass durchaus gute Lernergebnisse erzielt wurden. Dies kann zum einen daran liegen, dass es für Schüler grundsätzlich leichter ist, *Multiple-Choice*-Items zu beantworten, als selber Antworten zu formulieren. Möglicherweise lassen sich die geringeren Werte der Items, die sich erst in der zweiten Hälfte des Fragebogens befanden – dies trifft für das Faktenkenntnisitem und für Item 1 im Verständnistest zu – auch durch einen Testlängeneffekt erklären. Zur Optimierung des Fragebogens sollten daher die Positionen aller Items im Wissenstest zufällig vergeben werden.

Die Unterschiede zwischen den Items des Verständnistests lassen sich jedoch auch inhaltlich interpretieren. Item 3, das auf das Teilkonzept der Signalkette abzielt, wird insgesamt am besten beantwortet. Fast die Hälfte der Schüler erreichen die Kategorien 2 oder 3 und zeigen damit, dass sie bezüglich der Schritte der Signalkette ein recht elaboriertes mentales Modell aufbauen konnten. Die schrittweise Darstellung des Ablaufs der Signalkette ist jedoch gleichzeitig auch das Teilkonzept, das in der gesamten multimedialen Lernumgebung einen deutlichen Schwerpunkt einnimmt. Item 1 bezieht sich auf den Teilaspekt der kaskadenartigen Verstärkung des Signals, der in der Software ebenfalls explizit vermittelt wird (vgl. Abb. im Anhang A.2g und A.2j, S. 174). In diesem Item erreichen immerhin noch knapp 20% der Schüler die Kategorie 2 oder 3, während in Item 2 nur 10% der Schüler diese Kategorien besetzen. Allerdings wird der in Item 2 behandelte Teilaspekt von Einflüssen unterschiedlicher Systemebenen nur in der Einleitung zur Lernumgebung explizit vermittelt (vgl. Abb. A.1, S. 167). Die inhaltliche Interpretation liefert also eine plausible Begründung für die unterschiedlichen Itemschwierigkeiten. Durch die Bildung eines Summenscores über alle drei Items sollte sich jedoch ein stimmiges Bild des Gesamtverständnisses ergeben.

Die Überprüfung der Hypothesen 1 und 2 ergibt, dass sich die Mikroaufgaben nicht, wie erwartet, pauschal positiv auf den Lernerfolg in der Faktenkenntnis und im Verständnis auswirken. Für das Verständnis zeigt sich sogar ein gegenteiliger Effekt: Die Gruppe, die ausschließlich mit der Möglichkeit Notizen zu machen gelernt hat, zeigt ein signifikant besseres Verständnis, als die Gruppe, die Mikroaufgaben erhielt. Eine ausführliche Interpretation dieses Effekts erfolgt in der Gesamtdiskus-

sion (vgl. Kapitel 10, S. 148 ff.), das Ergebnis könnte aber so zu interpretieren sein, dass die Kontrollsituation, also das Anfertigen von Notizen, einen (lernwirksamen) Effekt hat. Weitere Indizien für diese Deutung sollen bei der Analyse der weiteren Hypothesen beachtet werden.

9.3. Einfluss von Lernermerkmalen

9.3.1. Hypothese 3 und 4: Vorwissensabhängigkeit des Lernerfolgs

Deskriptive Statistiken

Das Ergebnis des Vorwissenstests, dargestellt in Tabelle 9.8 und in Abbildung 9.7b auf der nächsten Seite, zeigt eine deutlich nach links verschobene Verteilungskurve. Auch ein Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors-Test zeigt, dass das beobachtete Antwortverhalten nicht normalverteilt ist ($a = 0,225; p < 0,001$).

Die statistische Ratewahrscheinlichkeit der 4 *Multiple-Choice*-Items liegt bei 6 Items mit jeweils 4 Antwortalternativen, von denen nur eine richtig ist, bei einem ($4 \cdot 0,25 = 1$) richtig beantworteten Item.³ Insgesamt 60 Versuchspersonen (50,4%) haben höchstens eine der sechs Fragen richtig beantwortet und liegen damit innerhalb der statistischen Ratewahrscheinlichkeit. 45 Schüler (37,8%) konnten zwei oder drei Items richtig beantworten. Nur 14 Schüler (11,8%) waren in der Lage mehr als die Hälfte der Items zu beantworten. Vor allem die Items 3 und 5 erweisen sich als schwer, wie aus Abbildung 9.7a auf der nächsten Seite hervorgeht. Nur jeweils 22 Schüler (18,5%) können diese Items richtig beantworten. Der Vorwissenstest erweist sich damit als relativ schwer.

Tabelle 9.8: Besetzung der Summenscores im Vorwissenstest; absolute Häufigkeit, prozentuale Häufigkeit und kumulierte Prozente.

	Score	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültige Werte	0	18	15,1	15,1
	1	42	35,3	50,4
	2	25	21,0	71,4
	3	20	16,8	88,2
	4	9	7,6	95,8
	5	3	2,5	98,3
	6	2	1,7	100,0
	Gesamt	119	84,0	

Um für die Hypothesenüberprüfung drei Vorwissensgruppen mit ansteigenden Niveaus zu erhalten, werden folgende Gruppen gebildet:

³Für die Zeichenaufgaben wird keine Ratewahrscheinlichkeit angenommen.

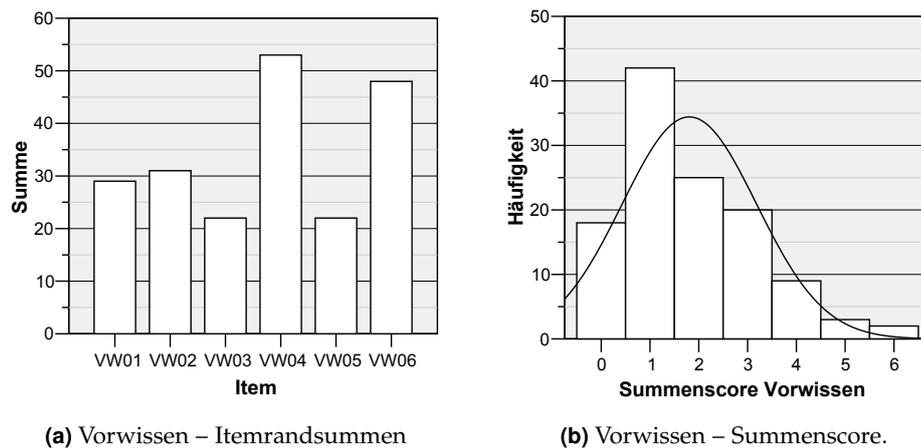


Abbildung 9.7: Itemrandsummen und Summenscore Vorwissen. **(a)** Randsummen der Items des Vorwissenstests. **(b)** Häufigkeiten der Besetzung des Summenscores im Vorwissenstest.

geringes Vorwissen Lerner, die innerhalb der Ratewahrscheinlichkeit liegen, also kein oder ein Item richtig beantwortet haben, 40 Schüler (50,4%)

mittleres Vorwissen Lerner die über der Ratewahrscheinlichkeit liegen, aber nicht mehr als die Hälfte der Items (zwei oder drei) richtig beantwortet haben, 45 Schüler (37,8%)

hohes Vorwissen Lerner die mehr als die Hälfte der Items (vier bis sechs) richtig beantwortet haben, 14 Schüler (11,8%)

Hypothesenprüfung

Zunächst soll überprüft werden, ob sich auch unter den Bedingungen dieser Studie ein Vorwissenseffekt nachweisen lässt. Die Hypothesen die hierzu formuliert wurden lauteten:

HYPOTHESE 3: Lerner mit *mittlerem* Vorwissensniveau erwerben im Vergleich zu Lernern mit *geringem* Vorwissensniveau mehr **(a) Faktenkenntnis** und **(b) Verständnis**.

HYPOTHESE 4: Lerner mit *hohem* Vorwissensniveau erwerben sowohl im Vergleich zu Lernern mit *geringem*, als auch zu Lernern mit *mittlerem* Vorwissensniveau mehr **(a) Faktenkenntnis** und **(b) Verständnis**.

Diese Unterschiede finden sich in den Mittelwerten des Gruppenvergleichs wieder (vgl. Tab. 9.9, S. 128). Zur Überprüfung der Hypothese, dass sich die Mittelwerte der unterschiedlichen Vorwissensniveaus signifikant unterscheiden, wurde eine einfaktorielle

rielle Varianzanalyse durchgeführt. Zum A-Posteriori-Einzelvergleich der Gruppen wurde ein Scheffé-Test eingesetzt.⁴

Faktenkenntnis. Wie in Tabelle 9.9 auf Seite 128 und Abbildung 9.8a dargestellt, unterscheiden sich die Mittelwerte im Faktenkenntnistest deutlich voneinander. Eine einfaktorielle Varianzanalyse bestätigt diesen Unterschied als höchst signifikant, $F(2,97) = 9,44; p < 0,001$. Während der Unterschied der Mittelwerte im Faktenkenntnistest zwischen mittlerem und niedrigem Vorwissensniveau (Hypothese 3a) recht gering ausfällt, zeigt sich ein deutlich größerer Unterschied für Lerner mit hohem Vorwissen im Vergleich zu den beiden anderen Vorwissensgruppen (Hypothese 4a). Eine Überprüfung der Unterschiede mittels eines Scheffé-Tests zeigt, dass für den Unterschied zwischen mittlerem und niedrigem Vorwissen mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zufällige Unterschiede verantwortlich sein können ($p > 0,05$, ns.), während die Unterschiede zwischen hohem und niedrigem sowie hohem und mittlerem Vorwissensniveau höchst ($p < 0,001$) bzw. hoch signifikant ($p < 0,01$) ausfallen, also nicht zufällig sind. *Hypothese 3a muss demnach abgelehnt werden. Hypothese 4a kann dagegen beibehalten werden.*

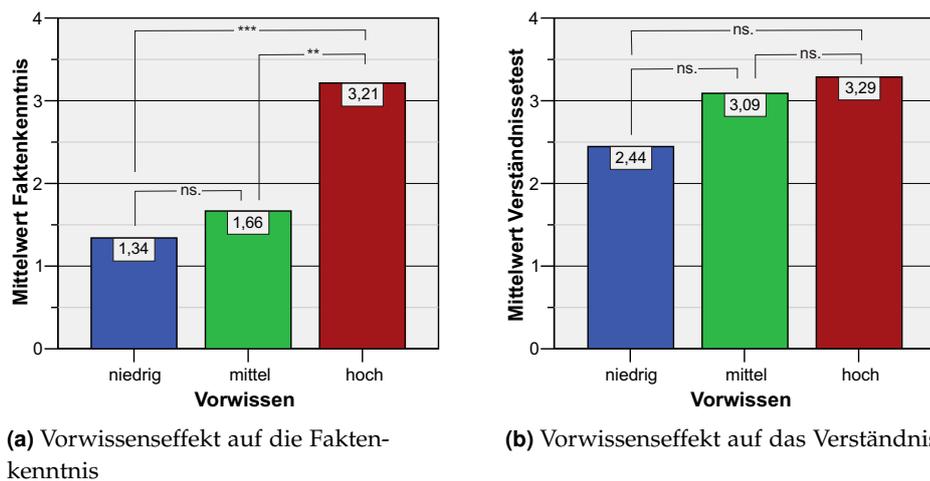


Abbildung 9.8: Vorwissenseffekte. (a) Ergebnis des Faktenwissenstests (maximal erreichbare Punktzahl: 5); (b) Ergebnis des Verständnistests (maximal erreichbare Punktzahl: 9). ***: höchst signifikanter Unterschied ($p < 0,001$); **: hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,01$); ns.: nicht signifikanter Unterschied.

⁴Da der Score im Erinnerungstest eher im Sinne eines Ordinalniveaus zu interpretieren ist, wurden an dieser Stelle ergänzende parameterfreie Verfahren durchgeführt. Da die Ergebnisse der ANOVA und des Scheffé-Tests alle auf dem gleichen Signifikanzniveau bestätigt wurden werden diese Ergebnisse hier nicht berichtet (vgl. Abschnitte 8.4.2, S. 109 und 8.4.3, S. 110).

Verständnis. Der Vergleich der Ergebnisse des Verständnistests, die in Tabelle 9.9 auf der nächsten Seite und Abbildung 9.8b auf der vorherigen Seite dargestellt sind, zeigt weniger deutliche Mittelwertunterschiede zwischen den Vorwissensgruppen. Auch eine einfaktorielle Varianzanalyse zeigt, dass diese relativ geringen Unterschiede bei zu großer Streuung nicht signifikant sind ($F(2, 110) = 2,29; p > 0,05$). Eine weitere Analyse durch Einzelgruppenvergleiche erübrigt sich damit. *Hypothese 3b und Hypothese 4b müssen abgelehnt werden.*

Fazit zu Hypothese 3 und 4

Das Vorwissen der Lerner wurde für diese Arbeit mit einer Skala von nur sechs Items erfasst, die sich zudem für die Lerner als relativ schwierig erwiesen hat. Die Items sind inhaltlich auf themenspezifisches Grundlagenwissen ausgerichtet, das für ein Verständnis des in der multimedialen Lernumgebung behandelten Themas der olfaktorischen Signaltransduktion nötig ist. Es zeigt sich jedoch, dass nur wenige Lerner mehr als die Hälfte der Items richtig beantworten können. Vor allem die zwei Items VW03 und VW05 tragen zu der Schwierigkeit des Tests bei. Der Wortlaut der Items findet sich in Anhang D.1 auf Seite 207f. Item VW03 fragt nach der *alle* Zellen begrenzenden Struktur. Hier hat der Distraktor Zellwand eine solch „verlockende“ Wirkung, dass diese Antwortalternative von 60% der Lerner ausgewählt wird.⁵ Auch das zweite Item (VW05), das wesentlich zur Schwierigkeit des Vorwissenstests beiträgt, bezieht sich inhaltlich auf die Plasmamembran. Zur Lösung dieses Item muss eine Membran nach dem Flüssig-Mosaik-Modell gezeichnet und beschriftet werden. Durch Zeichnung und Beschriftung der doppelten Phospholipidschicht werden bereits 60% der für eine richtige Beantwortung nötigen Punktzahl erreicht. Insofern spiegelt die hohe Schwierigkeit des Vorwissenstests vor allem ein bei den Schülern gering entwickeltes Wissen über die Struktur von Biomembranen wieder.

Anhand der Vorwissensskala wurden die Versuchspersonen in drei unterschiedliche Vorwissensniveaus eingeteilt. Der Vergleich dieser Vorwissensniveaus bezüglich ihres Lernerfolgs zeigt, dass sich nur im Erwerb von Faktenkenntnis und dort auch nur im Vergleich mit dem hohen Vorwissensniveau signifikante Unterschiede zeigen. Die zunächst trivial erscheinende Aussage, dass das Lernergebnis vom Vorwissen abhängt kann demnach zumindest für diese Stichprobe und mit den gewählten Methoden nicht pauschal bestätigt werden. Während die Unterschiede im Faktenwissen zumindest in Bezug auf die Extremgruppen eindeutig sind, verwischt dieser Unterschied bei dem Erwerb von Verständnis.

Ein Indiz für eine Interpretation dieser Ergebnisse liefern die insgesamt niedrigen Summenscores im Verständnistest, die zeigen, dass dieses Instrument Verständnis auf hohem Niveau testet (vgl. Abschnitt 8.3.3, S. 104 ff.). Gleichzeitig ist jedoch selbst

⁵Berechnet auf der Grundlage einer zufälligen Stichprobe von 20 Versuchspersonen. Ein χ^2 -Test nach Pearson ergibt eine höchst signifikante Abweichung von der Gleichverteilung $\chi^2(3) = 17,0; p < 0,01$, wobei das Residuum für die Auswahl „Zellwand“ mit 7,3 die deutlichste Abweichung anzeigt.

das höchste der hier festgelegten drei Vorwissensniveaus kein absolut gesehen „hohes Vorwissen“. Der hohe kognitive Anspruch des Verständnistests hat möglicherweise selbst die Lerner mit „hohem Vorwissen“ noch überfordert. Dies führt vermutlich zu den insgesamt niedrigen Ergebnissen im Verständnistest. So wäre es auch zu erklären, dass die Unterschiede im Vorwissen ausreichen, um beim kognitiv weniger anspruchsvollen Erwerb von Faktenkenntnis zu signifikanten Unterschieden zu führen.

Da diese Ergebnisse noch nicht nach den beiden Versuchsgruppen unterteilt sind, kommt außerdem ein *treatmentabhängiger Vorwissenseffekt* für die Erklärung in Betracht. Diese Vermutung wird im Zuge der folgenden beiden Hypothesen überprüft und wird dort entsprechend weiterverfolgt.

9.3.2. Hypothese 5 und 6: Vorwissensabhängigkeit des Lernerfolgs in Abhängigkeit von der Gruppe

Für den Effekt des Vorwissens in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit wurden in Bezug auf die zwei hier verwendeten Maße für Lernerfolg (Faktenkenntnis und Verständnis) zwei unterschiedliche Hypothesen aufgestellt. Die Ergebnisse zu diesen Hypothesen werden im folgenden dargestellt. Eine Übersicht über die Ergebnisse (Stichprobenzahl, Mittelwert und Standardabweichung) für diese beiden Hypothesen liefert Tabelle 9.9, die erste unabhängige Variable „Gestaltung der Begleitbögen“ ist in den Spalten dargestellt, die zweite unabhängige Variable „Vorwissensniveau“ in den Zeilen.

Tabelle 9.9: Gruppenvergleich von Mittelwerten (M) und Standardabweichungen (SD) der unterschiedlichen Vorwissensniveaus im Faktenwissens- und Verständnistest.

	Vorwissen	Notizen			Mikroaufgaben			Gesamt		
		M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N
Faktenkenntnis	niedrig	0,938	1,124	16	1,571	1,550	28	1,341	1,430	44
	mittel	1,913	1,649	23	1,368	1,065	19	1,667	1,426	42
	hoch	3,833	0,753	6	2,750	1,488	8	3,214	1,311	14
	Gesamt	1,822	1,642	45	1,673	1,441	55	1,740	1,528	100
Verständnis	niedrig	2,565	1,647	23	2,355	1,836	31	2,444	1,745	54
	mittel	3,917	1,666	24	2,143	1,389	21	3,089	1,769	45
	hoch	3,667	1,033	6	3,000	2,000	8	3,286	1,637	14
	Gesamt	3,302	1,705	53	2,367	1,707	60	2,805	1,762	113

Faktenkenntnis. Es wurde in Abschnitt 7.2.1 auf Seite 88 angenommen, dass Lerner mit wenig und mittlerem Vorwissen von den Mikroaufgaben profitieren können, und zwar letztere mehr als erstere. Lerner mit hohem Vorwissen sollten dagegen nicht

von den Mikroaufgaben profitieren können. Die Hypothesen für die Faktenkenntnis lauteten im einzelnen:

HYPOTHESE 5: *Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Mikroaufgaben beantworten, erwerben im Vergleich zu Lernern die solche Aufgaben nicht erhalten ...*

- (a) ... **mehr Faktenkenntnis**, wenn sie über **mittleres Vorwissen** in der Domäne verfügen und
- (b) ... **mehr Faktenkenntnis**, wenn sie über **geringes Vorwissen** in der Domäne verfügen,
- (c) ... **wobei dieser Effekt für Lerner mit mittlerem Vorwissen stärker ausfällt**, als für Lerner mit geringem Vorwissen und
- (d) ... **sich dieser Effekt nicht für Lerner mit hohem Vorwissen** in der Domäne zeigt.

In Tabelle 9.9 auf der vorherigen Seite und Abbildung 9.9 sind die Ergebnisse zu diesen Hypothesen dargestellt.

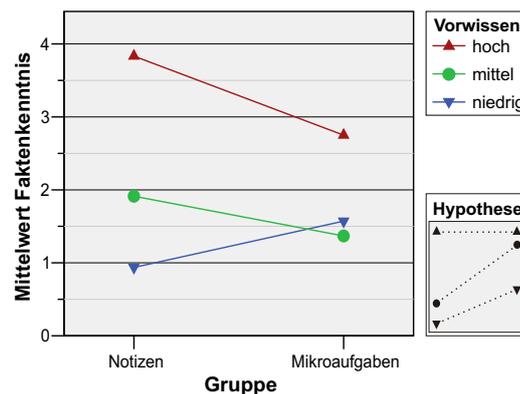


Abbildung 9.9: Zusammenhang der Gruppenzugehörigkeit (Notizen vs. Aufgaben), des Vorwissensniveaus und der Faktenkenntnis. Rechts unten ist zum Vergleich der Zusammenhang gezeigt, wie er in der Hypothese formuliert ist.

Zur generellen Überprüfung dieser Hypothese wurde eine Varianzanalyse mit den Faktoren „Gestaltung der Begleitbögen“ (Notizen/Mikroaufgaben) und „Vorwissensniveau“ (gering/mittel/hoch) durchgeführt, die ein gültiges Gesamtmodell ergab ($F(5,94) = 5,037; p < 0,001$). Es ergab sich kein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“ ($F(1,94) = 1,048; ns.$), der Vorwissenseffekt, der sich bereits in den Ergebnissen zu Hypothese 3a bzw. 4a zeigte, bestätigt sich hier ($F(2,94) = 11,071; p < 0,001$). Außerdem ist ein statistisch nicht signifikanter, aber in der Tendenz bestätigter Interaktionseffekt zwischen den

zwei Faktoren „Gestaltung der Begleitbögen“ und „Vorwissensniveau“ zu erkennen ($F(2,94) = 2,795; p = 0,066$), der allerdings nicht gemäß der Hypothesen verläuft, wie in Abbildung 9.9 auf der vorherigen Seite zu sehen ist.

Aufgrund des zumindest tendenziell bestätigten Interaktionseffekts scheint es gerechtfertigt weitere Einzelvergleiche durchzuführen. Zur Aufklärung der a priori formulierten Einzelvergleichshypothesen wurden bedingte Haupteffekte (Konfidenzintervall korrigiert nach Bonferroni) berechnet.

Die Lerner mit niedrigem Vorwissen lernen mit Mikroaufgaben zwar etwas mehr Faktenwissen als ohne, dieser Unterschied erreicht aber kein signifikantes Niveau ($F(1,94) = 2,11; p = 0,15$). Lerner mit mittlerem Vorwissen lernen entgegen der Hypothese 5b mehr mit den Notizen, dieser Unterschied erreicht jedoch nicht das nötige Signifikanzniveau ($F(1,94) = 1,59; p = 0,21$). *Die Hypothesen 5a–c sind daher zu verwerfen.* Für Hypothese 5d, die der Nullhypothese entspricht, müssen sowohl die α - als auch die β -Fehler-Wahrscheinlichkeit berechnet werden, wobei die anzulegenden Signifikanzniveaus umgekehrt sind, also ein Minimalwert von $\alpha = 0,2$ und ein β von höchstens 0,05. Die Vermutung, dass Lerner mit hohem Vorwissen beider Versuchsgruppen gleich viel lernen, muss sowohl abgelehnt werden, weil die α -Fehler-Wahrscheinlichkeit unter 20% liegt, als auch weil die β -Fehler-Wahrscheinlichkeit über 5% liegt ($F(1,94) = 2,05; p_\alpha = 0,153; p_\beta = 0,526; \eta^2 = 0,15$). *Die Hypothese 5d muss demnach abgelehnt werden.*

Zur Überprüfung des Vorwissenseffekts auf den Lernerfolg in der Faktenkenntnis (Hypothese 3a und 4a), der sich für die Gesamtgruppe nur teilweise bestätigte (vgl. Abschnitt 9.3.1, S. 125 ff.), soll an dieser Stelle noch ein Vergleich innerhalb der verschiedenen Treatments durchgeführt werden. Auch hier werden zunächst die bedingten Haupteffekte betrachtet. Schon aus Abbildung 9.9 auf der vorherigen Seite ist ersichtlich, was die bedingten Haupteffekte bestätigen: die Unterschiede innerhalb der Notiz-Gruppe fallen deutlicher aus ($F = 9,53; p < 0,001$), als innerhalb der Mikroaufgaben-Gruppe ($F = 2,92; p = 0,059$).

Paarweise Einzelvergleiche bestätigen, dass sich nur die Mittelwerte innerhalb der Notizen-Gruppe zwischen hohem und mittlerem Vorwissen ($\mu_{\text{hohes VW}} - \mu_{\text{mittleres VW}} = 1,92; p < 0,05$), sowie zwischen hohem und niedrigem Vorwissen ($\mu_{\text{hohes VW}} - \mu_{\text{niedriges VW}} = 2,9; p < 0,001$) signifikant unterscheiden. Alle anderen Einzelvergleiche werden nicht signifikant. Die bei der Überprüfung von Hypothese 3a und 4a gefundenen Unterschiede bestätigen sich damit nur für die Notiz-Gruppe.

Verständnis. Für das Verständnis wurden drei Unterhypothesen formuliert, wobei nur für Lerner mit mittlerem Vorwissen ein positiver Effekt der Mikroaufgaben angenommen wurde, für Lerner mit geringem und hohem Vorwissen wurde dagegen die Nullhypothese (keine Veränderung) angenommen:

HYPOTHESE 6: *Lerner, die während der Bearbeitung einer multimedialen Lernumgebung Mikroaufgaben beantworten, erwerben im Vergleich zu Lernern, die solche Aufgaben*

nicht erhalten, (a) **mehr Verständnis** bei einem mittleren Vorwissensniveau. Dieser Effekt zeigt sich nicht für Lerner mit (b) geringem oder (c) hohem Vorwissen.

Eine Varianzanalyse mit den Faktoren „Gestaltung der Begleitbögen“ und „Vorwissensniveau“ ergab für die abhängige Variable Verständnis ein hoch signifikantes Gesamtmodell ($F(5, 107) = 3,689; p < 0,01$). Im Gegensatz zur Faktenkenntnis zeigt sich hier ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“ ($F(1, 107) = 5,553; p < 0,05; \eta^2 = 0,049$). Der Vorwissenseffekt, der bereits in den Ergebnissen zu Hypothese 3b bzw. 4b verworfen werden musste, kann auch hier das erforderliche Signifikanzniveau nicht erreichen ($F(2, 107) = 2,232; ns.$). Außerdem ist auch hier, wie schon beim Faktenwissen, ein statistisch nicht signifikanter, aber in der Tendenz bestätigter Interaktionseffekt zwischen den zwei Faktoren „Gestaltung der Begleitbögen“ und „Vorwissensniveau“ zu beobachten ($F(2, 107) = 2,710; p < 0,10$). Auf Abbildung 9.10 ist zu erkennen, dass die Interaktion jedoch entgegen der Hypothese verläuft.

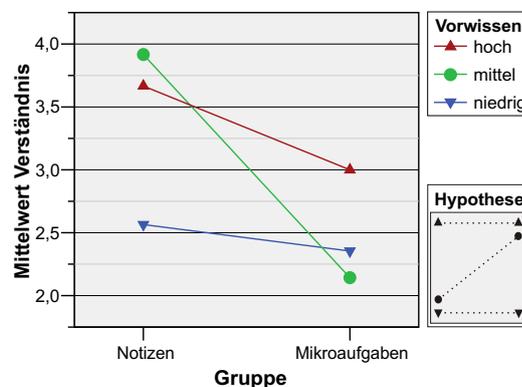


Abbildung 9.10: Zusammenhang der Gruppenzugehörigkeit (Notizen vs. Aufgaben), des Vorwissensniveaus und des Verständnisses. Rechts unten ist der Zusammenhang gezeigt, wie er in der Hypothese angenommen worden war.

Die auch hier trotz des knapp verfehlten Signifikanzniveaus durchgeführten Analysen der bedingten Haupteffekte bestätigen das Augenscheinurteil. Die Gestaltung der Begleitbögen beeinflusste das Lernergebnis im Verständnis bei Lernern mit mittlerem Vorwissen ($F(1, 107) = 12,718; p = 0,001; \eta^2 = 0,106$), wobei die Richtung des Einflusses nicht hypothesenkonform ist. *Hypothese 6a muss also abgelehnt werden.* Es ist wie erwartet kein Einfluss des Treatments auf Lerner mit geringem Vorwissen ($F(1, 107) = 0,211; p = 0,65; \eta^2 = 0,002$) oder hohem Vorwissen ($F(1, 107) = 0,550; p = 0,46; \eta^2 = 0,005$) festzustellen. Hypothesen 6b und 6c können also in Bezug auf die α -Fehler-Wahrscheinlichkeit beibehalten werden ($p_\alpha > 0,2$). Zur weiteren Überprüfung der beiden gemäß Nullhypothese formulierten Annahmen wurden die β -Fehler-Wahrscheinlichkeiten berechnet. Aufgrund des nicht erreichten Signifikanzniveaus sowohl für Lerner mit geringem Vorwissen ($p_\beta = 0,32$), als auch für Lerner

mit hohem Vorwissen ($p_\beta = 0,54$) sind jedoch beide Nullhypothesen zu verwerfen. Die Ergebnisse liegen damit in einem statistischen Indifferenzbereich. *Die Hypothesen 6b und 6c können demnach weder bestätigt noch abgelehnt werden.*

Auch für das Verständnis soll der in den Hypothesen 3b und 4b für die Gesamtgruppe formulierte Vorwissenseffekt noch einmal für die zwei Versuchsgruppen einzeln überprüft werden. Für die Gesamtgruppe hatte sich kein Vorwissenseffekt nachweisen lassen (vgl. Abschnitt 9.3.1, S. 125 ff.). Eine Analyse der bedingten Haupteffekte zeigt, dass innerhalb der Notiz-Gruppe ein deutlicher Unterschied zwischen den Vorwissensgruppen besteht ($F = 4,03; p = 0,02; \eta^2 = 0,07$), während innerhalb der Mikroaufgaben-Gruppe keine Unterschiede festgestellt werden können ($F = 0,77; p = 0,466$). Über paarweise Einzelvergleiche wird deutlich, dass sich nur die Mittelwerte zwischen mittlerem und geringem Vorwissen ($\mu_{\text{mittleres VW}} - \mu_{\text{geringes VW}} = 1,35; p = 0,02$) signifikant unterscheiden. Alle anderen Einzelvergleiche werden nicht signifikant. Der in den Ergebnissen zu Hypothese 3b und 4b für die Gesamtgruppe verworfene Vorwissenseffekt ist hier also für die Notiz-Gruppe eingetreten.

Fazit für Hypothese 5 und 6. Die Ergebnisse zu der Wirkung der Mikroaufgaben auf das Lernen von Faktenwissen und Verständnis in unterschiedlichen Vorwissensgruppen konnte keine Überlegenheit der entwickelten Mikroaufgaben im Vergleich zu der Kontrollsituation feststellen, die das Anfertigen von Notizen erlaubte. Die Gestaltung der Begleitbögen hat keine signifikanten Auswirkungen auf den Erwerb von Faktenkenntnis, während in Bezug auf das Verständnis ein Effekt festgestellt wurde, der entgegen der Hypothese 6a eine Überlegenheit der Notiz-Gruppe zeigte, wenngleich dieser Faktor auch nur etwa 5% zur Erklärung der Gesamtvariation beiträgt. Während also keine Anhaltspunkte für einen Vorteil der auf der Basis kognitiver Theorien entwickelten Mikroaufgaben zu finden sind, scheinen die von der Kontrollgruppe verwendeten Begleitbögen mit der Möglichkeit zum Notizen machen einen leichten Vorteil beim Erwerb von Verständnis zu bieten. Dies zeigte sich bereits bei der Überprüfung von Hypothese 2. In den Ergebnissen zu Hypothese 6 wurde jedoch deutlich, dass dies vor allem auf Lerner mit mittlerem Vorwissensniveau zutrifft.

Vorläufiges Fazit zum Vorwissenseffekt. Der in den Ergebnissen für die Hypothesen 3 und 4 für die Gesamtgruppe diskutierte Vorwissenseffekt soll hier noch einmal in Bezug auf die einzelnen Versuchsgruppen betrachtet werden. Es zeigte sich, dass sich die Ergebnisse der Hypothese 3a, also eines Effekts des Vorwissens auf den Erwerb von Faktenwissen, in der Notizen-Gruppe bestätigten: Lerner mit hohem Vorwissen konnten mehr Faktenwissen erreichen, als Lerner mit mittlerem oder niedrigem Vorwissen. Für die Mikroaufgaben-Gruppe konnte dieser Effekt nicht bestätigt werden.

Für den Erwerb von Verständnis haben die Ergebnisse zu einer Ablehnung der

Hypothese 4b geführt, die für die Gesamtgruppe einen Vorwissenseffekt vorausgesagt hatte. Im Gegensatz dazu konnte der Vorwissenseffekt innerhalb der Notizen-Gruppe bestätigt werden: Es fand sich also ein treatmentabhängiger Einfluss des Vorwissens auf das Verständnis. Dieser Effekt trat in der Mikroaufgaben-Gruppe nicht auf.

Dies kann so gedeutet werden, dass die Notizen den Lernern die Möglichkeit bieten, ihr Vorwissen „gewinnbringend“ einzusetzen, während Mikroaufgaben den Lernern weniger Gelegenheit bieten, das vorhandene Vorwissen als Grundlage für den Erwerb von neuem Wissen einzusetzen. Allerdings haben diese Folgerungen lediglich den Charakter neuer Hypothesen, denn dieses Ergebnis entstammt a posteriori Einzelvergleichen, die nicht durch vorher formulierte Hypothesen vorausgesagt wurden.

9.3.3. Hypothese 7 und 8: Auswirkung der Ausprägtheit des kognitiven Stils

Deskriptive Statistiken

Um eine Variable zu erhalten, die ausdrückt, wie ausgeprägt der kognitive Stil einer Person ist, sollen die Lerner, bei denen ein kognitiver Stil überwiegt, in eine Gruppe und die Lerner mit relativ ausgeglichenen kognitiven Stilen in eine andere Gruppe eingeteilt werden. Hierzu wurde zunächst die Differenz des Mittelwerts der Skalen „Verbaler kognitiver Stil“ und „Visueller kognitiver Stil“ gebildet. Anschließend wurden anhand des folgenden Intervalls zwei gleich große Gruppen gebildet:

$$\{x \in \mathbb{R} \mid -0,66 < x < 0,66\}$$

Lerner, die innerhalb des Intervalls liegen, gehören zur Gruppe „Gemischter kognitiver Stil“ ($n = 59$), Lerner, die außerhalb dieses Intervalls liegen, gehören zur Gruppe „Ausgeprägter kognitiver Stil“ ($n = 59$). Die letztgenannte Gruppe lässt sich noch weiter unterteilen und zwar in eine Gruppe visuellen kognitiven Stils ($n = 19$), die oberhalb, und eine Gruppe verbalen kognitiven Stils ($n = 40$), die unterhalb des Intervalls liegen (vgl. Abb. 9.11 auf der nächsten Seite).

Lerner mit verbalem kognitiven Stil sind in der Gruppe ausgeprägten kognitiven Stils überrepräsentiert, was aber keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben sollte, da die Ausprägtheit und nicht der Typ des kognitiven Stils entscheidend ist.

Hypothesenprüfung

Es wurde vermutet, dass die Wirkung des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“ je nach kognitiver Ausprägung unterschiedlich ausfällt. Lerner mit starker kognitiver Ausprägung sollten von den Mikroaufgaben beim Erwerb von Faktenkenntnis und Verständnis profitieren, während Lerner mit schwacher kognitiver Ausprägung nicht von den Mikroaufgaben profitieren sollten. Entsprechend wurden die folgenden Hypothesen formuliert:

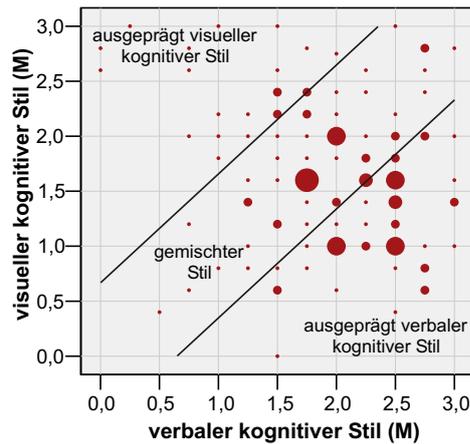


Abbildung 9.11: Streudiagramm für die Verteilung zwischen verbalem und visuellem kognitiven Stil. Lerner die nahe der Diagonalen liegen besitzen dagegen einen gemischten kognitiven Stil. Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden für jede Dimension 15 Punkteklassen festgelegt, d. h. der größte Punkt steht für 15, der kleinste für einen Datenpunkt. Die Klassenpunkte nehmen jeweils die Position des Zentroids einer Klasse ein.

HYPOTHESE 7: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von **Faktenkenntnis** ist insofern abhängig vom **kognitiven Stil** der Lerner, als dass (a) Lerner mit **stark ausgeprägtem kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben und (b) Lerner mit **schwach ausgeprägtem kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.

HYPOTHESE 8: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von **Verständnis** ist insofern abhängig vom **kognitiven Stil** der Lerner, als dass (a) Lerner mit **stark ausgeprägtem kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben und (b) Lerner mit **eine schwach ausgeprägtem kognitiven Stil** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.

Eine Übersicht über die Ergebnisse (Stichprobenzahl, Mittelwert und Standardabweichung) ist in Tabelle 9.10 auf der nächsten Seite dargestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser beiden Hypothesen im Einzelnen dargestellt. Zur Überprüfung beider Hypothesen wurden Varianzanalysen mit den Faktoren „Gestaltung der Begleitbögen“ (Notizen/Mikroaufgaben) und „Ausprägung des kognitiven Stils“ (schwach/stark) durchgeführt.

Faktenkenntnis. Die Überprüfung der Hypothese 7 mittels einer Varianzanalyse ergab weder einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“, ($F(1,96) = 0,275; ns.$), noch einen Haupteffekt der „Ausprägtheit des kognitiven Stils“ ($F(1,96) = 0,257; ns.$). Allerdings zeigte sich zwischen den beiden

Tabelle 9.10: Gruppenvergleich von Mittelwerten (M) und Standardabweichungen (SD) der Ausprägtheit des kognitiven Stils im Faktenwissens- und Verständnistest.

	Ausprägtheit Kognitiver Stil	Notizen			Mikroaufgaben			Gesamt		
		M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N
Faktenkenntnis	schwach	2,095	1,670	21	1,286	1,329	28	1,633	1,523	49
	stark	1,583	1,613	24	2,074	1,466	27	1,843	1,541	51
	Gesamt	1,822	1,642	45	1,673	1,441	55	1,740	1,528	100
Verständnis	schwach	3,346	1,810	26	2,467	1,676	30	2,875	1,779	56
	stark	3,259	1,631	27	2,267	1,760	30	2,737	1,758	57
	Gesamt	3,302	1,705	53	2,367	1,707	60	2,805	1,762	113

Faktoren ein signifikanter Interaktionseffekt, $F(1,96) = 4,569$; $p = 0,035$; $\eta^2 = 0,045$. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 9.12a dargestellt.

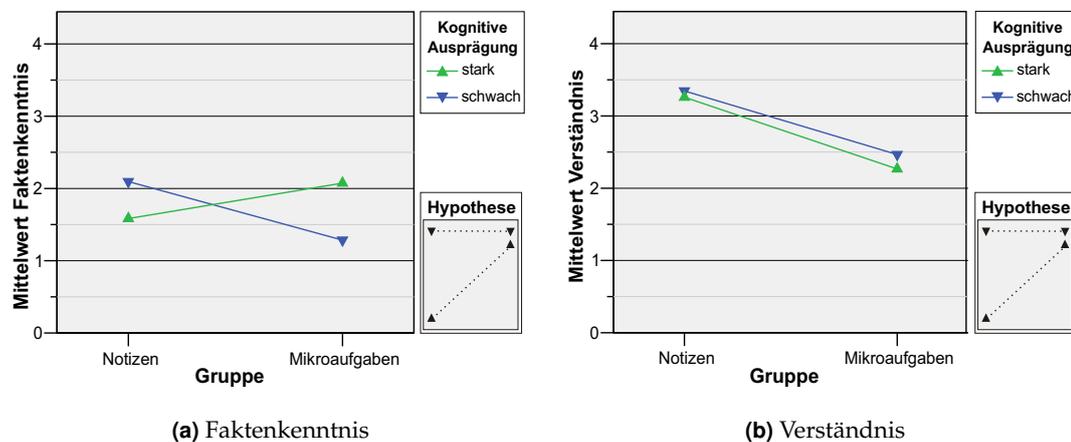


Abbildung 9.12: Zusammenhang der Gruppenzugehörigkeit (Notizen vs. Aufgaben) und der Ausprägung des kognitiven Stils (für den Lernerfolg. **(a)** Faktenkenntnistest (max. 5 Punkte); **(b)** Verständnistest (max. 9 Punkte). Rechts unten ist jeweils der hypothesengemäße Zusammenhang angegeben.

Für eine Überprüfung der in Hypothese 7 formulierten Vermutungen wurden weitere Analysen der bedingten Haupteffekte durchgeführt. Für Lerner mit stark ausgeprägtem kognitiven Stil ergab sich allerdings kein signifikant besseres Ergebnis im Faktenkenntnistest, $F(1,96) = 1,340$; $p = 0,25$. *Hypothese 7a muss daher verworfen werden.* Lerner mit schwach ausgeprägtem kognitiven Stil zeigen unter der Bedingung „Notizen“ ein etwas besseres Lernergebnis im Faktenkenntnistest, dass sich in der Tendenz auch statistisch absichern lässt, $F(1,96) = 3,444$; $p = 0,067$; $\eta^2 = 0,035$. Dies widerspricht der Annahme, dass für diese Lernergruppe die Nullhypothese gilt. Auch die hohe β -Fehler-Wahrscheinlichkeit ($p_\beta = 0,568$) führt zur Ablehnung der Hypothese 7b.

Verständnis. Die Varianzanalyse zur Überprüfung der Hypothese 8 ergab einen hoch signifikanten Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“, $F(1,109) = 8,335; p = 0,005; \eta^2 = 0,071$, der eine bessere Verständnisleistung für die Notizen-Gruppe ausweist, wie auch aus Abbildung 9.12b auf der vorherigen Seite ersichtlich ist. Es zeigte sich jedoch weder ein Effekt des Faktors „Ausgeprägtheit des kognitiven Stils“, noch ein Interaktionseffekt zwischen den Faktoren. Eine Analyse der bedingten Haupteffekte konnte zeigen, dass Lerner mit starker kognitiver Ausprägung signifikant besser in der Notiz-Gruppe gelernt haben, als in der Mikroaufgabengruppe, $F(1,109) = 4,733; p = 0,032; \eta^2 = 0,042$. Die Hypothese 8a, die einen gegenteiligen Effekt vermutete, muss damit abgelehnt werden. Hypothese 8b entsprach der Nullhypothese, dass Lerner mit gering ausgeprägtem kognitiven Stil sich in ihrem Verständnis nicht zwischen den Versuchsgruppen unterscheiden. Die Varianzanalyse zeigt jedoch, dass die Nullhypothese sowohl aufgrund der α - als auch der β -Fehler-Wahrscheinlichkeit abgelehnt werden muss $F(1,109) = 3,642; p_\alpha = 0,059; p_\beta = 0,4885; \eta^2 = 0,032$. Hypothese 8b ist daher zu verwerfen.

Fazit zu Hypothese 7 und 8

Ausgangspunkt für diese Hypothesen war die Annahme, dass aufgrund der starken Ausgeprägtheit des kognitiven Stils eine mangelnde Integration von text- und bildbasierten mentalen Repräsentationen bei dieser Lernergruppe kompensiert werden kann. Die Ergebnisse können die Annahme nicht bestätigen, dass die hier entwickelten Mikroaufgaben Lerner mit einem ausgeprägten kognitiven Stil so zur Nutzung der jeweils anderen Repräsentationsform anregen, dass sie bessere Lernergebnisse erzielen. Zwar zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt, dieser verlief jedoch etwas anders als in der Hypothese formuliert wurde. Die Ergebnisse der Lerner mit stark ausgeprägtem kognitiven Stil für die Faktenkenntnis fallen zwar etwas besser aus und weisen damit in die erwartete Richtung, verfehlen aber das nötige Signifikanzniveau. Allerdings besteht diese leichte Überlegenheit der Mikroaufgaben-Gruppe entgegen der leichten generellen Überlegenheit der Notizen-Gruppe (Hypothese 1) und ist somit etwas höher einzustufen. Lerner mit schwacher Ausprägung eines kognitiven Stils lernen dagegen in der Tendenz besser unter der Notiz-Bedingung, was nicht im Voraus erwartet wurde.

Für den Erwerb von Verständnis mit Hilfe von Mikroaufgaben spielt die Ausprägung des kognitiven Stils dagegen keine Rolle, da hier lediglich der bereits in Hypothese 2 gefundene Vorteil der Notiz-Bedingung bestätigt wird.

Insgesamt hatte die Gestaltung der Begleitbögen (Notizen oder Mikroaufgaben) also keinen wesentlichen Einfluss auf die Unterstützung von Lernern mit stark ausgeprägtem kognitiven Stil. Die Ergebnisse können die theoretischen Grundannahmen also nicht überzeugend bestätigen. Allerdings gibt es Indizien für einen Einfluss der Ausgeprägtheit des kognitiven Stils auf den Erwerb von Faktenkenntnis. Die

grundsätzlichen theoretischen Überlegungen zu einem Einfluss dieses Lernermerkmals konnten insofern bestätigt werden.

9.3.4. Hypothese 9 und 10: Auswirkung des individuellen Interesses

Deskriptive Statistiken

Das individuelle Interesse der Lerner an Biologie und Naturwissenschaften wurde mit einer Skala aus vier Items erfasst, die jeweils vierstufig waren. Insgesamt konnte ein Lerner also maximal einen Summenscore von 16 erreichen. In Abbildung 9.13 sind die Summenscores grafisch dargestellt. Insgesamt gehen 116 Schüler in die Auswertung ein. Der Mittelwert liegt bei 5,5 während die Standardabweichung 2,74 beträgt.

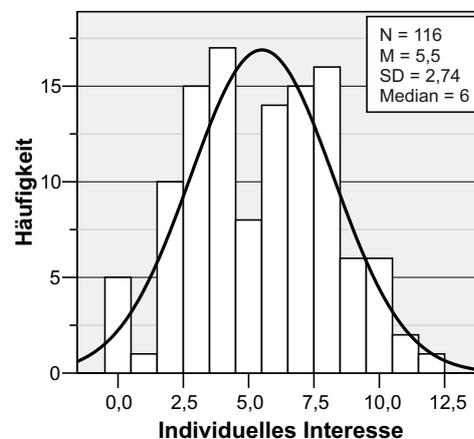


Abbildung 9.13: Histogramm der Häufigkeiten der Summenscores im Test zum individuellen Interesse.

Um zwei Gruppen (hohes und geringes Interesse) zu erhalten, wurde ein Mediansplit vorgenommen, wobei alle Versuchspersonen mit einem Summenscore unter 6 der Gruppe „geringes individuelles Interesse“ ($n = 56$) zugeordnet wurden, alle Versuchspersonen mit einem Summenscore von 6 oder mehr der Gruppe „hohes individuelles Interesse“ ($n = 60$).

Hypothesenprüfung

Es wurde vermutet, dass Lerner mit geringem individuellen Interesse durch die Mikroaufgaben profitieren können, da diese Lerner durch die instruktionale Unterstützung zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial angeregt werden. Lerner mit hohem Vorwissen sind dagegen auch ohne Mikroaufgaben zu dieser Art intensiver Bearbeitung des Lernmaterials bereit. Entsprechend wurden die folgenden Hypothesen formuliert:

HYPOTHESE 9: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von Faktenkenntnis ist insofern abhängig vom **individuellen Interesse** der Lerner, als dass (a) Lerner mit **geringem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben und (b) Lerner mit **hohem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.

HYPOTHESE 10: Die Wirkung der Mikroaufgaben auf den Erwerb von Verständnis ist insofern abhängig vom **individuellen Interesse** der Lerner, als dass (a) Lerner mit **geringem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **bessere Lernergebnisse** erzielen als ohne Mikroaufgaben und (b) Lerner mit **hohem individuellen Interesse** mit Mikroaufgaben **gleich gute Lernergebnisse** erzielen wie ohne Mikroaufgaben.

Eine Übersicht über die Ergebnisse (Stichprobenzahl, Mittelwert und Standardabweichung) ist in Tabelle 9.11 dargestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Hypothesen 9 und 10 im Einzelnen dargestellt. Zur Überprüfung beider Hypothesen wurden Varianzanalysen mit den Faktoren „Gestaltung der Begleitbögen“ (Notizen/Mikroaufgaben) und „Individuelles Interesse“ (gering/hoch) durchgeführt.

Tabelle 9.11: Gruppenvergleich von Mittelwerten (M) und Standardabweichungen (SD) des individuellen Interesses im Faktenwissens- und Verständnistest.

	Individuelles Interesse	Notizen			Mikroaufgaben			Gesamt		
		M	SD	N	M	SD	N	M	SD	N
Faktenkenntnis	gering	1,476	1,601	21	1,615	1,499	26	1,553	1,530	47
	hoch	2,087	1,676	23	1,786	1,397	28	1,922	1,521	51
	Gesamt	1,795	1,651	44	1,704	1,436	54	1,745	1,529	98
Verständnis	gering	2,760	1,809	25	1,893	1,571	28	2,302	1,727	53
	hoch	3,778	1,502	27	2,710	1,716	31	3,207	1,694	58
	Gesamt	3,288	1,719	52	2,322	1,686	59	2,775	1,762	111

Faktenkenntnis. Die varianzanalytische Überprüfung der Hypothese 9 ergab weder einen signifikanten Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“, $F(1, 94) = 0,067$; $p = 0,769$, noch einen Haupteffekt des Faktors „Individuelles Interesse“, $F(1, 94) = 1,564$; $p = 0,214$. Auch ein Interaktionseffekt konnte nicht nachgewiesen werden, $F(1, 94) = 0,497$; $p = 0,483$. *Hypothese 9a muss daher verworfen werden.* Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 9.14a auf der nächsten Seite dargestellt.

Für die Überprüfung der Hypothese 9b, die der Nullhypothese entspricht, wird der bedingte Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“ innerhalb der Gruppe hohen individuellen Interesses betrachtet. Aufgrund der α -Fehler-Wahrscheinlichkeit wäre die Nullhypothese anzunehmen, aufgrund der zu hohen β -Fehler-Wahrscheinlichkeit muss sie aber abgelehnt werden, $F(1, 94) = 0,485$; $p_\alpha =$

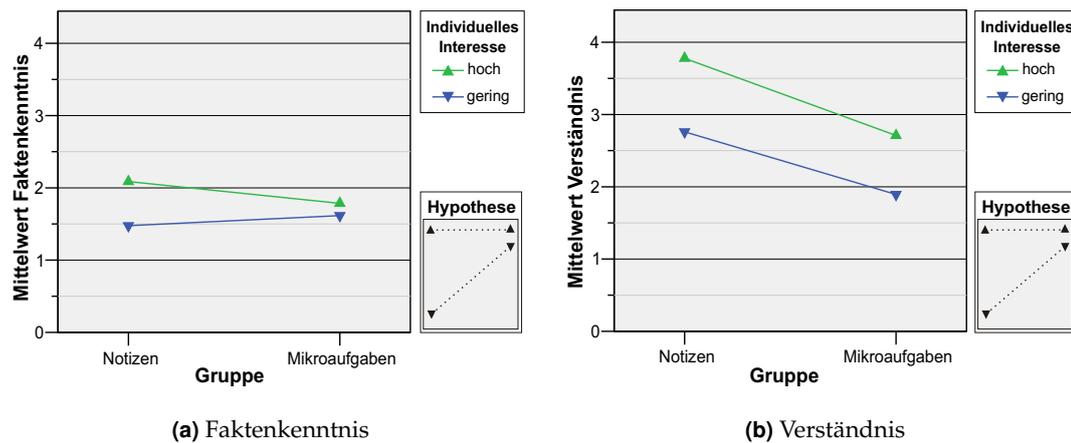


Abbildung 9.14: Zusammenhang der Gruppenzugehörigkeit (Notizen vs. Aufgaben) und des individuellen Interesses (gering/hoch) mit dem Lernerfolg. (a) Faktenkenntnistest (max. 5 Punkte); (b) Verständnistest (max. 9 Punkte). Rechts unten ist jeweils der hypothesengemäße Zusammenhang angegeben.

$0,488$; $p_{\beta} = 0,416$; $\eta^2 = 0,005$. Hypothese 9b kann daher statistisch weder bestätigt noch verworfen werden.

Verständnis. Die Varianzanalyse zur Überprüfung der Hypothese 10 ergab einen hoch signifikanten Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“, $F(1,107) = 9,455$; $p = 0,003$; $\eta^2 = 0,081$, der eine bessere Verständnisleistung für die Notizen-Gruppe ausweist, wie in Abbildung 9.14b deutlich wird. Außerdem zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Individuelles Interesse“, $F(1,107) = 8,497$; $p = 0,004$; $\eta^2 = 0,074$, der eine Überlegenheit der Gruppe mit hohem individuellem Interesse bestätigt. Ein Interaktionseffekt zwischen den Faktoren zeigte sich nicht.

Hypothese 10a vermutete eine Überlegenheit der Mikroaufgaben-Bedingung für Lerner mit wenig Interesse. Da sogar der gegenteilige Effekt eingetreten ist, was eine Analyse des bedingten Haupteffekts in der Tendenz bestätigt, $F(1,107) = 3,636$; $p = 0,059$; $\eta^2 = 0,33$, ist Hypothese 10a zu verwerfen. Hypothese 10b prognostizierte keinen Unterschied zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe für die Bedingung hohen individuellen Interesses, was sich ebenfalls nicht bestätigte, $F(1,107) = 6,027$; $p_{\alpha} = 0,016$; $p_{\beta} = 0,481$; $\eta^2 = 0,053$. Hypothese 10b wird daher ebenfalls abgelehnt.

Fazit zu Hypothese 9 und 10

Die Wirkung der Mikroaufgaben erwies sich beim Erwerb von Faktenkenntnis, entgegen der Erwartungen, als unabhängig vom individuellen Interesse der Lernenden. Beim Erwerb von Verständnis ist in beiden Versuchsgruppen (Notizen und Mikro-

aufgaben), also treatmentunabhängig, ein klarer Vorteil der Lerner mit hohem individuellen Interesse zu erkennen. Der Haupteffekt des Faktors „Gestaltung der Begleitbögen“ zugunsten der Notiz-Bedingung repliziert nur die in den Ergebnissen zu Hypothese 2 bereits beobachtete generelle Überlegenheit der Notizen-Gruppe. Das individuelle Interesse der Lerner an Biologie und Naturwissenschaften spielt also für den Erwerb von Faktenwissen keine Rolle, beim Erwerb von Verständnis wirkt es sich dagegen generell positiv aus. Ein positiver Effekt der Mikroaufgaben für Lerner mit geringem individuellen Interesse konnte nicht bestätigt werden.

9.3.5. Hypothese 11 bis 14: Kognitive Auslastung

Deskriptive Statistiken

Die kognitive Auslastung stellt laut Literatur eine wesentliche Größe bei der Gestaltung multimedialer Lernumgebungen dar. Daher wurde vermutet, dass diese Größe einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Mikroaufgaben hat. Dabei wurde gemäß der Theorie zwischen lernumgebungsbezogener kognitiver Auslastung (*extraneous cognitive load*) und lerngegenstandsbezogener kognitiver Auslastung (*intrinsic cognitive load*) unterschieden.

Die kognitive Auslastung durch die Lernumgebung wurde anhand von zwei Subskalen gemessen, die sich einerseits auf die Bedienung der Software, andererseits auf die Begleitbögen bezogen. Die Ergebnisse für die beiden Skalen sind grafisch in Abbildung 9.15 auf der nächsten Seite dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Auslastung aufgrund der Navigation innerhalb der Lernumgebung außerordentlich gering war: 75% der Versuchspersonen empfanden die Auslastung höchstens als gering (Summenscore von 2) und nur sieben Schüler (6%) liegen über einem Summenscore von 4 und empfanden die Bedienung der Software damit als schwierig. Diese Variable spielt damit für die weiteren Betrachtungen keine entscheidende Rolle. Ein ähnliches Bild zeigt sich für die kognitive Auslastung durch die Begleitbögen, die von 61,5% als gering oder sehr gering eingeschätzt wird (Summenscore von 4) und nur von 16,2% als überdurchschnittlich (Summenscore größer als 8) bewertet wird. Es geht also gemäß der Selbstauskunft der meisten Versuchspersonen keine besondere lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung (*extraneous cognitive load*) von den Begleitbögen aus.

In Abbildung 9.16a auf Seite 142 sind die Häufigkeiten der Summenscores der Subskala „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand“ dargestellt. Die Werte erscheinen weitgehend normalverteilt, was ein Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors-Test bestätigt ($\alpha = 0,077$; $p > 0,05$).

Der Boxplot in Abbildung 9.16b auf Seite 142 zeigt, dass sich die Werte vor allem im unteren Bereich verteilen. Das dritte Quartil liegt bei einem Summenscore von 12, somit berichtet nur ein Viertel der Versuchspersonen, dass sie die kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand als mindestens etwas belastend erlebt haben. Die

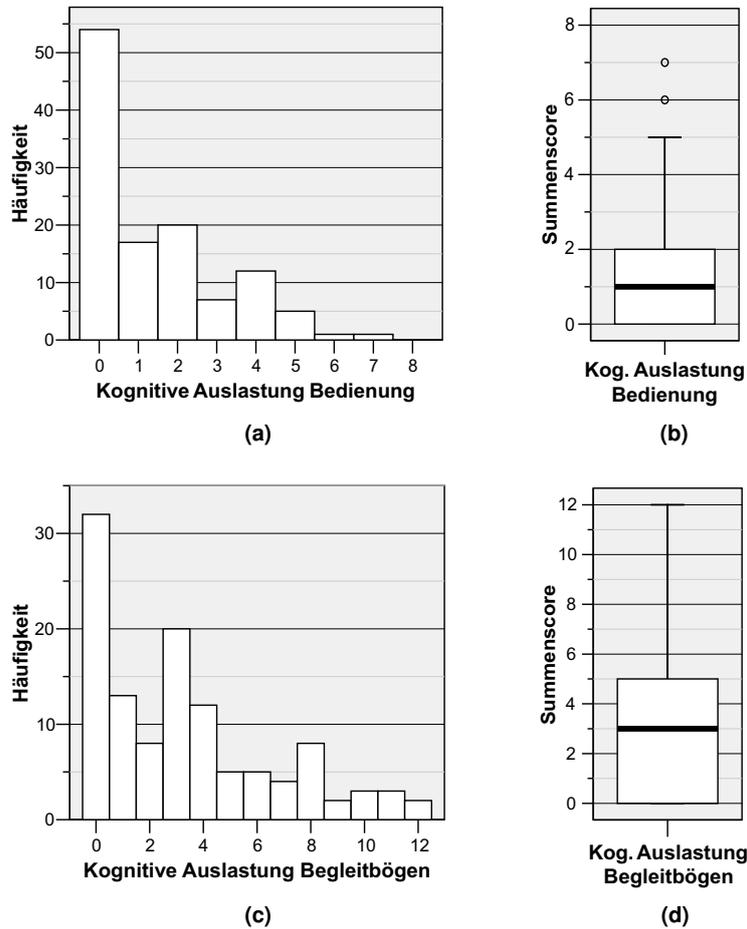


Abbildung 9.15: Histogramme und Boxplots zur kognitiven Auslastung durch die Lernumgebung. **(a und b)** Häufigkeit der Summenscores der Skala „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch die Softwarebedienung“. **(c und d)** Häufigkeit der Summenscores der Skala „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch die Begleitbögen“.

lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung (*intrinsic cognitive load*) fällt somit eher gering aus.

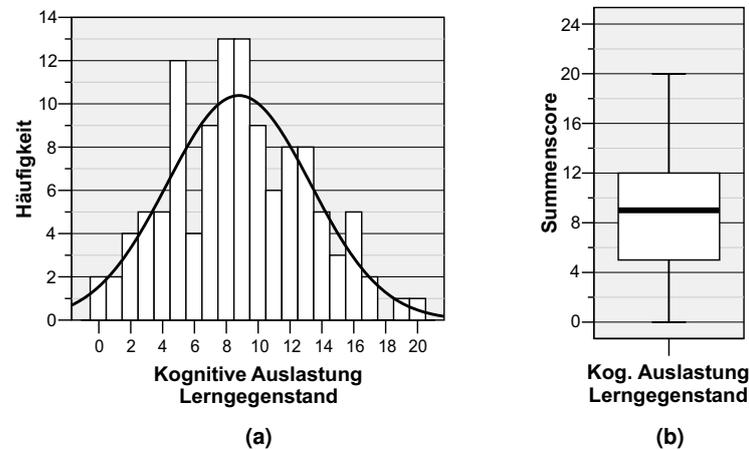


Abbildung 9.16: Ergebnisse zur Skala „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand“, bestehend aus sechs Items mit Scores von 0 bis 4 (max. Summenscore: 24). (a) Das Histogramm stellt die Häufigkeiten der Summenscores dar. (b) Der Boxplot stellt die Verteilung der Summenscores dar.

Außerdem wurde mit Hilfe einer Optimumskala überprüft, wie die Gesamtauslastung der Lerner war. Die Häufigkeitsverteilung der Summenscores der aus sechs Items bestehenden Skala ist in Abbildung 9.17a auf der nächsten Seite dargestellt. Es wird deutlich, dass sich Lerner überwiegend (54 Schüler, 45,4%) im Bereich des Optimums der kognitiven Auslastung befinden, das hier durch das Intervall

$$\{x \in \mathbb{R} \mid -1 \leq x \leq 1\}$$

beschrieben werden soll. 19 Schüler (16%) liegen oberhalb und 44 Schüler (37%) unterhalb des Optimums.

Zur weiteren Auswertung werden die 117 Schüler, die die Items zur optimalen kognitiven Auslastung bearbeitet haben, in die über das Intervall definierten drei Gruppen aufgeteilt (unterhalb des Optimums/im Optimum/oberhalb des Optimums).

Hypothesenprüfung

Lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung. Zum einen sollte der Faktor „Gestaltung der Begleitbögen“ (Notizen/Mikroaufgaben) keinen Einfluss auf die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung (*extraneous CL*) ausüben. Dies entspricht der Nullhypothese:

HYPOTHESE 11: Die Gestaltung der Begleitbögen (Notizen/Mikroaufgaben) wirkt sich nicht auf die lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung aus.

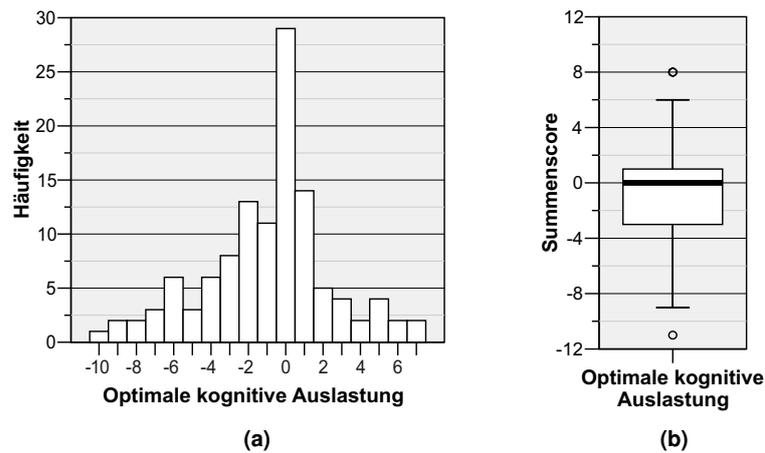


Abbildung 9.17: Ergebnisse zur Skala „Wahrgenommene optimale kognitive Auslastung“, bestehend aus sechs Items die mit -2 bis 2 kodiert wurden, so dass die Summenscores zwischen -12 und $+12$ liegen können. (a) Das Histogramm stellt die Häufigkeiten der Summenscores dar. (b) Der Boxplot stellt die Verteilung der Summenscores dar.

In Abbildung 9.18 sind die Ergebnisse des Vergleichs grafisch dargestellt. Es zeigt sich kein Unterschied im Median, der in beiden Gruppen bei 3 liegt. Das heißt 50% der Lerner fühlten sich durch die Begleitbögen eher nicht gestört oder belastet. Innerhalb des 25%-Bereichs oberhalb des Medians zeigt sich allerdings eine größere Streuung in der Notizengruppe.

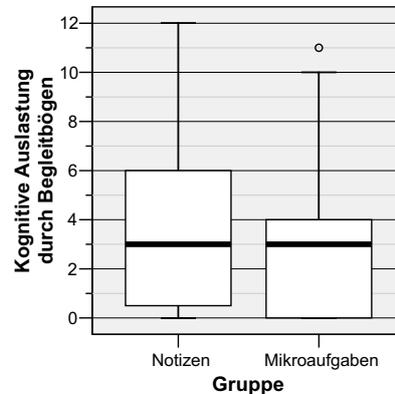


Abbildung 9.18: Boxplot zur Darstellung des Gruppenvergleichs für die durch die Begleitbögen entstandene lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung (*extraneous cognitive load*). Dargestellt ist der Summenscore von vier Items mit je 0 bis 4 Punkten.

Die Mittelwerte der beiden Gruppen unterscheiden sich zwar nicht signifikant, wie ein t-Test zeigt, $t(101,368) = 1,460$; $p_\alpha = 0,147$,⁶ allerdings spricht dieses Ergebnis, da $p_\alpha < 0,2$, für die Ablehnung der Nullhypothese. Die β -Fehler-Wahrscheinlichkeit ist mit $p_\beta = 0,69$ so hoch, dass die Alternativhypothese („Es gibt einen Unterschied.“) weiter als gültig akzeptiert muss. Die Wahrscheinlichkeit, dass es einen Unterschied zwischen den Gruppen gibt, ist in diesem Fall höher einzuschätzen, als die Wahrscheinlichkeit, dass kein Unterschied besteht. *Hypothese 11 muss demnach abgelehnt werden.*

Lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung. Zur empirischen Überprüfung der theoretischen Überlegung, dass die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung vom Vorwissen der Lerner abhängt, wurde die folgende Hypothese formuliert:

HYPOTHESE 12: *Die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung ist bei Lernern mit hohem Vorwissen geringer, als bei Lernern mit niedrigem Vorwissen.*

In Abbildung 9.19 ist zu erkennen, dass sich die Summenscores der Skala „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand“ zwischen den Vorwissensniveaus unterscheiden. Allerdings zeigen sich auch verhältnismäßig große Varianzen, vor allem bei Lernern mit niedrigem Vorwissen. Die Interquartilbereiche der Extremgruppen überschneiden sich zudem etwas. Der Median der Lerner mit hohem Vorwissen liegt allerdings um deutliche 3 Punkte niedriger als der von Lernern mit geringem Vorwissen.

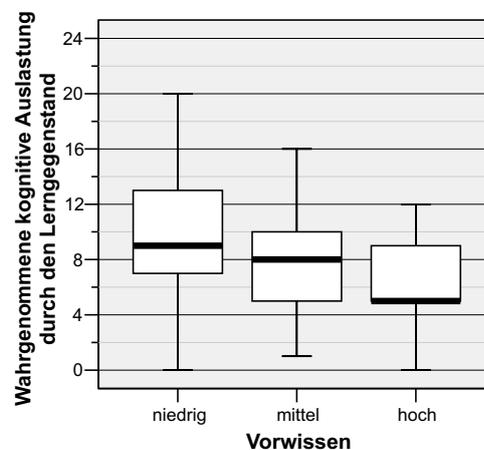


Abbildung 9.19: Boxplot zur Darstellung des Vergleichs der Vorwissensniveaus bezüglich der „Wahrgenommenen kognitiven Auslastung durch den Lerngegenstand“ (*intrinsic cognitive load*). Dargestellt ist der Summenscore von sechs Items die mit 0 bis 4 kodiert wurden (max. 24).

⁶Da hier die Varianzhomogenität verletzt ist, wie ein Levene-Test zeigt, $F = 5,69$; $p = 0,02$, ist der t-Test mit korrigierten Freiheitsgraden berechnet worden.

Zur Überprüfung von Hypothese 12 wurde zunächst eine einfaktorielle Varianzanalyse über den Faktor „Vorwissensniveau“ (gering/mittel/hoch) in Bezug auf die abhängige Variable „Lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung“ gerechnet. Diese ergab einen signifikanten Effekt des Vorwissens, $F(2, 114) = 4,684$; $p_\alpha = 0,011$; $p_\beta = 0,4241$; $\eta^2 = 0,076$. Ein Post-hoc-Test nach Scheffé ergab einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte von Lernern mit hohem und Lernern mit geringem Vorwissen ($\mu_{\text{hohesVW}} - \mu_{\text{geringesVW}} = 3,45$; $p = 0,03$). *Hypothese 12 kann also bestätigt werden.*

Optimum der kognitiven Auslastung. Es wurde vermutet, dass Lerner deren kognitive Auslastung im Optimum liegt, bessere Lernergebnisse in der Faktenkenntnis und im Verständnis erzielen als Lerner, deren Auslastung oberhalb und als Lerner deren kognitive Auslastung unterhalb des Optimums liegt. Die Hypothesen lauteten entsprechend:

*HYPOTHESE 13: Lerner, deren kognitive Auslastung sich im optimalen Bereich befindet, erzielen bessere Lernergebnisse in der **Faktenkenntnis** als (a) Lerner, deren kognitive Auslastung **oberhalb** des Optimums liegt und (b) Lerner, deren kognitive Auslastung **unterhalb** des Optimums liegt.*

*HYPOTHESE 14: Lerner, deren kognitive Auslastung sich im optimalen Bereich befindet, erzielen bessere Lernergebnisse im **Verständnis** als (a) Lerner, deren kognitive Auslastung **oberhalb** des Optimums liegt und (b) Lerner, deren kognitive Auslastung **unterhalb** des Optimums liegt.*

Anhand der Boxplots in Abbildung 9.20a auf der nächsten Seite wird deutlich, dass sich die Gruppen untereinander nicht sehr stark unterscheiden, da sich bei sehr breiter Streuung die Interquartilbereiche vollständig überschneiden. Es zeigt sich allerdings, dass die Gruppe „über Optimum“ einen insgesamt niedrigeren Wert, bei ebenfalls kleinerer Streuung aufweist.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt, die keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen nachweisen konnte, $F(2, 98) = 2,047$; $p = 0,135$; $\eta^2 = 0,041$, was aufgrund der großen Streuung zu erwarten war. *Hypothese 13a und 14a sind daher abzulehnen.*

Auch in Bezug auf das Verständnis unterscheiden sich die Gruppen kaum, wie aus den Boxplots in Abbildung 9.20b auf der nächsten Seite ersichtlich ist. Auch hier überschneiden sich die Interquartilbereiche beinahe vollständig und die Mediane liegen sehr nah beieinander. Eine einfaktorielle Varianzanalyse bestätigt, dass auch die Unterschiede der Mittelwerte sich nicht signifikant unterscheiden ($F(2, 109) = 1,003$; $p = 0,370$; $\eta^2 = 0,18$). *Hypothese 13ba und 14b sind daher ebenfalls abzulehnen.*

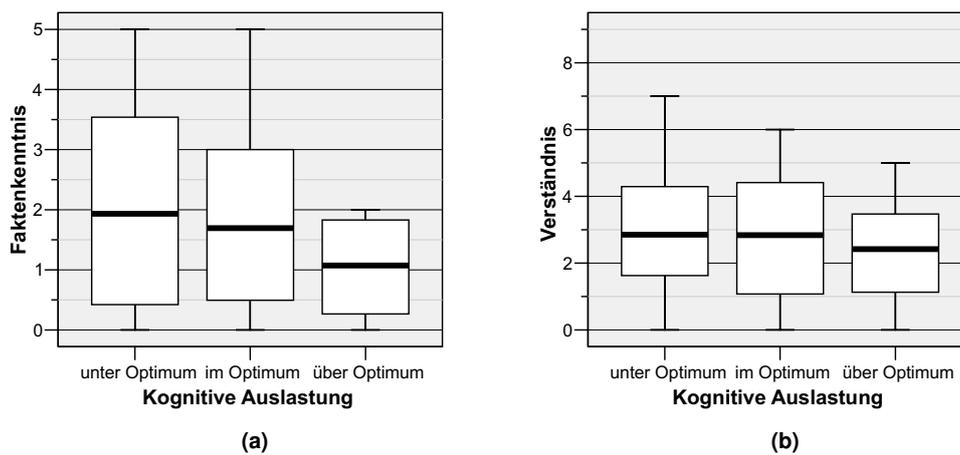


Abbildung 9.20: Ergebnisse zur Boxplots der Lernergebnisse der Gruppen „Optimaler kognitiven Auslastung“. Median und Quartilwerte wurden aus gehäufteten Daten berechnet. **(a)** Faktenkenntnis. **(b)** Verständnis.

Fazit zu Hypothese 11 bis 14

Die deskriptive Analyse der Ergebnisse für die zwei hier gemessenen Unterkomponenten, lernumgebungsbezogene und lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung, zeigt, dass die Versuchspersonen insgesamt eine „eher geringe“ bis „geringe“ kognitive Auslastung wahrnehmen. Die niedrige Auslastung durch die Lernumgebung ist sicherlich als erfreulich einzustufen, da es zum einen gelungen zu sein scheint, die Bedienung der Software so zu gestalten, dass sie keine wesentlichen kognitiven Ressourcen benötigt. Zum anderen sind die Begleitbögen insgesamt ebenfalls als wenig belastend eingestuft worden, was verdeutlicht, dass zumindest die äußere Form als solche keine wesentliche lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung verursacht. Zwischen den unterschiedlichen Begleitbögen besteht jedoch ein, wenn auch geringer, Unterschied. Die Begleitbögen, die nur Notizen verlangen, werden als geringfügig stärker belastend empfunden als die Begleitbögen mit Mikroaufgaben.

Die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung erwies sich ebenfalls als verhältnismäßig gering, was angesichts des komplexen Themas eher überrascht. Eine mögliche Erklärung besteht in einer Unterschätzung der Anforderung, die hinter der Lernumgebung steht. Der relativ geringe Unterschied zwischen den verschiedenen Vorwissensniveaus, der sich auch in dieser Studie hypothesengemäß bestätigte, liefert ein weiteres Indiz für diese Unterschätzungsvermutung: Wenn Lerner höheren Vorwissens das Potential der dargestellten Inhalte nicht erkennen, haben sie keinen großen Vorteil gegenüber Lernern mit geringem Vorwissen. Weitere Implikationen dieses Befundes sollen in der Gesamtdiskussion ausführlicher diskutiert werden.

Die Ergebnisse zur Variablen „Optimum der kognitiven Auslastung“, die sich

nicht auf die Unterkomponenten sondern auf die gesamte kognitive Auslastung bezieht, zeigen, dass sich ein überproportionaler Anteil der Schüler (45%) innerhalb eines Bereichs optimaler kognitiver Auslastung befindet und sich nur wenige Schüler (16%) überlastet fühlen. Als kritischer ist die etwas große Anzahl an Schülern zu bewerten, die unterhalb des Optimums liegen, da dies auf eine eher geringe lernprozessbezogene kognitive Auslastung (*germane cognitive load*) hindeutet. Dies würde sich gemäß der *Cognitive-Load*-Theorie negativ auf das Lernergebnis auswirken. Allerdings konnten keine Unterschiede der Lerner im Lernergebnis nachgewiesen werden, weder in der Faktenkenntnis noch im Verständnis.

Die Aufteilung der Schüler in drei Gruppen, die sich oberhalb, unterhalb oder im Optimum befinden, erwies sich als kein guter Prädiktor für den Lernzuwachs im Faktenwissen oder im Verständnis. Nach der *Cognitive-Load*-Theorie hätten die Lerner im Optimum am besten Lernen müssen, was sich nicht bestätigte.

10. Diskussion

Bevor die Ergebnisse im Zusammenhang diskutiert werden, soll zunächst kurz der Weg von der grundlegenden biologiedidaktischen Fragestellung zu der hier vorgestellten Studie rekapituliert werden.

10.1. Grundlagen der Untersuchung

Neurowissenschaftliche Themen werden trotz der großen gesellschaftlichen Relevanz bisher kaum im schulischen Unterricht behandelt. Dies liegt zum Teil in der Komplexität und Dynamik der neurowissenschaftlichen Konzepte und Phänomene begründet (vgl. Kapitel 2, S. 16 ff.). Die Komplexität der Strukturen und Prozesse ist kennzeichnend für neurowissenschaftliche, aber auch für stoffwechsel- und sinnesphysiologische Themen, wie sie bereits im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe unterrichtet werden. Hieraus ergibt sich die biologiedidaktische Ausgangsfrage, wie solche komplexen biologischen Themen so dargestellt werden können, dass Schüler nicht nur einzelne Fakten erlernen, behalten und wiedergeben können, sondern auch ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge und Konzepte erlangen. Denn erst ein tieferes Verständnis ermöglicht es den Schülern zum einen, ihr Wissen in neuen Situationen anwenden zu können, zum anderen, neues Wissen sinnvoll mit bereits vorhandenem verknüpfen zu können (Baumert et al., 2001).

Der Einsatz multimedialer Lernumgebungen bietet durch die Nutzung verschiedener Repräsentationsformen, wie geschriebenem und gesprochenem Text, Bildern und Animationen, eine vielversprechende Möglichkeit, komplexe Strukturen und Prozesse so darzustellen, dass Schüler in die Lage versetzt werden ein Verständnis für den Lerngegenstand auszubilden (vgl. Abschnitt 3.1, S. 20 ff.). Lernen mit Multimedia und der damit einhergehenden Kombination von Repräsentationsformen unterliegt jedoch einem komplexen Gefüge von Wechselwirkungen zwischen Lernumgebung und Lerner (vgl. Abschnitt 3.4, S. 39 ff. und 3.5, S. 45 ff.). Unterschiedliche Kombinationen von Repräsentationsformen wirken unterschiedlich in Abhängigkeit von der Gestaltung der Lernumgebung, dem Lernziel (Faktenkenntnis, Verständnis) und den Voraussetzungen des Lerners (Vorwissen, Kognitiver Stil, Interesse). Bei der Kombination von Repräsentationsformen in multimedialen Lernumgebungen ist daher Vorsicht geboten, da einfache Addition von Repräsentationsformen eher zu neuen Lernschwierigkeiten führt als zu besserem Lernen. Stattdessen sollte sich der Einsatz an Designprinzipien orientieren, die in zahlreichen empirischen kogni-

tionspsychologischen Untersuchungen systematisch entwickelt wurden und sich als hilfreich für die implizite Unterstützung der Lerner erwiesen haben (vgl. Abschnitt 4.1, S. 53 ff.). In der Lernumgebung zur olfaktorischen Signaltransduktion, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde, wurden diese Prinzipien umgesetzt (vgl. Abschnitt 5.3, S. 72 ff.).

Allerdings können auch bei Berücksichtigung der Designprinzipien beim Lernen mit multiplen externen Repräsentationen Probleme auftreten, denen mit rein gestalterischen Maßnahmen kaum zu begegnen ist. So hat sich vor allem die mentale Integration von textlicher und bildlicher Information als unvollständig erwiesen (z. B. Ainsworth, 1999). Um diesen Schwierigkeiten entgegenzuwirken werden in der Literatur zunehmend auch explizite Maßnahmen zur Unterstützung der Integration unterschiedlicher Repräsentationsformen diskutiert (vgl. Abschnitt 4.2, S. 54 ff.). Anhand der Befunde bisheriger empirischer kognitionspsychologischer Forschung wurden in dieser Arbeit Prinzipien für die Gestaltung instruktionaler Hilfen abgeleitet (vgl. Abschnitt 6.1.1, S. 77 ff.).

Diese Prinzipien wurden in Form konkreter Hilfen, der sogenannten „Mikroaufgaben“, für die in der vorliegenden Studie eingesetzte multimediale Lernumgebung zum komplexen Thema der olfaktorischen Signaltransduktion umgesetzt. Die Wirksamkeit dieser Hilfen wurde in Abhängigkeit von den Lernermerkmalen Vorwissen, kognitiver Stil und individuelles Interesse überprüft. Dazu wurde die Gruppe der Lerner, die mit Begleitbögen mit Mikroaufgaben lernten, mit einer Kontrollgruppe verglichen, die unter identischen Bedingungen lernte, allerdings keine Mikroaufgaben erhielt. Statt der Mikroaufgaben beinhalteten die Begleitbögen der Kontrollgruppe die Möglichkeit Notizen anzufertigen.

Der Einsatz der Lernumgebung mit Begleitbögen erfolgte im Rahmen des Biologieunterrichts in den Schulen. Dabei wurde allerdings in Einzelarbeit an den Rechnern gearbeitet, Gespräche oder Kooperation zwischen den Schülern fand also nicht statt. Diese Art des Einsatzes stellt einen Kompromiss zwischen einer reinen Laborstudie und einer Feldstudie dar. Während bei der reinen Laborstudie die externe Validität gering ist, da sich die Situation stark vom Schulalltag unterscheidet, ergibt sich bei einer reinen Feldstudie das Problem einer großen Anzahl von Störvariablen.

10.2. Allgemeine methodenkritische Anmerkungen

Die kritische Diskussion erfolgt, wo sie notwendig erscheint, im Zusammenhang mit den jeweiligen Variablen. Hier soll der übergreifende Aspekt der Wahl des Stichprobenumfangs im Hinblick auf die Effektstärke diskutiert werden.

Stichprobenumfang und Effektstärke

Für die vorliegende Studie betrug die Stichprobe $N = 119$. Dieser Stichprobenumfang ist für die durchgeführten Analysen bei einer Effektstärke von $f = 0,30$ angemessen: Im gegebenen Fall ist für 2×3 -faktorielle Varianzanalysen bei gegebenen spezifischen Hypothesen mit höchstens zwei Freiheitsgraden ($df = 2$), einem angestrebten Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ und einer Teststärke von $1 - \beta = 0,80$ ein Stichprobenumfang von 111 Versuchspersonen optimal.¹

Es wurde für diese Studie darauf verzichtet, über eine umfangreichere Stichprobe auch kleinere Effektstärken für die eingesetzten Hilfen nachzuweisen. Außerdem wurde eine Effektstärke von etwas mehr als der mittleren Effektstärke $f = 0,25$ (Bortz & Döring, 2002, S. 616) gewählt. Das entscheidende Argument für dieses Vorgehen war, dass sich die Entwicklung zusätzlicher Hilfen für multimediale Lernumgebungen und der damit einhergehende finanzielle Aufwand für die Entwicklung nur dann lohnen, wenn der erzielte Effekt überzeugend ist. Der Entwicklungsaufwand für eine solche Art von inhaltsbezogenen Hilfen wäre tatsächlich nicht unbedeutend, da die Hilfen optimal auf die Inhalte der jeweiligen Software abgestimmt sein müssten. Eine größere Stichprobenzahl hätte zwar zu mehr signifikanten Ergebnissen in dieser Studie geführt, aber im Ergebnis möglicherweise einen wenig überzeugenden Effekt einer instruktionalen Unterstützung bestätigt oder verworfen, der den Aufwand zur Umsetzung nicht rechtfertigen würde. Im Sinne der Effizienz der Studie war es daher angemessen, mit der Erwartung einer etwas mehr als mittleren Effektstärke ein härteres Prüfkriterium für die Wirksamkeit der eingesetzten instruktionalen Hilfen anzusetzen.

10.3. Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse

10.3.1. Lernen mit der multimedialen Lernumgebung

Die für diese Studie entwickelte multimediale Lernumgebung stellt die komplexen Strukturen und Prozesse der olfaktorischen Signaltransduktion unter Berücksichtigung von kognitionspsychologischen Prinzipien für das Design von Multimedia dar. Eine wesentliche Voraussetzung für sinnvolle Analysen ist es, dass die Lernumgebung für die Zielgruppe geeignet ist und die Schüler effektiv damit lernen können.

Die Erhebung des Lernzuwachses ergab, dass sich die Lerner mit Hilfe der Lernumgebung substantielle *Faktenkenntnis* zum Thema Signaltransduktion angeeignet haben: Im Nachtest erreichen die Schüler bei maximal erreichbaren 7 Punkten im Mittel 2,58 Punkte mehr als im Vortest. Der eingesetzte Test zur Erhebung des Lernzuwachses unterschätzt dabei sogar den Zugewinn, da ein Bodeneffekt im Vortest und ein Deckeneffekt im Nachtest die mögliche Spannweite des Lernzuwachses einschränkt. Durch zusätzliche Items könnte der Test noch verbessert werden. Vor al-

¹Dieser Wert wurde mit dem Programm G*Power (Faul & Erdfelder, 1992) berechnet.

lem sollten einerseits leichtere Items (Schwierigkeitsindex 0,5 bis 0,8) für den Vortest, andererseits schwerere Items für den Nachtest (Schwierigkeitsindex 0,2 bis 0,5) entwickelt werden.

Der noch näher an der Software orientierte Faktenwissenstest, in dem die Lerner aufgefordert waren, ihr Wissen über die Signaltransduktion selbständig und schriftlich zu formulieren, stellt höhere Ansprüche an die Lerner, als der *Multiple-Choice-Lernzuwachstest*. Entsprechend fällt das Ergebnis auch geringer aus. Außerdem wurde dieser Test erst in der zweiten Hälfte des Nachtest-Fragebogens eingesetzt, der im Anschluss an eine 40-minütige Lernphase zum Einsatz kam. Eine Ermüdung der Schüler nach mehr als 60 Minuten konzentrierter Arbeit ist daher wahrscheinlich. Dieser Testlängeneffekt kann zumindest zum Teil erklären, warum 69% der Schüler nur „sehr wenig“ bis „eher wenig“ Fakten aus der Software erinnerten. Trotzdem erinnern immerhin 31% der Schüler „eher viel“ bis „sehr viel“. Diese Kategorien entsprechen konkret dem Vergessen von höchstens einem von sechs in der Software behandelten Hauptpunkten. Insgesamt wird also anhand dieses Tests deutlich, dass zwar viele Schüler eher wenig Fakten aus der Software erinnern, dass die Lernumgebung aber in der Lage war die Inhalte so darzustellen, dass immerhin ein Drittel beinahe alle wesentlichen Fakten behalten konnte.

Das *Verständnis* der Lerner ist über alle Lerngruppen und alle im Verständnistest eingesetzten Items gesehen eher niedrig. Dies ist grundsätzlich nicht sonderlich überraschend, da die Items des Verständnistests als schwierig einzustufen sind. Zur Beantwortung dieser Items müssen die Schüler in der Lage sein, erworbenes konzeptuelles Verständnis problemorientiert anzuwenden. Dies stellt sehr hohe Anforderungen an die Lerner. Außerdem sind zwei der drei Verständnisitems von vielen Lernern nicht oder nur sehr kurz beantwortet worden, was sich auch mit Hilfe der offenen Frageform und dem Testlängeneffekt erklären lässt: Die Beantwortung offener Fragen ist für Schüler wesentlich aufwendiger als die Beantwortung eines *Multiple-Choice-Items*, was sich vor allem gegen Ende des Tests in sinkender Intensität der Bearbeitung niederschlägt. Ein Item dieses Tests, das relativ am Anfang des Fragebogens eingesetzt wurde, zeichnet daher vermutlich das realistischste Bild vom Verständnis der Lerner, zumal es sich auf den Kerninhalt der Software (Signalkette) bezieht. Hier erreicht immerhin knapp die Hälfte der Schüler ein tieferes Verständnis des Lerngegenstands.

Die Lernumgebung wurde von den Lernern außerdem überwiegend neutral bis positiv beurteilt, wie aus der Erhebung des *situationalen Interesses* hervorging und dies unabhängig von der Gestaltung der Begleitbögen (Notizen/Mikroaufgaben). Diese deskriptiven Statistiken zeigen, dass die multimediale Lernumgebung und ihre Gestaltung somit insgesamt für die Stichprobe als geeignet eingestuft werden kann.

10.3.2. Wirkung der Begleitbögen

Der Einfluss der auf der Basis kognitionspsychologischer Theorien entwickelten Mikroaufgaben auf den Lernerfolg unterscheidet sich deutlich von den Erwartungen. Die in den Hypothesen formulierte Erwartung war, dass die Lerner mehr Faktenkenntnis und Verständnis mit den Mikroaufgaben erwerben. Es zeigte sich jedoch, dass im Erwerb von Faktenkenntnis kein Unterschied zwischen den Gruppen festzustellen war, während im Erwerb von Verständnis die Kontrollgruppe mit der Möglichkeit zu Notizen bessere Lernergebnisse erzielen konnte als die Experimentalgruppe, die mit den Mikroaufgaben gelernt hatte.

Für eine Deutung dieses Ergebnisses ist es nötig, noch einmal Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Experimental- und Kontrollsituation genau zu betrachten. Beide Gruppen lernten mit der gleichen multimedialen Lernumgebung. Für die Herstellung identischer Bedingungen wurden die Lerner beider Gruppen mit Begleitbögen ausgestattet und aufgefordert die Bögen zu nutzen. Die Begleitbögen der Mikroaufgabengruppe enthielten zu jedem Infobildschirm der Lernumgebung einen Kasten, der mit der Überschrift des Infobildschirms versehen ist und die Mikroaufgabe sowie Platz für die Antwort enthält. Auf den Begleitbögen der Notizengruppe war ebenfalls der Kasten mit Überschrift abgedruckt, aber statt der Mikroaufgaben und dem Platz für die Antwort enthielt der Kasten nur das Wort „Notizen“. Auf den Begleitbögen beider Gruppen war darüber hinaus Platz für weitere Notizen vorgesehen. Über diese Anordnung sollte sichergestellt werden, dass keine Variable außer der Bearbeitung der Mikroaufgaben geändert wurde. Da die Strukturierung der Begleitbögen (Kästen mit Überschriften) nicht als Variable getestet werden sollte, erhielt die Kontrollgruppe ebenfalls strukturierte Begleitbögen. Die Notizen wurden als Kontrollsituation gewählt, damit die Möglichkeit zu schriftlichen Aufzeichnungen für beide Gruppen gleichermaßen gegeben war und sich nicht als Mediatorvariable auf die Wirkung der Mikroaufgaben auswirkt.

Die Folge dieses logischen Experimental- und Kontrollgruppendesigns kann es nun jedoch sein, dass die Kontrollgruppe *aufgrund der Anfertigung von Notizen* besser gelernt hat als die Mikroaufgabengruppe. Diese Vermutung wird dadurch gestützt, dass bei einer Sichtung der ausgefüllten Begleitbögen auffiel, dass nur insgesamt sieben Schüler der Mikroaufgabengruppe die Möglichkeit zu zusätzlichen Notizen (neben den Antworten auf die Mikroaufgaben) genutzt haben, während alle Schüler der Notizengruppe die Begleitbögen für das Anfertigen von Notizen genutzt haben.

Effekt der Notizen

Es wäre denkbar, dass die Notizen selbst einen lernwirksamen Effekt haben. Die Funktion von selbsterstellten Notizen, die nicht nachbearbeitet werden können, so wie sie in der Kontrollgruppe dieser Studie eingesetzt wurden, wird als Kodierungsfunktion von Notizen bezeichnet (*encoding function*; Di Vesta & Gray, 1972). Ob diese

Kodierungsfunktion einen positiven Effekt hat, wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Zwar wird grundsätzlich eine positive Wirkung des Anfertigen von Notizen auf das Lernen angenommen (vgl. Hartley, 1983), aber es gibt Hinweise, dass die reine Kodierungsfunktion wenig lernwirksam ist (Kiewra et al., 1991).

Allerdings könnten die Bedingungen dieser Studie den Lernern der Notizengruppe Vorteile bei der Beantwortung der halboffenen Fragen im Faktenwissens- und Verständnistest gebracht haben. Da die Notizengruppe bereits während des Lernvorgangs ausführliche externe Repräsentationen in Form eigener Notizen angefertigt haben, haben sie den Vorgang der Externalisierung des Wissens bereits einmal vollzogen, was zu einem erweiterten Verständnis führen kann (Reisberg, 1987, zitiert nach Cox, 1999). Lerner der Mikroaufgabengruppe haben dagegen als externe Repräsentationen meist nur kurze Antworten auf die Fragen generiert. So konnten zwar möglicherweise bereits interne Verknüpfungen entstehen, aber die (ausführliche) Externalisierung dieser Schemata erfolgte erst beim Antworten auf die Fragen des Nachtests, also zu einem Zeitpunkt, an dem sie eventuelle Lücken nicht mehr durch Nutzung der Lernumgebung schließen konnten.

Auch die äußere Struktur der Begleitbögen kann einen Einfluss gehabt haben. Zum einen stand in den Kästen der strukturierten Begleitbögen insgesamt etwas weniger Platz für die Beantwortung der Mikroaufgaben zur Verfügung als für die Anfertigung von Notizen, da in den Kästen der Mikroaufgabengruppe neben der Antwort auch die Mikroaufgaben selbst aufgeführt wurden. Dies könnte zu einer weniger ausführlichen Bearbeitung geführt haben (vgl. Hartley, 1976). Zum anderen gibt es Hinweise, dass sich eine solche strukturierte Art von Notizen besonders lernförderlich auswirkt. Studien von Kiewra und Kollegen (Kiewra et al., 1991; Kiewra, Benton, Kim, Risch & Christensen, 1995) konnten zeigen, dass Notizen, die in einem Format präsentiert wurden, das ebenfalls inhaltliche Zwischenüberschriften präsentierte, also mit dem hier verwendeten Format vergleichbar ist, zu mehr erinnerten Fakten führte, als gewöhnliche, unstrukturierte Notizen.

Insgesamt erscheint es somit wahrscheinlich, dass die für diese Studie formal logische Kontrollgruppe inhaltlich nicht als Kontrollgruppe bewertet werden kann, sondern *dass die Notizen selbst als eine Form der instruktionalen Unterstützung anzusehen sind*. Diese instruktionale Unterstützung durch die Notizen hat sich demnach als wirksamer erwiesen als die Mikroaufgaben.

Effekt der Mikroaufgaben

Im direkten Vergleich mit der Anfertigung von solchen lernwirksamen Notizen konnte der positive Effekt konkreter instruktionaler Unterstützung, den beispielsweise Weidenmann (1989), Peeck (1993) und Bernard (1990a) gefunden haben, in dieser Studie nicht repliziert werden. Im Folgenden werden mögliche Ursachen für die geringere Wirksamkeit der Mikroaufgaben im Zusammenhang mit den Prinzipien für die Gestaltung der Mikroaufgaben diskutiert.

Konkrete Aufforderung. Die Entscheidung für konkrete Aufgaben oder Fragen als Form der instruktionalen Hilfe wurde getroffen, um einen unmittelbaren Aufforderungscharakter zu erreichen und so die Wirkungslosigkeit globaler Aufforderungen zu vermeiden. Allerdings kann diese Entscheidung auch zu einem Nachteil für die Lerner geführt haben, da so ein positiver Effekt von Fragen ohne klare Zielvorgaben verhindert wird, der in der Literatur als Effekt der Zielfreiheit bzw. Effekt des unspezifischen Ziels (*goal free effect*) beschrieben wird (Sweller & Levine, 1982; Owen & Sweller, 1985). Werden Lernern unspezifische Zielvorgaben gemacht, so kann dies zu einem besseren Lernerfolg führen. Begründet wird dies mit der Verhinderung einer rekursiven Analyse (*means-end analysis*), bei der sich ein Lerner gedanklich zunächst von der Lösung der Aufgabenstellung (Ziel) zum Problem bewegen muss, bevor er vom Problem ausgehend auf das Ziel zusteuert. Dies bewirkt, dass sehr viel mehr kognitive Ressourcen notwendig werden, da der Lernende die Einzelelemente immer im Hinblick auf die Lösung der Aufgabe betrachten muss. Die Mikroaufgaben stellen eine Aufgabenform mit spezifischer Zielvorgabe dar, während die Notizen als Aufgabenform mit unspezifischer Zielvorgabe angesehen werden können. Insofern könnte sich der Effekt der Zielfreiheit in zusätzlicher kognitiver Auslastung durch die Mikroaufgaben niedergeschlagen haben. Allerdings waren die Lerner insgesamt kognitiv eher gering ausgelastet, so dass sich der Effekt vermutlich im Wesentlichen auf Lerner mit geringem Vorwissen, möglicherweise auch noch auf Lerner mit mittlerem Vorwissen beschränkt, da davon auszugehen ist, dass Lerner mit weniger Vorwissen kognitiv stärker ausgelastet sind (vgl. Ergebnisse zu Hypothese 12, Abschnitt 9.3.5, S. 144; vgl. auch Renkl & Atkinson, 2003). Dies könnte letztlich mit dazu beigetragen haben, dass die Mikroaufgaben zu weniger guten Lernergebnissen geführt haben als erwartet.

Neben dieser Wirkung der konkreten Aufforderung auf die Kognition der Lerner bieten auch motivationale Effekte einen Erklärungsansatz für die relative Unwirksamkeit der Mikroaufgaben. Die konkrete Aufgabenstellung, die den Lerner zwingt sich mit einer Frage auseinanderzusetzen, birgt die Gefahr, dass die Lerner sich in ihrer Selbstbestimmung eingeschränkt fühlen. In einer Studie zur Wirksamkeit von Hilfen zur Anregung elaborativer Text-Bild-Verarbeitungsstrategien weist Drewniak (1992) darauf hin, dass die verfehlte Wirksamkeit von strategischen Instruktionen möglicherweise auf eine rationale oder emotionale Ablehnung der Lerner zurückzuführen ist, sich bei der Wahl des strategischen Vorgehens beeinflussen zu lassen. Sie fühlten sich vor allem in ihrer Selbstbestimmung eingeschränkt. Eine solche Ablehnung müsste sich in geringerem situationalen Interesse widerspiegeln, was sich durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie jedoch nicht bestätigen lässt. Es scheint also gelungen zu sein, die Verarbeitungshilfen so zu formulieren, dass die Lerner sich nicht in ihrer Selbstbestimmung bei der Auswahl ihrer Lernstrategien eingeschränkt fühlten.

Bezugnahme auf die Bedeutungsebene. Um Lerner zu einer tieferen Bearbeitung anzuregen, wurden die Mikroaufgaben so formuliert, dass sie nicht auf Oberflächenmerkmale Bezug nehmen, sondern semantische, also inhaltlich orientierte, Verarbeitungsprozesse anregen. Der im Vergleich zur Notizengruppe geringere Lernerfolg der Mikroaufgabengruppe im Verständnis lässt jedoch den Schluss zu, dass es nicht ausreichend gelungen ist, die Lerner zu einer Verarbeitung auf einer tieferen Bedeutungsebene anzuregen. Dies kann daran liegen, dass die Mikroaufgaben den Lerner „verführen“ die Anregung mentaler Aktivität auf einzelne Inhaltselemente zu beschränken. Geht man davon aus, dass Lerner nach dem Ökonomieprinzip (Weidenmann, 1988) handeln, dann liegt die Vermutung nahe, dass sie über die Beantwortung der Fragen hinaus keine oder nur wenig weitere kognitive Aktivität entfalten. Dies wird durch die Beobachtung in dieser Studie gestützt, dass nur 7 von 63 Schülern (11%) neben den Antworten auf die Mikroaufgaben weitere Notizen auf den Begleitbögen machten und die Antworten auf die Mikroaufgaben in aller Regel sehr kurz ausfielen. Dieses aus Schülersicht ökonomische Vorgehen führt möglicherweise dazu, dass nur ein kleiner Teil der möglichen semantischen Verknüpfungen von den Mikroaufgaben angeregt wird – die Mikroaufgaben decken demnach ein zu geringes inhaltliches Spektrum ab.

Zudem könnten die Einzelfragen ohne übergreifende Fragestellung dazu geführt haben, dass den Schülern der Zusammenhang zwischen den einzelnen Informationen im Unklaren blieb. Die globale Kohärenzbildung, die mittels einer Mikroaufgabe gefördert werden sollte, beschränkte sich jeweils auf die Inhalte eines Infobildschirms. Die Förderung der Kohärenzbildung durch die Mikroaufgaben bezog sich also nicht auf den Gesamtzusammenhang der multimedialen Lernumgebung. Insofern könnte die Wahl von „Mikro“-Instruktionen hier hinderlich gewirkt haben. Die zusätzliche, möglicherweise auch die ausschließliche, Förderung von „Makro“-Instruktionen, die stärker auf die Verbindung von einzelnen Informationselementen zu einem Ganzen abzielen, erscheint daher als eine sinnvolle Alternative, die in weiteren Studien auf ihre Wirksamkeit überprüft werden müsste.

Bezug auf Text- und Bildelemente. Durch den Bezug auf Text- und Bildelemente sollte die Aufmerksamkeit auf beide Repräsentationsformen gelenkt werden, es sollten Übergänge zwischen den Repräsentationsformen geschaffen werden und elaborierende Text- und Bild-Verarbeitungsstrategien angeregt werden. Inwiefern sich dieser Text-Bild-Bezug auf das Lernergebnis ausgewirkt hat, kann über die Auswirkung der Mikroaufgaben auf die Ausprägtheit des kognitiven Stils rückgeschlossen werden. Es zeigte sich, dass Lerner mit stark ausgeprägtem kognitiven Stil entgegen der generellen Überlegenheit der Notizensituation mit den Mikroaufgaben zu etwas besseren Ergebnissen in der Faktenkenntnis gelangt sind. Dies kann als ein Hinweis darauf gewertet werden, dass Lerner mit starker kognitiver Ausprägung durch Bearbeitung der Mikroaufgaben die jeweils nicht bevorzugte mentale Repräsentationform beim

Lernen einbezogen haben und so zu mehr Faktenwissen gelangt sind. Der Vorteil multipler Repräsentationen kann somit für den Erwerb von Faktenkenntnis zum Tragen kommen. Da sich dieser Vorteil nicht für den Erwerb von Verständnis zeigt, scheint die Anregung der elaborativen Text- und Bildverarbeitungsstrategien dagegen nicht gelungen zu sein, so dass es nicht zu einer ausreichenden Integration der unterschiedlichen Codes mit dem Vorwissen der Lernenden gekommen ist und so die Bildung eines elaborierten mentalen Modells nicht erreicht wurde.

Der geringe Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Faktenkenntnis ist zudem erklärungsbedürftig. Eine mögliche Erklärung hierfür ist der Einsatz der interaktiven Bedienelemente in der verwendeten Lernumgebung. Möglicherweise wird die aktive Integration von Text und Bild durch die Gestaltungselemente Hotwords und Infobuttons bereits so gut unterstützt, dass die mentale Integration durch die Mikroaufgaben in der hier eingesetzten multimedialen Lernumgebung nicht mehr weiter gesteigert werden kann. Auch in einer Studie von Bodemer, Ploetzner, Feuerlein und Spada (2004) wirkten sich die gestalterischen Maßnahmen zur interaktiven Integration äußerst positiv auf den Lernerfolg aus. Wenn diese interaktive Integration bereits durch die interaktiven Elemente der in dieser Studie verwendeten Lernsoftware (Hotwords, Infobuttons) ausgelöst wurde, waren die Lerner der Notizengruppe ebenso zur Integration angeregt wie die Lerner der Mikroaufgaben-Gruppe, so dass ein möglicher Vorteil der Mikroaufgaben durch die Anregung der mentalen Integration hier nicht zum Tragen kommen konnte.

Primat der kognitiven Auslastung. Ein weiterer Erklärungsansatz für die nicht bestätigte Wirksamkeit der Mikroaufgaben wäre eine zusätzliche lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung (*extraneous cognitive load*), die von den Mikroaufgaben ausgeht. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass eher die Notizen zu einer größeren kognitiven Auslastung führen. Diese zusätzliche Belastung erweist sich jedoch nicht als lernhinderlich. Dies ist durch die insgesamt sehr niedrige lernumgebungsbezogene kognitive Auslastung zu erklären. Die kognitive Auslastung durch die Begleitbögen spielt daher keine entscheidende Rolle für die unterschiedlichen Lernergebnisse. Auch die geringe kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand und die insgesamt im Optimum befindliche kognitive Auslastung sprechen dafür, dass diese geringen Unterschiede der lernumgebungsbezogenen kognitiven Auslastung nicht ausschlaggebend für die unterschiedliche Wirkung von Notizen und Mikroaufgaben waren.

Die insgesamt sehr niedrige kognitive Auslastung der Lerner deutet auf eine weitere Erklärung hin, warum die Mikroaufgaben nicht so lernwirksam waren wie erwartet. Eins der Prinzipien nach denen die Mikroaufgaben konstruiert wurden, war das „Primat der kognitiven Auslastung“, das heißt, es wurde im Zweifel immer von schwierigeren Mikroaufgaben abgesehen um eine zu große kognitive Auslastung zu vermeiden. Die Folge kann jedoch sein, dass nicht nur die lernumgebungsbezogene

kognitive Auslastung, sondern auch die lernprozessbezogene kognitive Auslastung (*germane cognitive load*) niedrig gehalten wird. Dies würde auch erklären, warum sich die Lerner unterschiedlicher Vorwissensniveaus in der Mikroaufgabensituation weder im Erwerb von Faktenkenntnis noch im Verständnis signifikant unterscheiden: Die fehlende lernprozessbezogene kognitive Auslastung verhindert vor allem einen Lernvorteil für Lerner mit genügend kognitiven Ressourcen, also Lerner mit hohem und mittlerem Vorwissen. Die nicht genutzten Ressourcen würden demnach als freie Kapazität ungenutzt bleiben. Entsprechend unterscheiden sie sich im Lernerfolg nicht von Lernern mit geringem Vorwissen, die nicht über genügend kognitive Ressourcen für einen größeren Anteil lernprozessbezogener kognitiver Auslastung verfügen.

Für die Konstruktion der Mikroaufgaben bedeutet dies, dass das „Primat der kognitiven Auslastung“ sich als kontraproduktiv herausgestellt hat. Hier muss stärker differenziert argumentiert werden. Es muss eine bessere Balance gefunden werden zwischen der Reduktion der lernumgebungsbezogenen kognitiven Auslastung und einer Förderung der auf den Lernprozess bezogenen kognitiven Auslastung.

10.3.3. Einfluss von Lernermerkmalen

Lernen mit Multimedia ist geprägt von der Wechselwirkung der Lernumgebung mit dem Wissen, den Fähigkeiten und den Fertigkeiten der Lerner. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden in dieser Untersuchung Lernermerkmale erhoben, die besonders im Zusammenhang mit dem Einsatz instrukionaler Hilfen eine Rolle spielen könnten.

Vorwissen

Das Vorwissen der Lerner erwies sich als entscheidender Faktor bei dem Erwerb von Faktenkenntnis. Zwischen den Extremgruppen mit geringem und hohem Vorwissen unterschied sich das Ergebnis des Faktenkenntnistests deutlich und signifikant. Dies entspricht den Erwartungen und stützt die umfangreichen empirischen Befunde in der Literatur (z. B. Renkl, 1996; Nerdel, 2003; Lind, Friege & Sandmann, 2005). Der ebenfalls vermutete pauschale Einfluss des Vorwissens auf den Erwerb von Verständnis wurde jedoch nicht bestätigt und scheint damit den empirischen Befunden zu widersprechen (Kroß & Lind, 2001; Lind et al., 2005). Dieses Ergebnis ist einerseits auf die Einteilung der Vorwissensgruppen zurückzuführen, andererseits auf den Anspruch des Verständnistests. Die drei Vorwissensgruppen wurden anhand des Ergebnisses des Vorwissenstests eingeteilt. Der Vorwissenstest hatte sich allerdings als sehr schwierig für die Versuchspersonen erwiesen, so dass die Hälfte der Schüler der Gruppe mit geringem Vorwissen zugeteilt wurde. Gleiches gilt für die Gruppe mit mittlerem Vorwissen, der ebenfalls Lerner eines höheren Potenzials angehören könnten. Daher ist anzunehmen, dass Schüler mit einem eigentlich hö-

herem Leistungsniveau einer jeweils niedrigeren Gruppe angehören und mit ihren besseren Leistungen zu einer Verbesserung des Mittelwerts der Gruppe beitragen. Dies führt letztlich zu einer Verringerung der Unterschiede zwischen den Gruppen. Der zweite mögliche Grund für die geringen Unterschiede im Verständnis liegt in dem hohen Anspruch des Verständnistests. Aufgrund des niedrigen Summenscores von Lernern mit „hohem Vorwissen“ in diesem Test (ca. 3 aus 9 Punkten) ist anzunehmen, dass auch diese Lerner zu einem Großteil mit den anspruchsvollen Items überfordert sind. Es kann also insgesamt von Lernern mit eher geringen Vorwissensunterschieden in den drei Gruppen ausgegangen werden, was die Unterschiede zu den Studien von Kroß und Lind (2001) sowie Lind et al. (2005) erklärt, die Experten und Novizen verglichen haben und deren Ergebnisse somit auf sehr viel größeren Vorwissensunterschieden beruhen.

Für den Einfluss des Vorwissens auf das Lernen mit den unterschiedlichen Formen von Begleitbögen zeigen die Ergebnisse, anders als erwartet, keine wesentliche Wechselwirkung für den Erwerb von Faktenkenntnis, aber eine deutliche Wechselwirkung für den Erwerb von Verständnis. Die Vermutung, dass insbesondere Lerner mit mittlerem Vorwissen von den Mikroaufgaben profitieren können, hat sich nicht bestätigt, beim Erwerb von Verständnis zeigte sich sogar, dass diese Lerner besonders gut unter der Notiz-Bedingung lernten.

Die modellhafte Vorstellung von Seufert (2003, S. 107–109; vgl. Abb. 4.2, S. 60), dass Lerner mit mittlerem Vorwissen besonders sensibel auf instruktionale Hilfe reagieren, kann somit von dieser Studie gestützt werden. Allerdings erweisen sich nicht die Mikroaufgaben, sondern die Notizen als hilfreich für den Erwerb von Verständnis. Dies erweitert einen Befund von Seufert (2003, S. 232–235) zur Direktivität von instruktionalen Hilfen. Unter der Direktivität der Hilfe versteht Seufert das Maß an expliziter Anleitung zu den zur Integration von Text und Bild (globale Kohärenzbildung) notwendigen Schritten. Im Sinne der Klauer'schen Lehrfunktionen (vgl. Abschnitt 4.2, S. 54) kann also bei direktiven Hilfen von einer starken Verschiebung der Verantwortung auf die Seite der Lernumgebung, bei nicht-direktiven Hilfen auf die Seite des Lerners gesprochen werden. Seufert erwartete einen positiven Effekt der von ihr entwickelten nicht-direktiven Hilfe zur globalen Kohärenzbildung für die Gruppe mit hohem Vorwissen, der sich allerdings nicht bestätigte. Die in der vorliegenden Studie verwendeten Notizen stellen eine noch wesentlich weniger direkte Form der Hilfe dar, als sie Seufert eingesetzt hat. Die Mikroaufgaben sind dagegen in der Direktivität mit Seuferts nicht-direktiven Hilfen vergleichbar. Die Ergebnisse zeigen, dass noch weniger direkte Hilfen durchaus einen positiven Effekt auf das Verständnis haben können. Seufert vermutete allerdings, gestützt auf Forschungsarbeiten zur *Cognitive-Load-Theorie* (z. B. Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001), einen positiven Effekt erst für die Gruppe mit hohem Vorwissen. Stattdessen profitieren aber insbesondere die Lerner mit mittlerem Vorwissen von der noch weniger direkten Hilfe. Dies deutet daraufhin, dass auch für Hilfen ge-

ringerer Direktivität die Modellvorstellung des „sensitiven Bereichs“ Gültigkeit besitzt. Nicht-direktive Hilfe ist also möglicherweise nicht nur für Lerner mit hohem Vorwissen, sondern gerade für Lerner mit mittlerem Vorwissen besonders geeignet. Eine weitergehende Untersuchung dieser Befunde ist nötig, um die Effekte unter vergleichbaren Bedingungen zu replizieren.

In Bezug auf die mit der Lernumgebung erworbene Faktenkenntnis zeigen die Lerner der Notizengruppe bei unterschiedlichem Vorwissenniveau ansteigende Lernergebnisse, mehr Vorwissen geht also mit mehr Faktenkenntnis einher. In der Mikroaufgabengruppe ist dieser Unterschied dagegen nicht nachweisbar. Dieser Unterschied zwischen Notizen- und Mikroaufgabengruppe lässt sich so interpretieren, dass die Lerner der Notizengruppe ihr vorhandenes Vorwissen stärker produktiv in den Lernprozess einbringen konnten als die Mikroaufgabengruppe. Die Notizen stellen eine Form instruktionaler Unterstützung dar, die mehr *Lernfunktionen* dem Lerner selbst überlässt, also eine stärker selbstregulierte Lernsituation begünstigt (vgl. Abschnitt 4.2, S. 54). Die Fähigkeit zur effektiven Selbstregulation ist allerdings eng mit dem Vorwissen verknüpft (Boekaerts, 1999). Somit wirken sich die Vorwissensunterschiede besonders unter dieser Lernbedingung auf den Lernerfolg aus.

Kognitiver Stil

Bevor die Ergebnisse zur Auswirkung des kognitiven Stils interpretiert werden, soll hier kurz auf das methodische Vorgehen bei der Einteilung der Lerner eingegangen werden. Mit dem hier verwendeten Testinstrument zum kognitiven Stil mit Subskalen des *Individual Difference Questionnaire* (IDQ) von Paivio und Harshman (1983) nach Nerdel (2003) konnten die Lerner entsprechend der Ausprägtheit des kognitiven Stils eingeteilt werden. Bei dieser Einteilung wurden mehr Lerner mit der Gruppe mit starker verbaler Ausprägung zugeordnet, während eher wenig Lerner einen stark ausgeprägten visuellen kognitiven Stil zeigten. Dies entspricht den Erfahrungen der Studie von Nerdel (2003), die ebenfalls deutlich mehr „Verbalisierer“ als „Visualisierer“ fand. Diese größere Anzahl an Verbalisierern kommt möglicherweise durch die aus Oberstufenschülern bestehende Stichprobe zustande. Verbale Ausdrucksfähigkeit und Lesefähigkeit, die hier als Subskalen für den verbalen kognitiven Stil erhoben wurden, stellen wesentliche Voraussetzungen für weiteres Lernen dar (vgl. z. B. Artelt, Stanat, Schneider & Schiefele, 2001) während der Gebrauch bildhafter Vorstellungen und die Nutzung von Bildern zum Problemlösen vermutlich weniger stark mit schulischem Lernerfolg zusammenhängen.

Wie bereits in der Diskussion zum Effekt der Mikroaufgaben erwähnt, zeigt sich für die Ausprägtheit des kognitiven Stils für den Erwerb der Faktenkenntnis ein leichter, wenn auch nicht signifikanter Vorteil für die Mikroaufgaben. Allerdings zeigt sich dieser Vorteil entgegen dem Trend der Gesamtgruppe und ist daher höher zu bewerten. Im Bereich Verständnis setzt sich dagegen der Haupteffekt der Begleitbögen zugunsten der Notizen durch. Dass sich die Ausprägtheit des kognitiven

Stils stärker beim Erwerb von Faktenwissen bemerkbar macht als beim Erwerb von Verständnis, lässt sich im Zusammenhang mit den bereits beschriebenen Ergebnissen für die Wirkung der Begleitbögen deuten: Die Mikroaufgaben können zwar die Aufmerksamkeit auf Text und Bild lenken und erste Verknüpfungen zwischen Text und Bild anregen, so dass die Überlegenheit multipler Repräsentationen für das Memorieren von Fakten angeregt wird, aber sie schaffen es nicht tiefere Verarbeitungsstrategien anzuregen, die förderlich für die Ausbildung von Verständnis wären.

Individuelles Interesse

Es zeigte sich, dass das im Vortest erhobene individuelle Interesse vor allem einen Einfluss auf das Verständnis der Versuchspersonen hat. Allerdings waren Unterschiede in der Wirksamkeit der unterschiedlichen Begleitbögen unabhängig vom individuellen Interesse. Dies kann vor allem daran liegen, dass sich die für den höheren Lernerfolg mitverantwortliche Mediatorvariable eines erhöhten Lernaufwandes (Schiefele et al., 1995) in dieser Studie kaum auswirken konnte, da alle Schüler gleich lange mit der Lernumgebung gelernt haben. Das individuelle Interesse hätte möglicherweise erst dann einen deutlichen Einfluss, wenn es den Lernern freigestellt wäre, wie lange sie sich der multimedialen Lernumgebung widmen. Allerdings würde dies wohl vor allem den Vorteil der Lerner mit hohem individuellem Interesse verstärken. Ein positiver Effekt der Mikroaufgaben für Lerner mit geringem individuellem Interesse erscheint auch bei freier Zeiteinteilung unwahrscheinlich, da keine zusätzliche kognitive Aktivität angeregt würde.

Kognitive Auslastung

Der Einfluss der kognitiven Auslastung wurde bereits im Zusammenhang mit der Wirkung der Gestaltung der Begleitbögen diskutiert. Im Folgenden sollen nur ergänzende Ergebnisse diskutiert werden.

Grundsätzlich zeigte sich eine relativ geringe kognitive Auslastung der Lerner. Die hier erhobenen Anteile der lernumgebungsbezogenen kognitiven Auslastung durch die Bedienung der Software und durch die Begleitbögen lagen im Bereich niedriger Auslastung. Sie dürften demnach keinen großen Anteil an der gesamten kognitiven Auslastung der Lerner gehabt haben. Es ist also einerseits gelungen, die Lernsoftware so zu gestalten, dass die Lerner für deren Bedienung nur wenig kognitive Ressourcen aufwenden müssen. Auch die Gestaltung der Begleitbögen ist, wie bereits in Bezug auf die Wirkung der Mikroaufgaben berichtet, gemäß dem „Primat der kognitiven Auslastung“ so gelungen, dass die Lerner nicht wesentlich durch diesen Teil der Lernumgebung belastet werden.

Die lerngegenstandsbezogene kognitive Auslastung lag ebenfalls unterhalb einer mittleren Auslastung, was in Anbetracht des komplexen Lerninhalts erstaunlich ist. Möglicherweise ist dies auf eine Unterschätzung des Lerninhalts durch die Lerner

zurückzuführen. Diese Vermutung wird dadurch gestützt, dass Lerner unterschiedlicher Vorwissensniveaus relativ geringe Unterschiede sowohl in der lerngegenstandsbezogenen kognitiven Auslastung als auch im Erwerb von Verständnis zeigen. Wenn vor allem Lerner mit mittlerem und höherem Vorwissen nicht in der Lage sind, das Potenzial der Lernumgebung zu erkennen, können sie keinen großen Vorteil aus ihrem Vorwissen ziehen. Die Ergebnisse zu Hypothese 6 (vgl. Abschnitt 9.3.2, S. 130 ff.) legen zudem den Schluss nahe, dass diese Unterschätzung vor allem bei Lernern der Mikroaufgabengruppe auftritt: In der Notizengruppe unterscheiden sich die Lerner mittleren und hohen Vorwissens deutlich von den Lernern mit wenig Vorwissen, während in der Mikroaufgabengruppe keine Unterschiede nachweisbar sind.

Um ein Bild der gesamten kognitiven Auslastung der Lernenden zu erhalten, wurde in dieser Studie eine Skala zur Erfassung des Optimums der kognitiven Auslastung eingesetzt. Fast die Hälfte der Schüler beschreibt die erlebte kognitive Auslastung als optimal. Nur ein Sechstel der Schüler liegt oberhalb des Optimums und kein Lerner fühlt sich insgesamt extrem überlastet. Dies kann als Indiz für eine insgesamt gut auf die Lerngruppe abgestimmte Lernumgebung gewertet werden.

Mehr als ein Drittel der Schüler liegt allerdings unterhalb des Optimums. Dies könnte darauf hindeuten, dass die lernprozessbezogene kognitive Auslastung ebenfalls eher gering geblieben ist. Dies müsste sich gemäß der *Cognitive-Load*-Theorie nachteilig auf das Lernergebnis auswirken. Es wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede im Lernergebnis (Faktenkenntnis und Verständnis) zwischen den Lernern der drei Gruppen festgestellt. Insofern hat sich die Messung eines Optimums kognitiver Auslastung als nicht sehr aussagekräftig herausgestellt. Eine naheliegende Erklärung hierfür ist, dass sich möglicherweise die unterschiedlichen Unterkomponenten innerhalb der Gruppen unterschiedlich verteilen: Bei einem Lerner dessen gesamte kognitive Auslastung unterhalb des Optimums liegt, kann die lernprozessbezogene kognitive Auslastung durchaus genau so hoch sein, wie bei einem Lerner dessen kognitive Auslastung oberhalb des Optimums liegt. Dies stellt ein generelles Problem der Messung kognitiver Gesamtbelastung dar. Solange keine verlässliche Messung aller Unterkomponenten kognitiver Auslastung (lernumgebungs-, lerngegenstands- und lernprozessbezogen) möglich ist, bleibt die Messung der Gesamtbelastung wenig aussagekräftig. Wie jedoch die lernprozessbezogene kognitive Auslastung gemessen werden kann, ist bisher noch ungeklärt (Kirschner, 2002, S. 5).

11. Ausblick – Folgerungen für Forschung und Unterrichtspraxis

In diesem Kapitel soll ein Ausblick auf die Implikationen der wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit für künftige Forschungsarbeiten und für die Nutzung instruktionaler Unterstützung beim Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Biologieunterricht gegeben werden.

Ein wesentliches Problem der Lerner, das sich in dieser Studie abzeichnete, stellte die Unterschätzung der Komplexität des Lerninhalts dar. Dieses Problem zeigte sich beim Einsatz der expliziten instruktionalen Hilfen sogar noch ausgeprägter als bei der Anfertigung von Notizen. Die kleinschrittigen Mikroinstruktionen haben, so wurde dieses Ergebnis interpretiert, die Lerner dazu „verführt“, sich weniger intensiv mit dem Lerninhalt auseinanderzusetzen. Makroinstruktionen, die stärker auf den Gesamtzusammenhang eingehen, sind daher eine denkbare Möglichkeit, die Lerner stärker dazu anzuregen, die Verbindungen zwischen Einzelelementen zu erkennen und so den Lerninhalt in seiner Komplexität wahrzunehmen. Weitere Studien müssten klären, ob solche Makroinstruktionen wirksam sind und inwieweit das Vorhandensein von Mikroinstruktionen oder die Abwesenheit von Makroinstruktionen für die Unterschätzung der Komplexität verantwortlich sind. Für die Unterrichtspraxis kann jedoch bereits jetzt gefolgert werden, dass ein ausschließlicher Einsatz von Mikroinstruktionen als Unterstützung des Lernens mit Multimedia nicht zu empfehlen ist.

Der Einsatz von strukturierten Notizen stellte sich dagegen in dieser Studie als lernförderliche instruktionale Maßnahme heraus. Die Forschung zur Wirkung der Anfertigung von Notizen ist bisher noch nicht auf das Lernen mit multimedialen Lernumgebungen ausgeweitet worden. In Anbetracht der vielversprechenden Wirkung der Notizen in dieser Studie, wäre in nachfolgenden Studien die *a posteriori* aufgestellte Hypothese der lernförderlichen Wirkung des Notizenmachens beim Lernen mit Multimedia zu überprüfen. Dabei wäre auch der Frage nachzugehen, welchen Einfluss das Vorwissen auf die Wirkung des Anfertigens von Notizen hat und ob sich der in dieser Studie gefundene sensitive Bereich mittleren Vorwissens bestätigen lässt. Trotz dieser noch ausstehenden Forschung können strukturierte Notizen, wie sie in dieser Studie eingesetzt wurden, aufgrund bisheriger Forschung zum Notizenmachen (z. B. Kiewra et al., 1995) und den Ergebnissen dieser Studie für die Unterstützung der Schüler beim Lernen mit Multimedia empfohlen werden.

In der Studie zeigten sich einige Probleme, die sich mit der *Cognitive-Load*-Theorie

erklären lassen. Eine solche Interpretation muss jedoch weitgehend spekulativ bleiben, da bisher keine Testinstrumente vorliegen, mit denen die Messung der Unterkomponenten kognitiver Auslastung (lernumgebungs-, lerngegenstands- und lernprozessbezogen) möglich ist. In bisherigen Studien zur *Cognitive-Load*-Theorie wird beinahe ausschließlich die gesamte kognitive Auslastung der Lerner gemessen. Einige neuere Ansätze versuchen auch über die Messung der freien Kapazität auf die (gesamte) kognitive Auslastung rückzuschließen (sog. *Dual-Task*-Messung; vgl. hierzu Brünken, Plass & Leutner, 2003; für einen Überblick über aktuelle Messinstrumente für *cognitive load* siehe Paas, Renkl & Sweller, 2003). Eine Messung der Unterkomponenten unterbleibt jedoch, da es bislang an geeigneten Methoden mangelt. Vor allem wie die lernprozessbezogene kognitive Auslastung (*germane cognitive load*) gemessen und von der lernumgebungsbezogenen kognitiven Auslastung (*extraneous cognitive load*) abgegrenzt werden kann, ist bisher noch ungeklärt (Kirschner, 2002, S. 5). Um aber das theoretische Konstrukt der kognitiven Auslastung in ein Analyseinstrument für die sinnvolle Interpretation der Wechselwirkungen von Lernprozess, Lernumgebung und Lerngegenstand umzusetzen, ist ein Instrument zur Messung der Subkonstrukte unverzichtbar. Die Entwicklung eines solchen Analyseinstruments stellt aus Sicht des Autors einen notwendigen Schritt in der künftigen Forschung zur *Cognitive-Load*-Theorie dar.

Den theoretischen Rahmen dieser Arbeit bilden aktuelle kognitionspsychologische Erkenntnisse und Theorien, die in den vergangenen 15 Jahren entwickelt wurden. Sie leisten einen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung der Bedingungen und Anforderungen des Lernens mit Multimedia und bieten inzwischen ausgereifte Prinzipien für die Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen. Für die Entwicklung der expliziten instruktionalen Unterstützung wurde in dieser Arbeit dieser Theorierahmen, der sich bereits für implizite Unterstützung als hilfreich erwiesen hat, als handlungsleitend begriffen. Dass sich die relativ geringe Wirksamkeit der expliziten Unterstützungsmaßnahmen vor allem auf die zu geringe aktive Auseinandersetzung der Lerner mit dem Lerninhalt zurückführen lässt, legt es jedoch nahe, für die Gestaltung von expliziter instruktionaler Unterstützung eine stärker konstruktivistische Perspektive einzunehmen. Konstruktivistische Lerntheorien rücken die Notwendigkeit der aktiven Wissenskonstruktion jedes Lernalters in den Mittelpunkt des Interesses. Dies scheint im Licht der Ergebnisse dieser Studie notwendig, da diese Komponente im Rahmen moderner Kognitionspsychologie zwar berücksichtigt wird, aber, anders als bei konstruktivistischen Ansätzen, nicht im Mittelpunkt aller theoretischen Überlegungen steht (einen Überblick über die konstruktivistische Perspektive auf das Lernen bieten Gerstenmaier & Mandl, 1995). Es stellt daher eine vielversprechende Alternative für Folgestudien und für den Einsatz multimedialer Lernumgebungen im Unterricht dar, konstruktivistische Ansätze bei der Entwicklung und dem Einsatz von Unterstützungsmaßnahmen aufzugreifen (vgl. z. B. Gräsel, Mandl, Fischer & Gärtner, 1994; Sumfleth & Telgenbüscher, 2000; Jonassen & Rohrer-Murphy, 1999).

Für das Lernen mit multimedialen Lernumgebungen bieten sich dabei vor allem die konstruktivistisch orientierten Theorien des situierten Lernens an (vgl. Mandl, Gruber & Renkl, 2002).

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass der isolierte Einsatz einer multimedialen Lernumgebung im Unterricht zwar für diese empirische Studie zielführend war, dass dieses Vorgehen aber nicht als Vorschlag für den Einsatz von Multimedia im Schulunterricht missverstanden werden darf. Zwar war die in dieser Studie eingesetzte multimediale Lernumgebung in Hinblick auf den Lernzuwachs und das geweckte Interesse der Schüler durchaus erfolgreich, aber erst die Einbettung in einen Unterricht, der im Vorfeld die kognitiven und affektiven Voraussetzungen schafft und die Bearbeitung der Lernsoftware in Kombination mit anderen Methoden vorbereitet, begleitet und nachbereitet, stellt einen didaktisch sinnvollen Einsatz von Multimedia im Unterricht dar.

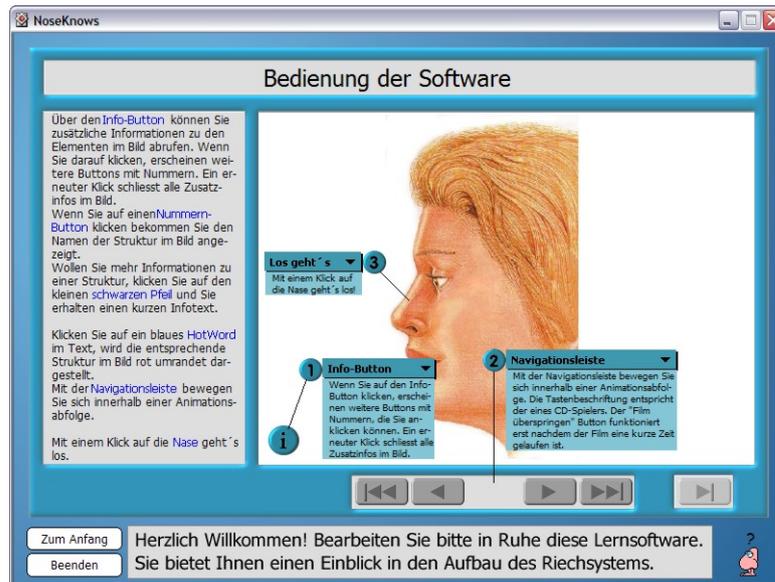
Teil IV.

Anhänge

Anhang A.

Die Lernsoftware

Auf den folgenden Seiten werden Screenshots der in dieser Studie verwendeten Software dargestellt. Das Konzept der Software wurde in Zusammenarbeit mit Dr. Franz R. Sebold erstellt. Die Umsetzung erfolgte in Zusammenarbeit mit Inka Lindner und Tim Höffler. Eine vollständige Version der Software ist auf Anfrage beim Autor erhältlich (boy.kramer@web.de).

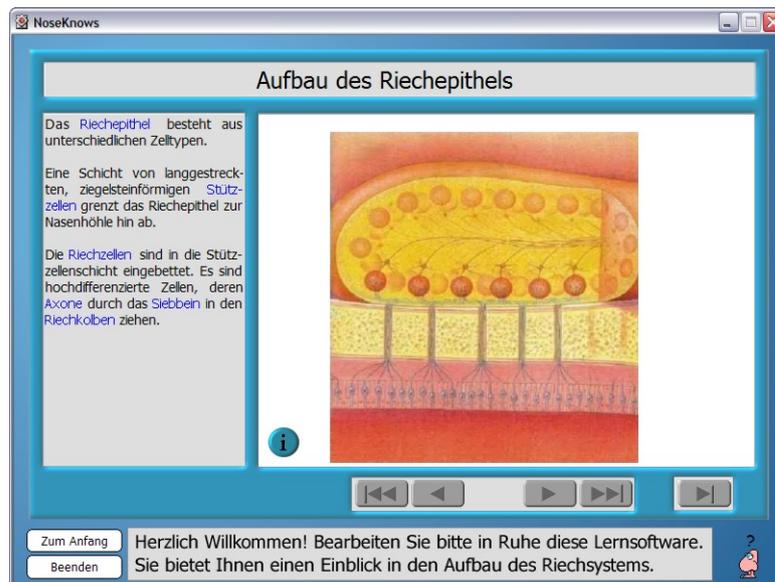


(a) Einführung in die Bedienung

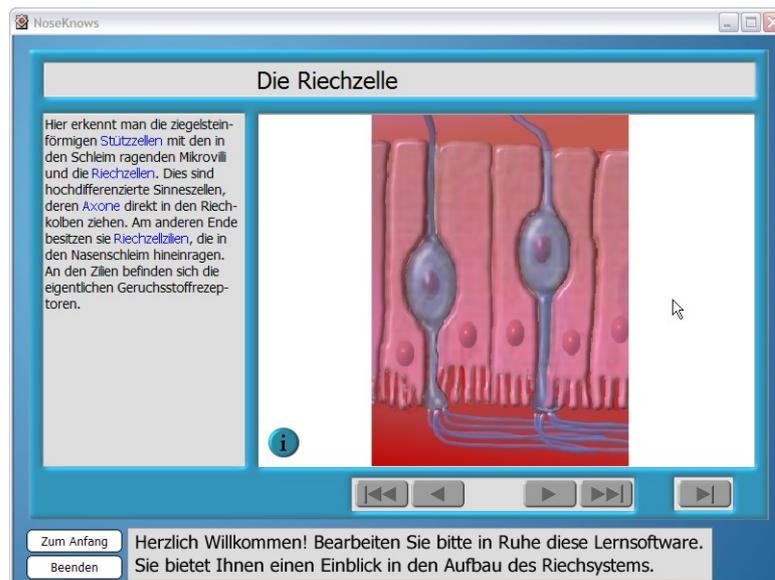


(b) Anatomie der Nase

Abbildung A.1: Die Einleitung der Software. (a) Ein Überblick über die Bedienelemente der Software. Die blauen Informationsfelder sind beim Aufruf der Seite stets geöffnet. (b) Die Anatomie der Nase wird grob erläutert. Fortsetzung auf der nächsten Seite.

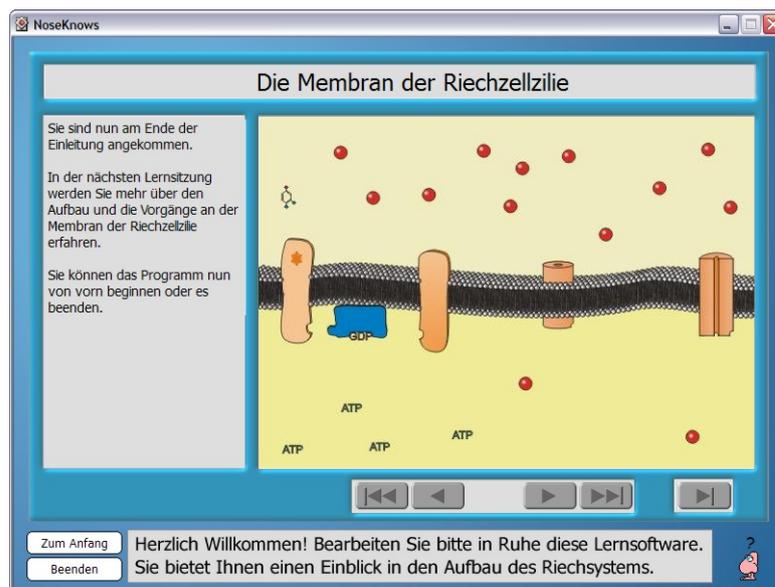


(c) Aufbau des Riechepithels



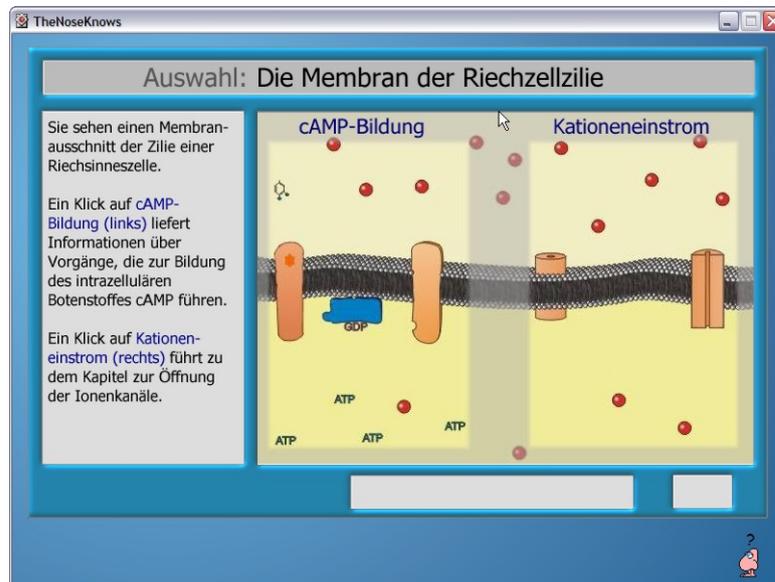
(d) Die Riechzelle

Abbildung A.1: Die Einleitung der Software. (c–d) Schrittweise Vergrößerung („Zoom-in“) der Strukturen über die Gewebeebene zur Zellebene der Zelle. Fortsetzung auf der nächsten Seite.

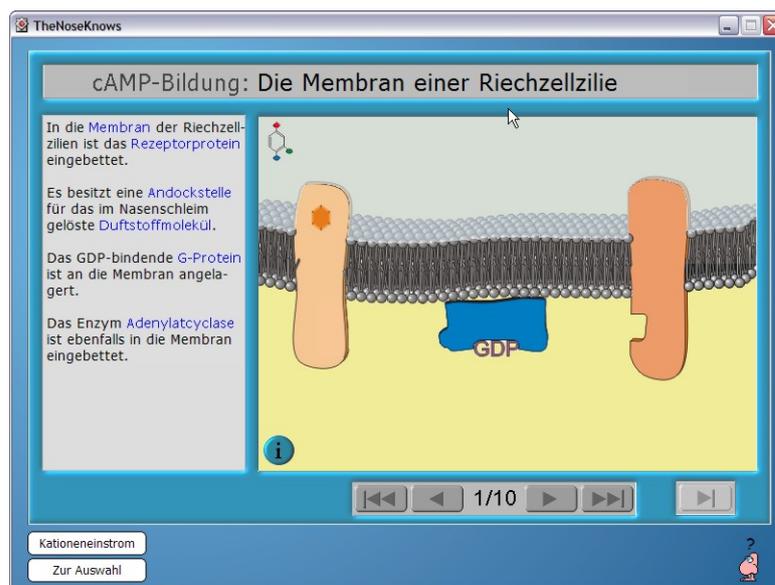


(e) Membran der Riechzelle

Abbildung A.1: Die Einleitung der Software. (e) Der „Zoom-in“ endet auf der subzellulären Systemebene. Auf dieser Ebene beginnt auch der Hauptteil der Software. Bildquelle für die in den auf Abb. (a–c) dargestellten Zeichnungen: Roberto Osti Illustrations.

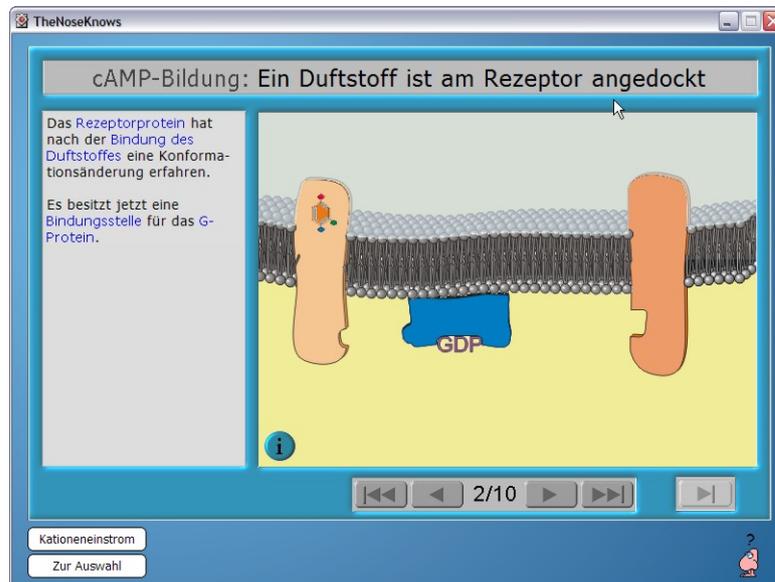


(a) Auswahlseite

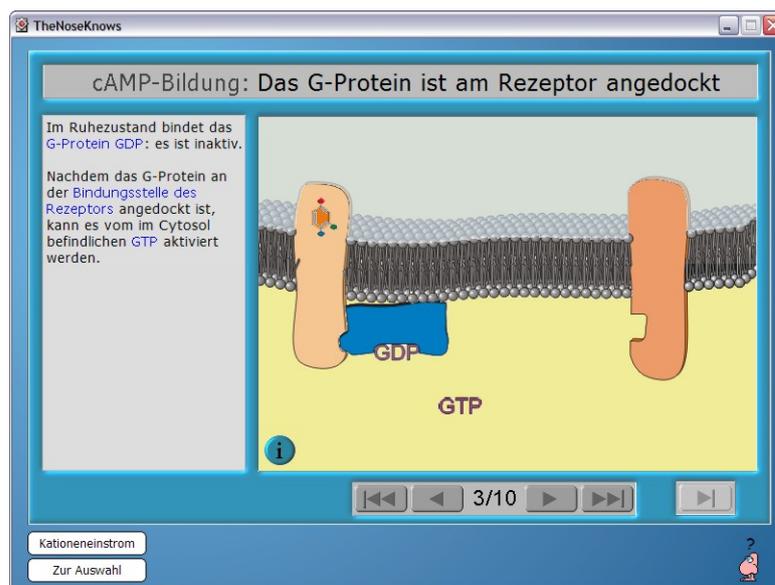


(b) Membran einer Riechzellilie

Abbildung A.2: Fortsetzung auf der nächsten Seite.

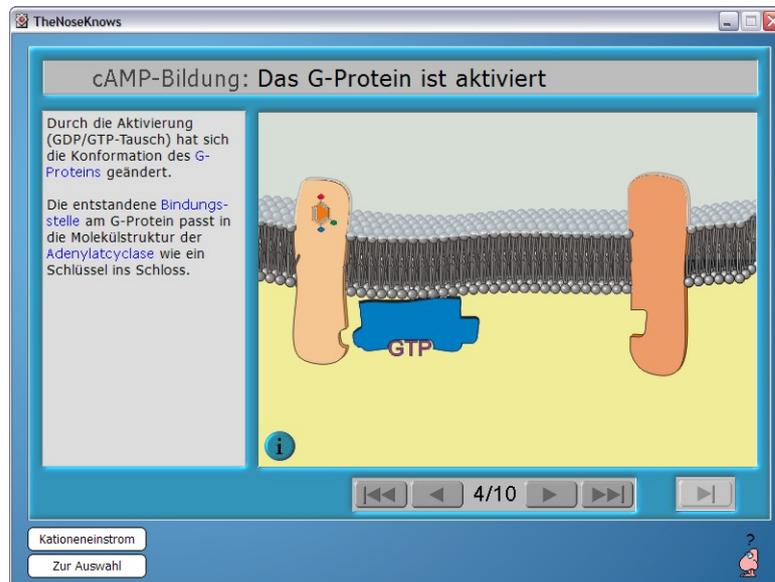


(c) Duftstoff ist am Rezeptor andockt

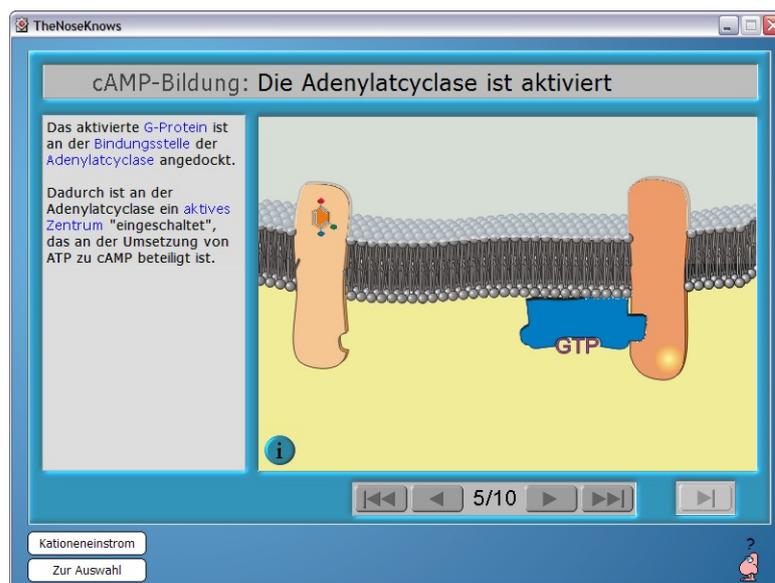


(d) G-Protein ist am Rezeptor andockt

Abbildung A.2: Fortsetzung auf der nächsten Seite.

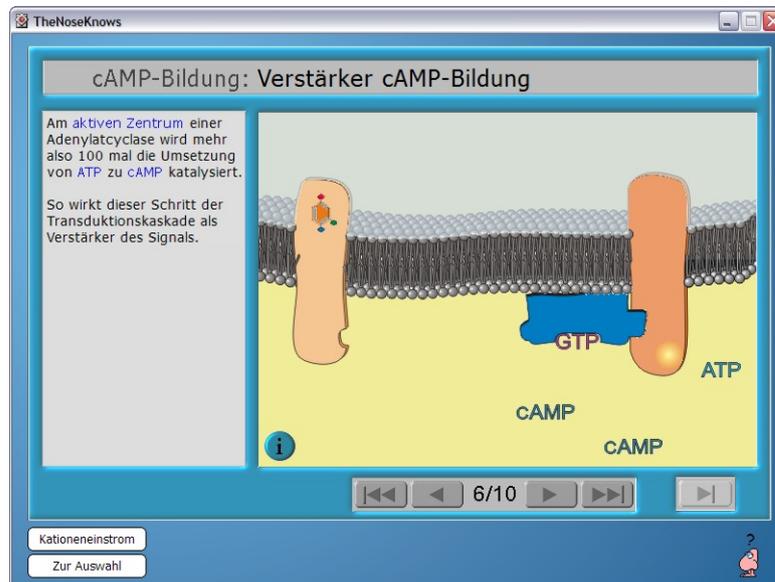


(e) Aktiviertes G-Protein

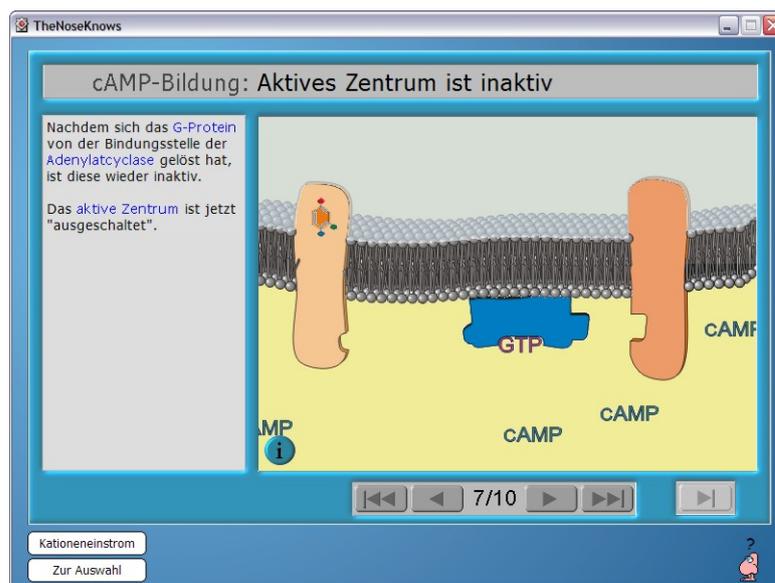


(f) Aktivierte Adenylatcyclase

Abbildung A.2: Fortsetzung auf der nächsten Seite.

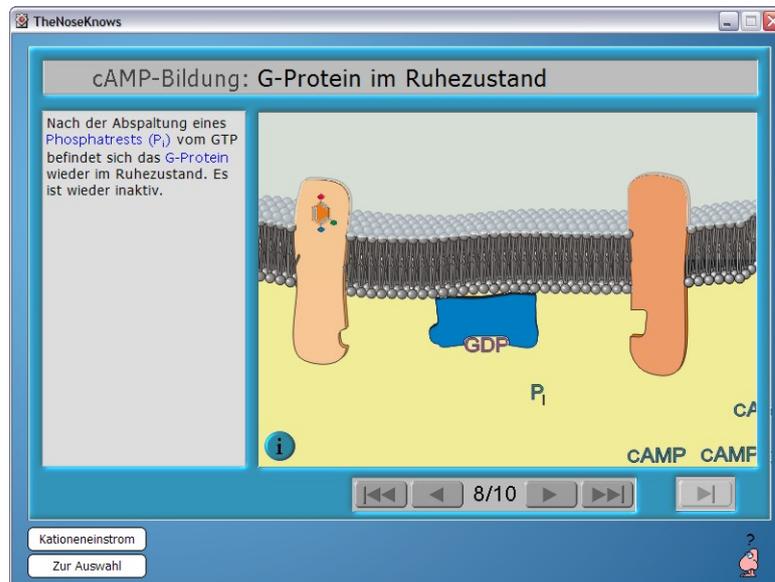


(g) Enzymatisch katalysierte cAMP-Bildung

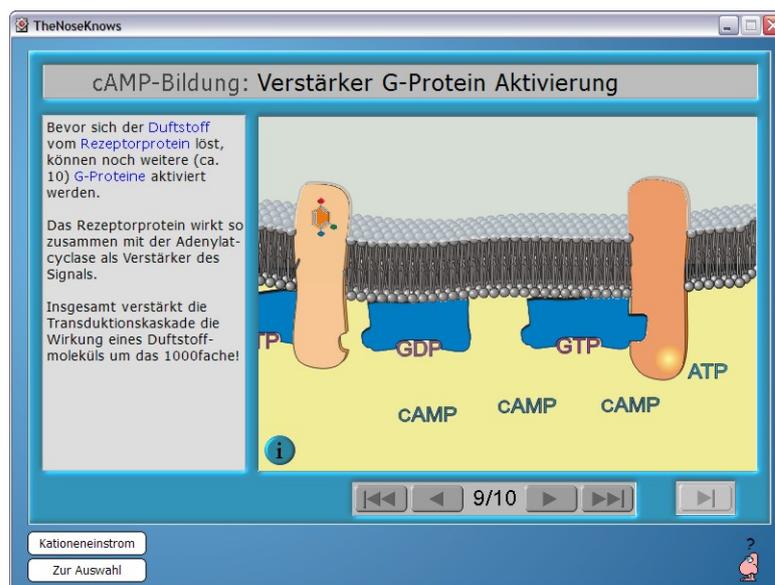


(h) Beendigung cAMP-Synthese

Abbildung A.2: Fortsetzung auf der nächsten Seite.

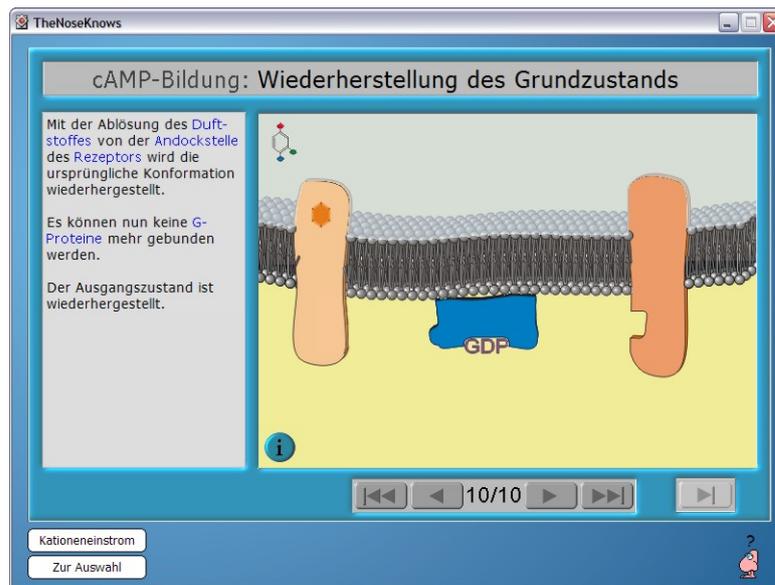


(i) Abspaltung eines Phosphatrests



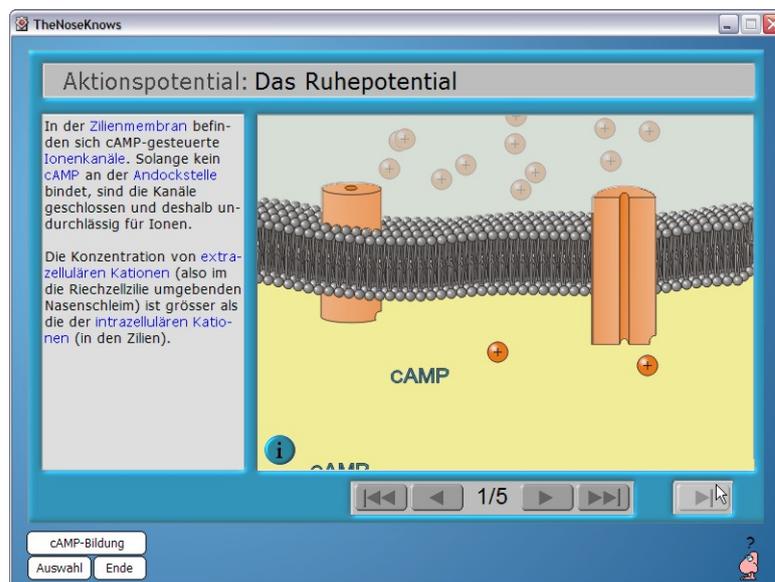
(j) Verstärkungsfaktor G-Protein-Aktivierung

Abbildung A.2: Fortsetzung auf der nächsten Seite.



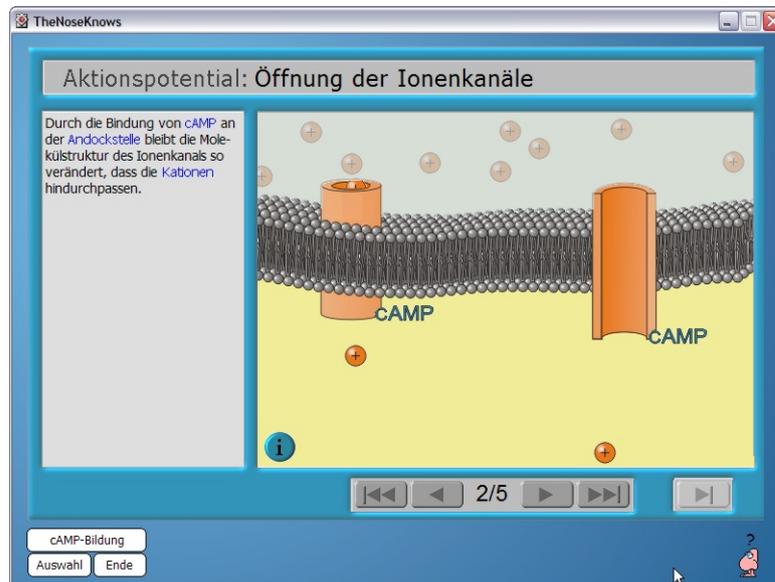
(k) Wiederherstellung des Grundzustands

Abbildung A.2: Im ersten Abschnitt des Hauptteils der Software wird die Transduktionskaskade bis zur cAMP-Bildung dargestellt, die in der Software über die Auswahlseite a direkt erreicht wird. Die Übergänge zwischen den hier abgebildeten Standbildern erfolgen jeweils durch Animationen.

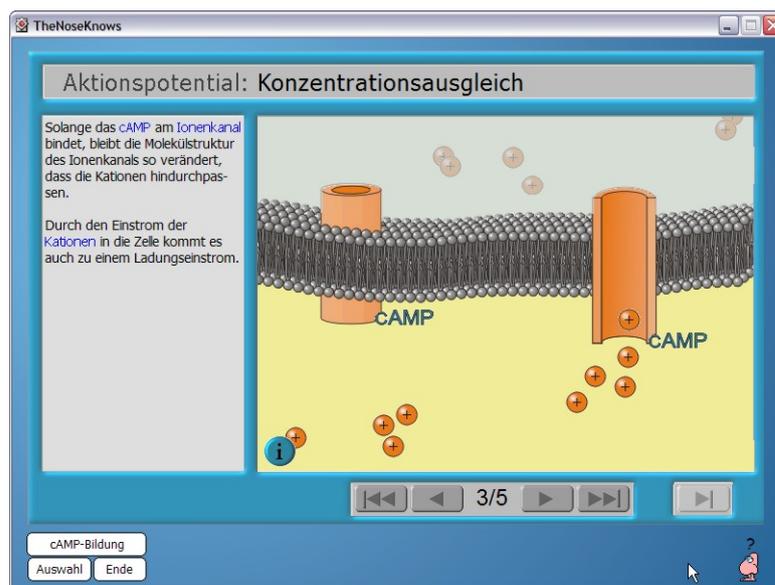


(a) Das Ruhepotential

Abbildung A.3: Fortsetzung auf der nächsten Seite.

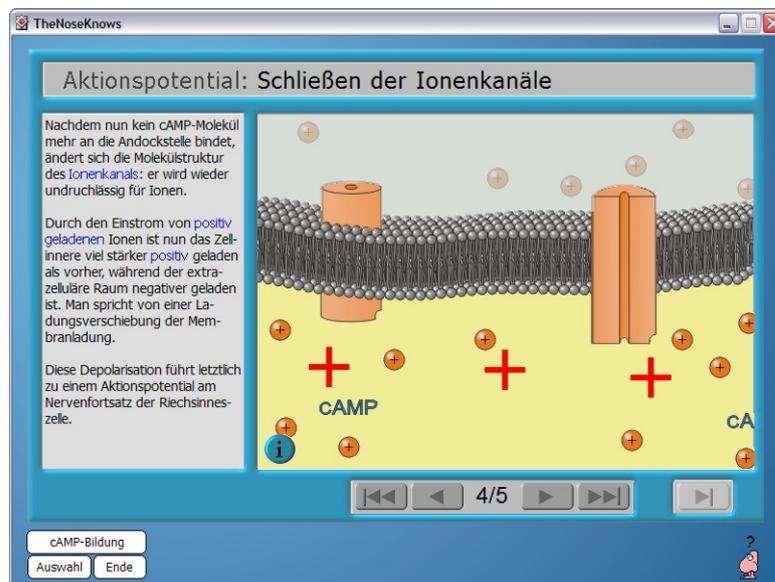


(b) Öffnung der Ionenkanäle



(c) Konzentrationsausgleich

Abbildung A.3: Fortsetzung auf der nächsten Seite.



(d) Depolarisation



(e) Aktionspotentiale

Abbildung A.3: Zweiter Abschnitt des Hauptteils: (a–c) Öffnung der cAMP-gesteuerten Ionenkanäle und Kationeneinstrom; (d und e) Entstehung eines Aktionspotentials

Anhang B.

Begleitbögen

Auf den folgenden Seiten werden die eingesetzten Begleitbögen verkleinert (Originalgröße: DIN A4) dargestellt, die in dieser Studie benutzt wurden.

Begleitbogen

Bitte füllen Sie diesen Begleitbogen aus.

Datum:

Kennzeichen: XXX - Schule - - -

cAMP-Bildung

Szene 1: Die Membran einer Riechzellzlie

Frage: Weshalb kann ein Molekül am Rezeptor andocken?	Antwort:
---	-----------------

Szene 2: Ein Duftstoff ist am Rezeptor angedockt

Frage: Die im Text beschriebene Konformationsänderung bedeutet nichts anderes als ...	Antwort:
---	-----------------

Szene 3: Das G-Protein ist am Rezeptor angedockt

Frage: Findet der Austausch von GDP durch GTP am G-Protein im Zellinneren oder im Nasenschleim statt?	Antwort:
---	-----------------

Szene 4: Das G-Protein ist aktiviert

Frage: Wohin bewegt sich das G-Protein, nachdem der GDP/GTP-Tausch stattgefunden hat?	Antwort:
---	-----------------

Szene 5: Die Adenylatcyclase ist aktiviert		
Frage: Befindet sich das „aktive Zentrum“ der Adenylatcyclase im Zellinneren oder im außerhalb der Zelle?	Antwort:	
Szene 6: Verstärker cAMP-Bildung		
Frage: Wozu dient das G-Protein während der cAMP-Bildung?	Antwort:	
Szene 7: Aktives Zentrum ist inaktiv		
Frage: Wird das aktive Zentrum „ausgeschaltet“ vor, nach oder gleichzeitig mit der Ablösung des G-Proteins?	Antwort:	
Szene 8: G-Protein im Ruhezustand		
Frage: Nach der Ablösung eine Phosphatrests besitzt das G-Protein eine neue Konformation. Passt es jetzt noch in die Bindungsstelle des Rezeptorproteins?	Antwort:	
Beilagebogen – Seite 3	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Szene 9: Verstärker G-Protein-Aktivierung		
Frage: Wo werden die weiteren G-Proteine aktiviert?	Antwort:	
Szene 10: Wiederherstellung des Grundzustands		
Frage: Mit welchem letzten Schritt wird der Grundzustand des Rezeptors wieder hergestellt?	Antwort:	
Weitere Notizen:		
Beilagebogen – Seite 4	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Kationeneinstrom		
Szene 1: Das Ruhepotential		
Frage: Auf welcher Seite ist die Zellmembran im Ruhezustand positiver geladen – innerhalb oder außerhalb der Zelle?	Antwort:	
Szene 2: Öffnung der Ionenkanäle		
Frage: Die im Text beschriebene Konformationsänderung bedeutet nichts anderes als ... ?	Antwort:	
Szene 3: Konzentrationsausgleich		
Frage: Wie verändert sich die Ladung im Zellinneren durch den Einstrom von Kationen?	Antwort:	
Szene 4: Schließen der Ionenkanäle		
Frage: Die Ionenkanäle schließen sich, wenn...	Antwort:	
Beilagebogen – Seite 5	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Szene 5: Weiterleitung der Information ans Gehirn		
Frage: Haben Sie das Gefühl, dass noch eine Frage sinnvoll wäre um noch mehr Information ans Gehirn weiter zu leiten? ;-)	Antwort:	
Weitere Notizen:		
Beilagebogen – Seite 6	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Begleitbogen

Bitte nutzen Sie diesen Begleitbogen für Ihre Notizen.

Datum:

Kennzeichen: XXX - Schule - - -

cAMP-Bildung

Szene 1: Die Membran einer Riechzellzilie

Notizen:

Szene 2: Ein Duftstoff ist am Rezeptor angedockt

Notizen:

Szene 3: Das G-Protein ist am Rezeptor angedockt

Notizen:

Szene 4: Das G-Protein ist aktiviert

Notizen:

Szene 5: Die Adenylatcyclase ist aktiviert		
Notizen:		
Szene 6: Verstärker cAMP-Bildung		
Notizen:		
Szene 7: Aktives Zentrum ist inaktiv		
Notizen:		
Szene 8: G-Protein im Ruhezustand		
Notizen:		
Beilagebogen – Seite 3	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Szene 9: Verstärker G-Protein-Aktivierung		
Notizen:		
Szene 10: Wiederherstellung des Grundzustands		
Notizen:		
Weitere Notizen:		
Beilagebogen – Seite 4	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Kationeneinstrom		
Szene 1: Das Ruhepotential		
Notizen:		
Szene 2: Öffnung der Ionenkanäle		
Notizen:		
Szene 3: Konzentrationsausgleich		
Notizen:		
Szene 4: Schließen der Ionenkanäle		
Notizen:		
Beilagebogen – Seite 5	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Szene 5: Weiterleitung der Information ans Gehirn		
Notizen:		
Weitere Notizen:		
Beilagebogen – Seite 6	Auf der Rückseite ist noch mehr Platz...	© 2003 – B. Kramer – IPN

Anhang C.

Fragebögen

Im Folgenden sind die Fragebögen der Studie dargestellt. Sie entsprechen den eingesetzten Fragebögen bis auf wenige inhaltsgleiche Bilder, die aus urheberrechtlichen Gründen ersetzt wurden. Die Originalfragebögen sind auf Anfrage beim Autor erhältlich (<mailto://boy.kramer@web.de>).

C.1. Vortestfragebogen

THE NOSE KNOWS

1. Fragebogen
zur computergestützten Lerneinheit

Datum:

Kennzeichen: XX - Schule - - -

Das Kennzeichen dient der eindeutigen Zuordnung der Fragebögen zueinander bei gleichzeitiger Wahrung der Anonymität.

Und so erstellen Sie Ihr Kennzeichen:

1. Tragen Sie in das erste Kästchen den **Anfangsbuchstaben des Vornamens Ihres Vaters** ein.
2. Tragen Sie in das zweite Kästchen den **Anfangsbuchstaben des Vornamens Ihres Mutter** ein.
3. Tragen Sie in die hinteren 4 Kästchen den **Geburtstag (TTMM) Ihrer Mutter** ein.

Beispiel:
Ihr Vater heißt Paul, Ihre Mutter Henriette und sie hat am 7. März Geburtstag. Dann lautet Ihr Kennzeichen:

Kennzeichen: XX - Schule - P - H - 0 7 0 3

Beachten Sie bei der Beantwortung des folgenden Fragebogens bitte folgendes:

Bitte immer nur **ein Kreuz** pro Frage in **ein Kästchen**.
Wenn Sie ein Kreuz zwischen zwei Kästchen machen, wird die Antwort für uns wertlos.

Bitte geben Sie **auf jeden Fall eine Antwort**, auch wenn sie Ihnen falsch oder sinnlos erscheint. Hier wird nichts bewertet. Für uns ist jede Antwort wertvoll!

Viel Spaß bei der Bearbeitung.

PRETESTFRAGEBOGEN – ALLGEMEINE FRAGEN

Alter: _____ Jahre

Geschlecht: männlich weiblich

Wo können Sie einen Computer nutzen? (mehrere Kreuze möglich)

Zu Hause <input type="checkbox"/>	In der Schule <input type="checkbox"/>	Bei Freunden <input type="checkbox"/>	Gar nicht <input type="checkbox"/>
-----------------------------------	--	---------------------------------------	------------------------------------

Wie oft nutzen Sie einen Computer?

täglich <input type="checkbox"/>	ein- bis mehrmals pro Woche <input type="checkbox"/>	ein- bis mehrmals im Monat <input type="checkbox"/>	seltener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	--	---	-----------------------------------

Wie oft surfen Sie im Internet?

täglich <input type="checkbox"/>	ein- bis mehrmals pro Woche <input type="checkbox"/>	ein- bis mehrmals im Monat <input type="checkbox"/>	seltener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	--	---	-----------------------------------

	trifft nicht zu	trifft etwas zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1 Ich lese sehr langsam.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Es fällt mir leicht, Texte zu lesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Um eine Aufgabe zu lösen, stelle ich mir ihren Inhalt bildlich vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Ich lese Texte am Computerbildschirm sehr ungern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Ich habe schon oft mit Lernprogrammen gearbeitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Ich kann meine Gedanken gut in Worte fassen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Wenn ich einen Text am Computermonitor lese, überfliege ich ihn nur.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Ich habe oft Ideen, die ich nur mit Schwierigkeiten ausdrücken kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Ich kann mich sprachlich gut ausdrücken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Es fällt mir schwer, mir ein Bild vor meinem inneren Auge vorzustellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Ich kenne mich mit Computern sehr gut aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Ich arbeite sehr häufig mit dem Computer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Wenn ich mich an einen Vorgang erinnere, benutze ich dazu eher Worte als Bilder.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Ich benutze oft bildliche Vorstellungen, um mir Dinge zu merken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PRETESTFRAGEBOGEN – ALLGEMEINE FRAGEN

		trifft nicht zu	trifft etwas zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
15	Wenn ich im Internet nach Informationen suche orientiere ich mich eher an Bildern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Das Lernen am Computer macht mir viel Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Wenn ich eine informative Seite im Internet gefunden habe, lese ich mir dort auch die Texte durch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Ich weiß eine ganze Menge über Computer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Das Lernen am Computer habe ich noch nie gemocht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	Ich lese am Computerbildschirm nur sehr kurze Texte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	In meiner Freizeit lese ich oft und viel.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	Das Lernen am Computer finde ich nicht gerade interessant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	Ich lese oft Texte am Bildschirm, obwohl ich dass ungern tue.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	Auf Internetseiten schaue ich mir vor allem die Bilder an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	Ich drucke mir längere Texte immer aus, statt sie am Computer zu lesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	Es stört mich nicht, längere Texte am Bildschirm zu lesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	Mit dem Lesen von Texten im Internet habe ich keine Probleme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	Um einen Prozess zu verstehen, stelle ich mir die einzelnen Schritte bildhaft vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	Ich habe häufig Schwierigkeiten, anderen Leuten Dinge mit Worten zu erklären.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	Ich denke oft in Bildern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	Um eine Aufgabe zu lösen, stelle ich mir ihren Inhalt bildlich vor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	Das Lernen am Computer finde ich anregend und spannend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PRETESTFRAGEBOGEN – BIOLOGISCHE FRAGEN

1. Enzyme sind...

- ...organische Stoffe, die den Ablauf biochemischer Reaktionen beeinflussen, selber aber nicht verändert werden.
 - ...anorganische Stoffe, die die Aktivierungsenergie für eine chemische Reaktion herabsetzen.
 - ...organische Stoffe, die im Verlauf einer biochemischen Reaktion von einem Ausgangsstoff in ein (oder mehrere) Produkt(e) umgewandelt werden.
 - ...organische oder anorganische Stoffe, die biochemische Reaktionen spezifischer Stoffe (Substrate) durch vorübergehende Bindung verhindern.
-

2. Die Membran der Zilien der Riechsinneszellen enthält ...

- ...transmembrane Proteine, assoziierte Proteine und Ionenkanäle.
 - ...Transmembranproteine und Ionenkanäle, aber keine Rezeptoren.
 - ...eine einfache Schicht Phospholipide.
 - ...Nasenschleim (Mucus)
-

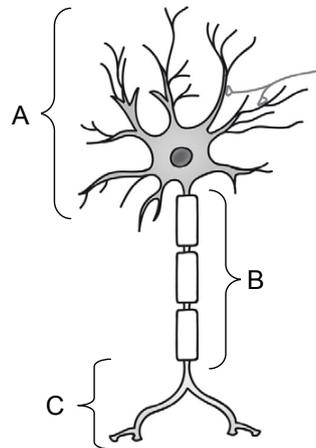
3. Welche der folgenden Aussagen zu Membranproteinen trifft nicht zu?

- Membranproteine regulieren den Stoffaustausch zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren.
- Membranproteine sorgen dafür, dass der Flüssigkeitszustand der Membran auch bei Temperaturschwankungen konstant bleibt.
- Eine wichtige Aufgabe der Membranproteine besteht in der Regelung des Stofftransportes zwischen Zellinnerem und Zelläußeren.
- Membranproteine erfüllen sehr verschiedene Aufgaben, wie z.B. Stofftransport, Rezeptorfunktion und Enzymfunktion.

PRETESTFRAGEBOGEN – BIOLOGISCHE FRAGEN

4. Die Buchstaben A, B und C im rechten Bild stehen in dieser Reihenfolge für...

- ... Synapse, Ranvier'scher Schnürring, Dendrit.
- ... Axon, Dendrit, Synapse.
- ... Soma (Zellkörper), Axon, Endverzweigung des Axon.
- ... Soma (Zellkörper), Nervenzellen, Endverzweigung des Axon.



5. Aktionspotentiale werden nur in eine Richtung weitergeleitet, weil...

- ... die Ranvier-Schnürringe nur in eine Richtung leiten.
- ... der Axonhügel ein höheres Potential als die Spitze des Axons hat.
- ... spannungsgesteuerte Natrium- und Kaliumkanäle nur in eine Richtung öffnen können.
- ... eine kurze Refraktärzeit die Depolarisation der Membran in der Richtung, aus der der Impuls kam, verhindert.

6. Die Rezeptoren für Duftstoffe sind...

- ...Proteine, die im Nasenschleim gelöst sind.
- ...Transmembranproteine in der Membran der Riechzellilien.
- ...primäre Sinneszellen im Riechepithel.
- ...duftstoffgesteuerte Ionenkanäle in der Membran der Riechzellilien.

PRETESTFRAGEBOGEN – BIOLOGISCHE FRAGEN

7. Durch eine chemische Substanz wird das Ruhepotential einer Nervenzelle negativer. Was könnte die Ursache für diese Wirkung sein?

- Die Substanz schließt Natriumkanäle und der Einstrom von Natriumionen wird geringer.
 - Die Substanz schließt Natriumkanäle und der Ausstrom von Natriumionen wird geringer.
 - Die Substanz öffnet Kaliumkanäle und der Einstrom von Kaliumionen wird größer.
 - Die Substanz schließt Kaliumkanäle und der Ausstrom von Kaliumionen wird geringer.
-

8. Zeichnen Sie den Aufbau einer Biomembran gemäß dem „Flüssig-Mosaik-Modell“ (fluid-mosaic model) und benennen Sie die wichtigsten Strukturen.

9. Kennzeichnen Sie die passiven Transportmechanismen durch Biomembranen.

- Diffusion, Osmose, Plasmolyse.
- Diffusion, Diffusion durch eine Transport-ATPase, erleichterter Transport durch Carrier
- Endocytose, Phagocytose, Exocytose
- Diffusion, Diffusion durch Kanalproteine, erleichterter Transport durch Carrier

PRETESTFRAGEBOGEN – BIOLOGISCHE FRAGEN

10. Welches der folgenden Proteine ist nicht unmittelbar an der olfaktorischen Signaltransduktion beteiligt?

- Adenylatcyclase
 - G_{olf} (ein G-Protein aus der Familie der G_s-Proteine)
 - Rezeptorprotein
 - ATP-Synthase
-

11. Die niederländischen Wissenschaftler GORTER und GREDEL extrahierten um 1925 den gesamten Lipidanteil aus einer bekannten Zahl von Erythrozyten. Dann brachten sie die Lipide auf eine Wasseroberfläche auf. Wie groß war der Fleck?

- Halb so groß wie die Gesamtoberfläche der Erythrocyten.
 - Doppelt so groß wie die Gesamtoberfläche der Erythrocyten.
 - Vier mal so groß wie die Gesamtoberfläche der Erythrocyten.
 - Genau so groß wie die Gesamtoberfläche der Erythrocyten.
-

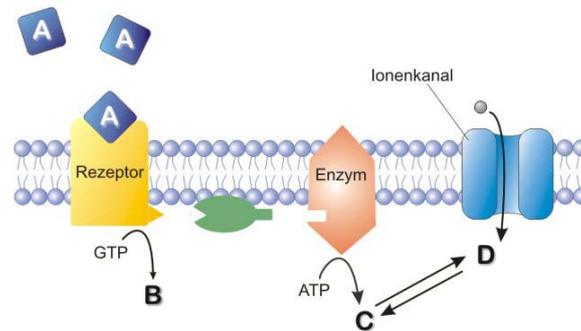
12. Zeichnen Sie schematisch den Ablauf einer enzymatisch katalysierten biochemischen Reaktion an einem Beispiel. Zeichnen und beschriften Sie die folgenden Elemente: Substrat(e), Produkt(e), Enzym, aktives Zentrum, Enzym-Substrat-Komplex.

13. Die Signalübertragung an der Membran der Riechzellzilien entspricht weitgehend der anderer Signalketten. Sie läuft also in folgender Reihenfolge ab:

- Duftstoffdiffusion – Phagocytose – Duftstoffabsorption – Zellantwort
- Duftstoffrezeption – Aktivierung Ionenkanal – Ioneneinstrom – ATP-Synthese
- Duftstoffdiffusion durch Ionenkanal bzw. Carrierproteine – Duftstoffrezeption – Aktivierung des Enzyms Adenylatcyclase – cAMP-Bildung – Öffnung Ionenkanäle
- Duftstoffrezeption – Aktivierung G-Protein – Aktivierung des Enzyms Adenylatcyclase – cAMP-Bildung – Öffnung Ionenkanäle

PRETESTFRAGEBOGEN – BIOLOGISCHE FRAGEN

14. Welches der im folgenden Bild mit den Buchstaben A-D bezeichneten Elemente agiert als intrazellulärer Botenstoff (auch: „second messenger“)?



- A
- B
- C
- D

15. Durch welche Struktur grenzt sich jede Zelle von ihrer Umgebung ab?

- Zellwand
- Tonoplast
- Lipiddoppelschicht
- Einfache Lipidschicht

16. Eine Signalkette wird in Gang gesetzt, wenn ein ___ an einem ___ bindet.

- G-Protein, Rezeptor
- Signalmolekül (Ligand), Rezeptor
- G-Protein, Enzym (z.B. Adenylatcyclase)
- Signalmolekül (Ligand), Enzym

17. Welche Eigenschaften muss ein Molekül haben, damit es „riecht“?

- Es muss an einem Rezeptor andocken können.
- Es muss einen Benzolring besitzen.
- Es muss wasserlöslich sein.
- Es muss Dipolcharakter haben, damit es durch die Membran gelangen kann.

C.2. Nachtestfragebogen

THE NOSE KNOWS

2. Fragebogen

zur computergestützten Lerneinheit

Datum:

Kennzeichen:

XX

-

Schule

-

-

-

-

-

-

Das Kennzeichen dient der eindeutigen Zuordnung der Fragebögen zueinander bei gleichzeitiger Wahrung der Anonymität.

Und so erstellen Sie Ihr Kennzeichen:

1. Tragen Sie in das erste Kästchen den **Anfangsbuchstaben des Vornamens Ihres Vaters** ein.
2. Tragen Sie in das zweite Kästchen den **Anfangsbuchstaben des Vornamens Ihres Mutter** ein.
3. Tragen Sie in die hinteren 4 Kästchen den **Geburtstag (TTMM) Ihrer Mutter** ein.

Beispiel:

Ihr Vater heißt Paul, Ihre Mutter Henriette, und sie hat am 7. März Geburtstag. Dann lautet Ihr Kennzeichen:

Kennzeichen:

XX

-

Schule

-

-

-

-

-

-

Bitte unbedingt beachten:

im 1. Teil:

- Bitte immer nur **ein Kreuz pro Frage** in ein Kästchen.
Wenn Sie ein Kreuz zwischen zwei Kästchen machen, wird die Antwort für uns wertlos.

im 2. Teil:

- Bei Ankreuzaufgaben ist immer **nur eine Antwort richtig!**
- Bitte versuchen Sie **auf alle Fragen eine Antwort** zu geben, auch wenn sie sich nicht sicher sind, ob die Antwort richtig ist. Hier wird nichts bewertet. Für uns ist jede Antwort wertvoll!

Und nun: Viel Spaß bei der Bearbeitung.

POSTTESTFRAGEBOGEN - TEIL 1

Teil 1

1	Wie abwechslungsreich und spannend fanden Sie das Lernprogramm?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		sehr		
2	Wie sehr würden Sie das Lernen mit dem Lernprogramm ihren Freunden empfehlen?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		sehr		
3	Waren die Inhalte des Lernprogramms Ihnen eher zu einfach oder eher zu komplex?	<input type="checkbox"/>				
		viel zu einfach		genau richtig	viel zu komplex	
4	Wie gut konnten Sie sich auf die Inhalte des Lernprogramms konzentrieren?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		sehr gut		
5	Wie würde es Ihnen gefallen, mit dem Lernprogramm in Ihrer Freizeit zu lernen?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		sehr gut		
6	Wie viel Aufmerksamkeit haben Sie der Bearbeitung des Lernprogramms gewidmet?	<input type="checkbox"/>				
		keine		sehr viel		
7	Wie gut hat Ihnen das Lernprogramm gefallen?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		sehr gut		
8	Haben sie mit dem Programm eher mehr oder eher weniger gelernt als in einer normalen Biologiestunde?	<input type="checkbox"/>				
		viel weniger		viel mehr		
9	Wie stark mussten Sie sich beim Lernen mit dem Lernprogramm geistig anstrengen?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		extrem		
10	Haben sie sich mit dem Lernprogramm stärker anstrengen müssen als in einer normalen Biologiestunde?	<input type="checkbox"/>				
		viel schwerer		gleich schwer		viel leichter
11	Wie sehr hat Sie die Informationsmenge des Lernprogramms geistig belastet?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		genau richtig	überlastet	
12	Fühlten sie sich in der Bedienung der Software eher sicher oder eher unsicher?	<input type="checkbox"/>				
		sehr unsicher		sehr sicher		
13	Waren die Lerninhalte der Software im Vergleich zu ihrem normalen Biologieunterricht schwerer oder leichter?	<input type="checkbox"/>				
		viel schwerer		gleich schwer		viel leichter
14	Waren Sie bei der Bearbeitung der Software aufmerksamer als in einer normalen Biologiestunde?	<input type="checkbox"/>				
		gar nicht		gleich	viel	

© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOGEN - TEIL 1

15	Wie häufig hatten Sie den Eindruck, dass das Lernprogramm Ihnen zu viele Informationen anbot?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				extrem häufig				
16	Wie sehr mussten Sie sich bemühen, um die Inhalte des Lernprogramms zu verstehen?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				extrem				
17	Waren die Lerninhalte des Programms für Sie eher zu leicht oder eher zu schwer?	<input type="checkbox"/>	viel zu leicht		genau richtig		viel zu schwer				
18	Fühlten Sie sich durch die Informationsmenge des Lernprogramms geistig stark belastet?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				extrem belastet				
19	Wie aufnahmefähig fühlten Sie sich bei der Bearbeitung des Lernprogramms?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				sehr				
20	Wie interessant waren die Inhalte des Lernprogramms für Sie?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				sehr				
21	Wie unkonzentriert fühlten sie sich bei der Bearbeitung der Software?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				sehr				
22	Fiel Ihnen die Bedienung der Software eher leicht oder eher schwer?	<input type="checkbox"/>	sehr leicht				sehr schwer				
23	Wie stark fühlten Sie sich durch das Lernprogramm geistig angestrengt?	<input type="checkbox"/>	zu gering		genau richtig		zu stark				
24	Wie oft war das Lernprogramm für sie schwieriger als ihr üblicher Biologieunterricht?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				sehr oft				
25	Haben sie sich beim Lernen mit der Software stärker anstrengen müssen als in einer durchschnittlichen Biologiestunde?	<input type="checkbox"/>	viel mehr		gleich viel		viel weniger				
26	Wie stark fühlten Sie sich durch die Lerninhalte der Software geistig gefordert?	<input type="checkbox"/>	gar nicht		genau richtig		überfordert				
27	Fühlten Sie sich durch die Komplexität der Lerninhalte des Programms geistig stark belastet?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				extrem belastet				
28	Wie häufig blieben die Informationen des Lernprogramms für Sie unverständlich?	<input type="checkbox"/>	gar nicht				extrem häufig				
29	Wie haben Sie die geistige Anstrengung beim Lernen mit dem Lernprogramm empfunden?	<input type="checkbox"/>	zu gering		genau richtig		zu groß				

© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOGEN - TEIL 1

Wie gern beschäftigen Sie sich **privat** mit Naturwissenschaften?

sehr ungerne <input type="checkbox"/>	eher ungerne <input type="checkbox"/>	eher gerne <input type="checkbox"/>	sehr gerne <input type="checkbox"/>
---------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Wie gern beschäftigen Sie sich **privat** mit der Biologie?

sehr ungerne <input type="checkbox"/>	eher ungerne <input type="checkbox"/>	eher gerne <input type="checkbox"/>	sehr gerne <input type="checkbox"/>
---------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Wie oft sehen Sie sich **privat** etwas über naturwissenschaftliche Themen im Fernsehen an?

täglich <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Woche <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Monat <input type="checkbox"/>	seltener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	---	---	-----------------------------------

Wie oft sehen Sie sich **privat** etwas über biologische Themen im Fernsehen an?

täglich <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Woche <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Monat <input type="checkbox"/>	seltener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	---	---	-----------------------------------

Wie oft lesen Sie **privat** etwas über naturwissenschaftliche Themen (Bücher, Presse, Internet)?

täglich <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Woche <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Monat <input type="checkbox"/>	seltener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	---	---	-----------------------------------

Wie oft lesen Sie **privat** etwas über biologische Themen (Bücher, Presse, Internet)?

täglich <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Woche <input type="checkbox"/>	ca. 1x pro Monat <input type="checkbox"/>	seltener <input type="checkbox"/>
----------------------------------	---	---	-----------------------------------

- Letzte Zeugnisnote Biologie Punkte
- Letzte Zeugnisnote Chemie Punkte
- Letzte Note Biologie, mündlich Punkte
- Letzte Note Chemie, mündlich Punkte
- Letzte Klausur-Note Biologie Punkte
- Letzte Klausur-Note Chemie Punkte

POSTTESTFRAGEBOGEN - TEIL 1

Fragen zur Programmgestaltung

1	Wie gefiel Ihnen die äußere Gestaltung (Design) der Lernsoftware?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
2	Wie sehr fühlten Sie sich von der Farbgebung der Lernsoftware gestört?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
3	Als wie gelungen empfanden Sie die Abbildungen?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
4	Wie gefiel Ihnen das Aussehen des Textes?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
5	Wie gut kamen Sie mit der Navigation in der Lernsoftware zurecht?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
6	Wie oft hatten Sie das Gefühl nicht mehr zu wissen wo Sie sich befanden?	<input type="checkbox"/>	nie	sehr oft				
7	Wie häufig sind sie nicht an einen Punkt in der Software gelangt zu dem Sie wollten?	<input type="checkbox"/>	nie	sehr oft				
8	Wie oft waren Sie von der Bedienung der Software frustriert?	<input type="checkbox"/>	nie	sehr oft				
9	Wie gefiel Ihnen die Präsentation der Lerninhalte innerhalb der Lernsoftware ?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
10	Wie gut gefiel Ihnen die Präsentation der Lerninhalte im Bild?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
11	Wie gut wurden die Lerninhalte im Text dargestellt?	<input type="checkbox"/>	schlecht	sehr gut				
12	Wie gut hat Ihnen die Darstellung der Lerninhalte in den Animationen gefallen?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
13	Fühlten Sie sich durch das Ausfüllen des Begleitbogens gestört?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
14	Haben Sie sich durch den Begleitbogen intensiver mit dem Lernprogramm beschäftigt?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
15	Wie oft hatten Sie das Gefühl, dass Sie durch das Ausfüllen des Begleitbogens beim Lernen gestört wurden?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				
16	Wie häufig fühlten Sie sich durch das Ausfüllen des Begleitbogens zusätzlich belastet?	<input type="checkbox"/>	gar nicht	sehr				

© 2003 – B. Kramer – IPN

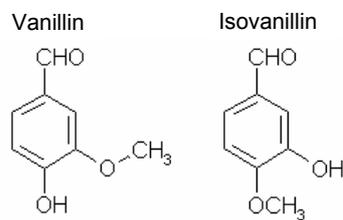
POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

Teil 2

Denken Sie bitte dran:

- Bei Ankreuzaufgaben ist immer **nur eine Antwort richtig!**
- Versuchen Sie **auf alle Fragen eine Antwort** zu geben!

1. Die folgenden Moleküle sehen beinahe identisch aus. Und doch riecht das eine sehr intensiv nach Vanille, während das andere fast geruchlos ist. Wie erklären Sie das?



- Vanillin ist leichter wasserlöslich als Isovanillin, kann also leichter im Nasenschleim gelöst werden.
- Isovanillin verbleibt kürzer am Rezeptor als Vanillin.
- Für Vanillin gibt es einen Duftstoffrezeptor, für Isovanillin nicht.
- Nach dem Andocken am Rezeptor wird bei Vanillin eine Signalkette in Gang gesetzt, nach dem Andocken von Isovanillin nicht.
2. Enzyme sind...
- ...organische Stoffe, die den Ablauf biochemischer Reaktionen beeinflussen, selber aber nicht verändert werden.
- ...anorganische Stoffe, die die Aktivierungsenergie für eine chemische Reaktion herabsetzen.
- ...organische Stoffe, die im Verlauf einer biochemischen Reaktion von einem Ausgangsstoff in ein (oder mehrere) Produkt(e) umgewandelt werden.
- ...organische oder anorganische Stoffe, die biochemische Reaktionen spezifischer Stoffe (Substrate) durch vorübergehende Bindung verhindern.

© 2003 – B. Kramer – IPN

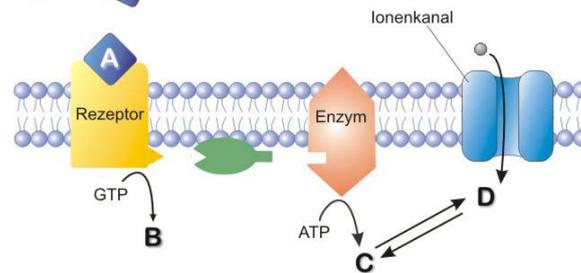
POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

3. Wie würde sich der Ablauf der Signalkette ändern, wenn, z.B. aufgrund eines Gendefekts, bei einem Menschen alle G-Proteine dauerhaft an dem Enzym Adenylatcyclase gebunden blieben?

© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

4. Welches der im folgenden Bild mit den Buchstaben A-D bezeichneten Elemente agiert als intrazellulärer Botenstoff (auch: „second messenger“)?



- A
- B
- C
- D

5. Die Membran der Zilien der Riechsinneszellen enthält ...

- ...transmembrane Proteine, assoziierte Proteine und Ionenkanäle.
- ...Transmembranproteine und Ionenkanäle, aber keine Rezeptoren.
- ...eine einfache Schicht Phospholipide.
- ...Nasenschleim (Mucus)

6. Welche der folgenden Aussagen zu Membranproteinen trifft nicht zu?

- Membranproteine regulieren den Stoffaustausch zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren.
- Membranproteine sorgen dafür, dass der Flüssigkeitszustand der Membran auch bei Temperaturschwankungen konstant bleibt.
- Eine wichtige Aufgabe der Membranproteine besteht in der Regelung des Stofftransportes zwischen Zellinnerem und Zelläußeren.
- Membranproteine erfüllen sehr verschiedene Aufgaben, wie z.B. Stofftransport, Rezeptorfunktion und Enzymfunktion.

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

7. [...]Wenn - nach einer Grippe beispielsweise - die Nase verstopft bleibt [...] kann es sein, dass aus einem Schnupfen eine Entzündung der Nasenschleimhaut und der Nebenhöhlen geworden ist - eine sogenannte Sinusitis. So kann eine Sinusitis zur Einschränkung oder dem Verlust des Riechsinnnes führen.

Wenn Sie Arzt wären, welche Wirkung müssten Medikamente haben, die Sie einem Patienten mit Sinusitis zur Wiederherstellung des Geruchssinnes verabreichen würdest?

© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

8. Zeichnen Sie schematisch den Ablauf einer enzymatisch katalysierten biochemischen Reaktion an einem Beispiel. Zeichnen und beschriften Sie die folgenden Elemente: Substrat(e), Produkt(e), Enzym, aktives Zentrum, Enzym-Substrat-Komplex.

-
9. Um welchen Faktor wird das Signal eines Duftstoffmoleküls durch die Signalkette verstärkt?

- ca. 10fach
 ca. 100fach
 ca. 1.000fach
 ca. 10.000fach

-
10. Die Rezeptoren für Duftstoffe sind...

- ...Proteine, die im Nasenschleim gelöst sind.
 ...Transmembranproteine in der Membran der Riechzellzilien.
 ...primäre Sinneszellen im Riechepithel.
 ...duftstoffgesteuerte Ionenkanäle in der Membran der Riechzellzilien.

© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

11. Stellen Sie sich vor, Ihnen steigt Kaffeeduft in die Nase. Beschreiben Sie den Weg des Signals von der Kaffeetasse bis zur Geruchswahrnehmung.

12. Welches der folgenden Proteine ist nicht unmittelbar an der olfaktorischen Signaltransduktion beteiligt?

- Adenylatcyclase
- G_{olf} (ein G-Protein aus der Familie der G_s-Proteine)
- Rezeptorprotein
- ATP-Synthase

13. Eine Signalkette wird in Gang gesetzt, wenn ein ___ an einem ___ bindet.

- G-Protein, Rezeptor
- Signalmolekül (Ligand), Rezeptor
- G-Protein, Enzym (z.B. Adenylatcyclase)
- Signalmolekül (Ligand), Enzym

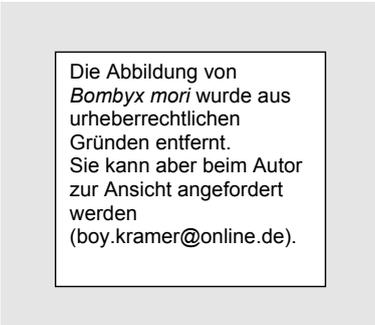
© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

14. Die größte bisher gefundene Sensitivität für Gerüche ist beim Seidenspinner (*Bombyx mori*) für das weibliche Sexualpheromon Bombykol beschrieben worden; Männchen dieser Art können ein Molekül Bombykol in 1017 Molekülen Luft (ca. 0,4 ml) „erschnüffeln“ und können so Weibchen lokalisieren, die in geeigneter Windrichtung bis zu mehreren Kilometern entfernt einen Sexuallockstoff ausschütten.

Menschliche Nasen können zwar bis zu mehrere Tausend unterschiedliche Geruchsstoffe unterscheiden, aber „nur“ in einer Konzentration von etwa einem Duftstoffmolekül auf 1012 Moleküle Luft (ca. 0,000004 ml) wahrnehmen, sind also etwa 100.000 mal unempfindlicher.

Nach allem, was Sie über die Funktionsweise der menschlichen Nase wissen: Wie könnte das menschliche Riechsystem umgestaltet werden, damit es empfindlicher auf Geruchsstoffe reagiert?



Die Abbildung von *Bombyx mori* wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. Sie kann aber beim Autor zur Ansicht angefordert werden (boy.kramer@online.de).

Seidenspinner (*Bombyx mori*)

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

15. Zeichnen Sie den Aufbau einer Biomembran gemäß dem „Flüssig-Mosaik-Modell“ (fluid-mosaic model) und benennen Sie die wichtigsten Strukturen.

16. Die Signalübertragung an der Membran der Riechzellzilien entspricht weitgehend der anderer Signalketten. Sie läuft also in folgender Reihenfolge ab:

- Duftstoffdiffusion – Phagocytose – Duftstoffabsorption – Zellantwort
- Duftstoffrezeption – Aktivierung Ionenkanal – Ioneneinstrom – ATP-Synthese
- Duftstoffdiffusion durch Ionenkanal bzw. Carrierproteine – Duftstoffrezeption – Aktivierung des Enzyms Adenylatcyclase – cAMP-Bildung – Öffnung Ionenkanäle
- Duftstoffrezeption – Aktivierung G-Protein – Aktivierung des Enzyms Adenylatcyclase – cAMP-Bildung – Öffnung Ionenkanäle

© 2003 – B. Kramer – IPN

POSTTESTFRAGEBOIGEN - TEIL 2

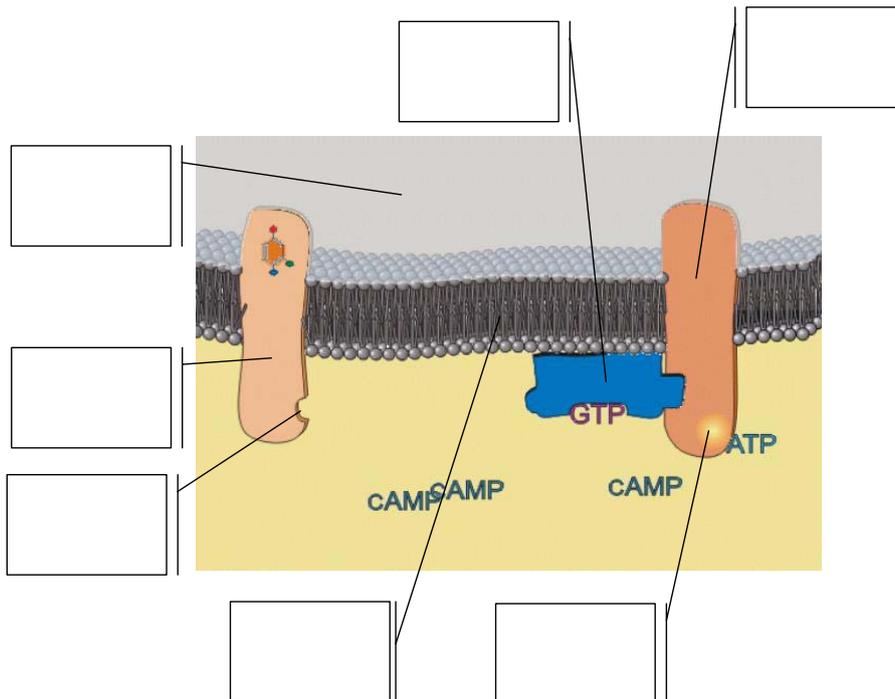
17. Welche Eigenschaften muss ein Molekül haben, damit es „riecht“?

- Es muss an einem Rezeptor andocken können.
- Es muss einen Benzolring besitzen.
- Es muss wasserlöslich sein.
- Es muss Dipolcharakter haben, damit es durch die Membran gelangen kann.

18. Welche Substanz wirkt bei der Signalverarbeitung in der Riechsinneszelle als intrazellulärer Botenstoff („second messenger“)?

- G-Protein
- GTP
- cAMP
- Duftstoff

19. Beschriften Sie die folgende Abbildung.



© 2003 – B. Kramer – IPN

Anhang D.

Testinstrumente

D.1. Vorwissenstest

Im Folgenden sind die Items des Vorwissenstests dargestellt. Zunächst werden die vier Items mit Antwortvorgaben dargestellt. Die richtige Antwortalternative ist kursiv gesetzt. In Anhang C.1 auf Seite 185 ff. sind die Items in Form der originalen Fragebögen, so wie die Schüler sie erhalten haben, noch einmal aufgeführt. Die in Klammern angegebenen Abkürzungen verweisen auf den Test (VT für Vortest) und die Itemnummer im Originalfragebogen.

VW1 (VT04) Die Buchstaben A, B und C im rechten Bild stehen in dieser Reihenfolge für ...

- (a) Synapse, Ranvier'scher Schnürring, Dendrit.
- (b) Axon, Dendrit, Synapse.
- (c) *Soma (Zellkörper), Axon, Endverzweigung des Axon.*
- (d) Soma (Zellkörper), Nervenzellen, Endverzweigung des Axon.

VW2 (VT05) Aktionspotentiale werden nur in eine Richtung weitergeleitet, weil ...

- (a) die Ranvier-Schnürringe nur in eine Richtung leiten.
- (b) der Axonhügel ein höheres Potential als die Spitze des Axons hat.
- (c) spannungsgesteuerte Natrium- und Kaliumkanäle nur in eine Richtung öffnen können.
- (d) *eine kurze Refraktärzeit die Depolarisation der Membran in der Richtung, aus der der Impuls kam, verhindert.*

VW03 (VT15) Durch welche Struktur grenzt sich jede Zelle von ihrer Umgebung ab?

- (a) Zellwand
- (b) Tonoplast
- (c) *Lipiddoppelschicht*
- (d) Einfache Lipidschicht

VW04 (VT16) Eine Signalkette wird in Gang gesetzt, wenn ein ... an einem ... bindet.

- (a) G-Protein, Rezeptor
- (b) Signalmolekül (Ligand), Rezeptor
- (c) G-Protein, Enzym (z. B. Adenylatcyclase)
- (d) Signalmolekül (Ligand), Enzym

Die folgenden zwei Items erfordern von den Testpersonen das Anfertigen einer Zeichnung mit entsprechender Beschriftung. Zur Bewertung werden Punkte für die Einbeziehung bestimmter Strukturen mit entsprechender Beschriftung vergeben. Fehlt eine Beschriftung wird diese Punktzahl halbiert. Die Beschriftung muss korrekt, aber nicht identisch mit den hier genannten sein. Wird ein Item mit mindestens 50% der erreichbaren Punkte beantwortet, so wird es mit 1 („richtig“) codiert, sonst mit 0 („falsch“).

VW05 (VT08) Zeichnen Sie den Aufbau einer Biomembran gemäß dem „Fluid-Mosaic-Model“ und benennen Sie die wichtigsten Strukturen.

- Lipide (0,5 Pkt.)
- hydrophiler und lipophiler Teil (0,5 Pkt.)
- Lipiddoppelschicht (1 Pkt.)
- Proteine (0,5 Pkt.)
- transmembrane und assoziierte Proteine (0,5 Pkt.)

VW06 (VT12) Zeichnen Sie schematisch den Ablauf einer enzymatisch katalysierten biochemischen Reaktion an einem Beispiel. Zeichnen und beschriften Sie die folgenden Elemente: Substrat, Produkte, Enzym, aktives Zentrum, Enzym-Substrat-Komplex.

- Substrat(e) (0,5 Pkt.)
- Enzym (0,5 Pkt.)
- aktives Zentrum (0,5 Pkt.)
- E-S-Komplex (0,5 Pkt.)
- Produkt(e) (0,5 Pkt.)

D.2. Test zur Erhebung des Lernzuwachses (TEL)

Der Test zur Erhebung des Lernzuwachses besteht aus sieben Items, die im Vortest und im Nachtest vorkommen. Bei allen Items gibt es eine richtige Antwortalternative, die hier kursiv dargestellt ist. In Anhang C, S. 185 sind die Items in ihrer originalen Formatierung, so wie die Schüler sie erhalten haben, noch einmal aufgeführt. Die Abkürzungen in Klammern verweisen auf die Position der Items im jeweils ersten Teil des Vortests (VT) bzw. Nachtests (NT).

LZ01 (VT14/NT04) Welches der im folgenden Bild vorkommenden Elemente agiert als intrazellulärer Botenstoff (auch: „second messenger“)?

- (a) A
- (b) B
- (c) C
- (d) D

Das Bild auf das sich dieses Item bezieht, ist im Originalfragebogen abgebildet (Anhang C, ab Seite 185).

LZ02 (VT03/NT06) Welche der folgenden Aussagen zu Membranproteinen trifft zu?

- (a) Membranproteine verhindern den Stoffaustausch zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren.
- (b) Membranproteine sind grundsätzlich an die Lipidschicht der Membran angelagert, ragen aber nicht in sie hinein.
- (c) *Eine wichtige Aufgabe der Membranproteine besteht in der Regelung des Stofftransportes zwischen Zellinnerem und Zelläußeren.*
- (d) Membranproteine sind für die Regelung des Wasseraustausches zwischen Zellen verantwortlich.

LZ03 (VT02/NT05) Die Membran der Zilien der Riechsinneszellen enthält ...

- (a) *transmembrane Proteine, assoziierte Proteine und Ionenkanäle.*
- (b) Transmembranproteine und Ionenkanäle, aber keine Rezeptoren.
- (c) eine einfache Schicht Phospholipide.
- (d) Nasenschleim (Mucus)

LZ04 (VT06/NT10) Die Rezeptoren für Duftstoffe sind ...

- (a) Proteine, die im Nasenschleim gelöst sind.
- (b) *Transmembranproteine in der Membran der Riechzellzilien.*
- (c) primäre Sinneszellen im Riechepithel.
- (d) duftstoffgesteuerte Ionenkanäle in der Membran der Riechzellzilien.

LZ05 (VT10/NT12) Welches der folgenden Proteine ist nicht unmittelbar an der olfaktorischen Signaltransduktion beteiligt?

- (a) Adenylatcyclase
- (b) G_{olf} (ein G-Protein aus der Familie der G_s -Proteine)
- (c) Rezeptorprotein
- (d) *ATP-Synthase*

LZ06 (VT13/NT16) Die Signalübertragung an der Membran der Riechzellzilien entspricht weitgehend der anderer Signalketten. Sie läuft also in folgender Reihenfolge ab:

- (a) Duftstoffdiffusion – Phagocytose – Duftstoffabsorption – Zellantwort
- (b) Duftstoffdiffusion – Aktivierung Ionenkanal – Ioneneinstrom – ATP-Synthese
- (c) Duftstoffdiffusion durch Ionenkanal bzw. Carrierproteine – Duftstoffrezeption – Aktivierung
- (d) *Duftstoffrezeption – Aktivierung G-Protein – Aktivierung Adenylatcyclase – cAMP-Bildung – Öffnung Ionenkanäle*

LZ07 (VT17/NT17) Welche Eigenschaften muss ein Molekül haben, damit es „riecht“?

- (a) *Es muss an einem Rezeptor andocken können.*
- (b) Es muss einen Benzolring besitzen.
- (c) Es muss wasserlöslich sein.
- (d) Es muss Dipolcharakter haben, damit es durch die Membran gelangen kann.

D.3. Tests zur Erhebung psychologischer Konstrukte

D.3.1. Test zur Erhebung des kognitiven Stils

Der folgende Test dient der Erhebung des kognitiven Stils. Er wurde im Vortest eingesetzt. Der Test besteht aus vier gekürzten Subskalen, die dem *Individual Difference Questionnaire* (IDQ) von Paivio und Harshman (1983) entnommen sind.

Tabelle D.1: Items zur Erhebung des kognitiven Stils.

Itemnr.	Itemname	Item
VT-P-06	VerbAusdr-1	Ich kann meine Gedanken gut in Worte fassen.
VT-P-08	VerbAusdr-2	Ich habe oft Ideen, die ich nur mit Schwierigkeiten ausdrücken kann. (-)
VT-P-09	VerbAusdr-3	Ich kann mich sprachlich gut ausdrücken.
VT-P-29	VerbAusdr-4	Ich habe häufig Schwierigkeiten, anderen Leuten Dinge mit Worten zu erklären. (-)
VT-P-21	VerbLes-1	In meiner Freizeit lese ich oft und viel.
VT-P-01	VerbLes-2	Ich lese sehr langsam. (-)
VT-P-02	VerbLes-3	Es fällt mir leicht, Texte zu lesen.
VT-P-10	VisVorst-1	Es fällt mir schwer, mir ein Bild vor meinem inneren Auge vorzustellen. (-)
VT-P-13	VisVorst-2	Wenn ich mich an einen Vorgang erinnere, benutze ich dazu eher Worte als Bilder. (-)
VT-P-14	VisVorst-3	Ich benutze oft bildliche Vorstellungen, um mir Dinge zu merken
VT-P-30	VisVorst-4	Ich denke oft in Bildern.
VT-P-28	VisProbl-1	Um einen Prozess zu verstehen, stelle ich mir die einzelnen Schritte bildhaft vor.
VT-P-03	VisProbl-2	Um eine Aufgabe zu lösen, stelle ich mir ihren Inhalt bildlich vor.

Anmerkungen. Die Itemnummer bezieht sich auf die Position des Items im ersten Teil (psychologische Fragen) des Vortests. Der Itemname gibt die jeweilige Subskala an, zu der das Item gehört: zwei Subskalen zum visuellen kognitiven Stil (VerbAusdr: „gute verbale Ausdrucksfähigkeit und Sprachbeherrschung“; VerbLes: „Selbsteinschätzung von Leseschwierigkeiten“) und zwei Subskalen zum visuellen kognitiven Stil (VisVorst: „gewohnheitsmäßiger Gebrauch von bildhaften Vorstellungen“; VisProbl: „Nutzung von Bildern zum Problemlösen“). Umgekehrt gepolte Items sind mit (-) markiert.

D.3.2. Tests zur Erhebung des Interesses

Tabelle D.2: Items zur Erhebung des situationalen Interesses.

Itemnr.	Itemname	Item
NT-P-01	SitInt-1	Wie abwechslungsreich und spannend fanden Sie das Lernprogramm?
NT-P-02	SitInt-2	Wie sehr würden Sie das Lernen mit dem Lernprogramm ihren Freunden empfehlen?
NT-P-05	SitInt-3	Wie würde es Ihnen gefallen, mit dem Lernprogramm in Ihrer Freizeit zu lernen?
NT-P-07	SitInt-4	Wie gut hat Ihnen das Lernprogramm gefallen?
NT-P-20	SitInt-5	Wie interessant waren die Inhalte des Lernprogramms für Sie?

Anmerkungen. Alle Items besitzen eine fünfstufige Antwortskala von „gar nicht“ bis „sehr“. Die Itemnummer bezieht sich auf die Position des Items im ersten Teil (psychologische Fragen) des Nachttests.

Tabelle D.3: Items zur Erhebung des individuellen Interesses.

Itemnr.	Itemname	Item
NT-P-30	IndivInt-1	Wie gern beschäftigen Sie sich privat mit Naturwissenschaften?
NT-P-31	IndivInt-2	Wie gern beschäftigen Sie sich privat mit der Biologie?
NT-P-34	IndivInt-3	Wie oft lesen Sie privat etwas über naturwissenschaftliche Themen (Bücher, Presse, Internet)?
NT-P-35	IndivInt-4	Wie oft lesen Sie privat etwas über biologische Themen (Bücher, Presse, Internet)?

Anmerkungen. Die Items besitzen eine vierstufige Antwortskala. Item 1 und 2 reichen von „sehr ungerne“ über „eher ungerne“ und „eher gerne“ bis „sehr gerne“. Item 3 und 4 reichen von „täglich“ über „ca. 1× pro Woche“ und „ca. 1× pro Monat“ bis zu „seltener“. Die Itemnummer bezieht sich auf die Position des Items im ersten Teil (psychologische Fragen) des Nachttests.

D.3.3. Test zur Erhebung der kognitiven Auslastung

Zur Erfassung der kognitiven Auslastung wird ein Test benutzt, der aus vier Hauptskalen besteht. Einige dieser Skalen bestehen wiederum aus Subskalen. Für jede Hauptskala wird im Folgenden eine Tabelle dargestellt. Für alle Tabellen dieses Abschnitts gilt: Die Subskalen sind am Itemnamen zu erkennen. Umgekehrt gepolte Items sind mit (-) markiert. Die Itemnummer bezieht sich auf die Position des Items im ersten Teil (psychologische Fragen) des Nachtests.

Tabelle D.4: Items zur Erhebung der Skala „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch den Lerngegenstand“.

Itemnr.	Itemname	Item
NT-P-09	Anstr-1	Wie stark mussten Sie sich beim Lernen mit dem Lernprogramm geistig anstrengen?
NT-P-16	Anstr-2	Wie sehr mussten Sie sich bemühen, um die Inhalte des Lernprogramms zu verstehen?
NT-P-18	KogAusl-1	Fühlten Sie sich durch die Informationsmenge des Lernprogramms geistig stark belastet?
NT-P-15	Verstd-1	Wie häufig hatten Sie den Eindruck, dass das Lernprogramm Ihnen zu viele Informationen anbot?
NT-P-28	Verstd-2	Wie häufig blieben die Informationen des Lernprogramms für Sie unverständlich?
NT-P-27	KoplXLI-1	Fühlten Sie sich durch die Komplexität der Lerninhalte des Programms geistig stark belastet?

Anmerkungen. Anstr: Anstrengung; KogAusl: Geistige Auslastung; Verstd: Inhaltliches Verständnis; KmplLI: Komplexität des Lerninhalts. Alle Items besitzen ein fünfstufiges Antwortformat von „gar nicht“ bis „extrem/extrem häufig“.

Tabelle D.5: Items zur Erhebung der kognitiven Auslastung durch die Lernumgebung mit den Subskalen „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch Softwarebedienung“ und „Wahrgenommene kognitive Auslastung durch Begleitbögen“.

Itemnr.	Itemname	Item	Sprachmarker
NT-P-12	KogAuslBed-1	Fühlten sie sich in der Bedienung der Software eher sicher oder eher unsicher?	von „sehr unsicher“ bis „sehr sicher“
NT-P-22	KogAuslBed-2	Fiel Ihnen die Bedienung der Software eher leicht oder eher schwer?	von „sehr leicht“ bis „sehr schwer“
NT-P-48	KogAuslBegl-1	Fühlten Sie sich durch das Ausfüllen des Begleitbogens gestört?	von „gar nicht“ bis „sehr“
NT-P-50	KogAuslBegl-2	Wie oft hatten Sie das Gefühl, dass Sie durch das Ausfüllen des Begleitbogens beim Lernen gestört wurden?	von „gar nicht“ bis „sehr“
NT-P-51	KogAuslBegl-3	Wie häufig fühlten Sie sich durch das Ausfüllen des Begleitbogen zusätzlich belastet?	von „gar nicht“ bis „sehr“

Anmerkungen. KogAuslBed: Kognitive Auslastung durch Softwarebedienung; KogAuslBegl: Kognitive Auslastung durch Begleitbögen. Alle Items besitzen ein fünfstufiges Antwortformat mit den in der letzten Spalte angegebenen Sprachmarkern.

Tabelle D.6: Items zur Erhebung der Skala „Wahrgenommene optimale kognitive Auslastung“.

Itemnr.	Itemname	Item	Sprachmarker		
			von	Optimum	bis
NT-P-23	OptAnstr-1	Wie stark fühlten Sie sich durch das Lernprogramm geistig angestrengt?	zu gering	genau richtig	zu stark
NT-P-29	OptAnstr-2	Wie haben Sie die geistige Anstrengung beim Lernen mit dem Lernprogramm empfunden?	zu gering	genau richtig	zu groß
NT-P-11	OptKogAusl-1	Wie sehr hat Sie die Informationsmenge des Lernprogramms geistig belastet?	gar nicht	genau richtig	überlastet
NT-P-26	OptKogAusl-2	Wie stark fühlten Sie sich durch die Lerninhalte der Software geistig gefordert?	gar nicht	genau richtig	überfordert
NT-P-03	OptKplxLI-1	Waren die Inhalte des Lernprogramms Ihnen eher zu einfach oder eher zu komplex?	viel zu einfach	genau richtig	viel zu komplex
NT-P-17	OptKplxLI-2	Waren die Lerninhalte des Programms für Sie eher zu leicht oder eher zu schwer?	viel zu leicht	genau richtig	viel zu komplex

Anmerkungen. OptAnstr: Optimale Anstrengung; OptKogAusl: Optimale geistige Auslastung; OptKplxLI: Optimale Komplexität des Lerninhalts. Alle Items besitzen ein fünfstufiges Antwortformat mit den in der letzten Spalte angegebenen Sprachmarkern.

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. E. (1999). The functions of multiple representations. *Computer & Education*, 33, 131–152.
- Ainsworth, S. E., Bibby, P. A. & Wood, D. J. (1997). Information technology and multiple representations: New opportunities – new problems. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 6(1), 93–105.
- Anderson, J. R. & Bower, G. H. (1974). A propositional theory of recognition memory. *Memory and Cognition*, 2(3), 406–412.
- Arbeitsgruppe Multimedia an der Zentralstelle für Computer und Unterricht. (1994). *Multimedia in der Schule*. Augsburg: Zentralstelle für Computer und Unterricht.
- Arcimboldo, G. (1591). *Vertemnus* [Öl auf Leinwand, 70,5 × 57,5 cm]. Skoklosters Slott, Bålsta, Stockholm. Verfügbar unter: <http://www.wga.hu/art/a/arcimbo1/vertemnu.jpg> über Web Gallery of Art [04.11.2004].
- Artelt, C. (1999). Lernstrategien und Lernerfolg: Eine handlungsnaher Studie. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31(2), 86–96.
- Artelt, C., Stanat, P., Schneider, W. & Schiefele, U. (2001). Lesekompetenz: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert et al. (Hrsg.), *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske und Budrich.
- Atkinson, R. K. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Bd. 2., S. 89–195). New York: Academic Press.
- Aufenanger, S. (1996). Die neuen Medien und die Pädagogik: Tendenzen in der Medienpädagogik. *Bildung und Erziehung*, 49(4), 449–460.
- Axel, R. (1995, Dezember). Die Entschlüsselung des Riechens. *Spektrum der Wissenschaften*(12), 72–78.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85–97.
- Ballstaedt, S.-P. & Mandl, H. (1984a). Elaborations: Assessment and analysis. In H. Mandl, N. L. Stein & T. Trabasso (Hrsg.), *Learning and comprehension of text* (S. 331–353). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Ballstaedt, S.-P. & Mandl, H. (1984b). *Zur Beeinflussung der Verstehenstiefe beim Lesen*. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien (DIFF).
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215.
- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanisms in human agency. *American Psychologist*, 37, 122–147.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: An experimental and social study*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bartlett, F. C. (1958). *Thinking*. New York: Basic Books.
- Bauer, W. (1995). Multimedia in der Schule? In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 377–399). Weinheim: Psychologie-Verl.-Union.
- Baumert, J. et al. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske und Budrich.
- Bergmann, W. (2000). *Computer machen Kinder schlau*. München: Beust.
- Bernard, R. M. (1990a). Effects of processing instructions on the usefulness of a graphic organizer and structural cueing in text. *Instructional Science*, 19, 207–217.
- Bernard, R. M. (1990b). Using extended captions to improve learning from instructional illustrations. *British Journal of Educational Technology*, 21(3), 215–225.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2004). *SPSS 12: Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows* (9. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Bock, M. (1983). Zur Repräsentation bildlicher und sprachlicher Informationen im Langzeitgedächtnis: Strukturen und Prozesse. In L. Issing & J. Hannemann (Hrsg.), *Lernen mit Bildern*. Grünwald: FWU.
- Bock, M., Kirberg, A. & Windgasse, T. (1992). Absichtsvolles versus beiläufiges Lernen beim Fernsehen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 24(2), 144–155.
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I. & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14(3), 325–341.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445–475.
- Bofinger, J. (2004). *Neue Medien im Fachunterricht: Eine empirische Studie über den Einsatz neuer Medien im Fachunterricht an verschiedenen Schularten in Bayern* (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB), Hrsg.). Donauwörth: Auer.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Brauner, K. & Prechtel, H. (2004). Die Bedeutung des Riechens bei Mensch und Tier. *Unterricht Biologie*, 28(295), 12–20.

- Brünken, R., Plass, J. & Leutner, D. (2004). How instruction guides attention in multimedia learning. In H. Niegemann, D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Instructional design for multimedia learning: Proceedings of the 5th international workshop of SIG 6 Instructional Design of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), June 27–29, 2002 in Erfurt* (S. 113–125). Münster: Waxmann.
- Brünken, R., Plass, J. L. & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53–61.
- Brunstein, J. C. & Spörer, N. (2001). Selbstgesteuertes Lernen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handbuch Pädagogische Psychologie* (S. 622–629). Weinheim: PVU.
- Buck, L. B. (1996). Information coding in the vertebrate olfactory system. *Annual Reviews in Neuroscience*, 19, 517–544.
- Buck, L. B. (2000). Smell and taste: The chemical senses. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Hrsg.), *Principles of neural science* (4. Aufl., S. 625–647). New York: McGraw-Hill/Appleton & Lange.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233–246.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, 10(2), 151–170.
- Chun, D. M. & Plass, J. L. (1996). Effects of multimedia annotations on vocabulary acquisition. *Modern Language Journal*, 80(2), 183–198.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21–29.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9(4), 343–363.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671–684.
- Craik, F. I. M. & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 268–294.
- Deci, E. L. (1975). *Intrinsic motivation*. New York: Plenum Press.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum Press.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 224–238.
- Dekeyser, H. M. (2001). Student preference for verbal, graphic or symbolic information in an independent learning environment for an applied statistics course. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen & A. Biarreau (Hrsg.), *Multimedia learning: Cognitive and instructional issues* (S. 99–109). Amsterdam: Pergamon.
- Dillon, A. (1996). Myths, misconceptions, and an alternative perspective on information usage and the electronic medium. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen, A. Dillon &

- R. J. Spiro (Hrsg.), *Hypertext and cognition* (S. 25–42). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Di Vesta, F. J. & Gray, G. S. (1972). Listening and note taking. *Journal of Educational Psychology*, 63(1), 8–14.
- Drescher, K.-H. (1997). *Erinnern und Verstehen von Massenmedien: Empirische Untersuchungen zur Text-Bild-Schere*. Wien: WUV-Universitätsverlag.
- Drewniak, U. (1992). *Lernen mit Bildern in Texten: Untersuchung zur Optimierung des Lernerfolgs bei Benutzung computerpräsentierter Texte und Bilder*. Münster: Waxmann.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen und Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörr, G. & Strittmatter, P. (2002). Multimedia aus pädagogischer Sicht. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. Aufl., S. 29–42). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Dudel, J., Menzel, R. & Schmidt, R. F. (1996). Vorwort. In J. Dudel, R. Menzel & R. F. Schmidt (Hrsg.), *Neurowissenschaft* (S. V). Berlin: Springer.
- Eco, U. (1994). *Einführung in die Semiotik* (8. Aufl.). München: Fink. (Erstveröffentlichung 1972)
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (1984). Motor program information as a separable memory unit. *Psychological Research*, 46(3), 283–299.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (1994). Motor similarity in subject-performed tasks. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 57(1), 47–53.
- Eysenck, M. & Keane, M. T. (2000). *Cognitive psychology: A student's handbook* (4. Aufl.). Hove: Psychology Press.
- Faul, F. & Erdfelder, E. (1992). G*POWER: A priori, post-hoc, and compromise power analyses for MS-DOS [Computersoftware]. Verfügbar unter: <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/aap/projects/gpower/index.html> [14.05.2005]. Bonn: Bonn University, Dep. of Psychology.
- Firestein, S. (2001). How the olfactory system makes sense of scents. *Nature*, 413(6852), 211–218.
- Frings, S. (2003, August 1). *Infoseite Zoophysologie*. Verfügbar unter: <http://www.sinnesphysiologie.de/> [11.10.2004].
- Garner, R., Brown, R., Sanders, S. & Menke, D. J. (1992). 'Seductive details' and learning from text. In K. A. Renninger, S. Hidi & A. Krapp (Hrsg.), *The role of interest in learning and development* (S. 239–254). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155–170.
- Gentner, D. & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45–56.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867–888.
- Glenberg, A. M., Wilkinson, A. C. & Epstein, W. (1982). The illusion of knowing: Failure in the self-assessment of comprehension. *Memory & Cognition*, 10(6),

- 597–602.
- Goldman, S. R. (2003). Learning in complex domains: when and why do multiple representations help? *Learning and Instruction*, 13(2), 239–244.
- Graf, D. (2001). Computer-Multimedia. In K.-H. Berck (Hrsg.), *Biologiedidaktik: Grundlagen und Methoden* (2. Aufl., S. 138–147). Wiebelsheim: Quelle und Meyer.
- Gräsel, C., Mandl, H., Fischer, M. & Gärtner, R. (1994). *Vergebliche designermühe? interaktionsangebote in problemorientierten computerlernprogrammen* (Techn. Ber. Nr. 38). Ludwig-Maximilians-Universität.
- Gruber, J. G. (1823). Bild, Bildlichkeit. In J. S. Ersch & J. G. Gruber (Hrsg.), *Allgemeine Encyclopädie der Wissenschaften und Künste* (Bd. 10, S. 160–164). Leipzig: Gleditsch.
- Hansen, K.-H. & Lang, M. (1993). *Computer in der Schule: Ergebnisse der deutschen IEA-Studie Phase I, 1989*. Kiel: IPN.
- Harms, U., Mayer, J., Hammann, M., Bayrhuber, H. & Kattmann, U. (2004). Kerncurriculum und Standards für den Biologieunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In H.-E. Tenorth (Hrsg.), *Kerncurriculum Oberstufe II, Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik* (S. 22–84). Weinheim: Beltz.
- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage: A theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 414–434.
- Hartley, J. (1976). Lecture handouts and student note taking. *Programmed Learning and Educational Technology*, 13, 58–64.
- Hartley, J. (1983). Note-taking research: Resetting the scoreboard. *Bulletin of the British Psychological Society*, 36, 13–14.
- Hasebrook, J. P. (1995). *Multimedia-Psychologie: Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Hasselhorn, M. & Schumann-Hengsteler, R. (2001). Arbeitsgedächtnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 17–22). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Hatt, H. (1996). Chemosensibilität, Geruch und Geschmack. In J. Dudel, R. Menzel & R. F. Schmidt (Hrsg.), *Neurowissenschaft* (S. 297–316). Berlin: Springer.
- Hatt, H. (1998). Geruch. In R. F. Schmidt (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie* (3. Aufl., S. 357–368). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hatt, H. (2003). Von der Nase bis ins Gehirn: Düfte nehmen Gestalt an. *RUBIN, Sonderheft: NEUROrubin*. Verfügbar unter: <http://www.ruhr-uni-bochum.de/neurorubin/pdf/beitrag3.pdf> [23.10.2004].
- Hayes, D. A. & Readence, J. E. (1982). Effects of cued attention to illustrations in text. In J. A. Niles & L. A. Harris (Hrsg.), *New inquiries in reading: Research and instruction*. Rochester, NY: National Reading Conference.
- Hentig, H. von. (1993). *Die Schule neu denken: Eine Übung in praktischer Vernunft*. München, Wien: Beltz.

- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jonassen, D. H. & Rohrer-Murphy, L. (1999). Activity theory as a framework for designing constructivist learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 47(1), 61–79.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351–371.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. E. & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579–588.
- Kaneko, H., Putzier, I., Frings, S., Kaupp, U. B. & Gensch, T. (2004). Chloride accumulation in mammalian olfactory sensory neurons. *Journal of Neuroscience*, 24(36), 7931–7938.
- Kiewra, K. A., Benton, S. L., Kim, S. I., Risch, N. & Christensen, M. (1995). Effects of note-taking format and study technique on recall and relational performance. *Contemporary Educational Psychology*, 20(2), 172–187.
- Kiewra, K. A., DuBois, N. F., Christian, D., McShane, A., Meyerhoffer, M. & Roskelley, D. (1991). Note-taking functions and techniques. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 240–245.
- Kintsch, W. (1986). Learning from text. *Cognition and Instruction*, 3(2), 87–108.
- Kintsch, W. & Dijk, T. A. van. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85(5), 363–394.
- Kirby, J. R. (1993). Collaborative and competitive effects of verbal and spatial processes. *Learning and Instruction*, 3(3), 201–214.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12, 1–10.
- Kirsh, D. (1997). Interactivity and multimedia interfaces. *Instructional Science*, 25(2), 79–96.
- Klauer, K. J. (1985). Framework for a theory of teaching. *Teaching and Teacher Education*, 1(1), 5–17.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Bern: Huber.
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M. & Mayer, R. E. (2002). Revising the visualizer-verbalizer dimension: Evidence for two types of visualizers. *Cognition and Instruction*, 20(1), 47–77.
- Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 7–19.
- Krapp, A. (1992a). Das Interessenkonstrukt: Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung: Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (S. 297–329). Münster: Aschendorff.

- Krapp, A. (1992b). Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung: Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (S. 9–52). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (2001). Interesse. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 286–294). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Kroß, A. & Lind, G. (2001). Einfluß des Vorwissens auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben. *Unterrichtswissenschaft*, 29(1), 5–25.
- Krützer, B. & Probst, H. (2004). *IT-Ausstattung der allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen in Deutschland: Bestandsaufnahme 2004 und Analyse 2001 bis 2004* (Techn. Ber.). Bonn, Berlin. Verfügbar unter: http://www.bmbf.de/pub/it-ausstattung_der_schulen_gesamt_2004.pdf [29.11.2004].
- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme: Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Leutner, D. (2004). Instructional-design principles for adaptivity in open learning environments. In N. M. Seel & S. Dijkstra (Hrsg.), *Curriculum, plans, and processes in instructional design: International perspectives*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2004). Problemlösen. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 147–175). Münster: Waxmann.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien: Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen aus Sachtexten. *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), 38–56.
- Leutner, D. & Plass, J. L. (1998). Measuring learning styles with questionnaires versus direct observation of preferential choice behavior in authentic learning situations: The visualizer/verbalizer behavior observation scale (vv-bos). *Computers in Human Behavior*, 14(4), 543–557.
- Levie, H. W. & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communication and Technology Journal*, 30, 195–232.
- Levin, J. R., Anglin, G. J. & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Hrsg.), *The psychology of illustration. Vol. I. Basic research*. (S. 51–85). New York: Springer.
- Lewalter, D. (1997a). Kognitive Informationsverarbeitung beim Lernen mit computerpräsentierten statischen und dynamischen Illustrationen. *Unterrichtswissenschaft*, 25(3), 207–222.
- Lewalter, D. (1997b). *Lernen mit Bildern und Animationen: Studie zum Einfluss von Lernermerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen*. Münster: Waxmann.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13(2), 177–189.

- Lind, G., Friege, G. & Sandmann, A. (2005). Selbsterklären und vorwissen. *Empirische Pädagogik*, 19(1), 1–27.
- Lowe, R. K. (1993). Constructing a mental representation from an abstract technical diagram. *Learning and Instruction*, 3(3), 157–179.
- Lowe, R. K. (1998). Verarbeitungsanforderungen beim verstehen komplexer animierter bilder. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12(2–3), 125–134.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*, 14(2), 225–244.
- Macromedia, . (2000). Director 8 Shockwave Studio (Version 8.0c) [Computersoftware]. San Francisco, CA: Macromedia, Inc.
- Macromedia, Inc. (2001). Authorware 6 (Version 6.0) [Computersoftware]. San Francisco, CA: Macromedia, Inc.
- Malnic, B., Hirono, J., Sato, T. & Buck, L. B. (1999). Combinatorial receptor codes for odors. *Cell*, 96(5), 713–723.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (2002). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (3 Aufl., S. 139–148). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Martschinke, S. (2001). *Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen: Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmalsdimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht der Grundschule*. Münster: Waxmann.
- Mayer, R. E. (1992). Teaching for transfer of problem-solving skills to computer programming. In E. De Corte, M. C. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (S. 193–206). Berlin: Springer.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1–19.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13(2), 125–139.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83(4), 484–490.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 444–452.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715–726.
- Mayer, R. E., Heiser, J. & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187–198.
- Mayer, R. E. & Massa, L. J. (2003). Three facets of visual and verbal learners: Co-

- gnitive ability, cognitive style, and learning preference. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 833–846.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 312–320.
- Mayer, R. E., Woodbridge, S., Quilici, J. L., Simon, R., Moreno, R., Sanchez, D. et al. (1997). Cognitive consequences of participation in a “fifth dimension” after-school computer club. *Journal of Educational Computing Research*, 16(4), 353–369.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. Verfügbar unter: <http://www.well.com/user/smalin/miller.html> [20.11.2004].
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. (1997). *Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen (Hauptschule, Realschule, Gymnasium): Biologie*. Verfügbar unter: http://lehrplan.lernnetz.de/html/sek_i/faecher/biologie/biologie.doc [13.10.2004].
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. (2002). *Lehrplan für die Sekundarstufe II (Gymnasium, Gesamtschule): Biologie*. Verfügbar unter: http://lehrplan.lernnetz.de/html/sek_ii/lehrplaene/biologie_gym_gs.pdf [13.10.2004].
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358–368.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000a). A coherence effect in multimedia learning: The case for minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia instructional messages. *Journal of Educational Psychology*, 92(1), 117–125.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000b). A learner-centered approach to multimedia explanations: Deriving instructional design principles from cognitive theory. *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*, 2(2), o.S. Verfügbar unter: <http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp> [15.11.2004].
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nelson, D. L., Reed, U. S. & Walling, J. R. (1976). Picture superiority effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 2, 523–528.
- Nerdel, C. (2003). *Die Wirkung von Animation und Simulation auf das Verständnis von stoffwechselphysiologischen Prozessen*. Elektronische Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. Verfügbar unter: http://e-diss.uni-kiel.de/diss_727/ [14.12.2004].
- Neurowissenschaftliche Gesellschaft e. V. (2004, Oktober 10). *Neurowissenschaftliche Gesellschaft: Ziele*. Verfügbar unter: <http://nwg.glia.mdc-berlin.de/index.php/de/default/aim> [13.10.2004].
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. San Francisco: Morgan Kaufmann.

- Owen, E. & Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematics problems. *Journal of Educational Psychology*, 77, 272–284.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory an instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Paivio, A. (1978). A dual coding approach to perception and cognition. In H. Pick & E. Saltzman (Hrsg.), *Modes of percieving and processing information* (S. 39–52). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual-coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. & Harshman, R. (1983). Factor analysis of a questionnaire on imagery and verbal habits and skills. *Canadian Journal of Psychology*, 37(4), 461–483.
- Palmer, S. E. (1978). Visuelle Wahrnehmung und Wissen: Notizen zu einem Modell der sensorisch-kognitiven Interaktion. In D. A. Norman & D. E. Rumelhart (Hrsg.), *Strukturen des Wissens: Wege der Kognitionforschung*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, 3(3), 227–238.
- Peeck, J. (1994a). Enhancing graphic effects in instructional texts: Influencing learning activities. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 291–301). Amsterdam: North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Peeck, J. (1994b). Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. Bern: Huber.
- Pelgrum, W. J. & Plomp, T. (1993). *The IEA study of computers in education: Implementation of an innovation in 21 education systems*. Oxford, UK: Pergamon Press.
- Piolat, A., Roussey, J.-Y. & Thunin, O. (1997). Effects of screen presentation on text reading and revising. *International Journal of Human-Computer Studies*, 47(4), 565–589.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E. & Leutner, D. (1998). Supporting visual and verbal learning preferences in a second-language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology*, 90(1), 25–36.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61–86.
- Prenzel, M. (1990). Autodidaktisches Lernen: Zur Einführung. *Unterrichtswissenschaft*, 18, 194–197.
- Prenzel, M. et al. (Hrsg.). (2004). *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P. & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert et al.

- (Hrsg.), PISA 2000: *Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich* (S. 191–248). Opladen: Leske und Budrich.
- Putz-Osterloh, W. (1988). Wissen und Problemlösen. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 247–263). München: PVU.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80(1), 1–24.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88(1), 16–45.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (1998). Lernen mit Multimedia in der Schule. In H. Kubicek (Hrsg.), *Lernort Multimedia* (S. 109–119). Heidelberg: v. Decker.
- Reisberg, D. (1987). External representations and the advantages of externalizing one's thought. In E. Hunt (Hrsg.), *Proceedings of the 9th annual conference of the Cognitive Science Society* (S. 281–293). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Renkl, A. (1996). Vorwissen und Schulleistung. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 175–190). Weinheim: Beltz.
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2003). Structuring the transition from example study to problem solving in cognitive skill acquisition: A cognitive load perspective. *Educational Psychologist*, 38(1), 15–22.
- Rheinberg, F. (1996). Von der Lernmotivation zur Lernleistung: Was liegt dazwischen? In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistungen* (S. 23–50). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Riding, R. J. & Watts, M. (1997). The effect of cognitive style on the preferred format of instructional material. *Educational Psychology*, 17(179–183).
- Rösner, E., Bräuer, H. & Riegas, A. (2003). *Begleitevaluation der „e-nitiative.nrw“ Netzwerk für Bildung: Ergebnisse der ersten quantitativen Erhebungen Zwischenbericht (Kurzfassung)* (Techn. Ber.). Dortmund: Institut für Schulentwicklungsforschung (IFS), Universität Dortmund. Verfügbar unter: http://www.e-nitiative.nrw.de/download_pdf/download/Begleitevaluation_Zwischenbericht.pdf [20.10.2004].
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. Bruce & W. F. Brewer (Hrsg.), *Theoretical issues in reading and comprehension*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Salomon, G. (1974). Internalization of filmic schematic operations in interaction with learners' aptitudes. *Journal of Educational Psychology*.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition, and learning: An exploration of how symbolic forms cultivate mental skills and affect knowledge acquisition*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Salomon, G. (1983). Television watching and mental effort: A social psychological view. In J. Bryant & D. R. Anderson (Hrsg.), *Children's understanding of television* (S. 181–198). New York: Academic Press.
- Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential invest-

- ment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76(4), 647–658.
- Schank, R. C. & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schiefele, U. (1998). Individual interest and learning – what we know and what we don't know. In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger & J. Baumert (Hrsg.), *Interest and learning: Proceedings of the Seeon conference on interest and gender* (S. 91–104). Kiel: IPN.
- Schiefele, U., Krapp, A. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25, 120–148.
- Schiefele, U., Wild, K.-P. & Winteler, A. (1995). Lernaufwand und Elaborationsstrategien als Mediatoren von Studieninteresse und Studienleistung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 9, 181–188.
- Schnotz, W. (1988). Textverstehen als Aufbau mentaler Modelle. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 299–330). München, Weinheim: Psychologie-Verl.-Union.
- Schnotz, W. (1994a). *Aufbau von Wissensstrukturen: Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Psychologie-Verl.-Union.
- Schnotz, W. (1994b). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 95–147). Bern: Huber.
- Schnotz, W. (1997). Wissenserwerb mit Diagrammen und Texten. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und lernen mit multimedia* (2. Aufl., S. 85–105). Weinheim: Psychologie-Verl.-Union.
- Schnotz, W. (2001a). Sign systems, technologies, and the acquisition of knowledge. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen & A. Biarreau (Hrsg.), *Multimedia learning* (S. 9–29). Amsterdam: Pergamon.
- Schnotz, W. (2001b). Textverständnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 709–717). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Schnotz, W. (2001c). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292–318.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. Aufl., S. 65–81). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46(3), 217–236.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141–156.

- Schnotz, W. & Grzondziel, H. (1996). Knowledge acquisition with static and animated pictures in computer-based learning. In *Annual meeting of the American Educational Research Association (AERA)*. New York.
- Schnotz, W., Seufert, T. & Bannert, M. (2001). Lernen mit Multimedia: Pädagogische Verheißungen aus kognitionspsychologischer Sicht. In R. K. Silbereisen & M. Reitzle (Hrsg.), *Psychologie 2000*. Berlin: Pabst Science Publishers.
- Schnotz, W., Zink, T. & Pfeiffer, M. (1996). Visualisierungen im Lehr-Lern-Prozess. *Zeitschrift für Pädagogik*, 42(2), 193–213.
- Schraw, G., Flowerday, T. & Lehman, S. (2001). Increasing situational interest in the classroom. *Educational Psychology Review*, 13(3), 211–224.
- Sebald, F. R. (2004). Olfaktion & Emotion. *Unterricht Biologie*, 28(295), 4–11.
- Sebald, F. R., Prechtel, H. & Bayrhuber, H. (2003). Komplexität als didaktische Herausforderung: Kontextualisierung und Interesse im Neurobiologieunterricht. In A. Bauer et al. (Hrsg.), *Entwicklung von Wissen und Kompetenzen: Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol, Berlin 14. bis 19. September 2003* (S. 123–126). Kiel: IPN.
- Seufert, T. (2003). *Wissenserwerb mit multiplen Repräsentationen: Wirksamkeit von Kohärenzbildungshilfen*. Berlin: Logos.
- Southan, C. (2004). Has the yo-yo stopped? An assessment of human protein-coding gene number. *Proteomics*, 4(6), 1712–1726.
- Spehr, M., Wetzel, C. H., Hatt, H. & Ache, B. W. (2002). 3-phosphoinositides modulate cyclic nucleotide signaling in olfactory receptor neurons. *Neuron*, 33(5), 731–739.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. & Anderson, D. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In V. Patel (Hrsg.), *Proceedings of the 10th annual conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 31(5), 24–33.
- Süskind, P. (1985). *Das Parfum: Die geschichte eines mörders*. Zürich: Diogenes.
- Steinberg, E. R. (1989). Cognition and learner control: A literature review, 1977–88. *Journal of Computer-Based Instruction*, 16(4), 117–124.
- Steiner, G. (2001). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 137–205). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Sturm, H. (1984). Wahrnehmung und Fernsehen: Die fehlende Halbsekunde. Plädoyer für eine zuschauerfreundliche Mediendramaturgie. *Media Perspektiven*, 0. V.(1), 58–67.
- Sturm, H. (1996). Wahrnehmung und Fernsehen: Die fehlende Halbsekunde. In

- P. Rusterholz & R. Moser (Hrsg.), *Die Bedeutung des Buches gestern – heute – morgen*. Bern: Haupt.
- Sumfleth, E. & Telgenbüscher, L. (2000). Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung – Beispiel Additionsreaktionen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 97–113.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(29), 257–285.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295–312.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185–233.
- Sweller, J. & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 8, 463–474.
- Sweller, J., Merriënboer, J. J. G. van & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Tergan, S.-O. (1997). Lernen mit Texten, Hypertexten und Hypermedien: Retrospektive und State of the Art. In H. Gruber & A. Renkl (Hrsg.), *Wege zum Können: Determinanten des Kompetenzerwerbs* (S. 236–249). Bern: Huber.
- The European Dana Alliance for the Brain (EDAB). (2004). *Gehirn und Immunität: Ein Bericht über Fortschritte in der Hirnforschung*. Verfügbar unter: http://www2.unil.ch/edab/new_site/german/publications/Resultats_D_2004.pdf [14.10.2004]. The Dana Alliance for the Brain Inc.
- Titzmann, M. (1993). Der Computer – nur ein Exot im Biologieunterricht? *Biologie in der Schule*, 42(1), 23–26.
- Urhahne, D. (2002). *Motivation und Verstehen: Studien zum computergestützten Lernen in den Naturwissenschaften*. Münster: Waxmann.
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Vermunt, J. D. (1992). *Leerstijlen en sturen van leerprocessen in het hoger onderwijs* [Lernstile und Steuerung von Lernprozessen in der Hochschullehre]. Swets & Zeitlinger: Amsterdam/Lisse.
- Vermunt, J. D. & Verloop, N. (1999). Congruence and friction between learning and teaching. *Learning and Instruction*, 9, 257–280.
- Weidenmann, B. (1988). *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (1989). When good pictures fail: An information processing approach to the effect of illustrations. In H. Mandl & J. R. Levin (Hrsg.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (S. 157–170). Amsterdam: North-Holland.
- Weidenmann, B. (1993). Informierende Bilder. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 9–59). Bern: Huber.

- Weidenmann, B. (1994). Codes of instructional pictures. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 29–42). Amsterdam: North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Weidenmann, B. (2000). Medien und Lernmotivation: Machen Medien hungrig oder satt? In U. Schiefele & K.-P. Wild (Hrsg.), *Interesse und Lernmotivation: Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung* (S. 117–132). Münster: Waxmann.
- Weidenmann, B. (2001). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 415–465). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Weidenmann, B. (2002a). Abbilder in Multimedia-Anwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. Aufl., S. 83–96). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Weidenmann, B. (2002b). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (3. Aufl., S. 45–62). Weinheim: Beltz/Psychologie-Verl.-Union.
- Weidenmann, B., Paechter, M. & Hartmannsgruber, K. (1999). Structuring and sequencing of complex text-picture combinations. *European Journal of Psychology of Education*, 14(2), 185–202.
- Weinstein, C. E. & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (3. Aufl., S. 315–327). New York: Macmillan.
- Weise, G. (1975). *Psychologische Leistungstests*. Göttingen: Hogrefe.
- Wember, B. (1976). *Wie informiert das Fernsehen? Ein Indizienbeweis*. München: List.
- Wild, K.-P., Krapp, A. & Winteler, A. (1992). Die Bedeutung von Lernstrategien zur Erklärung des Einflusses von Studieninteresse auf Lernleistungen. In A. Krapp & M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung: Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (S. 279–295). Münster: Aschendorff.
- Wippich, W., Schulte, A. & Mecklenbräuker, S. (1989). Weitere Evidenzen zum Einfluss induzierter Einstellungen auf Erinnerungen an eigenes Verhalten. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 36(1), 162–179.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11(2), 87–95.
- Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24(4), 345–376.
- Zöfel, P. (2003). *Statistik für Psychologen im Klartext*. München: Pearson Studium.

Autorenregister

A

Abelson, R.P. 26, 227
Ache, B.W. 12, 228
Ainsworth, S.E. 40, 43, 149, 216
Anderson, D. 43, 228
Anderson, J.R. 33, 216
Anderson, R.B. 21, 41, 73, 223
Anglin, G.J. 41, 222
Arbeitsgruppe Multimedia an der
Zentralstelle für Computer und
Unterricht 22, 216
Arcimboldo, G. 216
Artelt, C. 50, 63, 159, 216
Atkinson, R.K. 23, 154, 216, 226
Aufenanger, S. 21, 216
Axel, R. 9, 14, 216

B

Baddeley, A.D. 41, 216
Ballstaedt, S.-P. 31, 56, 216, 217
Bandura, A. 51, 217
Bannert, M. . 25, 34–36, 41, 42, 53, 227, 228
Bartlett, F.C. 25, 217
Bauer, W. 22, 217
Baumert, J. 148, 217
Bayrhuber, H. 1, 220, 228
Benton, S.L. 153, 221
Bergmann, W. 217
Bernard, R.M. 55, 153, 217
Bühl, A. 108, 217
Bibby, P.A. 40, 216
Bock, M. 42, 56, 217
Bodemer, D. 156, 217
Boekaerts, M. 159, 217
Bofinger, J. 22, 217
Bortz, J. 96, 101, 103, 108, 110, 111, 150, 217
Bower, G.H. 33, 216

Brauner, K. 17, 217
Brünken, R. 2, 53, 163, 218
Brown, R. 51, 219
Bräuer, H. 21, 226
Brunstein, J.C. 51, 218
Buck, L.B. 8, 13, 14, 218, 223

C

Carney, R.N. 41, 222
Chandler, P. . 21, 36, 41, 42, 53, 66, 75, 158,
218, 221, 225, 229
Christensen, M. 153, 221
Christian, D. 221
Chun, D.M. 43, 47, 218, 225
Clark, R.E. 20, 218
Coulson, R.L. 43, 228
Cox, R. 153, 218
Craik, F. I.M. 46, 55, 218

D

Deci, E.L. 49, 51, 63, 218
Dekeyser, H.M. 48, 218
Dijk, T.A. van 221
Dillon, A. 40, 218
DiVesta, F.J. 152, 219
Drescher, K.-H. 43, 219
Drewniak, U. 56, 78, 154, 219
Döring, N. . 96, 101, 103, 108, 110, 111, 150,
217
Dörner, D. 104, 219
Dörr, G. 20, 219
DuBois, N.F. 221
Dudel, J. 16, 219

E

Eco, U. 24, 28, 219
Engelkamp, J. 33, 219

Epstein, W. 43, 219
 Erdfelder, E. 108, 150, 219
 Eysenck, M. 26, 219

F

Faul, F. 108, 150, 219
 Feltovich, P.J. 43, 228
 Feuerlein, I. 156, 217
 Firestein, S. 10, 219
 Fischer, M. 163, 220
 Flowerday, T. 51, 228
 Friege, G. 157, 223
 Frings, S. 11, 219, 221

G

Gallini, J.K. 21, 46, 47, 223
 Garner, R. 51, 219
 Gensch, T. 11, 221
 Gentner, D. 44, 219
 Gerstenmaier, J. 163, 219
 Glenberg, A.M. 43, 219
 Goldman, S.R. 2, 220
 Graf, D. 21, 22, 220
 Gray, G.S. 152, 219
 Gräsel, C. 163, 220
 Gärtner, R. 163, 220
 Gruber, H. 164, 223
 Gruber, J.G. 28, 220
 Grzondziel, H. 43, 228

H

Hammann, M. 1, 220
 Hansen, K.-H. 21, 220
 Harms, U. 1, 220
 Harp, S.F. 51, 220
 Harshman, R. 96, 159, 212, 225
 Hartley, J. 153, 220
 Hartmannsgruber, K. 69, 230
 Hasebrook, J.P. 22, 220
 Hasselhorn, M. 23, 220
 Hatt, H. 9, 11–13, 220, 228
 Hayes, D.A. 55, 220
 Hegarty, M. 47, 221
 Heiser, J. 73, 223
 Hentig, H. von 220
 Hirono, J. 223
 Häußler, P. 100, 225

J

Jacobson, M.J. 43, 228
 Johnson-Laird, P.N. 25, 28, 221
 Jonassen, D.H. 163, 221

K

Kalyuga, S. 53, 158, 221
 Kaneko, H. 11, 221
 Kattmann, U. 1, 220
 Kaupp, U.B. 11, 221
 Keane, M.T. 26, 219
 Kiewra, K.A. 153, 162, 221
 Kim, S.I. 153, 221
 Kintsch, W. 27, 28, 31, 32, 221, 229
 Kirberg, A. 56, 217
 Kirby, J.R. 48, 221
 Kirschner, P.A. 161, 163, 221
 Kirsh, D. 2, 221
 Klauer, K.J. 54, 55, 221
 Klieme, E. 100, 222
 Klix, F. 104, 221
 Klopp, A. 100, 225
 Kozhevnikov, M. 47, 48, 62, 221
 Kozma, R.B. 20, 221
 Krapp, A. 49, 50, 221, 222, 227, 230
 Kroß, A. 157, 158, 222
 Krützer, B. 21, 222

L

Lang, M. 21, 220
 Lehman, S. 51, 228
 Lentz, R. 41, 48, 51, 222
 Leopold, C. 54, 222
 Leutner, D. . 2, 47, 54, 55, 100, 105, 163, 218,
 222, 225
 Levie, H.W. 41, 48, 51, 222
 Levin, J.R. 41, 222
 Levine, M. 154, 229
 Lewalter, D. 21, 45, 46, 53, 57, 222
 Lind, G. 157, 158, 222, 223
 Lockhart, R.S. 46, 55, 218
 Lonn, S. 73, 223
 Lowe, R.K. 2, 46, 223

M

Macromedia, 223
 Macromedia, Inc. 223
 Malnic, B. 9, 223

- Mandl, H. 22, 31, 56, 163, 164, 216, 217, 219, 220, 223, 226
- Markman, A.B. 44, 219
- Martschinke, S. 25, 223
- Massa, L.J. 47, 49, 223
- Mayer, J. 1, 220
- Mayer, R.E. . 2, 21, 34, 35, 41, 42, 44, 46, 47, 49, 51, 53, 57, 72, 73, 75, 76, 100, 105, 220, 221, 223–225, 230
- McShane, A. 221
- Mecklenbräuker, S. 47, 230
- Menke, D.J. 51, 219
- Menzel, R. 16, 219
- Merriënboer, J. J.G. van 36, 229
- Meyer, K. 100, 222
- Meyerhoffer, M. 221
- Miller, G.A. 23, 37, 224
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Kultur des Landes
Schleswig-Holstein 17
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Kultur des Landes
Schleswig-Holstein 224
- Moreno, R. ... 42, 46, 53, 72, 73, 75, 76, 224
- N**
- Neisser, U. 28, 224
- Nelson, D.L. 33, 224
- Nerdel, C. 57, 96, 97, 157, 159, 224
- Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V. 1,
16, 224
- Nielsen, J. 224
- O**
- Owen, E. 154, 225
- P**
- Paas, F. 163, 225
- Paas, F. G. W.C. 36, 229
- Paechter, M. 69, 230
- Paivio, A. 33, 96, 159, 212, 225
- Palmer, S.E. 29, 225
- Peeck, J. 46, 51, 55, 153, 225
- Pelgrum, W.J. 21, 225
- Pfeiffer, M. 42, 228
- Piolat, A. 73, 225
- Plass, J. 2, 218
- Plass, J.L. 43, 47, 48, 163, 218, 222, 225
- Ploetzner, R. 156, 217
- Plomp, T. 21, 225
- Pollock, E. 36, 69, 225
- Prechtel, H. 1, 17, 217, 228
- Prenzel, M. 50, 63, 100, 105, 225
- Probst, H. 21, 222
- Putzier, I. 11, 221
- Putz-Osterloh, W. 104, 226
- Pylyshyn, Z.W. 33, 226
- Q**
- Quilici, J.L. 224
- R**
- Readence, J.E. 55, 220
- Reed, U.S. 33, 224
- Reinmann-Rothmeier, G. 22, 226
- Reisberg, D. 153, 226
- Renkl, A. . . 154, 157, 163, 164, 223, 225, 226
- Rheinberg, F. 50, 226
- Riding, R.J. 48, 226
- Riegas, A. 21, 226
- Risch, N. 153, 221
- Rohrer-Murphy, L. 163, 221
- Roskelley, D. 221
- Rost, J. 100, 225
- Roussey, J.-Y. 73, 225
- Rösner, E. 21, 226
- Rumelhart, D.E. 25, 226
- Ryan, R.M. 49, 51, 63, 218
- S**
- Salomon, G. 43, 226
- Sanchez, D. 224
- Sanders, S. 51, 219
- Sandmann, A. 157, 223
- Sato, T. 223
- Schank, R.C. 26, 227
- Schiefele, U. 50, 159, 160, 216, 227
- Schmidt, R.F. 16, 219
- Schneider, W. 159, 216
- Schnotz, W. 2, 25, 26, 28, 29, 32, 34–37,
41–45, 53–55, 227, 228
- Schraw, G. 51, 228
- Schreyer, I. 50, 227
- Schulte, A. 47, 230
- Schumann-Hengsteler, R. 23, 220
- Sebald, F.R. 1, 2, 7, 13, 16, 17, 228

Senkbeil, M. 100, 225
 Seufert, T. 27, 34, 44, 56, 59, 60, 78, 158, 228
 Shiffrin, R.M. 23, 216
 Simon, R. 224
 Southan, C. 9, 228
 Spada, H. 156, 217
 Spehr, M. 12, 228
 Spiro, R.J. 43, 228
 Spörer, N. 51, 218
 Süskind, P. 228
 Stanat, P. 159, 216
 Steinberg, E.R. 51, 228
 Steiner, G. 26, 228
 Strittmatter, P. 20, 219
 Sturm, H. 42, 228
 Sumfleth, E. 163, 229
 Sweller, J. .. 21, 36–38, 41, 42, 53, 66, 69, 75,
 97, 154, 158, 163, 218, 221, 225, 229

T

Telgenbüscher, L. 163, 229
 Tergan, S.-O. 21, 229
 The European Dana Alliance for the Brain
 (EDAB) 16, 229
 Thunin, O. 73, 225
 Titzmann, M. 21, 229
 Tulving, E. 55, 218
 Tuovinen, J.E. 158, 221

U

Urhahne, D. 95, 97, 229

V

van Dijk, T.A. 27, 28, 31, 32, 229
 Verloop, N. 48, 229
 Vermunt, J.D. 48, 229

W

Walling, J.R. 33, 224
 Watts, M. 48, 226
 Weidenmann, B. .. 22, 28–31, 34, 40–45, 47,
 51, 55, 59, 61, 69, 73, 78, 153, 155,
 229, 230
 Weinstein, C.E. 57, 230
 Weise, G. 96, 230
 Wember, B. 43, 230
 Wetzel, C.H. 12, 228
 Wild, K.-P. 50, 63, 227, 230
 Wilkinson, A.C. 43, 219
 Windgasse, T. 56, 217
 Winteler, A. 50, 227, 230
 Wippich, W. 47, 230
 Wirth, J. 100, 222
 Wittrock, M.C. 230
 Wood, D.J. 40, 216
 Woodbridge, S. 224

Z

Zöfel, P. 108, 110, 217, 230
 Zimmer, H.D. 33, 219
 Zink, T. 42, 228

Lebenslauf

Boy Kramer

Geburtsdatum 14.12.1970
Geburtsort Hamburg
Staatsangehörigkeit deutsch
Wohnort Westring 252
24116 Kiel

Schule und Studium

08/1977–07/1981 Gorch-Fock-Schule, Schenefeld
08/1981–07/1983 Gesamtschule Glückstädter Weg, Hamburg
08/1983–10/1985 Julius-Leber-Schule, Hamburg
10/1985–06/1990 Kooperative Gesamtschule Elmshorn mit dem Abschluss
der allgemeinen Hochschulreife
04/1992–03/1993 Studium der Diplom-Biologie an der Universität Hamburg
04/1993–02/2001 Studium des Lehramts für Gymnasien mit den Fächern
Englisch und Biologie an der Christian-Albrechts-
Universität zu Kiel (CAU) mit dem Abschluss
Erstes Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien
seit 08/2001 Promotionsstudium der Biologiedidaktik an der CAU Kiel
10/2003–03/2004 Marie-Curie-Stipendium am Centre for Studies in Science
und 07/2004 and Mathematics Education (CSSME) an der University of
Leeds, Großbritannien

Wissenschaftliche Berufstätigkeit

02/1997–06/2001 Wissenschaftliche Hilfskraft am Leibniz-Institut für die
Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der CAU Kiel
08/2001–10/2003 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPN Kiel am Lehrstuhl
sowie seit 04/2004 Prof. Dr. Bayrhuber, Abteilung Didaktik der Biologie

Kiel, 25. Mai 2005

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit nach Inhalt und Form selbstständig und – abgesehen von der Beratung durch meinen Betreuer Prof. Dr. Bayrhuber – ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Ferner erkläre ich, dass ich zuvor noch keinen Promotionsversuch unternommen habe und dass die vorliegende Arbeit weder vollständig, noch in Teilen an anderer Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht worden ist.

Boy Kramer
25. Mai 2005