



# **Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie**

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

vorgelegt von  
Marc Eckhardt

Kiel

2010



Referentin/Referent:

Prof. Dr. Ute Harms

Korreferentin/Korreferent:

Prof. Dr. Helmut Prechtel

Tag der mündlichen Prüfung:

26.05.2010

Zum Druck genehmigt:

Kiel, den 26.05.2010

---

Der Dekan



---

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Theoretischer Hintergrund .....	4
2.1	Biologische Grundlagen .....	4
2.1.1	Thematisch relevante Inhalte der Ökologie .....	4
2.1.2	Räuber-Beute-Prinzip .....	6
2.1.3	Das Ökosystem See .....	10
2.2	Biologiedidaktische Aspekte .....	12
2.2.1	Didaktische Überlegungen zum Räuber-Beute-Modell .....	12
2.2.2	Adaptation des Räuber-Beute-Modells für die Computersimulation .....	13
2.3	Computersimulationen im Biologieunterricht .....	15
2.3.1	Vorteile des Lernens mit Computersimulationen .....	16
2.3.2	Probleme des Lernens mit Computersimulationen .....	19
2.4	Instruktionale Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen .....	23
2.4.1	Interpretative Unterstützung .....	24
2.4.2	Experimentelle Unterstützung .....	26
2.4.3	Reflektierende Unterstützung .....	28
2.5	Dateninterpretation .....	30
2.6	Selbstreguliertes Lernen .....	33
2.7	Wissensarten .....	38
2.7.1	Bedeutung des Vorwissens beim Lernen mit Computersimulationen .....	38
2.7.2	Faktenwissen .....	39
2.7.3	Konzeptuelles Wissen .....	39
2.7.4	Prozedurales Wissen .....	40
2.7.5	Intuitives Wissen .....	40
2.8	Forschungsfrage .....	44
2.9	Hypothesen .....	44
3	Methoden .....	47
3.1	Stichprobe .....	47
3.2	Forschungsdesign .....	48
3.3	Unabhängige Variablen: „Instruktionale Maßnahmen“ .....	49
3.3.1	Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation .....	49
3.3.2	Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation .....	49
3.4	Abhängige Variable: „Wissen“ .....	50
3.4.1	Erhebung des Faktenwissens, konzeptuellen und prozeduralen Wissens .....	50
3.4.2	Erhebung des intuitiven Wissens mittels „Schnelltest“ .....	50
3.5	Kontrollvariablen .....	51
3.6	Material .....	51
3.6.1	Lernumgebung .....	51
3.6.2	Arbeitsaufträge .....	62
3.6.3	Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation .....	64

---

3.6.4	Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation.....	66
3.6.5	Papier-und-Bleistift-Wissenstest.....	69
3.6.6	Test zur Erhebung des intuitiven Wissens .....	70
3.6.7	Kontrollvariablen .....	75
3.7	Ablauf.....	80
3.8	Statistische Methoden .....	84
3.8.1	Deskriptive Statistik .....	84
3.8.2	Tests zu Unterschieden und Zusammenhängen .....	85
3.8.3	Skalenbildung.....	86
3.8.4	Faktorenanalytische Trennung der Wissensarten.....	89
4	Ergebnisse .....	97
4.1	Voranalysen.....	97
4.1.1	Evaluation der Lernumgebung „ <i>SimBioSee</i> “ .....	99
4.2	Allgemeine deskriptive Statistiken.....	103
4.2.1	Skala „Wissen“.....	104
4.2.2	Subskala „Faktenwissen“ .....	108
4.2.3	Subskala „Konzeptuelles Wissen“ .....	111
4.2.4	Subskala „Prozedurales Wissen“ .....	114
4.2.5	Subskala „Intuitives Wissen“ .....	117
4.3	Kontrollvariablen .....	123
4.3.1	Wahrgenommene kognitive Belastung .....	123
4.3.2	Eingeschätzte Computerkompetenz .....	128
4.3.3	Subjektiv eingeschätzte computerbezogene Motivation .....	129
4.3.4	Subjektiv wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation.....	130
4.4	Korrelationsanalysen.....	132
4.4.1	Korrelationen zwischen den Wissensarten.....	132
4.4.2	Korrelationen zwischen Antworten und Latenzzeiten des „ <i>Schnelltests</i> “ .....	133
4.4.3	Korrelationen zwischen Wissenszuwachs und kognitiver Belastung .....	134
4.5	Ergebnisse ohne Intervention.....	135
4.6	Logfiles.....	141
4.7	Hypothesenprüfungen .....	143
4.7.1	Hypothese 1.....	143
4.7.2	Hypothese 2.....	175
4.7.3	Hypothese 3.....	176
4.7.4	Hypothese 4.....	178
4.7.5	Hypothese 5a.....	179
4.7.6	Hypothese 5b.....	181
4.7.7	Hypothese 6.....	182
4.7.8	Hypothese 7.....	184
4.7.9	Hypothese 8.....	186
5	Diskussion .....	188
5.1	Untersuchungsgrundlagen.....	188
5.2	Methodenkritische Anmerkungen .....	189
5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	194

---

5.3.1	Effekte durch das Computerprogramm „ <i>SimBioSee</i> “ .....	194
5.3.2	Effekte durch die konkreten Arbeitsaufträge .....	194
5.3.3	Effekte durch die instruktionalen Maßnahmen .....	195
5.4	Zusammenfassende und abschließende Diskussion .....	205
5.5	Praxisrelevanz für den Schulunterricht .....	208
5.6	Forschungsperspektiven und Ausblick .....	209
6	Literaturverzeichnis .....	211
7	Anhang .....	222
7.1	Lernsoftware „ <i>SimBioSee</i> “ .....	222
7.2	Testinstrumente .....	258
7.2.1	Papier-und-Bleistift-Wissenstest .....	258
7.2.2	<i>Schnelltest</i> .....	264
7.2.3	Computerkompetenz und computerbezogene Motivation .....	275
7.2.4	Kognitive Belastung und Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen .....	280
7.3	Arbeitsaufträge .....	285
7.4	Skalendokumentation und Itemanalyse .....	290
7.5	Abbildungsverzeichnis .....	304
7.6	Tabellenverzeichnis .....	310



---

## Zusammenfassung

Computersimulationen ermöglichen Lernenden Vorteile im Zugang zu Experimenten, die im Biologieunterricht anderweitig oft schwer durchführbar sind. Für einen erfolgreichen Wissenserwerb mit Computersimulationen benötigen Lernende jedoch instruktionale Unterstützung, da entdeckendes, selbstständiges Erarbeiten von biologischen Prinzipien und Konzepten mit Computersimulationen allein meist nicht zu gewünschten Lernerfolgen führt. Die Dateninterpretation und die Selbstregulation des Lernprozesses gelten als zwei identifizierte Problembereiche naturwissenschaftlichen Lernens mit Computersimulationen. Ziel dieser Forschungsarbeit ist ein Beitrag zur Klärung der Frage, mit welchen ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation sich der Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie verbessern lässt. Es wurde empirisch untersucht, welche Effekte diese instruktionalen Maßnahmen auf den Erwerb von Wissen in den verschiedenen Kategorien Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen und intuitives Wissen zeigen. Es wurden ein Computerprogramm zum Thema „Gewässerökologie“ mit einer Computersimulation zur Räuber-Beute-Beziehung sowie ausgewählte, konkrete instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation beim Lernen mit Computersimulationen entwickelt und in einer Studie im Biologieunterricht achter Realschulklassen getestet.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation unterschiedlich effektiv auf die Aneignung themenspezifischen Wissens in den verschiedenen Kategorien auswirken. Als vergleichsweise effektive Unterstützung für einen Lernerfolg zeigt sich die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und biologisch zu interpretieren. Des Weiteren zeigt eine bestimmte Kombination aus einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation geringe Effekte auf einen Lernerfolg. In diesem Zusammenhang erscheint die Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation sowie eine zusätzliche Reflexion über diese Ergebnisse als instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation für die erfolgreiche Aneignung von Wissen in den genannten Wissenskategorien beim Lernen mit Computersimulationen als hinderlich. Lernende, die diese instruktionale Maßnahmenkombination erhielten, zeigen zudem eine vergleichsweise hohe, subjektiv wahrgenommene kognitive Belastung während der Arbeit mit der Computersimulation, die nach jeder Intervention von den Lernenden selbst eingeschätzt wurde. Die kognitive Belastung könnte einen kausalen Zusammenhang darstellen, warum sich diese bestimmte Kombination aus zwei verschiedenen instruktionalen Maßnahmen hinsichtlich der themenspezifischen Wissensaneignung in den unterschiedlichen Wissenskategorien beim Lernen mit Computersimulationen als vergleichsweise wenig effektiv erweist.

## Abstract

*Computer simulations provide learners with the opportunity to carry out experiments that are otherwise often difficult to conduct in school. For successful knowledge acquisition when learning with computer simulations instructional support is needed, as pure discovery learning with computer simulations does not typically result in desirable learning outcomes.*

*Data interpretation and self-regulation of the learning process are identified as two problem areas of scientific learning with computer simulations. Goal of this research project is a contribution to clarify the question, what kind of instructional measures for data interpretation and for self-regulation when learning with computer simulations is crucial to increase students' biological knowledge. In an empirical study, effects of these instructional measures on the different knowledge types- factual, conceptual, procedural and intuitive knowledge- were tested. For this reason, a water ecological computer program containing a computer simulation about a predator-prey-relationship as well as particular instructional measures for data interpretation and for self-regulation when learning with computer simulations are developed and tested with eight grade secondary school students in biology lessons.*

*Results show different effects of the instructional measures for data interpretation and for self-regulation on domain specific knowledge acquisition concerning the different knowledge types. A comparatively especial effective learning support appears the instructional measure for data interpretation, to describe and to interpret biological the own simulation outcome. Furthermore, a certain combination of an instructional measure for data interpretation and an instructional measure for self-regulation shows little effects for learning outcomes. In this regard, describing and interpreting the own simulation outcome as instructional measure for data interpretation as well as additionally reflection about these results as instructional measure for self-regulation seem to be detrimental for successful knowledge acquisition. Students who received these both types of instructional support also showed the highest values of cognitive load, which was self-assessed by the students after every session. Cognitive load could be a reason why a certain combination of instructional measures lead to contrary effects for students' knowledge acquisition when learning with computer simulations.*

# 1 Einleitung

Bei der Vermittlung komplexer und komplizierter biologischer Sachverhalte erwerben viele Lernende nicht das notwendige und erwünschte Verständnis. Internationale Vergleichsstudien wie PISA (Baumert, Klieme, Neubrand et al., 2001) und TIMSS (Baumert, Lehmann, Lehrke et al., 1997) konnten in diesem Zusammenhang bedeutsame Defizite deutscher Schüler<sup>1</sup> im Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zeigen. Im Hinblick auf eine Erkenntnisgewinnung durch Experimentieren sind die Probleme der Lernenden hinreichend bekannt.

Im Zeitalter der digitalen Informations- und Kommunikationstechnologie werden vielfach hohe Erwartungen an die Vermittlung neuer Wissensinhalte durch den Einsatz des Computers im Schulunterricht gestellt. Es wird erwartet, dass mit Hilfe des Computereinsatzes und einem geeigneten Computerprogramm in Verbindung mit einer angemessenen Lehrmethode sich Lernende neues domänenspezifisches Verständnis und naturwissenschaftliche Kompetenzen aneignen können. Viele naturwissenschaftliche Sachverhalte, wie mögliche Auswirkungen von Veränderungen in bestehenden ökologischen Strukturen, werden oftmals erst nach längeren Zeitspannen erkennbar, so dass diese Sachverhalte meist nicht in Form einer originalen Begegnung (vgl. Kattmann, 2006) im Biologieunterricht vermittelt werden können. Komplexität und Dynamik dieser Sachverhalte erschweren zudem die Anschaulichkeit, erfordern damit hohe kognitive Anforderungen von den Lernenden und stellen an das Lehrpersonal besondere Vermittlungsanforderungen. Insbesondere bereitet der Umgang mit Komplexität und Dynamik naturwissenschaftlicher Themenbereiche vielen Lernenden Probleme (Hmelo, Holton & Kolodner, 2000). Für die Vermittlung und das Verständnis dieser ökologischen Sachverhalte bietet sich daher der Einsatz von Computersimulationen im Unterricht besonders an. Der Einsatz von Computersimulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht bietet mannigfaltige Spielräume zur Vermittlung und zur Aneignung neuen Wissens und neuer Kompetenzen.

Die Planung und die Durchführung von Experimenten mit Hilfe von Computersimulationen, die dynamische und modellhafte Nachbildungen realer Gegebenheiten simuliert wiedergeben können, eröffnen in der Darstellung und im Erfahren naturwissenschaftlicher Zusammenhänge neue Perspektiven. Der Einsatz von Computersimulationen unterstützt Lehr- und Lernmethoden für eine verständnisfördernde Vermittlung und zur Wissensaneignung komplexer und dynamischer naturwissenschaftlicher Konzepte. Die Durchführung computersimulierter Experimente ermöglicht zudem die Förderung von Kompetenzen, die in den Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (KMK, 2005) beschrieben werden. Beispielsweise können die durch eine modellhafte Computersimulation gewonnenen Daten, deren anschließender Analyse und Bewertung durch die Lernenden zu einem Wissens- und Kompetenzzuwachs beitragen.

Im Sinne gemäßigt konstruktivistischer Lerntheorien (z.B. Gerstenmaier & Mandl, 1995; Jonassen, Peck, Wilson et al., 1998) ist der Lernende angehalten, sich selbstständig und

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Vereinfachung wird in dieser Arbeit, wenn nicht explizit aufgeführt, nicht zwischen Schülerin und Schüler unterschieden. Der Begriff Schüler schließt die weibliche Form mit ein. Mit der Bezeichnung „Lernende“ bzw. „Lernender“ wird äquivalent verfahren.

interaktiv (Haack, 1997) mit dem simulierten Modell auseinander zu setzen, um sich neue kausale Zusammenhänge, themenspezifische Begriffe und Kompetenzen im Umgang mit der Computersimulation zu erschließen. Diese Form selbstregulierten Lernens kann sich im Gegensatz zum vergleichsweise eher rezeptiven Lernen, wie beispielsweise mit einem Lehrbuch, motivationsfördernd auf die Lernenden auswirken (Strzebkowski, 1997) und ein Verständnis über das gegebene Thema fördern.

Empirische Befunde belegen jedoch, dass ein Lernen mit Computersimulationen ohne zusätzlich bereitgestellte lernunterstützende Hilfen in Form instruktionaler Maßnahmen zu wenig effektiven Lernerfolgen führt. Forschungsergebnisse geben Hinweise auf die Probleme, die Lernende beim selbständigen Wissenserwerb mit Computersimulationen haben. Neben unangemessenen Instruktionsdesigns, welche die Computersimulation bzw. die computergestützte Lernumgebung betreffen, die Lernende zusätzlich kognitiv belasten und einen erfolgreichen Wissenserwerb einschränken können, zeigen Lernende häufig Defizite im wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn beim Umgang mit Computersimulationen. Für einen erfolgreichen Wissenserwerb mit Computersimulationen benötigen Lernende daher instruktionale Unterstützung, die einen erfolgreichen Wissenserwerb zielorientiert fördert. Aus zahlreichen empirischen Untersuchungen lässt sich ein Forschungsbedarf erkennen um zu klären, welche Form der instruktionalen Unterstützung die Effektivität des Lernens mit Computersimulationen verbessert.

Aus der Forschungsliteratur lassen sich verschiedene Problembereiche identifizieren, die beim Lernen mit Computersimulationen der Unterstützung durch instruktionale Maßnahmen bedürfen. Im Fokus dieser Arbeit stehen zwei dieser identifizierten Problembereiche: *Dateninterpretation* und *Selbstregulation*. Das Ziel dieser Arbeit ist, einen Beitrag zur Klärung der Frage zu leisten, mit welchen ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation sich der Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen verbessern lässt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden ein ökologisches Computerprogramm mit einer Computersimulation und ausgewählte instruktionale Maßnahmen zur Unterstützung der Dateninterpretation und der Selbstregulation für Lernende der Mittelstufe entwickelt und in einer Studie getestet. Die Studie wurde im Rahmen des DFG-Projektes *SimInstrukt*<sup>2</sup> durchgeführt.

Zielgruppe der Untersuchung sind Lernende von Realschulen der achten Jahrgangsstufe. Ausgehend von den Defiziten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen, die durch die Studienergebnisse von PISA (Baumert et al., 2001) und TIMSS (Baumert et al., 1997) offengelegt wurden, können neue Ansätze geschaffen werden, den naturwissenschaftlichen Unterricht für Lernende aller Schul- und Klassenstufen verständlicher zu gestalten. Viele Studien in der nationalen empirischen Bildungsforschung werden in der gymnasialen Schulform durchgeführt, wodurch die überwiegende Mehrheit an Lernenden der übrigen Schulformen, wie beispielsweise der Realschule, weniger Beachtung findet. Aus diesem

---

<sup>2</sup> Das DFG-Projekt *SimInstrukt* wurde zunächst an der Universität Bremen begonnen und anschließend am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel unter der Projektleitung von Prof. Dr. Ute Harms in der Zeit vom 1. Dezember 2006 bis zum 30. April 2009 bearbeitet.

---

Grund fokussiert die vorliegende Forschungsarbeit auf die vergleichsweise große Gruppe der Lernenden von Realschulen.

Zunächst werden im theoretischen Teil dieser Arbeit die biologischen Grundlagen beschrieben, die als Themengebiet für die entwickelte Computersimulation ausgewählt wurden. Im Anschluss daran werden die Vorteile und Probleme des Lernens mit Computersimulationen beschrieben und wie diese Probleme überwunden werden können. In Kapitel 3 sind die Erhebungsinstrumente, das Computerprogramm und die in der Untersuchung eingesetzte Methodik beschrieben. Die Ergebnisse werden im daran anschließenden Kapitel 4 dargestellt. Ihre Diskussion erfolgt in Kapitel 5.

---

## 2 Theoretischer Hintergrund

Um untersuchen zu können, mit welchen ausgewählten instruktionalen Maßnahmen das Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie unterstützt werden kann, wurde ein ökologischer Kontext gewählt. Ökologische Sachverhalte sind oftmals durch Komplexität vieler sich gegenseitig beeinflussender Faktoren geprägt und unterliegen einer Dynamik, die eine adäquate Vermittlung im Unterricht erschwert. Daher bietet sich für die Vermittlung und das Verständnis vieler ökologischer Sachverhalte der Einsatz von Computersimulationen im Unterricht besonders an. Um eine entsprechende lehrplanvalide, computergestützte Lernumgebung mit einer Computersimulation zu entwickeln, wurde im Vorfeld dieser Arbeit eine schriftliche Befragung unter Biologielehrkräften der achten Jahrgangsstufe durchgeführt. Aus den Ergebnissen dieser Befragung wurde die Bedeutung externer, anthropogener Einflüsse, die auf den Lebensraum Gewässer beeinflussend wirken können, für den Biologieunterricht deutlich. Dieses Thema wurde von den befragten Lehrkräften als das wichtigste ökologische Thema des Lehrplans angegeben und wird nach deren Angaben am häufigsten im Biologieunterricht behandelt.

Im Folgenden werden zunächst die biologischen Inhalte beschrieben, die bei der Entwicklung des Computerprogramms und der Computersimulation berücksichtigt wurden und den thematischen Rahmen für die Untersuchung bilden. Anschließend werden die Vorteile des Lernens mit Computersimulationen genannt. Darauf folgend werden die Probleme thematisiert, die Lernende beim Experimentieren mit Computersimulationen haben und wie diese Probleme durch instruktionale Unterstützung geschmälert werden können.

### 2.1 Biologische Grundlagen

#### 2.1.1 Thematisch relevante Inhalte der Ökologie

In diesem Abschnitt werden die relevanten Inhalte beschrieben, die den thematischen Rahmen für die Untersuchung bilden. Es wurde für den Bereich Gewässerökologie ein Beispiel eines mitteleuropäischen Sees ausgewählt.

Der gegenwärtige Ökologiebegriff beschreibt die Gesamtheit der Beziehungen zwischen Organismen oder Biozöosen und ihrer biotischen und abiotischen Umwelt. Eine Biozönose ist definiert als eine Gemeinschaft von Organismen verschiedener Arten in einem abgegrenzten Biotop. Ein Biotop gilt als räumlich abgegrenzte Einheit bestimmter Mindestgröße mit seinen abiotischen Faktoren. Ein Biotop ist der Lebensraum einer Biozönose (Kratowil & Schwabe, 2001). Abiotische Faktoren sind Einflussfaktoren der unbelebten Umwelt, denen ein Organismus ausgesetzt ist. Unter biotischen Faktoren werden Einflussfaktoren der belebten Umwelt zusammengefasst, die auf den Organismus wirken. Die Einheit aus Biozönose und Biotop, die sich aus der Summe aller Beziehungen ergibt, wird als Ökosystem bezeichnet.

## Energiefluss und Trophiestufen

Der für ein Ökosystem unabdingbare Stoff- und Energiefluss ist nicht an die räumlichen Abgrenzungen eines Ökosystems gebunden. Unter anderem differenziert Odum (1999) zwischen Energiefluss und Stoffkreislauf. Bezüglich der vollständigen Stoffkreisläufe werden Ökosysteme eher als von der Umwelt unabhängige Systeme angesehen, während sie für den Energiefluss als offene Systeme gelten. Um die Ökosystemstruktur in dieser Hinsicht empirisch beschreiben zu können, reduziert Odum (1999) die Komplexität der Ökosysteme in verschiedene Trophiestufen.

Als Energiequelle steht den meisten Ökosystemen das Sonnenlicht zur Verfügung. Der Energiefluss in einem Ökosystem ist ein gerichteter Prozess. Da beim Übergang von einer Trophiestufe zur nächst höheren lediglich etwa 10 Prozent der Biomasse verwertet werden können, nimmt die Biomasse mit zunehmender Trophiestufe erheblich ab. Die Trophiestufe beschreibt die Stufe der gespeicherten Energie. Ein großer Teil an Energie wird in Form von Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben und bleibt zum Aufbau von Biomasse ungenutzt. Abbildung 2.1 zeigt ein Schema zu den Energieflüssen und Stoffkreisläufen in Ökosystemen. Autotrophe Primärproduzenten bilden die unterste Trophiestufe, von denen alle anderen Trophiestufen abhängig sind. Da nur Pflanzen und einige Prokaryonten Lichtenergie verwerten können, nehmen diese Organismen in jedem Ökosystem eine Schlüsselrolle ein. Die Fotosynthese treibenden Organismen synthetisieren mit Hilfe des Sonnenlichtes organische Substanzen, die den nächst höheren Trophiestufen energetisch zur Verfügung stehen. Organismen oberhalb der Trophiestufe der Primärproduzenten bilden heterotrophe Organismen bzw. Konsumenten erster Ordnung. Bei Organismen dieser Trophiestufe handelt es sich meist um Herbivoren. Die darauf folgenden Organismen sind karnivore Konsumenten höherer Ordnung. Organismen, die aus dem Abbau organischer Substanz zu anorganischer Substanz Energie gewinnen, werden als Destruenten bezeichnet und bilden das Bindeglied zwischen allen Trophiestufen eines Ökosystems. Die lineare Abfolge der einzelnen Stufen (Primärproduzenten, Konsumenten verschiedener Ordnung, Destruenten) wird als Nahrungskette bezeichnet. Da die Nahrungsbeziehungen in einem Ökosystem oft komplexer sind, sind Nahrungsketten meist zu Nahrungsnetzen oder Nahrungsgefügen zusammengefasst. Mit Abnahme der Biomasse bei zunehmender Trophiestufe ergibt sich modellhaft eine Nahrungspyramide, deren größter Teil an Biomasse auf die Primärproduzenten entfällt. Über 90 Prozent der globalen Gesamtbio­masse entfällt auf Pflanzen, während hingegen ein Vergleich der Artenzahlen ergibt, dass etwa zehnmal so viele Tierarten wie Pflanzenarten existieren. Es ist daher nicht unerheblich, Artenzahl und Biomasse voneinander zu trennen. Im Gegensatz zur Artenzahl beschreibt die Biomasse einerseits die Masse aller lebenden Organismen eines Ökosystems oder Areals. Andererseits beschreibt die Biomasse die organischen Substanzen der Pflanzen, die von photo- oder chemoautotrophen Primärproduzenten aus anorganischen Stoffen synthetisiert werden und über die verschiedenen Trophiestufen weiter gegeben werden.

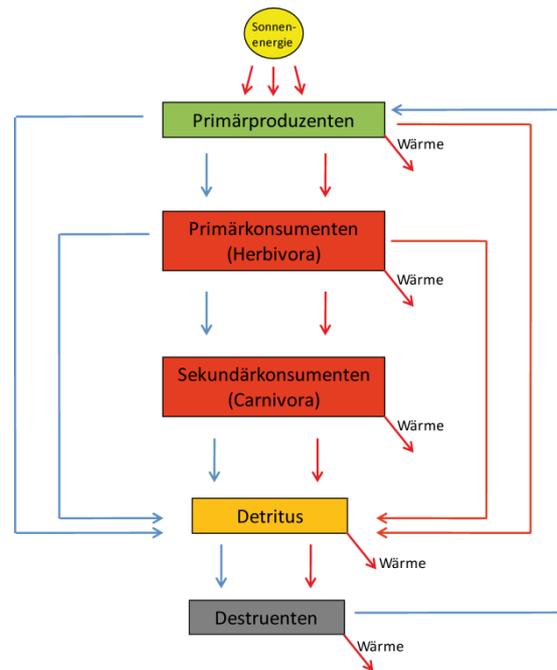


Abbildung 2.1: Allgemeines Schema zu Energieflüssen (rote Linien) und Stoffkreisläufen (blaue Linien) in Ökosystemen. Der Energiefluss beginnt mit der bereitgestellten Sonnenenergie und durchläuft die Nahrungskette bzw. das Nahrungsnetz in Form von chemischer Energie. In jeder Trophiestufe des Ökosystems wird Energie in Form von Wärme abgestrahlt. Die Stoffe werden durch die einzelnen Trophiestufen weitergegeben und werden über den Detritus durch die Destruenten erneut für die Primärproduzenten verfügbar (verändert nach Campbell & Reece, 2006).

## 2.1.2 Räuber-Beute-Prinzip

Stoffkreisläufe, Energiefluss und Trophiestufen (vgl. Abbildung 2.1) sind elementare Voraussetzungen für nahrungsbedingte Wechselwirkungen zwischen Organismen. Ein grundlegendes populationsökologisches Konzept dieser Wechselwirkungen zwischen Organismen in einem Biotop kann über das modellhafte Räuber-Beute-Prinzip dargestellt werden. Da dieses Prinzip unter realen Bedingungen einer oft langfristigen Dynamik unterliegt, diese im Unterricht dementsprechend schwer darstellbar ist, eignet sich für die Vermittlung und des Verständnisses des Räuber-Beute-Prinzips der Einsatz einer Computersimulation.

Das Räuber-Beute-Prinzip spiegelt das Populationswachstum zweier Arten wider, die in nahrungsbedingter Wechselwirkung zu einander stehen. Die Beute ist dabei stets die Nahrung des Räubers in einem Lebensraum. Bei der Räuber-Beute-Wechselwirkung wird theoretisch und in idealisierter Form davon ausgegangen, dass in einen Lebensraum weder Räuber- noch Beuteorganismen zu- oder abwandern und dass dem Räuber nur diese eine Beuteart als Nahrungsquelle zur Verfügung steht. In dieser Vereinfachung, die nur Räuber und dessen Beute berücksichtigt, stellt sich die grundlegende Tendenz heraus, dass deren Abundanzen<sup>3</sup> gekoppelte Oszillationen oder Zyklen im zeitlichen Verlauf zeigen. Steigt die Zahl der Beutetiere in einem Lebensraum, nimmt zeitlich verzögert aufgrund des erhöhten Nahrungsangebotes die Zahl der Räuber zu. Wegen des daraus resultierenden steigenden

<sup>3</sup> Individuenzahl einer Art eines Gebietes.

Nahrungsbedarfs der Räuber nimmt zeitlich verzögert die Zahl der Beutetiere ab (negative Rückkopplung). Der folgende Mangel an Beutetieren als Nahrungsquelle für den Räuber führt zu einer zeitlich versetzten Dezimierung des Räubers, worauf die Zahl der Beutetiere erneut zeitlich versetzt ansteigen wird. Eine hohe Zahl an Beutetieren wirkt sich somit positiv auf das Wachstum der Räuber aus, während eine geringere Zahl an Beutetieren sich negativ auf die Zahl der Räuber auswirkt (vgl. Abbildung 2.2). Je länger dabei die Generationsdauer des Räubers ist, desto später erfolgt dieses beobachtbare Phänomen. Das System zwischen Räuber und Beutetieren gerät in Schwingung, so dass die Populationsdichten wiederkehrenden Schwankungen folgen. Die Zahl beider Arten in zeitlicher Abhängigkeit erfolgt dabei in phasenverschobenen und antizyklischen Verläufen. Es zeigt sich eine grundlegende Tendenz bei den Räubern und den Beutetieren, gekoppelte Abundanz-oszillationen zu durchlaufen. Zusammenfassend reagieren diese Populationszyklen mit zeitlicher Verzögerung der Räuber auf die der Beute und umgekehrt. Eine verzögerte Reaktion bedeutet beispielsweise, dass eine hohe Räuberabundanz eine hohe Beuteabundanz in der Vergangenheit widerspiegelt. Die Artenzahlen schwanken dabei um Mittelwerte, so dass längerfristig ein dynamisches Gleichgewicht durch positive und negative Rückkopplungen als Normalzustand angesehen werden kann (Odum, 1999) und eine Koexistenz beider Arten in einem Lebensraum ermöglicht.

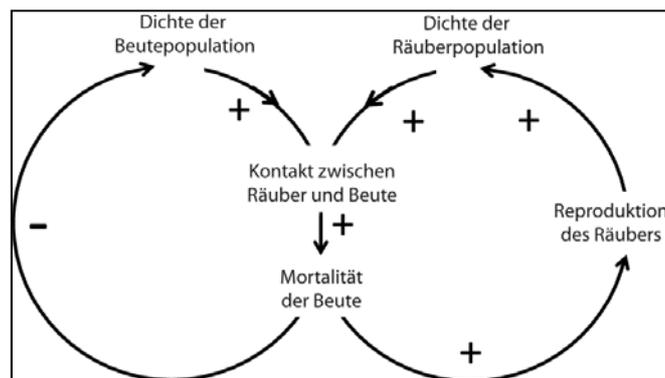


Abbildung 2.2: Zwei-Partner-System. Die numerische Veränderung eines Ausgangsfaktors (z.B. Erhöhung der Räuberpopulation) führt zu einer Veränderung des Folgefaktors (z.B. Verringerung der Beutepopulation). Ein Pfeil mit positivem (negativem) Vorzeichen besagt, dass eine Veränderung des Ausgangsfaktors zu einer gleichsinnigen (gegensinnigen) Veränderung des Folgefaktors führt. Es wird deutlich, dass die Beutepopulation durch den Räuber und die Räuberpopulation über die Beutepopulation reguliert wird (8-förmiger Wirkungskreislauf mit positiver und negativer Rückkoppelung, verändert nach Czihak, Langer & Ziegler (1976)).

### Lotka-Volterra-Gesetze

Das Phänomen der Dynamik zwischen zwei Spezies wurde erstmals 1925 und 1926 unabhängig voneinander von den Mathematikern Alfred James Lotka und Vito Volterra formuliert. Grundlage ihrer Berechnungen waren Aufzeichnungen über einen Zeitraum von 90 Jahren über die Fellzahlen von Luchsen und Schneeschuhhasen in der kanadischen Hudson Bay. Sie erkannten, dass die Zahlen der Felle von Luchsen und Schneeschuhhasen über diesen Zeitraum Schwankungen mit einer Periode von etwa sieben Jahren unterlagen. Es wurden daraufhin mathematische Gesetzmäßigkeiten verfasst, die eine zahlenmäßige

Entwicklung von zwei Populationen unter interspezifischer Konkurrenz über längere Zeiträume beschreiben.

Das *erste Lotka-Volterra-Gesetz* besagt, dass die Zahlen der Populationsdichten von Räuber und Beute unter konstanten Umweltbedingungen periodisch und phasenverschoben schwanken. Die Kurven beider Populationen bilden zeitlich versetzte Maxima, wobei das Maximum der Kurve der Räuberpopulation dem Maximum der Kurve der Beutepopulation nachläuft.

Das *zweite Lotka-Volterra-Gesetz* beschreibt die durchschnittliche Größenkonstanz der Räuber- und Beutepopulation in einer Räuber-Beute-Wechselwirkung über einen längeren Zeitraum unter konstanten Umweltbedingungen.

Das *dritte Lotka-Volterra-Gesetz* trifft eine Aussage über die Individuen der Räuber- und Beutepopulation. Wird die Individuenzahl beider Populationen durch eine Störung für einen begrenzten Zeitraum prozentual gleich reduziert, so erholt sich die Beutepopulation schneller als die Räuberpopulation. Die Zahl der Räuber verringert sich unmittelbar nach der Störung noch durch den Nahrungsmangel. Die Beutepopulation findet nach dieser Störung bei gleichbleibenden Umweltfaktoren optimale Wachstumsbedingungen und kann sich aufgrund der reduzierten Zahl der Räuberpopulation besser vermehren.

Abbildung 2.3 zeigt das Räuber-Beute-Modell nach Lotka-Volterra, in dem deren Gesetzmäßigkeiten schematisch dargestellt werden.

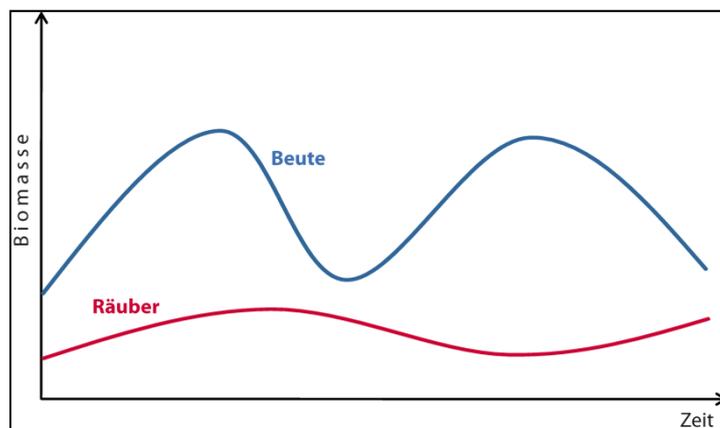


Abbildung 2.3: Das Räuber-Beute-Modell nach Lotka-Volterra in einer stark vereinfachten, zeitlich abhängigen Darstellung. Die Maxima der Kurven von Räuber und Beute verlaufen oszillierend antizyklisch und phasenverschoben. Die Biomasse der Individuen beider Populationen schwankt dabei um jeweils einen Mittelwert über den zeitlichen Verlauf.

## Räuber-Beute-Gleichung

Das Modell nach Lotka-Volterra beschreibt die Grundlage der Räuber-Beute-Gleichungen. Diese bilden ein System aus zwei nicht-linearen, miteinander gekoppelten Differentialgleichungen erster Ordnung und spiegeln die Wechselwirkung von Räuber- und Beutepopulationen in zeitlicher Abhängigkeit wider. Im Folgenden werden die Differentialgleichungen gezeigt, die als Grundlage für das Räuber-Beute-Modell in der Computersimulation gelten. Die Bezeichnungen in den Formeln sind in Tabelle 2.1 wieder gegeben.

$$\frac{dN}{dt} = N(\epsilon_1 - \gamma_1 P), \quad \frac{dP}{dt} = -P(\epsilon_2 - \gamma_2 P)$$

Tabelle 2.1: Bezeichnungen in den Formeln:

$N = N(t)$	Zahl der Beutetiere	zeitabhängig
$\epsilon_1 > 0$	Reproduktionsrate der Beute (Beutewachstumsrate ohne Störung bei großem Nahrungsangebot)	konstant
$P = P(t)$	Anzahl der Räuber	zeitabhängig
$\epsilon_2 > 0$	Sterberate der Räuber ohne Vorhandensein der Beute	konstant
$\gamma_1 > 0$	Fressrate der Räuber pro Beutetier = Sterberate der Beutetiere/Räuber	konstant
$\gamma_2 > 0$	Reproduktionsrate der Räuber pro Beutetier	konstant

## Grenzen des Räuber-Beute-Modells

Die Populationsschwankungen im Räuber-Beute-Modell, die den Gesetzen von Lotka und Volterra exakt entsprechen, sind unter realen, natürlichen Gegebenheiten selten beobachtbar. Bei den Lotka-Volterra-Gesetzen werden reale und multifaktorielle biotische und abiotische Umweltfaktoren vernachlässigt (vgl. Räuber-Beute-Gleichung). Das Modell berücksichtigt beispielsweise keine saisonalen abiotischen Umwelteinflüsse, welche die Größe der Populationen verändern kann. Innerartliche Einflussfaktoren, wie z.B. dichteabhängiger Stress, der sich regulatorisch auf das Populationswachstum auswirken kann, wird ebenfalls außer Acht gelassen. Die Einwirkungen anderer Arten werden in das Modell nicht mit einbezogen. In den seltensten Fällen existiert unter natürlichen Bedingungen ein Zwei-Partner-System zwischen Räuber und Beute, da sich der Räuber von unterschiedlichen Beutetierarten ernährt. Das Modell berücksichtigt darüber hinaus nicht die Biotoptragfähigkeit<sup>4</sup>. Die unter realen Bedingungen begrenzte Biotoptragfähigkeit ist ein Faktor, der ein unendliches Wachstum der Beute in Abwesenheit des Räubers verhindert. Zahlreiche Ökologen erfassen die Wechselwirkungen der Organismen innerhalb der Grenzen des Ökosystems als relevante Ursache für die Dynamik der Biozönose. Knight et al. (2005) zeigen empirisch eine ökosystemübergreifende Wirkung von ökologischen Beziehungen

<sup>4</sup> Biotoptragfähigkeit, auch Lebensraumkapazität genannt, bezeichnet die Höchstzahl der Individuen einer Population, die in einem bestimmten Biotop leben kann. Sie ergibt sich aus dem verfügbaren Angebot an Nahrung und lebensnotwendigen Biotopstrukturen, die für die jeweilige Art zum Überleben relevant sind.

anhand des Lebenszyklusses von Libellen. Damit verdeutlichen sie einen grenzübergreifenden Zusammenhang zwischen aneinandergrenzenden Ökosystemen und zeigen, dass Ökosysteme keine natürlichen Grenzen besitzen. Dieses komplexe Konstrukt lässt sich mit einer Räuber-Beute-Modellierung schwer realisieren. Das modellhafte Räuber-Beute-Prinzip lässt sich für den Biologieunterricht mit Hilfe einer Computersimulation daher nur in vereinfachter Form darstellen. Es können in der Computersimulation meist nur die für das Prinzip relevantesten ausgewählten Parameter berücksichtigt werden. Die ausgewählten Parameter der Computersimulation für diese Studie werden im Abschnitt 3.6.1 näher beschrieben.

### 2.1.3 Das Ökosystem See

Der gewässerökologische Rahmen der Untersuchung wurde anhand des Beispiels eines idealisierten, mitteleuropäischen Sees gewählt. Der in dieser Arbeit verwendete Seebegriff wird verstanden als „ein Binnengewässer, das eine Ansammlung von Wasser in einer Bodenvertiefung einer Landfläche mit oder ohne Zu- und Abfluss durch Fließgewässer darstellt und keine Verbindung zum Weltmeer hat.“

Aufgrund der unterschiedlichen Biotope und der charakteristischen Biozönosen wird das Ökosystem See in verschiedene Zonen eingeteilt (vgl. Abbildung 2.4), von denen ausgewählte Bereiche in der Lernumgebung (vgl. Abschnitt 3.6.1) inhaltlich thematisiert werden. Als *Eulitoral* wird die meist seichte Randzone eines Sees bezeichnet. Im Bereich des *Eulitorals* befindet sich bei ökologisch intakten Seen häufig der Schilfgürtel. Dem Schilfgürtel folgt seewärts oftmals eine Zone mit Schwimmpflanzen wie See- oder Teichrose. Die tiefere Zone zeichnet sich vielfach durch einen starken Bewuchs an Unterwasserpflanzen aus und wird als *Infralitoral* bezeichnet. Der Lebensraum mit zunehmender Wassertiefe vom *Eulitoral* bis zum *Profundal* wird als *Benthal* bezeichnet. Dem *Benthal* gegenüber steht das *Pelagial* als Lebensraum des freien Wassers mit dem Plankton und dem Nekton, das aus pflanzlichen und tierischen Organismen besteht. Zum Plankton zählen u.a. Algen, Prokaryonten und Eukaryonten. Das Nekton umfasst aktiv schwimmende Organismen, wozu in Mitteleuropa insbesondere Knochenfische (*Osteichthyes*) zählen. Ein Großteil der Knochenfische ist eher dem *Benthal* zuzurechnen, da diese Fische die offenen Seewasserbereiche offenbar meiden. Der Bereich des *Benthals* des idealisierten Sees in der Lernumgebung ist überwiegend der Bereich, in dem sich die computersimulierte Räuber-Beute-Wechselwirkung vollzieht. Als Beispielorganismen für das computersimulierte Räuber-Beute-Prinzip wurden die in Mitteleuropa einheimischen Fischarten Hecht (*Esox lucius*) als Räuberorganismus und Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*) als Beuteorganismus gewählt. *Pelagial* und *Benthal* sind nicht scharf gegeneinander abgegrenzt; der Übergang ist fließend und sie sind funktionell eng miteinander vernetzt. Gemäß einer floristischen Zonierung treten tierische Organismen ebenfalls zoniert in einem See auf.

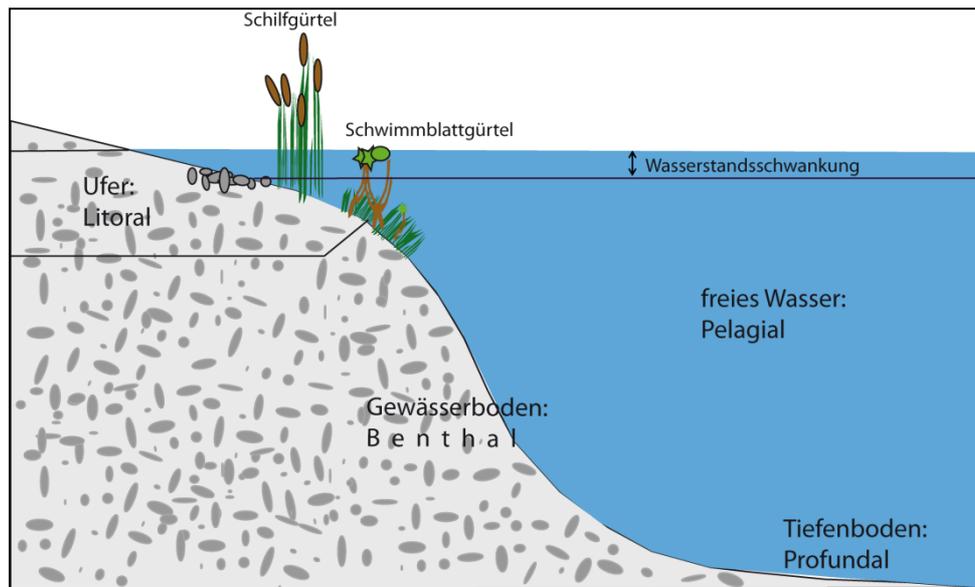


Abbildung 2.4: Schematische Darstellung einer Zonierung eines mitteleuropäischen Sees.

### Zusammenfassung

Für die Darstellung und Vermittlung eines komplexen und dynamischen, ökologischen Sachverhaltes im Biologieunterricht, wie z.B. das Räuber-Beute-Prinzip, eignet sich der Einsatz einer Computersimulation. Mit Hilfe einer entsprechenden Computer-simulation lassen sich beispielsweise Veränderungen des Populationswachstums der in nahrungsbedingter Abhängigkeit stehenden Organismen Hecht und Rotfeder im Ökosystem See simuliert darstellen.

## 2.2 Biologiedidaktische Aspekte

### 2.2.1 Didaktische Überlegungen zum Räuber-Beute-Modell

Das Prinzip einer „Räuber-Beute-Wechselbeziehung“ lässt sich im Biologieunterricht praktisch kaum experimentell erarbeiten. Populationsbiologische Beobachtungen, wie beispielsweise Populationswachstum, die Wechselwirkungen zwischen Organismen oder Folgen von Veränderungen durch anthropogene Einflüsse, nehmen meist lange Zeiträume in Anspruch und lassen sich daher im Biologieunterricht nur schwer oder gar nicht realisieren. Das Verständnis über populationsdynamische Zusammenhänge erfordert zudem von den Lernenden ein erhöhtes Abstraktionsvermögen, da Populationsschwankungen im Unterricht nicht am Original verdeutlicht werden können, sondern auf andere und idealisierte Darstellungsformen, wie z.B. Diagramme als Informationsmittel zurückgegriffen werden muss. Das Zusammenspiel verschiedener ökologischer Einflussfaktoren, wie beispielsweise Populationsdichte, Biotoptragfähigkeit oder Konkurrenz, bedingt hohe Anforderungen an das Verständnis der Lernenden sowie deren Vermittlung durch das Lehrpersonal. Das Räuber-Beute-Modell ermöglicht eine abstrakte Darstellung von Wechselbeziehungen zwischen Organismen. Anhand des Modells können ökologische Begriffe, Zusammenhänge und das System beeinflussende Faktoren für die Lernenden eingeführt und anhand der Durchführung von computersimulierten Experimenten verdeutlicht werden.

Je nach Darstellungsform eignet sich das Modell zur Vermittlung von Kompetenzen, die Eingang in die Bildungsstandards gefunden haben (KMK, 2005). Für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung eignet sich beispielsweise die Nutzung des Modells in der Darstellungsform eines Diagramms, das es erlaubt, Daten zu analysieren und zu interpretieren. Der Einsatz einer thematisch angemessenen Computersimulation ermöglicht die Durchführung von Experimenten und kann zu einer Verbesserung des Verständnisses naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen beitragen. Das Erkennen von Auswirkungen bestimmter Ökosystem beeinflussender Faktoren kann an einem ausgewählten Modellbeispiel zur Räuber-Beute-Wechselwirkung erarbeitet werden und ermöglicht die Anwendung auf ähnliche Kontexte. Beispielsweise können mögliche Auswirkungen von Eingriffen in Ökosysteme durch Maßnahmen der „Schädlingsbekämpfung“ übertragen, erarbeitet und bewertet werden. Das computersimulierte Experiment stellt einen von mehreren systematischen Schritten eines naturwissenschaftlichen Wegs zur Erkenntnisgewinnung dar (vgl. Puthz, 1988). Ziel eines computersimulierten Experiments ist es, kausale Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Elementen eines Systems empirisch und gezielt zu untersuchen. Die Computersimulation stellt dabei in generalisierter Form die Eigenschaften der realen Gegebenheit dar, die für die Beantwortung einer Fragestellung als relevant erachtet werden. Aus didaktischer Sicht kann mittels eines Modells im naturwissenschaftlichen Unterricht besonders der Erkenntnisprozess unterstützt werden, wenn komplexe Systeme, die häufig Bestandteil ökologischer Themen sind, veranschaulicht werden sollen (vgl. KMK, 2005).

Das Modell eines Räuber-Beute-Prinzips eignet sich auch für eine Sensibilisierung der Lernenden hinsichtlich der Störanfälligkeit von Ökosystemen. Ökosysteme sind meist

komplex strukturiert, so dass Folgen einer Beeinflussung des Systems meist schlecht abschätzbar sind. Mit Hilfe des Räuber-Beute-Modells können Szenarien geschaffen werden, deren Ursache-Wirkungsprinzipien die Lernenden zum vernetzten und im systemischen Denken anregen können. Systemisch denken zu können wird mittlerweile als Voraussetzung gesehen um ein besseres Verständnis über komplexe biologische Inhalte zu erhalten und zählt deshalb auch zu den Schlüsselqualifikationen nachhaltiger Entwicklung (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK), 1999). Ein verbessertes Systemverständnis erfordert das Erkennen und das Bewerten von Wechselbeziehungen der beteiligten Systemkomponenten. Ein Ziel im Umgang mit dem Modell ist es daher, die Auswirkungen auf das Ökosystem durch externe Veränderungen erkennen sowie sinnvoll und nachhaltig beurteilen zu können. In den Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Bildungsabschluss wird in diesem Zusammenhang auch auf das Basiskonzept „System“ verwiesen (KMK, 2005).

### **Lehrplanbezug**

Aus der Formulierung der Aufgaben und Ziele in den Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2005) sind für die achte Jahrgangsstufe hinsichtlich des Themengebietes Ökologie die folgenden Themen in den Lehrplänen vorgesehen: Beispielsweise Lehrplan Berlin-Brandenburg, S. 24: Einheimische Lebewesen und ihre Wechselbeziehungen; Lehrplan Realschule Schleswig-Holstein, S. 56: Lebensräume und Lebensgemeinschaften - Wechselbeziehungen, Gefährdung und Schutz; Lehrplan Bremen, S. 60: Zusammenhänge im Ökosystem; Lehrplan Bayern: Abiotische Faktoren eines Lebensraumes, begrenzende Einflüsse auf die Zahl der Tiere einer Art, die gegenseitige Abhängigkeit von Produzenten, Konsumenten und Destruenten, Schutzmaßnahmen für Gewässer, S. 331. In den genannten Lehrplänen finden sich keine Angaben darüber, welche Lebensräume, Lebensgemeinschaften und Wechselbeziehungen zwischen welchen Organismen thematisiert werden sollen. Aufgrund dieser Freiheitsgrade wurde die bereits oben genannte Befragung unter Biologielehrern durchgeführt, deren Ergebnis maßgeblich zur Auswahl des gewässerökologischen Themas als Grundlage für die Studie beigetragen hat.

### **2.2.2 Adaptation des Räuber-Beute-Modells für die Computersimulation**

Für eine jahrgangsstufenadäquate Vermittlung eines Verständnisses des Räuber-Beute-Prinzips in der Studie dieser Arbeit wurden die Inhalte des Computerprogramms und der Computersimulation didaktisch reduziert. Es wurden Grenzen des Räuber-Beute-Modells (vgl. im Abschnitt 2.1.2 „Grenzen des Räuber-Beute-Modells“) und der fachbiologische Inhalt für Lernende der achten Realschulklasse entsprechend berücksichtigt und adaptiert. Die Computersimulation beschränkt sich zugunsten eines leichteren Verständnisses des Räuber-Beute-Prinzips daher beispielsweise auf dessen Darstellung in Form eines Zwei-Arten-Modells.

Aufgrund der Komplexität des Räuber-Beute-Modells wurden des Weiteren relevante Begriffe für die achte Jahrgangsstufe in der Computersimulation didaktisch reduziert (vgl. Kattmann et al., 1997). Da beispielsweise in Biologiebüchern für die achte Jahrgangsstufe der

Begriff „Biomasse“ noch nicht verwendet wird, entfällt die Verwendung dieses Begriffs. Zugunsten eines leichteren Verständnisses für die Lernenden wird der Begriff „Anzahl“ (der jeweiligen Art) im Modell verwendet. Ebenso wird auf den Begriff „Abundanz“ bzw. „Abundanzschwankung“ verzichtet, da diese Begriffe in den klassenstufen entsprechenden Schulbüchern nicht verwendet werden. Die „Sterberate“ bzw. „Mortalität“, die im Lotka-Volterra-Modell eine Variable bildet, bezeichnet die auf die Gesamtzahl der Individuen einer Population bezogene Zahl an Todesfällen in einem bestimmten Zeitraum. Der Begriff „Sterberate“ wird durch den für die Zielgruppe weniger kompliziert erscheinenden Begriff „Sterblichkeit“ ersetzt. Die „Reproduktionsrate“ oder auch „Zuwachsrate“ einer Population beschreibt die Differenz zwischen Anzahl der Nachkommen und Todesfällen in einer Population in einem bestimmten Zeitraum. Der Begriff „Zuwachsrate“ wird aufgrund einer besseren Verständlichkeit für die Zielgruppe in „Zuwachs“ geändert.

Um einen Erkenntnisgewinn über das Räuber-Beute-Prinzip mittels computersimulierter Experimente ermöglichen zu können, wurden für die Computersimulation veränderbare Parameter entwickelt, denen entsprechende Begriffe zugeordnet wurden. Es wurden die „Lebensraumkapazität“, „Konstanz des Lebensraumes“, „Startzahl der Rotfedern“ und die „Sterblichkeit der Hechte“ in die Computersimulation integriert, deren Bedeutung im Abschnitt 3.6.1 erklärt werden.

Der in dieser Arbeit verwendete Begriff „Räuber“ (engl. *predator*) ist als wertfrei zu betrachten, da ein Räuber entgegen oft weit verbreiteter Alltagsvorstellungen keineswegs als groß, aggressiv oder sofort tödlich (vgl. Townsend, Harper & Begon, 2003) zu bezeichnen ist. Häufig wird daher der als oft wertend aufgefasste Begriff Räuber durch den neutraleren Terminus Beutegreifer bzw. die Räuber-Beute-Wechselwirkung<sup>5</sup> durch Beutegreifer-Beute-Wechselwirkung, ersetzt. Von dieser Terminologie abweichend wird häufig in der Forschung, der gegenwärtigen Fachliteratur und in aktuellen, relevanten Schulbüchern z.B. (Bayhuber & Kull, 2005; Bergau et al., 2005; Campbell & Reece, 2006; Paul, 2004; Süßen, 2001) der Begriff Räuber-Beute-Beziehung oder Räuber-Beute-Wechselwirkung weiterhin verwendet. Aus diesem Grund werden die Begriffe Räuber, Beute und Räuber-Beute-Wechselwirkung beibehalten und finden in dieser Arbeit und der Computersimulation Gebrauch.

Für die Entwicklung der Computersimulation zur Darstellung des Räuber-Beute-Prinzips wurden Beispielorganismen ausgewählt, die folgende Kriterien erfüllen:

- Die Beispielorganismen sind in Mitteleuropa einheimisch.
- Beide Organismen besitzen innerhalb eines Gewässers ihr natürliches Habitat.
- Beide Organismen besitzen ähnliche Standortansprüche.
- Beide Organismen bilden in der Realität eine Räuber-Beute-Beziehung.
- Das Beutetier ernährt sich nicht räuberisch von anderen, dem Räuber als Hauptnahrungsquelle dienenden Tierarten.

---

<sup>5</sup> Die Begriffe Räuber-Beute-Beziehung und Räuber-Beute-System werden häufig synonym verwendet. Da es sich bei diesem Räuber-Beute-System um ein Modell handelt, wird darüber hinaus der Begriff Räuber-Beute-Modell äquivalent verwendet.

Die Fischarten „Hecht“ und „Rotfeder“ erfüllen diese Kriterien und wurden daher als Modellorganismen zur Darstellung des Räuber-Beute-Prinzips für die Computersimulation ausgewählt. Da in der Literatur die Räuber-Beute-Wechselwirkung zwischen Hecht und Rotfeder unter isolierten Bedingungen über einen Zeitraum von mehreren Jahren nicht beschrieben ist bzw. untersucht wurde, wird der Datensatz durch die Computersimulation mathematisch in idealisierter Form durch die Lotka-Volterra-Gleichungen dargestellt. Um die Entwicklungszeiträume der dynamischen Beziehung der beiden Fischarten annähernd realistisch zu modellieren, wurde die zeitliche Einheit „Monate“ als unabhängige Variable auf der Abszisse gewählt. Als abhängige Variable wird auf der Ordinate die Zahl der Individuen in Abständen zu je 100 in absoluten Zahlen aufgetragen (vgl. Abschnitt 3.6.1).

## 2.3 Computersimulationen im Biologieunterricht

Durch computersimulierte Eingriffe in Ökosysteme können Szenarien geschaffen werden, um mögliche Folgen von beeinflussenden Faktoren zu verdeutlichen und verständlich zu vermitteln. Auf einen Computereinsatz mit entsprechenden Programmen und dessen Vor- und Nachteile im Hinblick auf die Vermittlung von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten im Unterricht wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

Computersimulationen gelten unter den computergestützten Lernprogrammen, wie z.B. Drill-and-Practice-Programme oder Animationen, als technisch anspruchsvollste Variante (Krützer & Blömeke, 2003). Eine Computersimulation ist definiert als „ein Programm, das einen Prozess oder ein natürliches oder künstliches System mit deren bestimmenden Parametern nachbildet und dem Lernenden ein gefahrloses Experimentieren und Simulieren in einer artifiziellen Lernumgebung erlaubt“ (Urhahne et al., 2000). Eine Computersimulation gilt daher als eine dynamische, modellhafte Nachbildung realer Gegebenheiten (Pfligersdorffer, 2006), in denen der Lernende in kontrollierten Umgebungen virtuell experimentieren kann, um das zugrunde liegende mathematische Modell der Simulation besser verstehen zu können (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998; van der Meij, 2007). Im Vergleich zu einer einfachen Animation kann der Lernende in einer Computersimulation aktiv in das simulierte Szenario eingreifen, indem er vorgegebene Parameter nach eigenen Vorstellungen verändert und in der Folge direkte Rückmeldungen des Systems über die Ergebnisse seines Handelns erhält (vgl. Abbildung 2.5). Dabei bestimmt das zugrunde liegende mathematische Modell, wie die Computersimulation auf die Parameterveränderungen des Lernenden reagiert (Rieber, 2005).

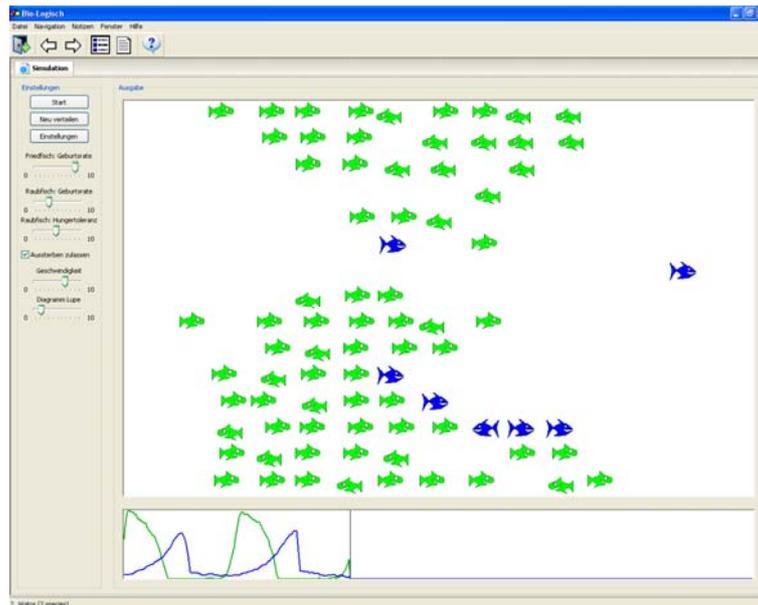


Abbildung 2.5: Bildschirmansicht der Computersimulation im Computerprogramm *SimBioSee* während der Entwicklungsphase zur Räuber-Beute-Wechselwirkung zwischen zwei Fischarten. Durch die Veränderung vorgegebener Parameter mittels der untereinander angeordneten Schieberegler im linken Bildschirmbereich kann die Anzahl der Fische im rechten Simulationsbild sichtbar verändert werden. In der rechten, unteren Bildschirmansicht sind die Veränderungen entsprechend als Kurven sichtbar.

### 2.3.1 Vorteile des Lernens mit Computersimulationen

Besonders im naturwissenschaftlichen Unterricht bietet der Einsatz von Computersimulationen zahlreiche Vorteile. Computersimulationen eröffnen Zugang zu Themenbereichen, die anderweitig im Unterricht oft schwierig vermittelbar sind. Sie ermöglichen den Lernenden Zugang zur Durchführung von simulierten Experimenten, die aus Kosten- und Sicherheitsgründen, aus ethisch-moralischen Aspekten nicht vertretbar oder der Größe des darzustellenden Sachverhaltes für Schulexperimente sowie aus Zeitgründen schwierig darstellbar sind (vgl. Breuer & Kummer, 1990). Für die Praxis des Schulunterrichts sind diese Aspekte von besonderer Bedeutung. So können beispielsweise populationsdynamische Entwicklungen wie Räuber-Beute-Wechselwirkungen, zeitverkürzt durch die Anwendung mathematischer Modelle computersimuliert dargestellt werden. Nicht selten erfolgt die Simulation solcher Modelle in abstrakter Form, wie z.B. mit Hilfe von Diagrammen oder der Veränderung von Messwerten. Als ein weiteres Beispiel für das Lernen mit Computersimulationen sei die Durchführung gentechnischer Experimente genannt, die sich mit Hilfe von computersimulierten Experimenten im Schulunterricht realisieren lassen. Aus sicherheitsrechtlichen Gründen dürfen solche biotechnischen Verfahren gegenwärtig im Schulunterricht nicht durchgeführt werden. Computergestütztes Lernen mit Hilfe von Computersimulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht kann somit der besseren Veranschaulichung zahlreicher Konzepte und Prinzipien, der Entwicklung und der Anwendung von Modellen sowie der Erfassung und Auswertung von Messwerten dienen. Breuer und Kummer (1990) weisen auf weitere Eigenschaften von Computersimulationen hin. Computersimulationen ermöglichen es den Lernenden bereits bestehendes Vorwissen und gelernte Regeln und Konzepte in einer realitätsnahen Lernumgebung anzuwenden. Dadurch

wird die Anwendbarkeit des erworbenen Wissens verbessert und ein Wissenstransfer gefördert. In diesem Zusammenhang weisen Gräsel et al. (1997) auf die Problematik des „trägen Wissens“ hin, das auftritt, wenn Lernende ihr theoretisch verfügbares Wissen zur Lösung praktischer Probleme nicht anwenden können. Auf der Grundlage konstruktivistischer Lerntheorien (Jonassen et al., 1998) fordern daher Gräsel et al. (1997), Wissen in möglichst realitätsnahen Lernkontexten zu vermitteln. Computersimulierte Systeme mit deren bestimmenden Parametern können diesen authentischen Rahmen für einen Wissenserwerb bieten. Beim Lernen mit Computersimulationen wird dabei mehr auf die Vermittlung von anwendbarem Wissen (Mandl, Gruber & Renkl, 1993) fokussiert und weniger auf die Vermittlung von reinen Fakten und objektivierten Lernzielen. Hinsichtlich einer weniger ausgeprägten Vermittlung von Faktenwissen durch eine Computersimulation erbrachte eine umfangreiche Untersuchung zum Computersimulationsprogramm STELLA (Korfiatis, Papatheodorou & Stamou, 1999). Die Studienergebnisse zeigen zwar eine erhebliche Verbesserung des mathematischen Verständnisses über das Populationswachstum, aber nur geringe Effekte in der Aneignung von Faktenwissen. Das Verständnis biologischer Aspekte zur Populationsdynamik war zudem nach dem Einsatz der Computersimulation im Unterricht geringer als zuvor. Der Grund dafür wird in der geringen Vermittlung von biologischem Faktenwissen durch das Simulationsprogramm gesehen.

Das Lernen mit Computersimulationen erfüllt die Anforderungen gemäßigt konstruktivistischer Lerntheorien (vgl. Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001) nach einem selbständigen, aktiven und konstruktiven Wissenserwerb (Gräsel et al., 1997) und stellt die aktive Wissenskonstruktion in den Vordergrund anstelle einer rein passiven Weitergabe von Wissen vom Medium Computer auf den Lernenden. Es wird davon ausgegangen, dass Lernen mit entdeckenden Lernumgebungen zu einem Tiefenverständnis der gegebenen Thematik führt, weil die Lernenden die wissenschaftliche Domäne in einem aktiven, konstruktiven und authentischen Rahmen bearbeiten (vgl. Manlove, Lazonder & de Jong, 2006). Durch das aktive und konstruktive Befassen und das Lösen von komplexen und dynamischen Problemstellungen mit Hilfe von computersimulierten Experimenten verbessern Lernende nicht nur ihr inhaltliches, sondern auch ihr prozedurales Wissen (Tennyson & Breuer, 2002). Im Hinblick auf das inhaltliche Wissen kann mehrfaches Lernen mit Computersimulationen das Verständnis über die gegebene Thematik verbessern. White und Frederiksen (1998, 2000) belegen durch Studienergebnisse effektive konzeptuelle Wissensveränderungen durch wiederholtes Lernen mit Computersimulationen.

Die Durchführung computersimulierter Experimente unter gemäßigt konstruktivistischen Aspekten ermöglicht es Lernenden, sich selbstständig und aktiv naturwissenschaftliche Prinzipien, Konzepte, Gesetzmäßigkeiten und Begriffe zu erarbeiten. Diese oft an einer Problemorientierung ausgerichtete Wissenskonstruktion entspricht hinsichtlich des Lernens mit einer Computersimulation dem „entdeckenden Lernen“ (*discovery learning*) (Hammer, 1997). Durch den erkenntnisgewinnenden Prozess des entdeckenden Lernens können mit Hilfe des Entwerfens und der Durchführung naturwissenschaftlicher Experimente bestimmte Probleme in einer Wissensdomäne gelöst werden (Reid, Zhang & Chen, 2003) um zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Dieses wissenschaftliche Entdecken kann als ein Prozess einer aufmerksamen Koordinierung zwischen aufgestellten Hypothesen und den bestätigenden oder zu verwerfenden Simulationsergebnissen gedeutet werden (vgl. Klahr & Dunbar, 1988).

Das Lernen mit entdeckenden Lernumgebungen, zu denen beispielsweise zahlreiche Computersimulationen zählen, unterscheidet sich von der Wissensaneignung durch rein erklärende Umgebungen (Swaak & de Jong, 1996). Entdeckende Lernumgebungen besitzen im Vergleich zu einigen anderen Lernmedien verschiedene, für entdeckendes Lernen jedoch unabdingbare, generelle Eigenschaften (Swaak & de Jong, 2001). Entdeckende Lernumgebungen sollten, abgesehen von der Darstellung, zahlreiche domänenspezifische Inhalte aufweisen, die der Lernende dem Programm entnehmen kann. Des Weiteren unterscheidet sich eine entdeckende Lernumgebung von anderen Lernmedien, wie beispielsweise Textbüchern oder Hypertexten, hinsichtlich der dargestellten inhaltlichen Transparenz. Transparenz beschreibt in diesem Zusammenhang die Art der Darstellung der thematischen Inhalte. In Textbüchern wird der Lernende direkt mit thematischen Inhalten konfrontiert. Er erhält somit einen direkten Blick auf alle notwendigen Informationen. In entdeckenden Lernumgebungen wird dem Lernenden dieser direkte Blick an vielen Stellen verwehrt. Die Auswirkung auf ein Ergebnis durch die Veränderungen bestimmter Parameter sowie die Relationen der Variablen untereinander werden in entdeckenden Lernumgebungen nicht explizit beschrieben. Einhergehend ist der Lernende gefordert, sich aktiv mit der entdeckenden Lernumgebung auseinander zu setzen. Die Lernenden sind im Vergleich zu anderen Medien keine passiven Wissensrezipienten, sondern befinden sich in der Position, durch computersimuliertes Experimentieren aktiv am wissenschaftlichen Erkenntnisprozess teilzunehmen.

Hinsichtlich des Lernprozesses sollten sich Lernende idealerweise selbständig Lernziele setzen und Entscheidungen treffen, um die Ziele erreichen zu können. In Hinblick auf den Erkenntnisprozess sollten Lernende in der Lage sein, überprüfbare Hypothesen auf zu stellen und sinnvolle Experimente durch zu führen (vgl. White & Frederiksen, 1998). Eine Leitlinie zur Vorgehensweise beim naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn bietet der Forschungszirkel „*Inquiry Cycle*“ nach White und Frederiksen (1998, 2005). Durch die Anwendung des *Inquiry Cycle* zum Erkenntnisgewinn mit Hilfe von Computersimulationen erhalten Lernende einen tiefen Einblick in naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, die langfristig auch zur Aneignung entsprechenden prozeduralen Wissens führen kann (White & Frederiksen, 1998).

Computersimulationen werden von Lernenden mit Eigenschaften in Verbindung gebracht, die einer Erhöhung der Lernmotivation dienen. In diesem Zusammenhang werden als wichtigste Eigenschaften Interaktivität und eine auszuübende Kontrolle über die Lernumgebung genannt (Lindström, Marton & Ottoson, 1993; Strzebkowski & Kleeberg, 2002; Swaak & de Jong, 1996; Winn, 2002). Im Gegensatz zu Standbildern oder zu einfachen Animationen bieten Computersimulationen ein besonders hohes Maß an Interaktivität<sup>6</sup> (Strzebkowski, 1997), indem Lernende mit der Computersimulation in wechselseitiger Aktion und Reaktion stehen (Haack, 1997). Computersimulationen bieten Lernenden die Möglichkeit, aktiv in das simulierte Szenario einzugreifen. Lernende können Parameter nach eigenen Vorstellungen verändern und erhalten direkte Rückmeldungen über die Ergebnisse ihres Handelns. Es wird

---

<sup>6</sup> Interaktivität bezeichnet hier Eigenschaften des Computerprogramms, die dem Anwender diverse Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten bieten.

diskutiert, dass sich der Erhalt von Rückmeldungen beim computergestützten Lernen direkt oder indirekt auf die Erhöhung der Lernmotivation und positiv auf einen Wissenszuwachs auswirkt (Azevedo & Bernard, 1995). Ein weiterer motivationaler Vorteil des Lernens mit Computersimulationen besteht in der Ausübung von Kontrolle über das Lernprogramm (Winn, 2002). Lernende sind intrinsisch motiviert, ihre Lernumwelt zu kontrollieren (Lepper, 1988). Computersimulationen mit ihren komplexen Strukturen fordern Lernende zur Beherrschung der Lernumgebung heraus (Malone & Lepper, 1987). Es wird angenommen, dass Möglichkeiten zur Kontrolle der computergestützten Lernumgebung sich positiv auf einen Wissenserwerb auswirken (Kinzie, Sullivan & Berdel, 1992). Computersimulationen bieten mit den Möglichkeiten zur Interaktivität und der Kontrolle über die Lernumgebung lernförderliche Anreize, die andere Computerlernprogramme nicht bieten.

Wie in allen konstruktivistisch geprägten Lernumgebungen ist davon auszugehen, dass auch beim Lernen mit Computersimulationen eine Individualisierung des Lernprozesses stattfindet, indem der Lernende seine Lernziele selbst definieren (Chen, 2009) und sein Lerntempo sowie seine Lernzeit selbst einteilen kann. Im Sinne konstruktivistischer Lehr-Lerntheorien (vgl. Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001) und einer Individualisierung des Wissenserwerbs (Weidenmann, 1993) im Rahmen des computergestützten Lernens bietet die Methode des entdeckenden Lernens somit ein hohes Maß zum selbstregulierten Lernen.

### **Zusammenfassung**

Computersimulationen ermöglichen Lernenden Vorteile im Zugang zu Experimenten, die im Biologieunterricht oftmals schwer durchführbar sind. Das entdeckende Lernen mit Computersimulationen ermöglicht es Lernenden selbstreguliert, aktiv und konstruktiv naturwissenschaftliche Prinzipien, Konzepte, Gesetzmäßigkeiten und Begriffe anhand der Durchführung wissenschaftlicher Experimente mit Hilfe einer Computersimulation zu erarbeiten. Computersimulationen bieten motivationale Vorteile, die sich positiv auf einen Wissenserwerb auswirken können.

Neben den genannten Vorteilen des Lernens mit Computersimulationen konnten in empirischen Forschungsarbeiten Probleme identifiziert werden, die das Lernen und einen Wissenserwerb mit Computersimulationen einschränken. Diese Probleme werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

### **2.3.2 Probleme des Lernens mit Computersimulationen**

Generell gewinnt der Computer als Lehr- und Lernmedium seit dem vergangenen Jahrzehnt zunehmend an Aufmerksamkeit in deutschen Schulen (Krützer & Probst, 2006). Mit Hilfe von entsprechenden computergestützten Lernprogrammen wie Computersimulationen, können Lernenden neue Perspektiven zur Erkenntnisgewinnung ermöglicht werden. Obwohl sich der Einsatz des Computers in den letzten Jahren im Unterricht etabliert hat, wird der Umgang mit dem Computer im Schulunterricht jedoch noch zu selten geübt. Die Kompetenz im Umgang mit dem Computer wird von den Lernenden meist im außerschulischen Bereich angeeignet (Wirth & Klieme, 2003). Lernende, die diese Möglichkeit nicht haben, können im

Umgang mit dem Computer, einer Computersimulation und somit der Aneignung von Wissen benachteiligt werden.

Interaktive Lernumgebungen wie z.B. Computersimulationen, in die Lernende aktiv durch Parameterveränderung eingreifen können, stellen an den Lernenden höhere metakognitive Regulationsanforderungen im Hinblick auf das Lernen, als wenn dem Lernenden das Lernmaterial passiv, z.B. über Texte, zugänglich ist (Wirth & Leutner, 2006). Beim Lernen mit einer entdeckenden Lernumgebung, wie einer Computersimulation, müssen im Vergleich zu rein textlicher Information die Informationen und Zusammenhänge meist komplexer naturwissenschaftlicher Themenbereiche und Inhalte selbständig erarbeitet werden. Diese Themenbereiche besitzen meist zahlreiche Charakteristika, die ein Verständnis erschweren (Hmelo, Holton & Kolodner, 2000). Neben dem Auswählen für das Themengebiet relevanter Informationen und deren Integration in die individuelle Wissensstruktur müssen diese Informationen in interaktiven Lernumgebungen wie beispielsweise Computersimulationen zunächst erkannt bzw. entdeckt werden (Wirth, 2004). Zusätzlich müssen Lernende multiple Repräsentationen, wie beispielsweise Texte, Diagramme, Formeln, Strukturmodelle oder Animationen in ihre individuelle Wissensstruktur integrieren, um ein grundlegendes konzeptuelles Verständnis über den Themenbereich zu erlangen. Weiterhin müssen Lernende diese Repräsentationen für Begründungen, Problemlösen und das Ziehen von Schlussfolgerungen sinnvoll nutzen können.

Des Weiteren offenbaren empirische Befunde einige Probleme beim Lernen mit Computersimulationen, die Lernende auf kognitiver und metakognitiver Ebene zeigen (de Jong et al., 1998; Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Manlove, Lazonder & de Jong, 2006). Nicht selten versuchen Lernende bestimmte Simulationszustände herzustellen, indem sie sich selbst nur mit Zuständen innerhalb des simulierten Geschehens befassen, die ihnen bereits vertraut sind und die sie verstehen (Eysink, Dijkstra & Kuper, 2002). Ein weiteres bekanntes Phänomen, das beim Lernen mit Computersimulationen Anwendung findet und zu Problemen bei der Evaluation der Simulationsergebnisse führt, ist die Verwendung eines Ingenieuransatzes (Schauble et al., 1995). Lernende versuchen dabei, einen bestimmten Zustand in der Computersimulation herzustellen, anstatt Hypothesen zu testen.

De Jong und van Joolingen (1998) beschreiben vier Problembereiche des entdeckenden Lernens mit Computersimulationen, die für wissenschaftliches Lernen und Verständnis von großer Relevanz sind. Neben dem (1) Aufstellen überprüfbarer Hypothesen und der (2) Gestaltung sinnvoller Experimente wurden die (3) Dateninterpretation und die (4) Selbstregulation des Lernens mit Computersimulationen als Problembereiche identifiziert und werden im Folgenden näher dargestellt. Zur besseren Übersicht werden die vier Problembereiche gemäß ihrer Prozessinhalte im Folgenden kategorisiert. Zunächst werden die vier bekannten Problembereiche kurz dargestellt. Da im Fokus dieser Arbeit die instruktionale Unterstützung der Problembereiche Dateninterpretation und Selbstregulation des Lernens stehen, wird auf diese beiden Bereiche in dem darauf folgenden Abschnitt näher eingegangen.

### 2.3.2.1 Problembereich Erkenntnisprozess

#### (1) Aufstellen von Hypothesen

Probleme beim Aufstellen überprüfbarer Hypothesen sind seit längerem bekannt und gelten als ein schwieriger Prozess (Gorman & Gorman, 1984; Gorman, Stafford & Gorman, 1987; Njoo & de Jong, 1993; van Joolingen & de Jong, 1991; van Joolingen & de Jong, 1997). Es bereitet Lernenden häufig Schwierigkeiten, ihre mit Hilfe einer Computersimulation ermittelten Daten mit der zuvor aufgestellten Hypothese in die richtige Beziehung zu setzen. Es lassen sich auch Tendenzen erkennen, dass bei den Lernenden vorherrschende Konzepte beibehalten werden, selbst wenn sie mit Daten konfrontiert werden, die diesen Konzepten widersprechen (Chinn & Brewer, 1993; Lewis, Stern & Linn, 1993). Von der Hypothese abweichende Daten werden oftmals ignoriert oder nicht akzeptiert. Des Weiteren suchen Lernende häufig nach Hypothesen bestätigenden Daten, um ihre Simulationsergebnisse zu bestätigen, selbst wenn die gewonnenen Daten von der aufgestellten Hypothese abweichen (Hamman et al., 2008; Kirschner et al., 2006). Diese Strategie wird auch als „Bestätigungs-Bias“ (Hamman, 2007) oder *confirmation-bias* (Klayman & Ha, 1987) bezeichnet. Der gegenteilige Effekt lässt sich ebenfalls erkennen, indem Lernende ihre Hypothese verwerfen, obwohl noch nicht genügend Hypothesen widerlegende Daten vorliegen (Klahr & Dunbar, 1988). Oftmals bereitet es Lernenden Schwierigkeiten, die Beziehungen zwischen den Variablen in der Hypothese und den Variablen in der durchzuführenden Computersimulation hinreichend zu erkennen und in Beziehung zu einander zu setzen (van Joolingen & de Jong, 1997).

#### (2) Gestaltung und Durchführung von Experimenten

Häufig zeigen Lernende Schwierigkeiten bei der Gestaltung von sinnvollen Experimenten (Klahr & Dunbar, 1988; Njoo & de Jong, 1991). Oft werden Designs von computersimulierten Experimenten entworfen, die keine logischen Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen zulassen (Glaser, Schauble, Raghavan et al., 1992). Die Lernenden variieren beispielsweise in einem computersimulierten Experiment oft mehr als eine Variable gleichzeitig (Keselmann, 2003; Veermans, van Joolingen & de Jong, 2006), so dass die Ergebnisse dieser Experimente keine sinnvollen Schlussfolgerungen zulassen. Die Simulationsergebnisse lassen daher weder eine klare Bestätigung noch eine Falsifizierung der zuvor aufgestellten Hypothese zu (van Joolingen & de Jong, 1991). Des Weiteren zeigen Lernende häufig Schwierigkeiten bei der Vorgehensweise beim Experimentieren. Oft gelingt es den Lernenden nicht, die theoretischen Konstrukte aus ihren Hypothesen in Eingabevariablen der Computersimulation zu überführen (Lawson, 2002). Des Weiteren führen Lernende nicht selten computersimulierte Experimente durch, bei denen das Vergnügen im Umgang mit dem Medium Computer und der Aufgabenbearbeitung im Fokus steht und weniger das Verständnis über das dargebotene simulierte Modell (Urhahne & Harms, 2006).

### **(3) Dateninterpretation**

Die Interpretation der aus dem computersimulierten Experiment gewonnenen Ergebnisse stellt eine weitere Schwierigkeit des Lernens mit Computersimulationen dar. Auf die Durchführung eines Experiments folgt die Beschreibung der gewonnenen Ergebnisse und das anschließende Ziehen von Schlussfolgerungen (Chang et al., 2008), um die zuvor generierten Hypothesen zu verifizieren oder zu modifizieren. Erfolgreiche Lernende müssen diesbezüglich imstande sein, ihre gewonnenen Daten korrekt zu interpretieren (Schauble et al., 1991). Oftmals sind die Lernenden jedoch nicht in der Lage, ihre Daten akkurat und objektiv zu interpretieren (Klahr, Fay & Dunbar, 1993). Häufig werden die Daten in Richtung auf die zuvor aufgestellte Hypothese hin interpretiert (Chinn & Brewer, 1993; Lewis et al., 1993) oder die zugrunde liegende Theorie wird an die Daten angepasst (Kuhn, 1989). Des Weiteren kann es zu Fehlinterpretationen der gewonnenen Daten kommen (Klahr et al., 1993), die häufig zu falschen Schlussfolgerungen aus den computersimulierten Ergebnissen führen (Klahr & Dunbar, 1988).

#### **2.3.2.2 Problembereich Lernprozess**

### **(4) Selbstreguliertes Lernen**

Selbstreguliertes Lernen mit Computersimulationen betrifft insbesondere Aspekte der Metakognition. Erfolgreiche Lernende sind sich ihrer Vorgehensweisen während ihres Lernprozesses bewusst. Sie planen, überwachen und korrigieren diesen gegebenenfalls systematisch (Konrad, 2009; Manlove, Lazonder & de Jong, 2007; Zimmermann, 1990), während weniger erfolgreiche Lernende während ihres Lernens mit Computersimulationen häufig unsystematische Vorgehensweisen verwenden und eher zufällige Lernstrategien aufweisen (de Jong et al., 1998; Glaser et al., 1992). Selbstreguliertes Lernen erfolgt idealerweise, indem Lernende ihren Lernprozess zunächst planen und stets überprüfen, indem sie Informationen über ihren gegenwärtigen Ist-Zustand des Lernens erfahren und Maßnahmen ergreifen, um ihren Lernprozess lernzielorientiert auf einen Soll-Zustand hin ausrichten.

#### **Zusammenfassung**

Neben dem Aufstellen überprüfbarer Hypothesen und der Gestaltung und Durchführung von Experimenten gelten die Dateninterpretation und die Selbstregulation des Lernprozesses als zwei identifizierte Problembereiche naturwissenschaftlichen Lernens mit Computersimulationen. Lernende wenden häufig die Strategie einer Bestätigungs-Bias an und entwerfen nicht selten experimentelle Designs, die keine eindeutigen Schlussfolgerungen aus den Simulationsergebnissen zulassen. Die Dateninterpretation stellt eine anspruchsvolle Aufgabe für viele Lernende dar, da Lernende oft nicht in der Lage sind, ihre gewonnenen Daten korrekt zu interpretieren. Im Hinblick auf die Selbstregulation des Lernprozesses sind sich erfolgreiche Lernende ihrer Vorgehensweisen bewusst, während weniger erfolgreiche Lernende oft zufällige Strategien anwenden.

Für einen erfolgreichen Wissenserwerb mit Computersimulationen benötigen Lernende instruktionale Unterstützung, da entdeckendes, selbstständiges Erarbeiten von biologischen Konzepten und Prinzipien mit Computersimulationen allein meist nicht zu effektiven Lernerfolgen führt. Es gibt Hinweise darauf, dass die Probleme beim Lernen mit Computersimulationen durch entsprechende instruktionale Maßnahmen, die den Lernprozess und eine Wissensaneignung mit Hilfe computersimulierter Experimente verbessern sollen, überwunden werden können. Im folgenden Abschnitt wird auf die instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen eingegangen.

## 2.4 Instruktionale Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen

Ergebnisse aus der Forschungsliteratur belegen, dass instruktionale Maßnahmen einen Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen effektiv fördern (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998; Mayer, 2004). Empirische Befunde zu den oben genannten vier Problembereichen beim entdeckenden Lernen mit Computersimulationen belegen, dass ein *ausschließlich* auf das selbständige Erarbeiten von naturwissenschaftlichen Prinzipien und Konzepten ausgerichtetes Lernen in der Regel zu wenig effektiven Lernerfolgen führt (de Jong et al., 1999; de Jong & van Joolingen, 1998; Leutner, 1993; Mayer, 2004; Reid et al., 2003; Stark et al., 2000; Wirth & Leutner, 2006). Für einen erfolgreichen und zielgerichteten Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen benötigen Lernende daher instruktionale Unterstützung, die den Lernprozess und den Wissenserwerb positiv unterstützt (Urhanne & Harms, 2006). Der Einsatz bestimmter instruktionaler Maßnahmen soll einen zielgerichteten Wissenserwerb effektiv unterstützen (van Joolingen, de Jong & Dimitrakopoulou, 2007). Die instruktionalen Maßnahmen sollen es einerseits dem Lernenden erleichtern, sich Wissen beim Lernen mit Computersimulationen selbstständig zu erarbeiten. Andererseits sollen die instruktionalen Maßnahmen verhindern, dass die Komplexität der computergestützten Lernumgebung den Lernenden zusätzlich kognitiv belastet und ein Wissenserwerb dadurch eingeschränkt wird (vgl. Njoo & de Jong, 1993). Sie können daher als Instrumente angesehen werden, um einen effektiven Wissenserwerb zu fördern und die kognitive Belastung des Lernenden zu reduzieren. Dieser Aspekt einer Ausgewogenheit zwischen der Komplexität der computergestützten Lernumgebung, die durch ihre Freiräume zur Interaktion und die Selbstregulation des Lernprozesses bedingt ist, und der Bereitstellung instruktionaler Maßnahmen ist besonders beim Einsatz von Computersimulationen im Schulunterricht zu beachten, um die Lernenden kognitiv nicht zu überlasten. Hinsichtlich des Instruktionsdesigns unterscheidet die kognitive Belastungstheorie „*Cognitive Load Theory*“ (Chandler & Sweller, 1991a) drei verschiedene Quellen der kognitiven Belastung. Neben der intrinsischen kognitiven Belastung (*intrinsic cognitive load*), die durch den Lerninhalt selbst erzeugt wird und der lernbezogenen Belastung (*germane cognitive load*), die der Lernende aufwenden muss, um den Lerninhalt durch den Aufbau neuer Schemata zu verstehen, sollte möglichst eine Reduktion der extrinsischen kognitiven Belastung (*extraneous cognitive load*) erfolgen. Die extrinsische kognitive Belastung wird durch die Art und Weise des Lernmaterials selbst erzeugt und kann

durch ein entsprechendes Instruktionsdesign kontrolliert werden. Mit einem angemessenen Instruktionsdesign kann die extrinsische Belastung reduziert werden und dadurch zu besseren Lernerfolgen beitragen.

Zur Darstellung und Entwicklung verschiedener instruktionalen Maßnahmen und der computergestützten Lernumgebung wird in dieser Arbeit ein Schema verwendet, das bereits in der Forschungsliteratur beschrieben wird. Zur Förderung des naturwissenschaftlichen, entdeckenden Lernens mit Computersimulationen unterscheiden Reid et al. (2003) sowie Zhang et al. (2004) drei Bereiche instruktionaler Unterstützung. Sie differenzieren dazu in ihrer „Triade zur Lernunterstützung“ zwischen den drei Bereichen *interpretativer*, *experimenteller* und *reflektierender* Unterstützung. Diese Bereiche instruktionaler Unterstützung werden im Folgenden näher dargestellt. Die Inhalte dieser dargestellten Bereiche wurden bei der Entwicklung des Materials für die Studie berücksichtigt und umgesetzt.

### 2.4.1 Interpretative Unterstützung

Maßnahmen der *interpretativen Unterstützung* sollen dem Lernenden einen Einstieg in die Computersimulation erleichtern und betreffen Aktionen des Lernenden *vor* der Interaktion mit der Computersimulation. Sie sollen dem Lernenden helfen, bereits bestehendes Wissen zu aktivieren, geeignete Hypothesen zu entwickeln und ein kohärentes Verständnis über den Wissensinhalt aufzubauen. Sie dienen hauptsächlich dazu, dem Lernenden einen besseren Einstieg in die computergestützte Lernumgebung mit der Computersimulation zu geben um eine Wissenskonstruktion der bereitgestellten Themeninhalte zu erleichtern. Zu den Maßnahmen der interpretativen Unterstützung zählen beispielsweise der Erhalt von Hintergrundinformationen, Arbeitsaufträge und einleitende themenspezifische Fragen, ausgearbeitete Lösungsbeispiele sowie Hilfen zum Aufstellen von Hypothesen.

#### Arbeitsaufträge

Arbeitsaufträge können verstanden werden als konkrete Aufgaben zu wesentlichen Inhalten einer Wissensdomäne und dienen einer Fokussierung der Aufmerksamkeit des Lernenden zu dessen gezielter Informationsbeschaffung (Peeck, 1993; Peeck, 1994; Rieber, 1990) und können somit einen strukturierten Lernprozess effektiv unterstützen (Vreman-de Olde & de Jong, 2006). Arbeitsaufträge bestehen aus einer Aufgabenstellung und einem Angebot mehrerer Lösungen, aus denen der Lernende eine Auswahl treffen kann. Die gestellten Aufgaben können den Lernenden z.B. darauf hinweisen, welches die wesentlichen Parameter des zu simulierenden Szenarios sind und erfüllen somit eine Funktion der inhaltlichen Hilfestellung. Die Erteilung von Arbeitsaufträgen erweist sich als effektive instruktionale Unterstützung zu einem Wissenserwerb. So konnten in verschiedenen Studien positive Effekte von Arbeitsaufträgen auf den intuitiven Wissenserwerb nachgewiesen werden (de Jong et al., 1999; Swaak & de Jong, 2001; Swaak, van Joolingen & de Jong, 1998). Ein kombinierter Einsatz von Fragen zur Aktivierung des Vorwissens und permanent verfügbaren Hintergrundinformationen als interpretative Unterstützung zeigt sich als effektive Maßnahme

auf den intuitiven Wissenserwerb sowie einen Transfer des erworbenen Wissens (Reid et al., 2003).

Der wissenschaftliche Erkenntnisprozess beim Lernen mit Computersimulationen mittels Arbeitsaufträgen kann zusätzlich mit Hilfe des im Folgenden beschriebenen Forschungszirkels (*Inquiry Cycle*) von White und Frederiksen (1998) unterstützt werden. Sie entwickelten ein als *Inquiry Cycle* bezeichnetes Modell des wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens (vgl. Zimmermann, 2007). Das Modell enthält fünf aufeinander folgende Phasen (vgl. Abbildung 2.6) des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses, beginnend mit (1) der Formulierung einer Fragestellung und (2) dem Aufstellen entsprechender Vermutungen oder Vorhersagen. Darauf folgen (3) die Planung und die Durchführung eines entsprechenden Experiments, dessen (4) Ergebnis analysiert wird. Durch (5) das Ziehen von Schlussfolgerungen schließt sich der Kreis wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens und eröffnet die Formulierung einer neuen Fragestellung (1).

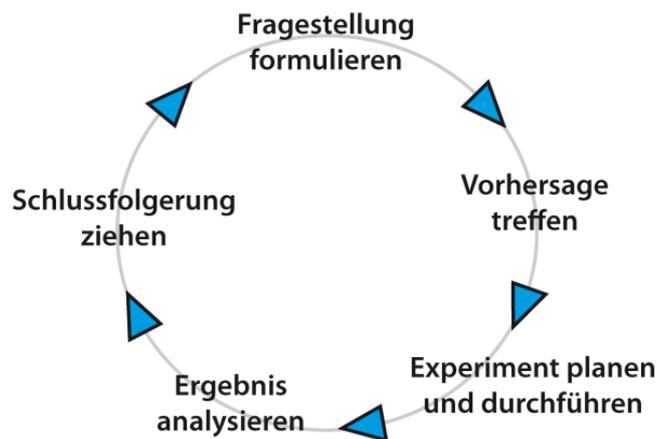


Abbildung 2.6: Schema des *Inquiry Cycle* nach White und Frederiksen (1998).

Durch die Vorgehensweise nach dem Forschungszirkel erfahren die Lernenden grundlegende Prinzipien beim wissenschaftlichen Arbeiten. Das Modell des Forschungszirkels lässt sich für einen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn durch das Lernen mit Computersimulationen übertragen und anwenden.

Aufgrund der genannten Vorteile, die Arbeitsaufträge zur Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen bieten, werden Arbeitsaufträge entwickelt, die in der Studie zum Einsatz kommen. Die Arbeitsaufträge erhalten einen strukturellen Aufbau, der Phasen des *Inquiry Cycle* explizit widerspiegelt.

### Lösungsbeispiele

Der Einsatz von Lösungsbeispielen zur Unterstützung des Wissenserwerbs erweist sich als effektive instruktionale Maßnahme (Atkinson, 2000; Kopp, Stark & Fischer, 2009). Lösungsbeispiele bestehen aus einer Aufgabenstellung, einem Problem oder einer Frage, einem schrittweise ausgearbeiteten Lösungsweg und der Lösung des Problems (Renkl, 2002). Themenbezogene Lösungsbeispiele können den Lernenden in der Aneignung von domänenspezifischem Verständnis und der Problemlösefähigkeit unterstützen (Stark et al.,

2000). Lösungsbeispiele erfordern dabei nicht, dass der Lernende die Aufgabe eigenständig löst, sondern dass er eine detaillierte Musterlösung erhält, die er Schritt für Schritt nachvollziehen soll (Stark et al., 2000). Der Einsatz von Lösungsbeispielen zeigt besonders bei Novizen mit geringem Vorwissen positive Effekte bei der Aneignung neuer Wissensinhalte (Atkinson, 2000). Die Unterstützung des Lernens mit Lösungsbeispielen erscheint daher in einem frühen Lernstadium als sinnvoll. Hinsichtlich des Lernens mit Computersimulationen können Lösungsbeispiele dazu dienen, dass die wesentlichen Aspekte und Informationen des simulierten Sachverhaltes hervorgehoben werden. Der Lernende wird unterstützt, indem ihm zu Beginn des neuen Lerninhaltes das Treffen von Entscheidungen bezüglich der Auswahl der für die Aufgabenlösung relevanten Inhalte erleichtert wird. Durch den Einsatz von Lösungsbeispielen kann vor allem der Erwerb von Faktenwissen gefördert werden (Nerdel & Prechtel, 2004). Des Weiteren werden Lösungsbeispiele mit Eigenschaften in Verbindung gebracht, die zu einer Reduktion der kognitiven Belastung beitragen (Renkl & Atkinson, 2003): Lösungsbeispiele schonen kognitive Ressourcen und ermöglichen dadurch eine lernwirksame Fokussierung der Aufmerksamkeit des Lernenden auf relevante Aspekte einer Aufgabe (Sweller et al., 1990).

Die Erkenntnisse aus den genannten Studien legitimieren zur Integrierung eines Lösungsbeispiels in das Computerprogramm, um den Wissenserwerb mit der Computersimulation zusätzlich zu unterstützen.

Zusammenfassend zeigen sich aus der Forschungsliteratur hinsichtlich der interpretativen Unterstützung effektive Maßnahmen zur Unterstützung des Wissenserwerbs durch zu bearbeitende Arbeitsaufträge und ausgearbeitete Lösungsbeispiele. Diese beiden Aspekte werden bei der Entwicklung des Materials für die Studie berücksichtigt und umgesetzt. Es werden Arbeitsaufträge entwickelt, die von den Lernenden mit Hilfe der Computersimulation bearbeitet werden sollen und es wird ein themenspezifisches Lösungsbeispiel in das Computerprogramm integriert.

## 2.4.2 Experimentelle Unterstützung

Maßnahmen der *experimentellen Unterstützung* dienen vor allem der Förderung wissenschaftlicher Arbeitsweisen *während* des Interagierens mit der Computersimulation. Neben dem Treffen von Vorhersagen über ein mögliches Computersimulationsergebnis, die Generierung von Begründungen und die Rechtfertigungen der gewonnenen Computersimulationsergebnisse sowie permanent verfügbare Hintergrundinformationen, zählen auch eine thematisch aufeinander aufbauende Führung durch das Computerprogramm und des computersimulierten Modells als effektive instruktionale Maßnahmen zur Aneignung neuer Wissensinhalte.

### Treffen von Vorhersagen

Das Treffen von Vorhersagen gilt als eine Expertise des entwickelten fünfteiligen *Inquiry Cycles* (White, 1998) und beschreibt das „*Generieren alternativer, kompetitiver Hypothesen und Vorhersagen über das, was hinsichtlich der Fragestellung eintreten kann und warum es*

*eintreten kann*“ (vgl. White, 1998). Das Treffen von Vorhersagen soll die Aufmerksamkeit des Lernenden bereits auf erste Überlegungen hinsichtlich des nachfolgenden Experiments lenken (Horowitz & Massey, 1991). Das Treffen von Vorhersagen über mögliche Simulationsergebnisse führten in einer Studie von Lewis et al. (1993) zu einer tendenziell besseren Wissensaneignung als eine Vergleichsgruppe ohne diese Form der Unterstützung. Aufgrund dieser Forschungsergebnisse wird diese Form der experimentellen Unterstützung in der Studie berücksichtigt und umgesetzt.

### **Begründung und Rechtfertigung**

Als eine weitere experimentelle Unterstützung gilt die Begründung und Rechtfertigung des eigenen Simulationsergebnisses. Ergebnisse einer Studie von Moreno und Mayer (2005) geben Hinweise darauf, dass eine abzugebende Begründung über das eigene Computersimulationsergebnis sich positiv auf einen themenspezifischen Wissenserwerb auswirkt. Lin und Lehmann (1999) konnten nachweisen, dass abzugebende Begründungen über das eigene Simulationsergebnis zu effektiven Lernerfolgen im Umgang mit Computersimulationen führen. Die Studien wurden mit Computersimulationen durchgeführt, in denen Fragen integriert waren, die von dem Lernenden nach der Durchführung computersimulierter Experimente eine Begründung des Simulationsergebnisses erforderten. Empirische Ergebnisse von Moreno (2004) sowie Moreno und Mayer (2005) zeigen, dass sich erklärende Rückmeldungen zu Ergebnissen computersimulierter Experimente effektiv auf einen Wissenserwerb auswirken. Diese Formen der experimentellen Unterstützung geben Hinweise darauf, dass eine abzugebende Begründung und auch der Erhalt einer Begründung in Form einer Rückmeldung durch das Computerprogramm als instruktionale Maßnahmen einen Wissenserwerb positiv unterstützen können. Diese beiden Formen der instruktionalen Unterstützung werden bei der Entwicklung der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation in der Studie dieser Arbeit berücksichtigt und umgesetzt.

Es ist zu erwarten, dass eine abzugebende Begründung über das eigene Simulationsergebnis, aber auch der Erhalt einer Begründung über das Simulationsergebnis in Form einer Rückmeldung durch das Computerprogramm, den themenspezifischen Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen fördert.

### **Hintergrundinformationen**

Empirische Untersuchungen zeigen, dass Vorabinformationen, wie domänenspezifische Fakten, Konzepte, Prinzipien und Begriffe, die dem Lernenden vor der Interaktion mit der computergestützten Lernumgebung dargeboten werden, zu keinem besseren Lernerfolg führen (Elshout & Veenman, 1992; Leutner, 1993). Die Möglichkeit des Lernenden, während der Interaktion mit der computergestützten Lernumgebung permanent auf themenspezifische Hintergrundinformationen zugreifen zu können, kann hingegen zu einem effektiven Wissenserwerb beitragen (Leutner, 1993). Leutner (1993) konnte in einer empirischen Untersuchung feststellen, dass permanent verfügbare Hintergrundinformationen, die zusätzlich als Papierausdruck neben dem Computerbildschirm ausgelegt waren, zu besseren Lernergebnissen führen, als wenn auf diese Art der Unterstützung verzichtet wird.

Aufgrund der Forschungsergebnisse der genannten Studie von Leutner (1993) wird es den Lernenden ermöglicht, während des Simulationslernens permanent auf relevante, domänenspezifische Hintergrundinformationen zugreifen zu können. Dieses wird bei der Entwicklung des Computerprogramms entsprechend berücksichtigt und umgesetzt.

### **Führung durch das Computerprogramm**

Mittels einer schrittweisen Einführung in das Computerprogramm und das computersimulierte Modell erhält der Lernende alle nötigen Informationen, die im Umgang mit der computergestützten Lernumgebung und den zu bewältigenden Aufgaben relevant sind, in aufeinander aufbauender Art und Weise (White & Frederiksen, 1990). Die häufig informationsreichhaltigen Computersimulationen erhalten dadurch eine Strukturierung mit zunehmender Komplexität. Es wird damit vermieden, dass der Lernende anhand der plötzlichen Vielzahl neuer Informationen kognitiv überlastet und dadurch ein Wissenserwerb negativ beeinflusst wird. De Jong et al. (1999) konnten nachweisen, dass sich eine schrittweise Einführung in die computergestützte Lernumgebung in Kombination mit der Bearbeitung von Arbeitsaufträgen effektiv auf die Erhöhung intuitiven Wissens auswirken kann.

Die genannten empirischen Erkenntnisse werden bei der Strukturierung des Computerprogramms für die Studie entsprechend berücksichtigt. Um Lernenden beispielsweise einen Einstieg in die computergestützte Lernumgebung zu erleichtern, wurde die instruktionale Unterstützung einer Führung durch das Computerprogramm mit zunehmender Komplexität bei der Entwicklung des Computerprogramms umgesetzt.

Zusammenfassend erweisen sich im Bereich der experimentellen Unterstützung instruktionale Maßnahmen wie das Treffen von Vorhersagen über ein mögliches Simulationsergebnis, Begründung und Rechtfertigung des Simulationsergebnisses, permanent verfügbare Hintergrundinformationen und eine Führung durch das Computerprogramm als effektiv für einen Wissenserwerb.

### **2.4.3 Reflektierende Unterstützung**

Eine *reflektierende Unterstützung* soll die Selbstwirksamkeit in Bezug auf den Lernprozess steigern und zur Abstraktion sowie zur Integration der angestellten Beobachtungen anregen. Maßnahmen der *reflektierenden Unterstützung* sollen die Informationsverarbeitung *nach* der Interaktion mit der Computersimulation fördern und können durch einen Instruktionsansatz realisiert werden, der metakognitives Wissen durch Reflexionsprozesse der Lernenden fördert. Dieses kann über Rückmeldungen der computergestützten Lernumgebung oder durch instruktionale Maßnahmen wie Hinweisen oder Aufgaben realisiert werden, der Lernende zur Reflexion der eigenen Vorgehensweise beim Lernen mit der Computersimulation anhält. Zhang et al. (2004) konnten in einer Studie nachweisen, dass durch Maßnahmen zur reflexiven Unterstützung bessere Fähigkeiten zur Variablenkontrolle erreicht werden.

## Reflexionshilfen

Der Einsatz von Reflexionshilfen ist eine Möglichkeit, die Informationsverarbeitung nach der Interaktion mit der computergestützten Lernumgebung zu fördern (Lewis et al., 1993). Durch die Kombination aus Vorhersagen treffen und dem Einsatz metakognitiver Reflexionshilfen konnten Lewis et al. (1993) Verbesserungen im domänenspezifischen, konzeptuellen Wissen bei den Lernenden nachweisen. Eine reflexive Beurteilung der eigenen Arbeitsweisen im Umgang mit der Computersimulation kann zu einem besseren Verständnis über eine sinnvolle Vorgehensweise bei der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung führen. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem der Lernende seine eigenen Arbeitsweisen im Umgang mit der Computersimulation anhand einer Reflexionshilfe zunächst selbst beurteilt und anschließend begründet (White & Frederiksen, 1998). White und Frederiksen (1998) boten den Teilnehmern ihrer Studie in ihrem entwickelten „*ThinkerTools-Curriculum*“ die Möglichkeit, nach der Durchführung von Computersimulationen die eigenen Untersuchungen anhand eines vorgegeben Kriterienkatalogs zu bewerten und die Untersuchungen der Mitschüler im Plenum zu diskutieren. Bewertet wurde beispielsweise, ob bei der wissenschaftlichen Arbeitsweise systematisch vorgegangen wurde. Es konnten dabei positive Effekte dieser reflexiven Bewertung auf den konzeptuellen Wissenserwerb der Lernenden nachgewiesen werden. Zhang et al. (2004) forderten in einer Studie u.a. die Lernenden dazu auf, nach jedem durchgeführten Experiment ihre Vorhersage mit dem Simulationsergebnis zu vergleichen. Diese in eine Maßnahmenkombination integrierte Form der Unterstützung führte zu effektiven Wissensverbesserungen.

Zusammenfassend zeigen sich für die *reflektierende Unterstützung* durch den Einsatz instruktionaler Maßnahmen effektive Wissensverbesserungen durch Hinweise und Aufgaben, die zur Reflexion anregen. Weiterhin kann sich eine Aufforderung, das eigene Simulationsergebnis mit der getroffenen Vorhersage zu vergleichen, effektiv auf einen Wissenserwerb auswirken. Aufgrund der oben beschriebenen empirischen Ergebnisse werden die Erkenntnisse bei der Entwicklung instruktionaler Unterstützung für die Selbstregulation berücksichtigt und umgesetzt. Alle Lernenden werden nach jedem durchgeführten Experiment dazu aufgefordert, ihr Simulationsergebnis mit der zuvor getroffenen Vorhersage zu vergleichen. Der Einsatz einer Reflexionshilfe wird besonders bei der Entwicklung der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation berücksichtigt und umgesetzt.

Generell zeigen die Ergebnisse der genannten empirischen Studien, dass eine Vielzahl von Lernenden Schwierigkeiten hat, Daten zu interpretieren. Des Weiteren zeigen Lernende häufig Defizite im selbstregulierten Lernen. Es besteht ein Forschungsdefizit um Aussagen über die Effektivität instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf einen Lernerfolg treffen zu können. Einige Studien zur instruktionalen Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen bieten Ansatzpunkte zur Entwicklung instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation (Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 2005; White & Frederiksen, 2005; White & Frederiksen, 1998; Zhang et al., 2004). In dieser Arbeit werden daher für die zwei Problembereiche *Dateninterpretation* und *Selbstregulation* beim Lernen mit Computersimulationen instruktionale Maßnahmen

ausgewählt, entwickelt und getestet. Die Problembereiche *Hypothesenbildung* und *Experimentieren* werden in der Studie nicht explizit überprüft, aber dennoch durch bereits oben angeführte instruktionale Maßnahmen, wie beispielsweise Arbeitsaufträge, zusätzlich unterstützt. Das Lernen mit Computersimulationen wird des Weiteren durch die expliziten Schritte des *Inquiry Cycle* nach White und Frederiksen (1998) unterstützt.

Im Folgenden Abschnitt werden die in der Forschungsliteratur identifizierten Problembereiche Dateninterpretation und Selbstregulation dargestellt. Dabei wird näher auf die Hintergründe eingegangen, welche Probleme es den Lernenden bereitet, Daten zu interpretieren und selbstreguliert zu lernen.

## 2.5 Dateninterpretation

Wie bereits einleitend erörtert, bereitet die korrekte Interpretation von Daten, selbst nach gelungenen Experimenten, Lernenden häufig Schwierigkeiten. Die Dateninterpretation gilt als Teilaspekt der Erkenntnisgewinnung durch Experimentieren (KMK, 2005) und erfolgt nach der Durchführung von Experimenten in einer den Erkenntnisprozess abschließenden Phase. In einigen Publikationen werden zu dieser Schlussphase neben der Dateninterpretation auch die daraus gezogenen Schlussfolgerungen gezählt, so dass zwischen Dateninterpretation und Schlussfolgerung oftmals keine eindeutige Abgrenzung stattfindet. Die Interpretation von Daten bezieht sich auf bereits dokumentierte Sachverhalte eines Forschungsprozesses, beispielsweise eines Simulationsergebnisses, indem die vorangegangenen Phasen des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns mit einbezogen und reflektiert werden. Hinsichtlich einer Datenanalyse ist dabei zwischen der reinen Ergebnisbeschreibung und der daran anschließenden Interpretation der gewonnenen Daten zu unterscheiden. Dabei steht im Vordergrund die Beschreibung und Interpretation eines Zusammenhangs und weniger das mathematische Herleiten der Ergebnisse. Der Begriff der Dateninterpretation, auf den in dieser Arbeit Bezug genommen wird, meint die Beschreibung des Simulationsergebnisses sowie dessen biologische Interpretation.

Um Lernenden die Interpretation von entsprechenden Daten zu ermöglichen, ist das Vorhandensein bzw. die Möglichkeit eines Zugriffs der zu interpretierenden dargestellten Ergebnisse von großer Wichtigkeit. Das Ziel eines wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses ist die Beantwortung einer Forschungsfrage, die bei der Interpretation anhand der experimentell generierten Daten zu beantworten und zu diskutieren ist bzw. warum eine Forschungsfrage gegebenenfalls nicht beantwortet werden kann. Der an die Dateninterpretation anschließende wissenschaftliche Prozess der Diskussion, der einschlägige Fachliteratur mit einbezieht, wird beim Lernen mit Computersimulationen in der Regel vernachlässigt.

Im folgenden Abschnitt werden Schwierigkeiten genannt, die Lernende bei der Interpretation von Daten haben. Es werden in diesem Zusammenhang kurz der Diagrammbegriff und anschließend die Prozesse der Informationsentnahme aus Diagrammen beschrieben. Für die Entwicklung instruktionaler Maßnahmen zur Unterstützung der Dateninterpretation sowie für den Aufbau und die Form der Darstellungsweise der Computersimulation für die Lernenden sind die genannten Aspekte von großer Relevanz.

## Diagramme

Eine Schwierigkeit, Daten zu interpretieren, ergibt sich, wenn das Ergebnis eines (computersimulierten) Experiments in Form eines Graphen dargestellt wird (Linn, 1990; Mokros & Tinker, 1987). Diagramme, wie beispielsweise Graphen, werden im naturwissenschaftlichen Unterricht vielfältig zur Darstellung von Daten eingesetzt, da durch diese abstrakte Zusammenhänge zwischen Variablen gezeigt werden können (Kattmann, 2006; Lachmayer, Nerdel & Prechtel, 2007). Durch die Darstellung von Ergebnissen in Diagrammen können große Informationsmengen übersichtlich dargestellt werden und vereinfachen das Ziehen von Schlussfolgerungen (Larkin & Simon, 1987).

Diagramme zählen zu den depiktionalen Repräsentationen (Schnotz, 2001). Im Vergleich zu Bildern besitzen Diagramme allerdings einen hohen Abstraktionsgrad und haben keine sichtbare Ähnlichkeit mit dem eigentlichen Sachverhalt. Ein Diagramm spiegelt jedoch die logischen Relationen zwischen den Merkmalen eines dargestellten Sachverhaltes wider (Schnotz, 2001) und dient der Veranschaulichung qualitativer oder quantitativer Zusammenhänge. Neben qualitativen Zusammenhängen zwischen Variablen sind quantitative Zusammenhänge im Sinne der Dateninterpretation von großer Bedeutung. Qualitative Zusammenhänge zwischen Variablen werden durch Symbole wie beispielsweise Pfeile miteinander verbunden und bedingen eine inhaltliche Interpretation. Achsendiagramme, wie beispielsweise Liniendiagramme, in denen mindestens eine Variable kontinuierlich ist, dienen der Veranschaulichung quantitativer Zusammenhänge zwischen Variablen (Schnotz, 1993) und bieten eine Grundlage für die Interpretation der dargestellten Daten. Auf den Skalen eines Achsendiagramms sind die Ausprägungen, die eine Variable annehmen kann, angegeben. Dadurch kann ein Datenpunkt eindeutig durch seine relative Lage zu den beiden Achsen beschrieben werden (Lachmayer et al., 2007).

## Informationsentnahme aus Diagrammen

Eine Grundvoraussetzung für die Dateninterpretation ist die Möglichkeit zur Informationsentnahme aus einem gegebenen Datensatz, wie beispielsweise das Ergebnis eines computersimulierten Experiments. Lernenden wird durch die Darstellungsweise des Simulationsergebnisses, z.B. in einem Diagramm, ermöglicht, sich einen Sachverhalt zu erschließen. Die Informationsentnahme aus einem gegebenen Diagramm können in Anlehnung an Bertin (1974) in die zwei aufeinanderfolgenden Bereiche *Identifizierung* und *Ablesen* der Information unterteilt werden. Demnach ermöglichen es *Identifizierungsprozesse* dem Betrachter, sich einen ersten Überblick über relevante Informationen, welche die Struktur des gegebenen Diagramms betreffen, zu verschaffen. Dazu zählen die Zuordnung der vorhandenen Variablen zu den unterschiedlichen Achsen oder das Erkennen und Zuordnen der unabhängigen und abhängigen Variablen. Die Identifizierungsprozesse erlauben keine Aussage über die im Diagramm dargestellten Daten, sondern der Betrachter soll sich einen Überblick über die Diagrammstruktur verschaffen. Identifizierungsprozesse bilden nach Bertin (1974) die Voraussetzung für den darauf folgenden Prozess des *Ablesens* der Information über die Relationen der Variablen in einem Diagramm. Das Ablesen von Daten aus einem Diagramm vollzieht sich nach Bertin (1974) in drei Stufen, die anhand eines

Diagrammbeispiels eines Räuber-Beute-Modells gezeigt werden sollen, das in der Studie dieser Arbeit Anwendung findet (vgl. Abbildung 2.7).

Die untere Stufe des Ablesens bezieht sich auf ein einzelnes Element bzw. auf einen einzigen Datenpunkt einer Variablen. Als Beispiel sei diesbezüglich zu nennen: „Wie viele Rotfedern existieren nach 14 Monaten“. In dem Beispiel gilt es, dem vorgegebenen Wert der unabhängigen Variablen „14 Monate“ den Funktionswert „Zahl der Rotfedern“ aus dem Liniendiagramm zuzuordnen.

Die mittlere Stufe bezieht sich auf das Ablesen von Daten, die sich aus einer Gruppe von Elementen einer Variablen beziehen, beispielsweise „wie verändert sich die Zahl der Hechte zwischen dem 30. und 36. Monat?“. Der dargestellte Vergleich einzelner Werte kann im Längsschnitt (vgl. Schnotz, 1993) geschehen und erklärt, wie im Beispiel formuliert, den Vergleich von Werten einer Datenreihe. Der Vergleich einzelner Werte kann jedoch auch im Querschnitt erfolgen, indem die Werte von zwei Datenreihen zu einem bestimmten Zeitpunkt miteinander verglichen werden sollen. Beispielsweise kann dieses über die Frage „wie viele Rotfedern und Hechte können nach 44 Monaten gezählt werden?“ geschehen.

Die obere Stufe bezieht sich auf alle Elemente einer Variablen, beispielsweise „wie verändert sich die Zahl der Rotfedern über den dargestellten Gesamtzeitraum?“. Schnotz (1993) beschreibt die obere Stufe als das Ablesen dritter Ordnung mit dem Vergleichen mehrerer Trends im Längsschnitt innerhalb einer Datenreihe „Die Zahl der Rotfedern nimmt zunächst ab und steigt darauffolgend wieder“ und im Querschnitt als Vergleich von Werten verschiedener Datenreihen „Zuerst erfolgt eine Zunahme der Rotfedern, dann erfolgt eine Zunahme der Hechte“.

Aus dieser Stufung ergibt sich eine Zunahme der Komplexität des Ablesens von Informationen aus einem Diagramm (vgl. dazu Wainer, 1992).

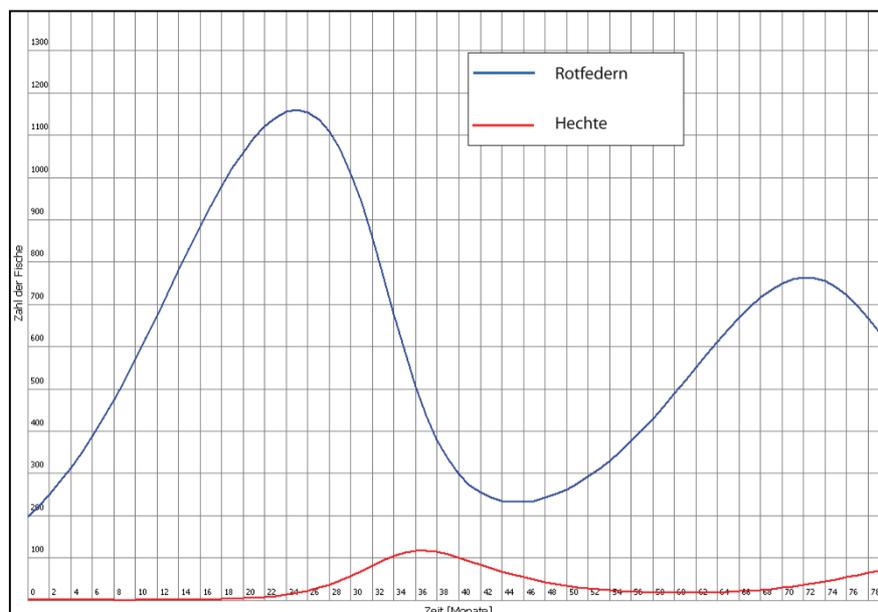


Abbildung 2.7: Liniendiagramm zur Populationsentwicklung von Rotfedern und Hechten in einem Räuber-Beute-Modell, wie es in der Studie dieser Arbeit Anwendung findet.

Aufgrund der bekannten Schwierigkeiten bei der Interpretation von Daten und der Prozesse der Informationsentnahme werden instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und eine entsprechende Computersimulation entwickelt (vgl. Abschnitte 3.6.1 und 3.6.3). Es wird eine Computersimulation entwickelt und in der Studie dieser Arbeit eingesetzt, die mittels eines Liniendiagramms dargestellt ist um den Lernenden eine Identifizierung und ein Ablesen von Daten des Simulationsergebnisses zu ermöglichen. Mit welchen instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation der Wissenserwerb möglicherweise unterstützt werden kann, wurde bereits in Abschnitt 2.4.2 unter „Begründung und Rechtfertigung“ beschrieben. Die Umsetzung der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation in der Studie wird in Abschnitt 3.3.1 und Abschnitt 3.6.3 dargestellt.

## 2.6 Selbstreguliertes Lernen

### Begriffsklärung

Einhergehend mit der Vielzahl an Publikationen ist derzeit eine Unüberschaubarkeit von unterschiedlichen Definitionsansätzen der Begrifflichkeit des selbstregulierten Lernens. Oftmals lässt sich unter den Definitionen keine einheitliche Begriffsbasis erkennen, da hinter den unterschiedlichen Begriffsansätzen unterschiedliche Aspekte des Lernens thematisiert werden, wie z.B. Organisation des Lernens oder das unabhängige Lernen außerhalb formaler Lehrbedingungen (Schreiber, 1998). Weinert (1982, S. 102) definiert den Begriff des selbstregulierten Lernens als eine Form des Lernens, in der *„der Handelnde die wesentlichen Entscheidungen, ob, was, wann, wie und woraufhin er lernt, gravierend und folgenreich beeinflussen kann“*.

Mit dieser Definition liegt die Betonung auf dem lernenden Individuum, das mit einem hohen Anteil an Selbstbestimmung und Selbstregulation zum Organisator des eigenen Lernprozesses wird. Mit der Definition von Weinert (1982) werden darüber hinaus die mannigfaltigen Entscheidungsspielräume des selbstregulierten Lernens gegenüber fremdregulierten Lernens deutlich. Es muss allerdings betont werden, dass Lernen nie ausschließlich selbstreguliert sowie nie vollkommen fremdreguliert sein kann, sondern dass Selbstregulation und Fremdregulation von Lernprozessen immer zu einem gewissen Grad als zusammenhängend betrachtet werden müssen (Artelt, 2000). Somit beinhaltet jedes selbstregulierte Lernen Aspekte des fremdregulierten Lernens und umgekehrt. Es sei angemerkt, dass vor allem die Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten, die für selbstreguliertes Lernen relevant sind, nicht ohne fremdregulatorische Unterstützung von außen erfolgen kann.

Die Definition von Weinert (1982) verdeutlicht Voraussetzungen, damit selbstreguliert gelernt wird: Es müssen Entscheidungen über Lernziele (woraufhin), über Inhalte (was), über zeitliche Aspekte (wann), über methodische Aspekte (wie; mentale Verarbeitung des Lerninhalts: über Lernstrategien, wie beispielsweise Enkodierstrategien, Erhaltungsstrategien, Abrufstrategien, Wissensnutzungsstrategien, Kontrollstrategien) und über die Art und Weise der Feststellung der Lernzielerreichung (Evaluation) getroffen werden (Friedrich, 2002; Pintrich, 2000). Selbstreguliertes Lernen erfolgt, indem der Lernende eigenverantwortlich seinen Lernprozess überwacht und zielgerichtet steuert (Leutner & Leopold, 2006).

Selbstreguliertes Lernen wird in dieser Arbeit als ein aktiver, konstruktiver und selbstreflektiver Lernprozess verstanden, der unter Einbeziehung lernerbezogener Ressourcen und Strategien auf das Erreichen eines Lernziels Anwendung findet. Lernende gelten dabei nicht als passive Rezipienten von Information (Pintrich, 2000), sondern werden als aktive Konstrukteure bedeutungsvoller Information betrachtet, die ihren Lernprozess effizient steuern (Corno & Madinach, 1983; Pintrich, 2000; Schunk, 2001; Zimmermann, 2001). Auf der deskriptiven Ebene besteht mittlerweile Einigkeit darüber, was unter selbstreguliertem Lernen zu verstehen ist und was diese Form des Lernens gegenüber fremdregulierten Lernformen abgrenzt. Dem Großteil der Definitionsansätze zum selbstregulierten Lernen ist gemeinsam, dass Lernen im Sinne konstruktivistischer Theorien erfolgt, bei der Wissen aktiv durch den Lernenden konstruiert wird. Neben kognitiven und motivationalen Komponenten (Zimmermann, 1986; Zimmermann, 1989) berühren vor allem metakognitive Aspekte (Flavell, 1979) die Selbstregulation des Lernens. Zu den kognitiven Komponenten ist das domänenspezifische, deklarative und prozedurale Vorwissen der Lernenden zu zählen (Boekaerts, 1997), das sich entsprechend unterschiedlich effektiv auf den Erwerb neuen Wissens auswirken kann. Kernkomponente für selbstreguliertes Lernen bilden metakognitive Aspekte. Unter den metakognitiven Aspekten wird dabei vor allem das Wissen eines Individuums über die eigene Kognition wie auch die Regulation der eigenen Kognition verstanden (Flavell, 1979). Das Wissen über die eigene Kognition sowie die Regulation sind dabei als einander ergänzende Komponenten zu betrachten.

### **Unterstützung selbstregulierten Lernens mit Computersimulationen**

Das Lernen mit Computersimulationen und das naturwissenschaftliche Arbeiten auf der Grundlage des *Inquiry Cycle* kann im Zuge der technologischen Entwicklung der letzten Jahre durch die zusätzliche Bereitstellung verschiedener computerbasierter Instrumente (*tools*) effektiv unterstützt werden (de Jong, 2006; Leutner, 1993; Swaak et al., 1998). Das Entdecken naturwissenschaftlicher Konzepte und Prinzipien mit Hilfe einer Computersimulation erfordert von den Lernenden ein hohes Maß an Fähigkeiten zur Selbstregulation. Lernende sind während des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns angewiesen, Experimente zu planen, ihre Vorgehensweisen und den gegenwärtigen Stand des Verständnisses zu beobachten und die Arbeitsweisen sowie ihren Lernprozess und den Wissenszugewinn zu evaluieren (Manlove et al., 2006). Ergebnisse zahlreicher Studien weisen darauf hin, Lernende bei der Regulation ihrer Lernprozesse zu unterstützen (z.B. de Jong & van Joolingen, 1998; Land, 2000; Leutner, 1993; Njoo & de Jong, 1993; White & Frederiksen, 1998). Versuche, den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn beim entdeckenden Lernen mit separaten und von der Lernumgebung losgelösten Instruktionen zu unterstützen, führten dabei zu eher ineffektiven Lernerfolgen (Roth & Roychoudhury, 1993). Als erfolgreicher hat sich eine in den entdeckenden Forschungsprozess integrierte Form der Unterstützung wie beispielsweise Instrumente zur Planung des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses (White & Frederiksen, 1998) oder die schrittweise Beschreibung und Einführung in den wissenschaftlichen, erkenntnisgewinnenden Prozess (*Inquiry learning process*) (Njoo & de Jong, 1993) etablieren können. Die Verwendung von instruktionalen Maßnahmen, um die Aufmerksamkeit der Lernenden auf bestimmte selbstregulatorische

Tätigkeiten während des Lernens zu fokussieren, zeigen ebenfalls effektive Lernerfolge (Nückles, Hübner & Renkl, 2008; Veenman, Elshout & Busato, 1994). Instrumente, die zur Reflexion während des erkenntnisgewinnenden Prozesses anregen, gelten als effektive instruktionale Unterstützung des Lernens (Reiser et al., 2001).

Ausgeprägte metakognitive Fähigkeiten der Lernenden begünstigen einen Wissenserwerb (Schreiber, 1998; Veenman, Elshout & Meijer, 1997). Es zeigt sich aber, dass die Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen nicht generell vorausgesetzt werden kann. Es bedarf daher einer methodischen Förderung der selbstregulatorischen Fähigkeiten von Lernenden. Forschungsergebnisse bestätigen eine effektive Beeinflussung der Lernergebnisse durch eine Initiierung selbstregulatorischer Aktivitäten bei den Lernenden (Pekrun & Schiefele, 1996). An dieser Stelle wird ebenfalls ersichtlich, dass die Lernaktivität ein gewisses Maß an Fremdsteuerung bzw. Instruktionen benötigt, um selbstregulatorische Prozesse auslösen zu können. Diese Fremdsteuerung sollte jedoch auf ein Mindestmaß reduziert sein, um freie Handlungsspielräume des Lernenden so gering wie möglich einzuschränken.

Aufgrund der beschriebenen Erkenntnisse wird ein computerbasiertes Instrument entwickelt, das die Selbstregulation des Lernens unterstützen soll. Das Instrument wird in das Computerprogramm integriert.

### **Phasen und unterstützende Maßnahmen selbstregulierten Lernens**

Theoriebasierte Annahmen zum selbstregulierten Lernen (Pintrich, 2000; Zimmermann, 2000) gehen von einer aktiven Teilnahme der Lernenden am Lernprozess aus. Des Weiteren reguliert der Lernende seinen Lernprozess selbst (Azevedo & Hadwin, 2005). Selbstreguliertes Lernen kann daher als ein konstruktiver Prozess betrachtet werden (Loyens & Gijbels, 2008), indem Lernende sich selbstständig Lernziele setzen und dann versuchen ihren Lernprozess zu planen, zu überwachen, zu regulieren und die eigene Kognition, Motivation und das Verhalten zu kontrollieren (Narciss, Proske & Koerndle, 2007; Zimmermann, 2001). Während einige Modelle selbstregulierten Lernens Aspekte des Verhaltens und der Motivation der Lernenden beinhalten (Kuhl, 2000; Zimmermann, 2001), wird in dieser Arbeit auf die kognitive Regulation (Pintrich, 2000) des Lernprozesses fokussiert. Modelle der kognitiven Regulation unterscheiden drei Phasen des zyklischen Lernprozesses: *Planung*, *Monitoring* (Überwachung) und *Evaluation*. Die drei Phasen werden im Folgenden hinsichtlich eines erfolgreichen Lernens näher beschrieben.

In der anfänglichen *Planungsphase* befassen sich die Lernenden mit der Orientierung am Problem, setzen sich Lernziele und planen ihren Lernprozess strategisch. Die Orientierung am Problem beinhaltet einerseits die Analyse des bestehenden Problems oder der Aufgabe und andererseits die individuellen kognitiven Ressourcen, um die Aufgabe lösen zu können (vgl. Winne & Hadwin, 1998). Diese kombinierte Orientierung wird für eine Lernzielsetzung genutzt. An die Analyse und Lernzielsetzung schließt sich die weitere Planung des Lernprozesses an, indem beispielsweise das bereits gesetzte Lernziel strategisch in verschiedene Teilziele hierarchisch unterteilt wird. Des Weiteren kann dieser Phase auch eine Planung über die zu benötigende Zeit zum Erreichen des Lernziels zugerechnet werden (vgl. Azevedo & Hadwin, 2005).

Maßnahmen, wie beispielsweise die Darbietung von Hilfen zum Setzen von Teilzielen, können Lernende unterstützen, den Lernprozess strategisch zu planen (White, Shimoda & Frederiksen, 1999).

Während des Lernens wird der Lernprozess überwacht. Die auf die Planungsphase folgende Phase des *Monitoring* dient einer Kontrolle über bereits gemachte Fortschritte auf die gesetzten Unterziele und kann zu jedem Zeitpunkt während des Lernprozesses bzw. der Aufgabenbearbeitung stattfinden. Die Phase beinhaltet Kontrollstrategien zur Selektion und Anpassung kognitiver Lernstrategien zum erfolgreichen Erreichen des Lernziels. Schunk (2001) beschreibt diese Monitoringphase als Phase, in der der Lernende das metakognitive Bewusstsein über die Aufgabe, den Kontext und die Kognition repräsentiert.

Während der abschließenden *Evaluationsphase* werden die genutzten Prozesse, wie beispielsweise strategische Vorgehensweisen und die erzielten Ergebnisse beurteilt (de Jong, 2006). Die Evaluation der Prozesse beinhaltet die Reflexion über die Qualität des Planens und der Strategien sowie die Qualität über die Ausführung der Planung, um das gesetzte Lernziel zu erreichen. Die Evaluation der erzielten Ergebnisse beinhaltet die reflexive Einschätzung des Lerngegenstandes bzw. der Aufgabe und die erreichten Ergebnisse. Generell wird angenommen, dass eine Evaluation der Lernenden stattfindet, indem Vergleiche gezogen werden, wie gut die Performanz und das Lernen mit dem in der Planungsphase gesetzten Lernziel übereinstimmt (Manlove et al., 2006). Die Evaluation der Vorgehensweisen zur Zielerreichung sowie die Bewertung der eigenen Arbeitsweisen können mit Maßnahmen unterstützt werden, die Reflexionsprozesse bei den Lernenden induziert (White & Frederiksen, 1998).

Aufgrund der bekannten Schwierigkeiten bei der Selbstregulation des Lernens mit Computersimulationen wird eine instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Selbstregulation entwickelt (vgl. Abschnitt 3.3.2), die Lernende in der abschließenden Evaluationsphase ihres Lernprozesses unterstützen soll. Die oben genannten Erkenntnisse, wie beispielsweise die reflexive Bewertung der eigenen Arbeitsweisen, werden dabei berücksichtigt und mittels einer Reflexionshilfe, die im Computerprogramm integriert wird, umgesetzt (vgl. Abschnitt 2.4.3). Die Umsetzung der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation in der Studie wird in Abschnitt 3.3.2 dargestellt.

**Zusammenfassung**

Aus den beschriebenen Studienergebnissen zur instruktionalen Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen lassen sich unterstützende Maßnahmen ableiten, die effektiv einen themenspezifischen Wissenserwerb fördern. Dazu zählen u.a. die Bearbeitung von Arbeitsaufträgen, die Bereitstellung von Lösungsbeispielen, das Treffen von Vorhersagen, das Begründen und Rechtfertigen des Simulationsergebnisses, eine Führung durch die computergestützte Lernumgebung, für die Lernenden permanent verfügbare Hintergrundinformationen sowie Hinweise und Aufgaben, die zur Reflexion anregen. Die Erkenntnisse aus den Forschungsergebnissen werden bei der Entwicklung des Computerprogramms, der Computersimulation sowie den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation berücksichtigt und für die Studie entsprechend umgesetzt.

Vielen Lernenden bereitet die Dateninterpretation Probleme. Eine Schwierigkeit bei der Dateninterpretation ergibt sich, wenn das Ergebnis in Form eines Diagramms dargestellt wird. Forschungsergebnisse geben in diesem Zusammenhang zu erkennen, dass ein Wissenserwerb durch Maßnahmen der experimentellen Unterstützung gefördert werden kann. Der Wissenserwerb kann verbessert werden, wenn das eigene Simulationsergebnis begründet wird oder das entsprechende Simulationsergebnis vorgegeben wird, nachdem das computersimulierte Experiment durchgeführt wurde.

Selbstreguliertes Lernen bezeichnet eine aktive und konstruktive Form des Lernens, in der der Handelnde die wesentlichen Entscheidungen, ob, was, wann, wie und woraufhin er lernt, gravierend und folgenreich beeinflussen kann. Es werden in der Forschungsliteratur die drei Phasen des selbstregulierten Lernens *Planung*, *Monitoring* und *Evaluation* unterschieden und diskutiert. Forschungsergebnisse geben Hinweise darauf, dass Maßnahmen der reflektierenden Unterstützung durch reflexives Einschätzen der eigenen Arbeitsweisen und eine Reflexionshilfe, die Lernende in der Evaluationsphase unterstützen sollen, effektiv einen Wissenserwerb fördern.

Die Fähigkeit zur Selbstregulation der eigenen Lernaktivitäten stellt ein relevantes pädagogisches Ziel von Unterricht dar. Neben dem domänenspezifischen, fachlichen Wissen und Können sind die Selbstregulationsfertigkeiten in den Fokus von Lern- und Bildungsinhalten gerückt, die es zu unterstützen und zu fördern gilt. Selbstregulatorische Fähigkeiten und Fertigkeiten, die über den Schulunterricht hinaus auch außerschulisches Lernen betreffen, stellen wichtige Lernziele dar. Einige Studienergebnisse zeigen, dass hinsichtlich selbstregulierter Lernprozesse sehr häufig einige der genannten Aktivitäten in den genannten verschiedenen Phasen nicht zum Einsatz kommen und dadurch ein erfolgreicher Wissenserwerb oft ausbleibt (vgl. de Jong et al., 1998; Manlove et al., 2006). Der Stand der Expertiseforschung offenbart daher eine Notwendigkeit, Lernende in ihrer Selbstregulation zu unterstützen, um einen Erwerb themenspezifischen Wissens zu fördern. Die Definition von Wissen sowie Inhalte der verschiedenen Wissenskategorien, die in dieser Arbeit berücksichtigt und erhoben werden, werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

## 2.7 Wissensarten

Aus Sicht der kognitiven Psychologie wird Lernen verstanden als die individuelle Veränderung, die Erweiterung bereits bestehender Wissensstrukturen oder der Aufbau kognitiver Strukturen eines Individuums durch den Erwerb von Wissen (Anderson, 1982). Das Wissen, das sich ein Individuum während des Lernprozesses aneignet, kann dabei unterteilt werden in deklaratives Wissen einerseits und prozedurales Wissen andererseits (Anderson, 1983). Deklaratives Wissen wird repräsentiert, indem der Inhalt „deklarierbar“, also explizit in Worte gefasst werden kann und umfasst Faktenwissen und konzeptuelles Wissen. Prozedurales Wissen hingegen wird von einigen Autoren beschrieben als Kompetenz oder Fertigkeit, eine kognitive oder motorische Handlung auszuführen. Einige Autoren beschreiben prozedurales Wissen als Vollzug von Prozessen oder Handlungen (vgl. Schnotz, 1994).

Unter den verschiedenen Taxonomien der Wissensarten (z.B. Anderson & Krathwohl, 2001; Byrnes & Wasik, 1991; de Jong & Ferguson-Hessler, 1996; Hiebert & Lefevre, 1986; Rittle-Johnson, Siegler & Alibali, 2001; Tulving, 1985) wird in dieser Arbeit ein Kategoriensystem verwendet, das aus vier verschiedenen Wissensarten besteht. Die Wissensarten Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen und intuitives Wissen, auf die in dieser Arbeit Bezug genommen wird, werden im folgenden Abschnitt definiert und näher beschrieben. Basierend auf den Definitionen wurden die Items in den Testinstrumenten zu den verschiedenen Wissensarten erstellt, um Veränderungen in diesen Wissensarten zu überprüfen (vgl. Abschnitt 3.6.5). Lernen mit Computersimulationen führt neben der Aneignung von deklarativem Wissen (Faktenwissen und konzeptuellem Wissen) und prozeduralem Wissen auch zu konzeptuellem Wissen, das eine intuitive Qualität besitzt (Swaak & de Jong, 2001). Computersimulationen ermöglichen es den Lernenden durch die Lösung komplexer Problemstellungen nicht nur deklaratives Wissen zu verbessern, sondern auch prozedurales und intuitives Wissen.

### 2.7.1 Bedeutung des Vorwissens beim Lernen mit Computersimulationen

Das Vorwissen stellt eine wichtige kognitive Ressource dar und gilt als wichtiger Prädiktor für eine Wissensveränderung durch Lernen (Krause & Stark, 2006). Empirische Befunde belegen, dass das Vorwissen einen entscheidenden Einfluss auf den Lernprozess und den Lernerfolg hat. Es wird angenommen, dass durch einen Transfer bereits Gelerntem die Lernenden ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Aneignung neuer Wissensinhalte anwenden. Bereits bestehende mentale Modelle, die aus themenspezifischem Vorwissen bestehen, werden durch die Integration neuer Informationen kumulativ erweitert. Die Menge und die Qualität an Vorwissen beeinflusst zudem die Lenkung der Aufmerksamkeit der Lernenden während der Aneignung von neuen Wissensinhalten. Die Aneignung kann jedoch erschwert werden, wenn es zu Unstimmigkeiten zwischen neuen Informationen und bestehendem Vorwissen kommt. Forschungsergebnisse geben Hinweise darauf, dass Lernende, die über ein vergleichsweise hohes Vorwissen verfügen, weniger auf instruktionale Unterstützung

angewiesen sind, da sie das Fehlen von instruktionaler Unterstützung besser kompensieren können. Renkl (1996) empfiehlt entsprechend für Lernende mit einem vergleichsweise hohen Vorwissen weniger instruktionale Unterstützung und für Lernende mit einem geringen Vorwissen entsprechend mehr instruktionale Hilfestellung. Für Lernende mit einem vergleichsweise geringen Vorwissen bieten die instruktionalen Maßnahmen effektive Hilfestellungen für einen erfolgreichen Wissenserwerb (White & Frederiksen, 1998). Daher ist ein angemessenes Instruktionsdesign, insbesondere für Novizen und für Lernende mit geringem Vorwissen, bei der Gestaltung der computergestützten Lernumgebung zu berücksichtigen.

Dem Lernen mit Computersimulationen kann im Vergleich zum Lernen mit Texten eine Sonderstellung zugeschrieben werden. Neben der Beeinflussung des Lernens durch themenspezifisches Vorwissen kann das Vorhandensein von Kenntnissen im Umgang mit dem Medium Computer (Computerkompetenz oder *computer literacy*) für einen erfolgreichen Wissenserwerb mitbestimmend sein. Die Aneignung neuer Wissensinhalte kann bei Lernenden, die über eine vergleichsweise geringe Computerkompetenz verfügen, beim Lernen mit Computersimulationen beeinträchtigt werden, da sie angehalten sind, neben der themenspezifischen Informationsverarbeitung zunächst Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit dem Computer und dem Computerprogramm entwickeln.

Im Rahmen dieser DFG-geförderten Studie wird davon ausgegangen, dass beim Lernen mit Computersimulationen Wissen verschiedener Kategorien beeinflusst wird. Die theoretisch zu unterscheidenden Wissenskategorien, die in der Studie erhoben werden, werden im Folgenden dargestellt.

### 2.7.2 Faktenwissen

Faktenwissen besteht aus dem Erinnern grundlegender, inhaltspezifischer und voneinander unabhängiger Inhaltselemente, wie beispielsweise Fachbegriffen, Definitionen, Regeln und Gesetzen, die nötig sind, um sich in einer Domäne auszukennen oder um Probleme lösen zu können (Anderson & Krathwohl, 2001; Krathwohl, 2002). Das Faktenwissen „*Wissen, dass*“ kann daher bezeichnet werden als die Kenntnis von Sachverhalten oder von Aussagen über einen Sachverhalt (vgl. Jarz, 1997). Faktenwissen ist eine deklarative und statische Wissensart und wird durch Propositionen und Repräsentationen im Gedächtnis gespeichert. Statisch meint in diesem Zusammenhang, dass einzelne Fakten beliebig ergänzt und erweitert werden können, ohne untereinander in Form eines semantischen Netzwerkes in Verbindung zu stehen. Als Beispiel hierfür sind einzelne Vokabeln zu nennen, aus denen sich jedoch ohne Kenntnis der entsprechenden Grammatik keine sinnvollen Sätze bilden lassen.

### 2.7.3 Konzeptuelles Wissen

Konzeptuelles Wissen „*Wissen, warum*“ kann bezeichnet werden als vernetztes Wissen, das in Schemata, semantischen Netzwerken, mentalen Modellen oder Hierarchien gespeichert werden kann und bildet die Grundlage inhaltlichen Verständnisses. Es gilt als die Verbindung der grundlegenden Elemente zu einer größeren, funktionierenden Struktur (Krathwohl, 2002;

Rittle-Johnson, Siegler & Alibali, 2001). Anderson und Krathwohl (2001) definieren konzeptuelles Wissen als Wissen höherer Komplexität und organisierter Form im Vergleich zu Faktenwissen. Im Vergleich zu Faktenwissen werden beim konzeptuellen Wissen größere und in Relationen stehende Grundelemente verlangt (Byrnes & Wasik, 1991; Hiebert & Lefevre, 1986). Konzeptuelles Wissen kann daher kognitionspsychologisch betrachtet werden als ein informationsreiches Netzwerk, indem die verbundenen Relationen bedeutender sind als die eigenständigen oder voneinander isolierten Grundelemente. Die Relationen sind für konzeptuelles Wissen ebenso bedeutend wie die einzelnen Informationseinheiten, die über diese Relationen miteinander verknüpft sind. Die Relationen durchziehen individuelle Fakten und Propositionen, so dass ein semantisches Netzwerk entsteht. Die Qualität konzeptuellen Wissens besteht in der Qualität der logischen Relationen der verbundenen Informationseinheiten.

#### **2.7.4 Prozedurales Wissen**

Unter den unterschiedlichen Definitionen des prozeduralen Wissens verschiedener Autoren (Haapsalo & Kadjevich, 2000; Hiebert & Lefevre, 1986; Rittle-Johnson, Siegler & Alibali, 2001; Süß, 1996), wird in dieser Arbeit Bezug auf die Definition von Byrnes und Wasik (1991) genommen. Während Rittle-Johnson, Siegler und Alibali (2001) in ihrer Definition des prozeduralen Wissens lediglich Bezug auf handlungsspezifische Aktionen zur Problemlösung nehmen, beziehen Byrnes und Wasik (1991) in ihre Definition zusätzlich die Strategien mit ein, die zur Zielerreichung nötig sind. Byrnes und Wasik (1991) beschreiben in ihrer Definition prozedurales Wissen als das „*Wissen, wie*“ man bestimmte Ziele erreicht oder welche Schritte notwendig sind, um diese Ziele zu erreichen. Zur Prozedur der Zielerreichung zählen sie Fähigkeiten, Strategien und verinnerlichte, also erfahrungsbasierte, Handlungsweisen:

*“Procedural knowledge, on the other hand, is ‘knowing how’, or the knowledge of the steps required to attain various goals. Procedures have been characterized using such constructs as skills, strategies, productions, and interiorized actions”* (Byrnes und Wasik, 1991, S. 777).

#### **2.7.5 Intuitives Wissen**

Aus der Forschungsliteratur ist zu entnehmen, dass sich die Aneignung intuitiven Wissens durch das Lernen mit entdeckenden Lernumgebungen von der Aneignung der anderen oben genannten Wissensarten unterscheidet. Es können daher einige Effekte des Lernens mit Computersimulationen durch reine Wissenstests im herkömmlichen Sinne nicht gezeigt werden. Dies schlussfolgerten Thomas und Hooper (1991) aus einer Metaanalyse von Studien, die mit Computersimulationen durchgeführt wurden. Die Items der Wissenstests, die in diesen Studien Einsatz fanden, erhoben Faktenwissen und Verständnis und bezogen sich auf unmittelbare Anwendungen im Umgang mit der entsprechenden Computersimulation. Aus ihren Ergebnissen folgerten sie, dass Computersimulationen als „Programme zum Erfahrung sammeln“, sogenannte „*experiencing programs*“, angesehen werden können. Durch Erfahrungen, die Lernende mit dem Umgang einer Computersimulation gewinnen,

erhalten Lernende u.a. die Möglichkeit, ein Verständnis über ihr gesetztes Lernziel zu erlangen, das als intuitiv bezeichnet werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass sich Lernende während des Umgangs mit entsprechenden Computersimulationen intuitives Wissen aneignen (Lindström et al., 1993; Swaak & de Jong, 1996; Swaak & de Jong, 2001; Swaak et al., 1998). Nach Lindström et al. (1993) wird intuitives Wissen verstanden als *„Problemlösen oder Problemformulierung durch eine plötzliche (mentale) Erleuchtung, die ihren Ursprung auf einer umfassenden Erkenntnis eines Phänomens oder einer Situation hat“* (übersetzt durch den Autor dieser Arbeit).

Dieses begründet sich auf mannigfaltige Erfahrungen des Betreffenden über das Phänomen über einen längeren Zeitraum:

*„Formulating or solving a problem through a sudden illumination based on global perception of a phenomen. It originates from widely varied experience of that phenomen over a long time“* (Lindström et al. 1993, S. 265).

Lindström et al. (1993) legen in ihrer Definition des intuitiven Wissens einen Schwerpunkt auf die längerfristig gewonnenen Erfahrungen, die nötig sind, damit sich Lernende intuitives Wissen aneignen können. Ebenso argumentieren Swaak & de Jong (1996), indem sie ausführen, dass intuitives Wissen von einem Betreffenden nur angeeignet wird, nachdem bereits vorhandenes und domänenspezifisches Vorwissen in als reichhaltig und dynamisch wahrgenommenen Situationen angewendet wurde. Als reichhaltig bezeichnen sie Lernumgebungen, die Lernenden ein großes themenspezifisches, inhaltliches Repertoire bieten, aus dem Lernende eine Vielzahl an Informationen ziehen können. Intuitives Wissen kann in diesem Zusammenhang durch bloßes wörtliches Lernen nicht generiert werden. Es kann nur im Zuge direkter und auf individueller und längerfristiger Erfahrung beruhender Beteiligung des Betreffenden in einer praktischen oder mentalen Aktivität erlangt werden (Fischbein, 1987). Der Qualität intuitiven Wissens werden fünf Kriterien der Charakterisierung zugeschrieben (vergl. Swaak & de Jong, 2001):

- 1) Intuitives Wissen kann nur generiert werden, nachdem bereits bestehendes Wissen in als reichhaltig wahrgenommenen, dynamischen Situationen angewendet wurde. Wird Wissen in reichhaltigen Kontexten angewendet, so werden implizite (unbewusste) Lernprozesse ausgelöst (vgl. Berry, 1987), die zu intuitivem Wissen führen können.
- 2) Intuitives Wissen ist schwer verbalisierbar. Das Lernen mit entdeckenden Lernumgebungen erfolgt häufig in einem impliziten, als unbewusst beschriebenen Lernprozess, der für die Betreffenden schwer zu artikulieren ist. Des Weiteren kann intuitives Wissen unabhängig von den Wahrnehmungen und Handlungen in der Vorstellung (bildlich) aktiviert werden. Intuitives Wissen lässt sich als vorbegrifflich beschreiben und lässt sich (vorerst) nicht sprachlich artikulieren. Es stützt sich auf intuitive Vorstellungen und erfahrene Beziehungen im Sinne verinnerlichter Wahrnehmungen (Reinmann & Mandl, 2004). Intuitives Wissen gilt daher als unreflektiertes Wissen (vgl. Strack & Deutsch, 2004), mit dem auf der Basis wenig vorhandener, expliziter Information Schlussfolgerungen gezogen werden können, die normalerweise erforderlich sind, um zu der Schlussfolgerung zu gelangen (Westcott, 1968).

- 3) Für den Erwerb intuitiven Wissens spielt die Veranschaulichung eines Sachverhaltes eine entscheidende Rolle. Fischbein (1981) betont die Wichtigkeit dieser Visualisierung durch externe Repräsentation.
- 4) Antizipation, die Voraussicht oder Vorwegnahme von Ereignissen, Entwicklungen oder Handlungen, spielt bezüglich des intuitiven Wissens eine bedeutende Rolle. Intuitive Erwartungen antizipieren, was passieren wird, und die intuitive Beurteilung oder die intuitive Auffassung antizipiert den Ausgang eines Sachverhaltes, dessen Ausgang jedoch komplexer ist, als er intuitiv dargestellt werden kann. Ein Handlungsausgang kann richtig vorhergesagt werden, ohne diesen explizit begründen zu können.
- 5) Der Zugriff im Gedächtnis von Wissen mit intuitiver Qualität unterscheidet sich von Wissen, das diese intuitive Qualität nicht besitzt. Aufgrund der Schwierigkeit, intuitives Wissen zu verbalisieren, ist es somit problematisch, einen gedanklichen Zugang zu erhalten. Nach Lindström et al. (1993) sind intuitives und konzeptuelles Verständnis als Wissensarten zu verstehen, die ineinander übergehen, anstatt sie als separate Einheiten zu betrachten.

Lindström et al. (1993) fokussieren mit ihrer Definition des intuitiven Wissens des Weiteren auf die Geschwindigkeit, in der ein Handlungsausgang antizipiert wird. Da es sich um zunächst unreflektiertes Wissen handelt, kann ein Handlungsausgang in vergleichsweise kürzerer Zeit antizipiert werden, als wenn die Person reflektiert. Eine schnelle Antizipation eines Handlungsausganges erhält dadurch eine intuitive Qualität.

Es lässt sich zusammenfassen, dass für einen Erwerb intuitiven Wissens aktive und längerfristige Erfahrungen einer Person unverzichtbar sind. Intuitives Wissen gilt als unreflektiertes Wissen und ist schwer zu verbalisieren. Intuitives Wissen äußert sich in einer schnellen Handlung einer antizipierten Situation. Swaak und de Jong (2001) definieren intuitives Wissen als „*schnelle Auffassung antizipierter Situationen*“ (übersetzt durch den Autor):

„*The quick perception of anticipated situations*“ (Swaak und de Jong, 2001, S. 288).

Der Handlungsausgang kann aufgrund der Schwierigkeit der Verbalisierung nicht explizit begründet werden.

**Zusammenfassung**

Das Lernen mit Computersimulationen führt zur Aneignung deklarativen Wissens (Faktenwissen und konzeptuelles Wissen), prozeduralen Wissens und intuitiven Wissens. Faktenwissen bezeichnet grundlegende Elemente, die kein semantisches Netzwerk bilden. Konzeptuelles Wissen bezeichnet die Verbindung grundlegender Elemente zu einer funktionsträchtigen Struktur höherer Komplexität. Durch die Lösung komplexer Problemstellungen mit Hilfe der Durchführung computersimulierter Experimente verbessern Lernende ihr prozedurales Wissen im Umgang mit der Computersimulation und in den wissenschaftlichen Arbeitsweisen. Prozedurales Wissen beschreibt, mit welchen Fähigkeiten, Strategien und Handlungsweisen bestimmte Ziele erreicht werden. Intuitives Wissen wird verstanden als eine schnelle Auffassung einer antizipierten Situation, die auf individuellen und längerfristigen Erfahrungen beruht. Intuitives Wissen gilt dabei als unreflektiertes Wissen.

Zugunsten einer besseren Übersicht wird an dieser Stelle eine kurze Zusammenfassung des Kapitels 2 „Theoretischer Hintergrund“ gegeben, bevor im folgenden Abschnitt die Forschungsfrage dieser Arbeit dargestellt wird.

**Zusammenfassung**

Entdeckendes Lernen mit Computersimulationen allein führt oftmals nicht zu effektiven Lernerfolgen. Für einen erfolgreichen Wissenserwerb benötigen Lernende instruktionale Maßnahmen, die den Lernprozess und einen Lernerfolg effektiv unterstützen.

Die Dateninterpretation und Selbstregulation sind bereits identifizierte Problembereiche, die Schwierigkeiten beim Lernen mit Computersimulationen bereiten.

Es werden daher konkrete instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation beim Lernen mit einer Computersimulationen zum Räuber-Beute-Prinzip auf einen Wissenszuwachs im Fach Biologie entwickelt und getestet. Es wird der Wissenszuwachs in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf die verschiedenen Wissensarten Faktenwissen, prozedurales Wissen, konzeptuelles Wissen und intuitives Wissen untersucht. Aus der Literatur lässt sich ableiten, dass weiterhin ein Forschungsdefizit besteht, mit welchen instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation diesen Schwierigkeiten erfolgreich begegnet werden kann. Es wird erwartet, dass die ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation einen Wissenserwerb effektiv fördern.

## 2.8 Forschungsfrage

Die Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

*„Mit welchen konkreten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation lässt sich der Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie verbessern?“*

## 2.9 Hypothesen

Auf der Basis der identifizierten Probleme Lernender bei der *Dateninterpretation* und der *Selbstregulation* sowie Hinweisen aus der Forschungsliteratur, mit welchen entsprechenden instruktionalen Maßnahmen ein themenspezifischer Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen verbessert werden kann, ergeben sich die folgenden Hypothesen. Die Hypothesen (1) bis (5) betreffen die Auswirkungen der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf den Wissenserwerb mit Hilfe der computergestützten Lernumgebung. Darunter beziehen sich die Hypothesen (1) bis (4) auf allgemeine Effekte der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf einen Wissenserwerb; die Hypothese (5) bezieht sich auf konkrete Effekte. Die Hypothesen (6) bis (8) betreffen den Einfluss von moderierenden Faktoren auf den Wissenserwerb.

### Hypothese 1

*Die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation fördern die Aneignung von themenspezifischem Faktenwissen, konzeptuellem Wissen, prozeduralem Wissen und intuitivem Wissen beim Lernen mit Computersimulationen.*

Da Moreno und Mayer (2005) sowie Lin und Lehmann (1999) zeigen konnten, dass das Begründen von Simulationsergebnissen einen Wissenserwerb fördert (vgl. Abschnitt 2.4.2), kann erwartet werden, dass sich die ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation effektiv auf einen themenspezifischen Wissenserwerb auswirken. Da White und Frederiksen (1998) in einer Studie nachweisen konnten, dass sich eine Reflexion über das Simulationsergebnis effektiv auf einen Wissenserwerb auswirkt (vgl. Abschnitt 2.4.3), wird erwartet, dass eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation einen domänenspezifischen Wissenserwerb fördert.

**Hypothese 2**

*Die instruktionalen Maßnahmen verbessern bei einmaligem Einsatz vor allem den prozeduralen, jedoch nicht den intuitiven Wissenserwerb.*

Zhang et al. (2004) weisen in einer Studie nach, dass durch Maßnahmen der reflexiven Unterstützung das prozedurale Wissen verbessert wird (vgl. Abschnitt 2.4.3). Lindström et al. (1993) zeigen durch ihre Forschungsergebnisse, dass die Aneignung intuitiven Wissens durch das Lernen mit einer computergestützten Lernumgebung einer längerfristigen Erfahrung in der entsprechenden Domäne bedarf (vgl. Abschnitt 2.7.5). Es wird aus diesen Gründen angenommen, dass bei einem einmaligen Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zwar der prozedurale Wissenserwerb, jedoch nicht das intuitive Wissen verbessert wird.

**Hypothese 3**

*Die instruktionalen Maßnahmen verbessern bei wiederholtem Einsatz nicht nur den intuitiven und prozeduralen, sondern auch den konzeptuellen Wissenserwerb.*

Da Swaak und de Jong (1999) in einer Studie die Aneignung intuitiven Wissens nach mehrmaligem Lernen mit Computersimulationen nachweisen (vgl. Abschnitt 2.7.5), wird erwartet, dass die instruktionalen Maßnahmen bei wiederholtem Einsatz den intuitiven Wissenserwerb verbessern. Da White und Frederiksen (1998, 2000) durch ihre Studien zeigen konnten, dass längerfristiges Lernen mit Computersimulationen das prozedurale Wissen fördert (vgl. Abschnitt 2.3.1), wird angenommen, dass die ausgewählten instruktionalen Maßnahmen bei wiederholtem Einsatz den prozeduralen Wissenserwerb verbessern. White und Frederiksen (1998, 2000) zeigen in ihren Forschungsergebnissen effektive konzeptuelle Wissensveränderungen durch mehrfaches Lernen mit Computersimulationen (vgl. Abschnitt 2.3.1). Aufgrund dieser Erkenntnisse wird davon ausgegangen, dass die instruktionalen Maßnahmen bei wiederholtem Einsatz neben dem intuitiven und prozeduralen auch den konzeptuellen Wissenserwerb fördern.

**Hypothese 4**

*Die instruktionalen Maßnahmen haben einen weniger ausgeprägten Effekt auf den Erwerb von Faktenwissen.*

Weil Computersimulationen weniger der Vermittlung von Fakten als von dynamischen Vorgängen dienen, wird davon ausgegangen, dass die instruktionalen Maßnahmen sich weniger effektiv auf den Erwerb von themenspezifischem Faktenwissen auswirken (vgl. Abschnitt 2.3.1).

**Hypothese 5a**

*Instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation verbessern das konzeptuelle Wissen.*

Aus Studienergebnissen von Lin und Lehmann (1999) sowie Moreno und Mayer (2005) ergeben sich Hinweise, dass sich eine Begründung des Simulationsergebnisses positiv auf einen konzeptuellen Wissenserwerb auswirkt (vgl. Abschnitt 2.4.2). Es wird daher angenommen, dass die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation sich effektiv auf einen konzeptuellen Wissenserwerb auswirken.

**Hypothese 5b**

*Instruktionale Maßnahmen zur Selbstregulation verbessern das prozedurale Wissen.*

Da White und Frederiksen (1998) nachweisen konnten, dass sich eine reflexive Bewertung der eigenen Arbeitsweisen positiv auf das Untersuchungsverhalten und das Verständnis der Lernenden auswirkt (vgl. Abschnitt 2.4.3), wird erwartet, dass sich eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation effektiv auf das prozedurale Wissens auswirkt.

**Hypothese 6**

*Lernende mit geringem Vorwissen können sich durch die instruktionalen Maßnahmen vergleichsweise stärker verbessern als Lernende mit einem hohen Vorwissen.*

Da Forschungsergebnisse von White und Frederiksen (1998) Hinweise darauf geben, dass instruktionale Maßnahmen für Lernende mit geringem Vorwissen die Wissensaneignung effektiv unterstützen können und Renkl (1996) für Lernende mit einem vergleichsweise hohen Vorwissen weniger instruktionale Unterstützung empfiehlt (vgl. Abschnitt 2.7.1), wird erwartet, dass sich Lernende mit geringem Vorwissen durch die instruktionalen Maßnahmen vergleichsweise stärker verbessern können als Lernende mit einem hohen Vorwissen.

**Hypothese 7**

*Bei geringer Computerkompetenz wird trotz der instruktionalen Maßnahmen wenig Wissen mit der Computersimulation erworben.*

Da sich häufig Lernende eine Kompetenz im Umgang mit dem Computer im außerschulischen Bereich aneignen, jedoch viele Lernende nicht diese Möglichkeit haben (vgl. Abschnitt 2.3.2), wird davon ausgegangen, dass bei geringer Computerkompetenz trotz der instruktionalen Maßnahmen wenig Wissen mit der Computersimulation erworben wird.

**Hypothese 8**

*Bei geringen Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen wird trotz der instruktionalen Maßnahmen wenig Wissen mit der Computersimulation erworben.*

Da eine Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen nicht als Voraussetzung gelten kann (vgl. Abschnitt 2.6), wird erwartet, dass bei geringen Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen trotz der instruktionalen Maßnahmen wenig Wissen mit der Computersimulation erworben wird.

---

## 3 Methoden

In diesem Kapitel werden die Methoden und das Material, das in der empirischen Studie Verwendung fand, vorgestellt.

### 3.1 Stichprobe

An der Interventionsstudie nahmen freiwillig  $N = 124$  (weiblich:  $n = 69$ , männlich:  $n = 55$ ) Lernende aus sechs Realschulklassen der achten Jahrgangsstufe teil. Die Verteilung von weiblichen und männlichen Versuchsteilnehmern ist in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen nicht ganz äquivalent. Das Alter der Lernenden variierte zum Zeitpunkt der Studie zwischen 13 und 16 Jahren ( $M = 14.5$ ;  $SD = 0.23$ ). Die Anzahl der Lernenden in den verschiedenen Schulklassen variierte zwischen  $N = 18$  und  $N = 24$ .

Eine weitere Stichprobe, deren Teilnehmer freiwillig den themenspezifischen Papier-und-Bleistift-Vorwissenstest und den entsprechenden Nachtest *ohne* Intervention mit dem Computerprogramm bearbeiteten, umfasste  $N = 23$  Teilnehmer (weiblich:  $n = 11$ , männlich:  $n = 12$ ). Das Durchschnittsalter der Teilnehmer dieser Untersuchungsbedingung betrug zum Zeitpunkt der Datenerhebung  $M = 13.4$  Jahre ( $SD = 0.49$ ).

## 3.2 Forschungsdesign

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde ein 3x2-faktorielles, quasiexperimentelles Forschungsdesign mit Vor- und Nachtests entworfen und eingesetzt (vgl. Abbildung 3.1). Die im Design dargestellten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation werden im folgenden Abschnitt 3.3 näher beschrieben. Da die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung, die nicht an den Interventionen teilnahmen weder mit der Computersimulation arbeiteten noch instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und/oder zur Selbstregulation erhielten, wird diese Untersuchungsbedingung in dem 3x2-faktoriellen Forschungsdesign nicht berücksichtigt.

Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation			
		Keine Aufforderung zur Reflexion	Aufforderung zur Reflexion
Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation	Keine Ergebnisbeschreibung und Ergebnisinterpretation	$n = 20$	$n = 18$
	Vorgegebene Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses	$n = 18$	$n = 24$
	Lernender beschreibt und interpretiert sein Simulationsergebnis	$n = 21$	$n = 23$

Abbildung 3.1: 3x2-faktorielles Forschungsdesign der Studie mit der Darstellung der Anzahl Lernender in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen.

### **3.3 Unabhängige Variablen: „Instruktionale Maßnahmen“**

Die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation, die in der empirischen Interventionsstudie eingesetzt wurden, stellen die unabhängigen Variablen des Forschungsdesigns dar. Es wurden instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation ausgewählt, entwickelt und in der Untersuchung getestet. In diesem Abschnitt werden diese instruktionalen Maßnahmen dargestellt.

#### **3.3.1 Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation**

Zur instruktionalen Unterstützung der Dateninterpretation wurden insgesamt drei unterschiedliche Bedingungen geschaffen. Jeder Lernende wurde von jeweils einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation in beiden Interventionen unterstützt.

Als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation

- (1) erhielt der Lernende keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, oder
- (2) der Lernende erhielt nach jedem durchgeführten computersimulierten Experiment die entsprechende Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm, oder
- (3) der Lernende wurde aufgefordert, sein eigenes Computersimulationsergebnis zunächst selbst zu beschreiben und anschließend biologisch zu interpretieren.

#### **3.3.2 Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation**

Zur instruktionalen Unterstützung der Selbstregulation wurden insgesamt zwei unterschiedliche Bedingungen geschaffen. Die Hälfte der Studienteilnehmer wurde von der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation in beiden Interventionen unterstützt; die andere Hälfte erhielt keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation.

Als instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation

- (1) erhielt der Lernende keine Reflexionshilfe als instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation, oder
- (2) der Lernende erhielt die Möglichkeit, die eigene Arbeitsweise nach der Bearbeitung der Arbeitsaufträge während einer Intervention mit Hilfe einer im Computerprogramm integrierten Reflexionshilfe zunächst zu bewerten und anschließend im Programm schriftlich zu begründen.

### 3.4 Abhängige Variable: „Wissen“

Abhängige Variable ist der themenspezifische Wissenserwerb. In der Studie wurde das themenspezifische Wissen als ein Gesamtkonstrukt erhoben. Dieses Gesamtkonstrukt wurde auch in seine theoriegeleiteten Subskalen Faktenwissen, konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen unterteilt und dargestellt. Ferner wurde intuitives Wissen erhoben.

#### 3.4.1 Erhebung des Faktenwissens, konzeptuellen und prozeduralen Wissens

Das Faktenwissen, konzeptuelle und prozedurale Wissen wurde mittels eines Papier-und-Bleistift-Tests erhoben. Der Test zur Erhebung des Wissens in den oben genannten drei Kategorien wurde an jeden Versuchsteilnehmer ausgehändigt. Um eine spätere, jedoch anonyme Zuordnung zusammengehörender Vor- und Nachtests zu gewährleisten, wurden die Lernenden gebeten, sechsstellige Namenscodes auf dem Deckblatt jedes Tests zu notieren. Der Namenscode besteht aus dem Anfangsbuchstaben des eigenen Vornamens, dem Anfangsbuchstaben des Vornamens der Mutter sowie dem vierstelligen Geburtscode der Mutter, bestehend aus Geburtstag und Geburtsmonat. Darüber hinaus wurden die Lernenden gebeten, auf dem Deckblatt demographische Angaben zu ihrer Person zu machen. Neben der Angabe der besuchten Schule und der Schulklasse sollte jeder Lernende seine letzte Biologie-Zeugnisnote, sein Geschlecht und sein Alter angeben. Die Items des Wissenstests befinden sich im Anhang dieser Arbeit im Abschnitt 7.

#### 3.4.2 Erhebung des intuitiven Wissens mittels „Schnelltest“

Für die vorliegende Studie wurde zur Erhebung des intuitiven Wissens in Anlehnung an Swaak und de Jong (2001) ein zusätzliches Computerprogramm „Schnelltest“ entwickelt. Da die Erhebungsmethode an das Vorhandensein von Computern gebunden ist, wurde das intuitive Wissen direkt an den Interventionstagen in Form von Vor- und Nachtests in den Schulklassen an Laptops erhoben (vgl. Abbildung 3.2 und Abbildung 3.27).

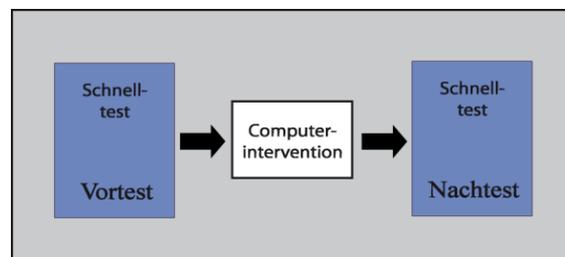


Abbildung 3.2: Die Erhebung des intuitiven Wissens erfolgte an jedem Interventionstag mit Hilfe des Computerprogramms „Schnelltest“ als Vor- und Nachtest.

## 3.5 Kontrollvariablen

Um den Einfluss bestimmter Störvariablen kontrollieren zu können, wurden zusätzlich zu den unabhängigen und abhängigen Variablen ausgewählte Kontrollvariablen in die Untersuchung mit einbezogen. Als Kontrollvariablen wurden die subjektiv eingeschätzte Computerkompetenz, die computerbezogene Motivation im Vortest, die Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen und die kognitive Belastung im Nachtest jedes Lernenden zusätzlich erhoben.

## 3.6 Material

In diesem Abschnitt werden das in der Studie verwendete Material und die Testinstrumente dargestellt. Abbildungen über das gesamte Material, das in dieser Studie Anwendung fand, befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

### 3.6.1 Lernumgebung

#### Gestaltung der Lernumgebung „*SimBioSee*“

Im Rahmen dieser Dissertation wurde eine computergestützte, gewässerökologische Lernumgebung (Computerprogramm) entwickelt und eingesetzt, die eine Computersimulation zum Räuber-Beute-Modell am Beispiel zweier in Mitteleuropa einheimischer Fischarten beinhaltet. Die Lernumgebung wurde mittels wxWidgets<sup>7</sup> und den HTML<sup>8</sup>-Editoren Macromedia<sup>®</sup> Dream Weaver<sup>®</sup> (2004) und Microsoft<sup>®</sup> Frontpage<sup>®</sup> (2000) sowie mit Hilfe einer freien HTML-Notierung des Quelltextes<sup>9</sup> programmiert. Der Inhalt der im Folgenden dargestellten Informationsseiten wurde mittels HTML-Quellcodierung erstellt. Diese Art der Programmierung ermöglicht eine flexible und einfache Gestaltung von Seiteninhalten sowie die Erweiterung oder das Einfügen von Kapiteln und Unterkapiteln in der Navigationsleiste. Im Anhang dieser Arbeit befinden sich die Abbildungen aller Bildschirmansichten des Computerprogramms.

---

<sup>7</sup> wxWidgets ist eine Quelltextbibliothek, die auf der Programmiersprache C++ basiert und dient zur Entwicklung von Anwendungen mit grafischer Benutzeroberfläche.

<sup>8</sup> Bei HTML (*Hypertext Markup Language*) handelt es sich um eine Auszeichnungssprache zur Erstellung von Webdokumenten.

<sup>9</sup> Durch die Quellkodierung (synonym auch als Quelltext bezeichnet) eines Dokuments lässt sich die Position des Inhaltes und dessen Darstellung auf der Seite definieren.

---

## **Bereitstellung der Lernumgebung auf Computern**

Die Lernumgebung „*SimBioSee*“ kann mittels einer ausführenden Datei (EXE-Datei) auf Computern mit einem Windows<sup>®</sup>-Betriebssystem gestartet werden. Die Lernumgebung muss nicht zwingend auf die Festplatte des Computers kopiert werden, da sich das Computerprogramm auch direkt von einem externen Speichermedium wie von einer CD aus starten lässt. Für eine Ansicht der Inhalte des Computerprogramms ist das Vorhandensein eines speziellen Webbrowsers<sup>10</sup> auf dem Computer nicht unbedingt erforderlich.

## **Struktur der Lernumgebung „*SimBioSee*“**

Die Lernumgebung ist linear in vier aufeinander folgende Bereiche gegliedert: (1) Eine Einleitung mit Instruktionen zur Bedienung des Computerprogramms und der Computersimulation, (2) gewässerökologische Grundlagen, (3) ein Lösungsbeispiel mit narrativem Charakter und (4) der Aufgabenteil, der die Computersimulation enthält. Die Lernumgebung ist bewusst in aufeinander folgende und aufeinander aufbauende Kapitel und Unterkapitel unterteilt, um den Lernenden schrittweise in die ökologische Thematik und den Umgang mit der Computersimulation einzuführen. Als ein zusätzliches Kapitel ist dem Aufgabenteil ein Glossar angehängt. Die in der Studie eingesetzte Lernumgebung ist in allen Untersuchungsbedingungen identisch. Unterschiede bestehen lediglich in den Bereichen, welche die instruktionalen Maßnahmen betreffen. Insgesamt beinhaltet das Programm incl. Startseite 49 Seiten, ein Glossar und eine zusätzliche Seite als Reflexionshilfe bei den Untersuchungsbedingungen, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten. Eine ausführliche Darstellung des Computerprogramms mit allen Standbildern findet sich im Anhang dieser Arbeit.

## **Darstellung der Lernumgebung am Computerbildschirm**

Die Lernumgebung wird ab Programmstart in einer senkrecht zweigeteilten Ansicht am Computerbildschirm dargestellt (vgl. Abbildung 3.3). Der linke und vergleichsweise schmalere Bereich der Bildschirmansicht beinhaltet die senkrecht angeordnete Navigationsleiste mit den Navigationselementen. Der rechte und breitere Bereich der Ansicht zeigt die thematischen Inhalte auf den entsprechenden Informationsseiten. Die Navigationsleiste beinhaltet Überschriften einzelner Kapitel und Unterkapitel. Bei der Auswahl eines Kapitels oder Unterkapitels in der Navigationsleiste wird parallel der entsprechende Inhalt auf der rechten Bildschirmseite angezeigt.

---

<sup>10</sup> Ein Webbrowser ist ein spezielles Computerprogramm (z.B. „Microsoft<sup>®</sup> Internetexplorer<sup>®</sup>“ oder „Mozilla<sup>®</sup> Firefox<sup>®</sup>“) zum Betrachten von Internetseiten im World Wide Web.

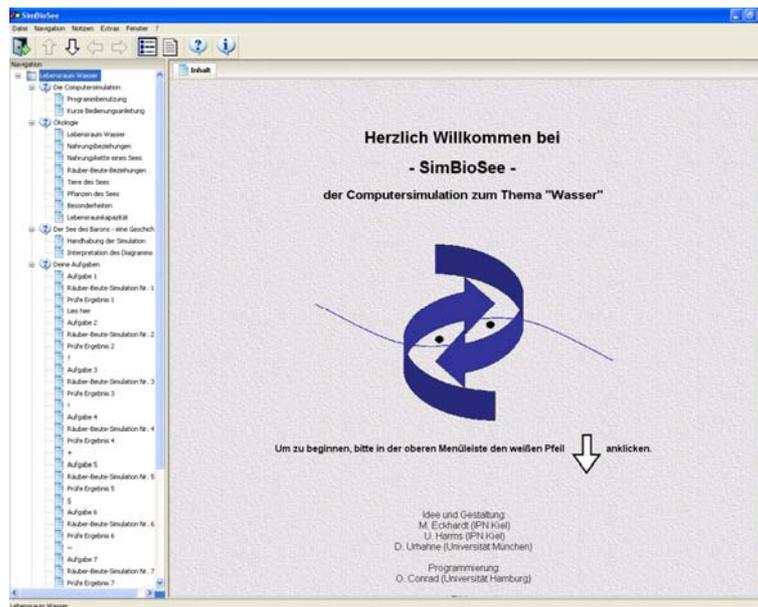


Abbildung 3.3: Standbild der Startseite der Lernumgebung „*SimBioSee*“ mit der senkrecht zweigeteilten Bildschirmansicht.

## Navigationselemente

Die im linken Bildschirmbereich stets sichtbar positionierte Navigationsleiste zeigt eine Übersicht über die Kapitel und Unterkapitel der gesamten Lernumgebung. Die Navigationsleiste kann manuell über ein in der Menüleiste integriertes Symbol ausgeblendet werden. Die Navigationspfeile in der im oberen Bildschirmbereich waagrecht angeordneten Menüleiste (vgl. Abbildung 3.4) ermöglichen eine schrittweise und nacheinander folgende Auswahl von Kapiteln und Unterkapiteln, über die man den dazugehörigen Inhalt der Seiten im rechten Bildschirmbereich aufruft. Sie ermöglichen den Zugriff auf die direkt folgende bzw. auf eine direkt vorhergehende Seite. Um sich durch die Lernumgebung navigieren zu können, ist die Nutzung der Navigationspfeile nicht zwingend notwendig, da durch einen Mausklick auf ein Kapitel bzw. Unterkapitel in der Navigationsleiste auf den dazugehörigen Inhalt jeder Seite jederzeit zugegriffen werden kann. Über ein weiteres Symbol in der Menüleiste lässt sich ein Texteingabefeld unterhalb der Navigationsleiste öffnen. Dieses im Programm als „Notizblock“ betitelt, durch den Lernenden aktivierbare Eingabefeld ermöglicht das Eintragen von Informationen. Der Inhalt des Textfeldes wird automatisch vom Programm als Textdokument in einem Ordner<sup>11</sup> des Programms gespeichert.



Abbildung 3.4: Menüleiste. Über das Türsymbol kann das Programm verlassen werden; über die Pfeile kann auf direkt benachbarte Seiten mittels eines Mausklicks zugegriffen werden. Mit Hilfe der beiden Symbole rechts neben den Pfeilen können die Navigationsleiste und der Notizblock ein- oder ausgeblendet werden. Durch Anklicken des Fragezeichens wird der Bereich der Reflexionshilfe geöffnet. Hinter dem Symbol „i“ verbirgt sich lediglich der Hinweis auf die Autoren des Computerprogramms.

<sup>11</sup> Verzeichnis in einem Dateisystem bei einem Computerprogramm.

## (1) Einleitung in die Lernumgebung

Um den Lernenden den Umgang mit dem Computerprogramm und dem ökologischen Thema zu erleichtern, wurde im Sinne einer experimentellen Unterstützung (vgl. Abschnitt 2.4.2) eine Führung durch das Computerprogramm durch dieses einleitende Kapitel umgesetzt. Das mit „Die Computersimulation“ betitelte Kapitel beinhaltet eine Bedienungsanleitung zur Funktionsweise und zum Aufbau des Programms (vgl. Abbildung 3.5). In diesem Kapitel wird auch der Begriff „Computersimulation“ erklärt. Auf den aktivierbaren Notizblock wird hingewiesen, der auf Wunsch des Anwenders ein- und ausgeblendet werden kann.

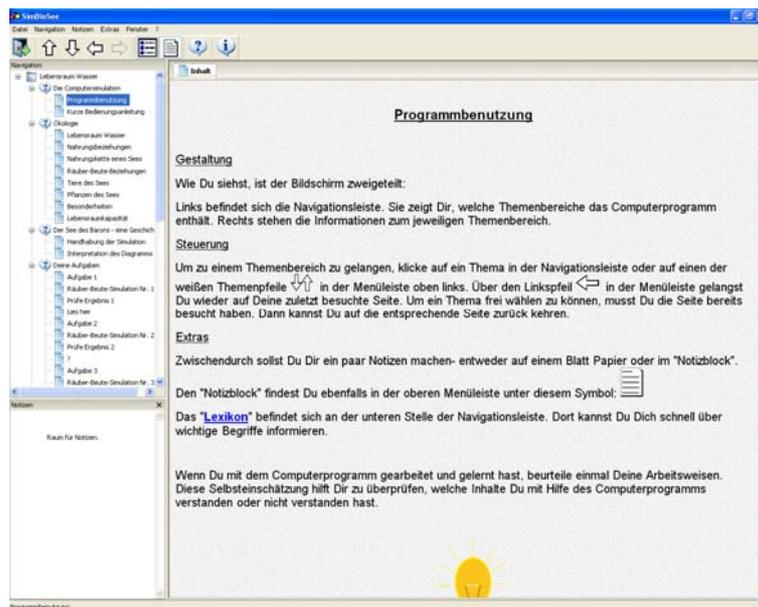


Abbildung 3.5: Bildschirmansicht der Softwareeinleitung mit einem Überblick der wichtigsten Bedienelemente des Computerprogramms. Linksseitig die Navigationsleiste, in der Kapitel und Unterkapitel senkrecht angeordnet sind, darunter das Texteingabefeld „Notizblock“; rechtsseitig die entsprechende Informationsseite. Durch einen Klick auf ein Kapitel in der Navigationsleiste wird dieses Kapitel blau unterlegt. Im oberen Bereich ist waagrecht die Menüleiste angeordnet.

Weiterhin befindet sich in dem Kapitel „Die Computersimulation“ eine Bedienungsanleitung zur Funktionsweise und zum Aufbau der Computersimulation (vgl. Abbildung 3.6).

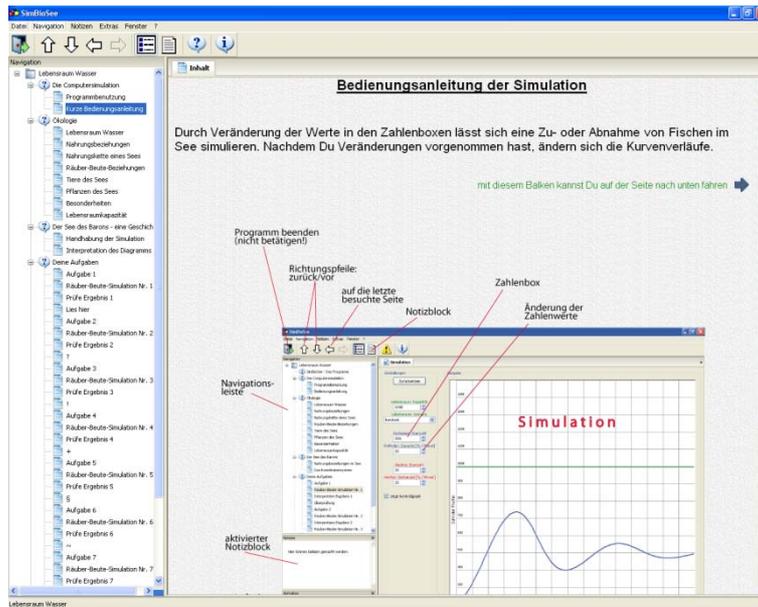


Abbildung 3.6: Bildschirmansicht der Bedienungsanleitung der Computersimulation.

## (2) Gewässerökologische Grundlagen

Das zweite Kapitel „Ökologie“ beinhaltet die für das gewählte Thema relevanten gewässerökologischen Grundlagen, die bereits im Theorieteil (vgl. Abschnitt 2.1.1) beschrieben wurden. Es wurden Energiefluss, Trophiestufen und Räuber-Beute-Wechselwirkungen thematisch in das Konzept „Ökosystem See“ in dieses Kapitel integriert. Das Kapitel beginnt mit einer Definition des Ökologiebegriffs und der Abgrenzung zwischen belebter und unbelebter Umwelt sowie einer Erklärung dieser Begriffe am Beispiel der Seerose (vgl. Abbildung 3.7).

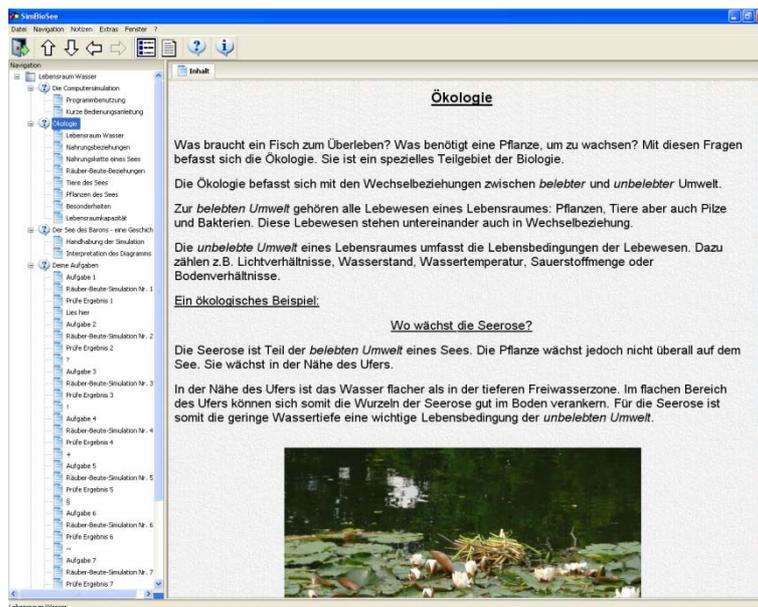


Abbildung 3.7: Einführung in den gewässerökologischen Teil der Lernumgebung am Beispiel der Seerose.

In den folgenden vier Unterkapiteln des Computerprogramms „Lebensraum Wasser“, „Nahrungsbeziehungen“, „Nahrungskette eines Sees“ und „Räuber-Beute-Beziehungen“ werden die Begriffe „Nahrungskette“, „Nahrungsnetz“ sowie deren Komponenten „Erzeuger“, „Verbraucher“ und „Zersetzer“ eingeführt und erklärt (vgl. Abbildung 3.8). Diese Begriffe sind im Programm als Hyperlinks<sup>12</sup> blau gekennzeichnet. Über diese Hyperlinks kann auf die entsprechende Glossarseite zugegriffen werden, auf der der entsprechende Begriff ebenfalls erklärt wird. Im Unterkapitel „Räuber-Beute-Beziehungen“ wird die Interaktion zwischen Räuber und dessen Beute erklärt.

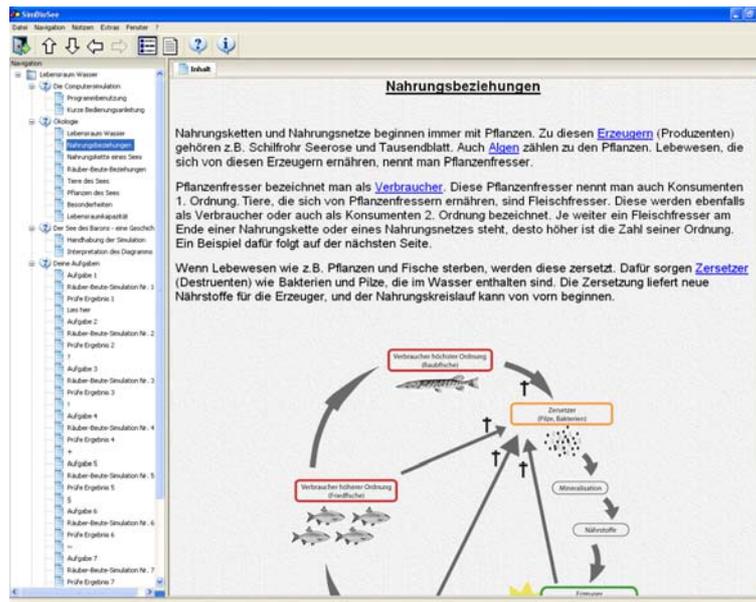


Abbildung 3.8: Darstellung der Nahrungsbeziehungen in einem See. Erklärt werden die Begriffe „Erzeuger“, „Verbraucher“ und „Zersetzer“. Über die blaue Kennzeichnung der Begriffe gelangt man durch Verlinkung (Hyperlink) auf die dazu gehörige Glossarseite, auf der dieser Begriff zusätzlich kurz erklärt wird. Des Weiteren ist ein Nahrungskreislauf mit den wichtigsten Komponenten in einem See modellhaft dargestellt.

Die Seiten der Unterkapitel „Tiere des Sees“ und „Pflanzen des Sees“ beinhalten Fotos und kurze Beschreibungen ausgewählter, einheimischer Gewässerorganismen in Form kleiner Steckbriefe in alphabetischer Reihenfolge (vgl. Abbildung 3.9).

<sup>12</sup> Als Hyperlink wird ein elektronischer Querverweis bezeichnet, über den man auf ein anderes Dokument, hier innerhalb des Computerprogramms, zugreifen kann.

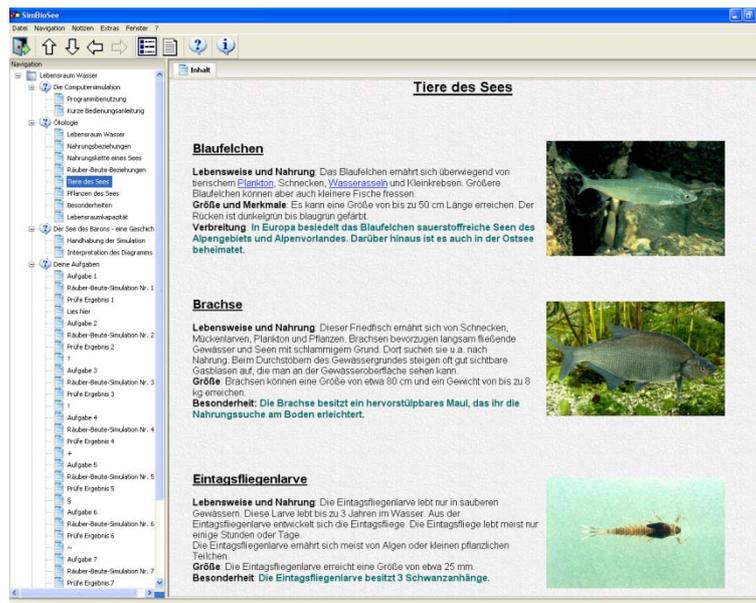


Abbildung 3.9: Bildschirmansicht des Unterkapitels „Tiere des Sees“.

Im Unterkapitel „Lebensraumkapazität“ wird dieser Begriff anhand des Ökosystems See erklärt. Der Lernende kann jederzeit auf relevante Informationen, die zu einem Verständnis der ökologischen Thematik beitragen können, während der Interaktion mit dem Computerprogramm zugreifen. Diese Form der experimentellen Unterstützung, permanent auf Hintergrundinformationen zugreifen zu können (vgl. Abschnitt 2.4.2), wurde somit realisiert.

### (3) Lösungsbeispiel

Als Maßnahme der interpretativen Unterstützung des Lernens (vgl. Abschnitt 2.4.1) wurde ein Lösungsbeispiel entwickelt und in das Computerprogramm integriert. Das dritte Kapitel „Der See des Barons – eine Geschichte“ beinhaltet ein problemorientiertes Lösungsbeispiel mit narrativer Form. In der fiktiven, kurzen Geschichte in Textform möchte ein Baron die Zahl seiner im See befindlichen Hechte durch das Einbringen zusätzlicher Hechte auf Dauer erhöhen. Der Lernende wird dabei als Wissenschaftler in die Geschichte mit einbezogen, indem er die Rolle eines Wissenschaftlers übernehmen soll. Gemäß des *Inquiry Cycle* soll zunächst eine Vorhersage über den möglichen Ausgang des computersimulierten Experiments getroffen, dann die Computersimulation durchgeführt und anschließend das Ergebnis biologisch begründet werden. Aus dieser Begründung wird eine Schlussfolgerung über das eingangs geschilderte Vorhaben gezogen und dem Baron mitgeteilt. Auf der Unterkapitelseite „Handhabung der Simulation“ wird der zum geschilderten Problem angemessene Umgang mit der Computersimulation dargestellt (vgl. Abbildung 3.10). Gezeigt wird durch Darstellung eines Computersimulationsstandbildes der korrekt einzustellende Parameter. Dabei wird Anfangszustand und Endzustand der Computersimulation beschrieben und erklärt. Mit Hilfe der folgenden Unterkapitelseite „Interpretation des Diagramms“ wird das am Anfang gestellte Problem erneut geschildert und das Simulationsergebnis des Computersimulationsstandbildes wird interpretiert. Aufgrund der Interpretation des Simulationsbildes wird die Frage des

anfänglichen Problems aufgegriffen und beantwortet. Es wird eine Schlussfolgerung aus dem Ergebnis des simulierten Experiments gezogen.

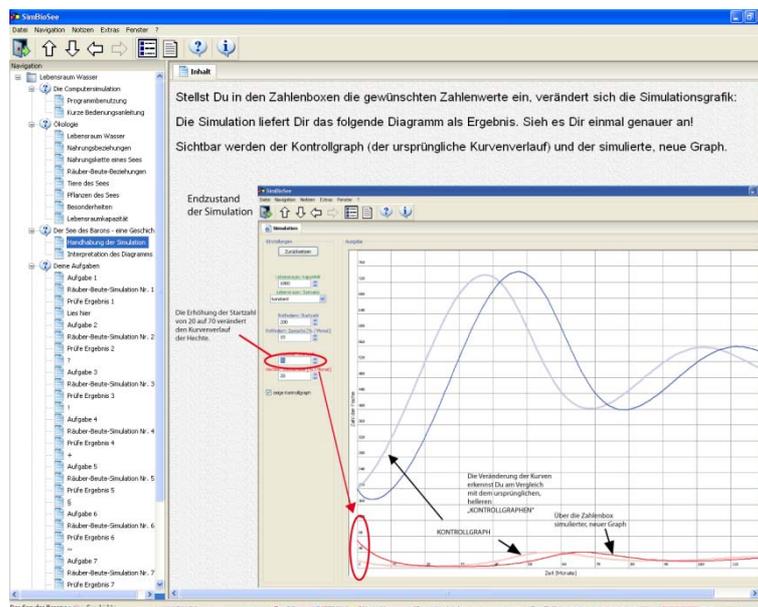


Abbildung 3.10: Unterkapitel „Handhabung der Simulation“. Veränderungen der Parameter und deren Auswirkungen in der Computersimulation werden durch ein Simulationsstandbild erklärt.

Das Lösungsbeispiel wurde in dieser Form gewählt, um dem Lernenden einen lebensweltlich orientierten Zugang zur Thematik zu gewährleisten, in der er als Person zur Lösung eines spezifischen Problems mit integriert wird.

#### (4) Aufgabenteil

Der Hauptteil der Lernumgebung „Deine Aufgaben“ beinhaltet den zu bearbeitenden Aufgabenteil. In diesem vierten Kapitel öffnet sich zeitgleich zu jeder Seite ein zusätzliches Informationsfeld im unteren Bereich der Navigationsleiste, so dass der linke Bildschirmbereich waagrecht in zwei Felder bzw. drei Felder bei geöffnetem Notizblock, unterteilt wird. Der linke Bildschirmbereich ist somit unterteilt in die obere Navigationsleiste und ein zusätzliches unteres Informationsfeld (vgl. Abbildung 3.11). Entsprechend der unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen variieren die Inhalte der Informationsfelder und den Seiten. Auf der einleitenden Kapitelseite „Deine Aufgaben“ erhält der Lernende vorab eine Anleitung zur Vorgehensweise bezüglich der schrittweisen und wissenschaftlichen Aufgabebearbeitung nach dem *Inquiry Cycle*. Die Aufgaben sind in numerischer Reihenfolge gekennzeichnet. Die Struktur aller Aufgaben ist gleich. Im Folgenden wird der strukturelle Aufbau einer Aufgabe exemplarisch beschrieben.

Auf der jeweiligen Unterkapitelseite „Aufgabe (Nr.)“ erhält der Lernende die Aufgabe. Eine Aufgabe beschreibt eine Ausgangssituation im Ökosystem, die durch einen Faktor verändert wird. Der Hinweis auf dem dazugehörigen Blatt einer Aufgabe, den ersten Punkt „Triff eine Vorhersage“ zu bearbeiten, findet sich im Informationsfeld der Navigationsleiste zusätzlich wieder. Einige Unterkapitelseiten der Aufgabenstellung beinhalten blau gekennzeichnete Hyperlinks zu entsprechenden Begriffen im Glossar.

Die darauffolgende Unterkapitelseite „Räuber-Beute-Simulation (Nr.)“ beinhaltet die Computersimulation zur Lösung der jeweiligen Aufgabe. Im Informationsfeld wird die Aufgabenstellung wiederholt. Zusätzlich enthält das Informationsfeld die Aufforderung zur Bearbeitung des zweiten Punktes auf dem Aufgabenblatt „Führe nun die Simulation durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen“. Eine zusätzliche Farblegende im Informationsfeld soll die Zuordnung der Kurven mit den entsprechenden Fischarten erleichtern.

Die folgende Unterkapitelseite „Prüfe Ergebnis (Nr.)“ zeigt die Aufforderung zur Überprüfung des eigenen Simulationsergebnisses mit der zuvor getroffenen Vorhersage. Im Informationsfeld erscheint die Aufforderung zur Bearbeitung des dritten Punktes „Prüfe, ob Deine Vorhersage mit dem Simulationsergebnis übereinstimmt“ und, abhängig von der jeweiligen Untersuchungsbedingung, des vierten Punktes „Beschreibe und interpretiere biologisch danach Dein Simulationsergebnis“.

Abhängig von der Untersuchungsbedingung folgt eine Unterkapitelseite mit einem Hyperlink „Begründung des Ergebnisses der (Nr.) Aufgabe“, die auf die entsprechende Ergebnisbegründung und -interpretation verweist.

### **Aufbau der Computersimulation**

Die Computersimulation besteht aus einem Koordinatensystem, in dem die Anzahl der Fischarten in zeitlicher Abhängigkeit als farblich unterschiedliche Kurven dargestellt sind und ausgewählten, veränderbaren Parametern (vgl. Abbildung 3.11). Die Kurve der dargestellten Beutepopulation (Rotfeder) ist blau, die Kurve der Räuberpopulation (Hecht) ist rot gekennzeichnet. Um ein Ablesen von Daten aus dem Koordinatensystem zu vereinfachen, beinhaltet das Koordinatensystem ein Gitternetz. Als unabhängige Variable ist auf der Abszisse die Zeit in Monaten aufgetragen. Als abhängige Variable ist auf der Ordinate die Zahl der Fische<sup>13</sup> aufgetragen. Linksseitig neben dem Koordinatensystem befinden sich in senkrechter Anordnung die veränderbaren Parameter (vgl. Abbildung 3.12). Die Bezeichnungen der Parameter sind farblich gekennzeichnet, um eine Zuordnung zu den entsprechenden Kurven zu vereinfachen. Die Parameter können verändert werden, indem entweder ganze Zahlenwerte in den Zahlenboxen durch die Computertastatur eingetragen werden können oder die Zahlenwerte können durch Richtungspfeile neben der Zahlenbox mit Hilfe der Computermaus verändert werden. Über den Knopf „Zurücksetzen“ können die durch den Lernenden veränderten Einstellungen in die voreingestellte Ausgangsposition zurückgesetzt werden. Durch die Aktivierung des Feldes „zeige Kontrollgraph“ mittels Setzen eines Hakens in das entsprechende nebenstehende Kontrollkästchen, bleiben die ursprünglichen Positionen der Kurven transparent bestehen und ermöglichen einen Vergleich des Computersimulationsergebnisses mit der Ausgangsposition (Kontrollgraph) der Simulation. Im Folgenden werden die Parameter gezeigt, die in der Computersimulation aktiv verändert werden können. In Klammern ist angegeben, um welche Einheiten es sich handelt,

---

<sup>13</sup> Die biologisch korrekte Bezeichnung „Biomasse“ anstelle des Begriffs „Individuenzahl“ wird nicht verwendet, da dieser Begriff zusätzlich im Computerprogramm für die Lernenden eingeführt und erklärt werden müsste. Der Begriff „Biomasse“ wird laut schleswig-holsteinischem Lehrplan und Lehrbüchern in der achten Realschulklasse derzeit auch nicht verwendet.

die verändert werden. Aus Gründen einer besseren Übersicht werden die Parameter an dieser Stelle kurz beschrieben.

Ausgewählte, veränderbare Parameter in der Computersimulation sind:

- **Lebensraumkapazität** (absolute Zahlen): Die Lebensraumkapazität, auch als Biotoptragfähigkeit bezeichnet, ist die maximale Zahl an Individuen einer Population oder Biozönose, die in einem definierten Lebensraum leben kann. Die Lebensraumkapazität ergibt sich aus dem verfügbaren Angebot an Nahrung und notwendigen Strukturen des jeweiligen Lebensraumes für die entsprechenden Individuen wie beispielsweise Tränken oder ausreichend Deckung.
- **Szenario „Konstanz“ des Lebensraumes**<sup>14</sup>: Die Lebensraumkapazität ist eine dynamische Größe, die im zeitlichen Verlauf variieren kann. Ändert sich beispielsweise die Dynamik der Lebensraumkapazität im jährlichen Rhythmus, wird diese als saisonale Biotoptragfähigkeit bezeichnet.
- **Startzahl der Rotfedern** (absolute Zahlen): Simulierte Zahl der Individuen der Beutepopulation (Rotfedern) zum Zeitpunkt Null der Computersimulation.
- **Zuwachs der Rotfedern** (relative Zahlen): Die durchschnittliche relative Zunahme der Beutetiere pro Zeiteinheit.
- **Startzahl der Hechte** (absolute Zahlen): Simulierte Zahl der Individuen der Räuberpopulation (Hechte) zum Zeitpunkt Null der Computersimulation.
- **Sterblichkeit der Hechte** (relative Zahlen): Die durchschnittliche relative Abnahme der Räuberindividuen pro Zeiteinheit.

---

<sup>14</sup> Über den Parameter „Lebensraum: Szenario“ kann die Art der Lebensraumkapazität eingestellt werden. Beispielsweise kann damit eine jahreszeitlich schwankende Lebensraumkapazität, oder die Halbierung der Lebensraumkapazität nach einer vordefinierten Zeitspanne simuliert werden. Die jahreszeitlich schwankende Lebensraumkapazität eines Sees kann beispielsweise, unabhängig von der Biomasse der gewählten Beispielorganismen, mit anhaltenden Trockenperioden und Hochwassern gemeint sein. Die Lebensraumkapazität wurde für die Studiendurchführung in allen Computersimulationen als konstant über den gegebenen Zeitraum voreingestellt.

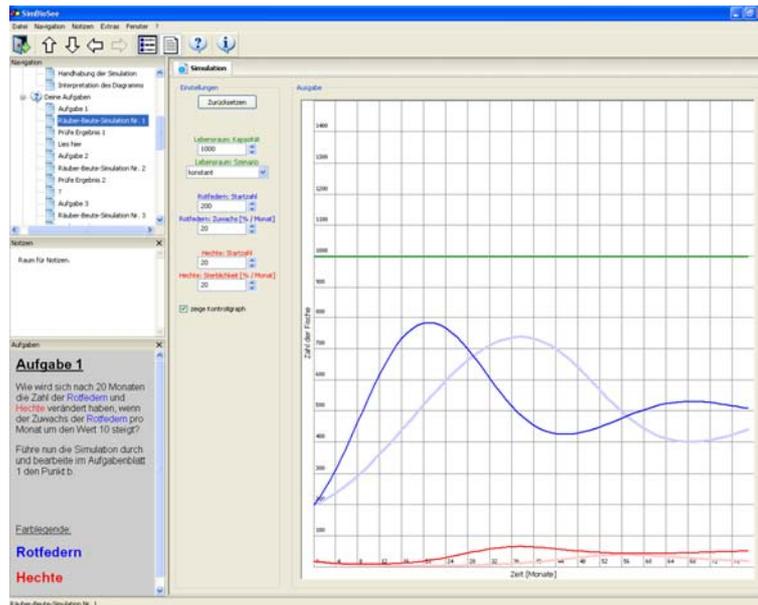


Abbildung 3.11: Bildschirmansicht der Computersimulation auf der Seite „Räuber-Beute-Simulation“. Das Koordinatensystem beinhaltet die Kurven der zwei Fischarten Hecht und Rotfeder und die transparent dargestellten Ausgangspositionen der Kurven. Die rote Kurve zeigt die Individuenzahl der Räuber (Hecht), die blaue Kurve zeigt die Individuenzahl der Beute (Rotfeder) gegen den zeitlichen Verlauf. Linksseitig neben dem Koordinatensystem senkrecht angeordnet sind die veränderbaren Parameter. Der linke Bildschirmbereich ist waagrecht unterteilt in Navigationsleiste (oben), eingblendetem Notizblock (Mitte) und Informationsfeld (unten) mit einer Aufgabenstellung.



Abbildung 3.12: Veränderbare Parameter in der Computersimulation. Die farbliche Kennzeichnung entspricht den Farben der dazugehörigen Kurven in der Simulation. Die Zahlenwerte können entweder über die Tastatur eingegeben werden oder sie können über die rechtsseitig angeordneten Pfeile erhöht oder erniedrigt werden.

## Glossar

Ein in das Computerprogramm integriertes Glossar als zusätzliches Kapitel „Lexikon“ ermöglicht den permanenten Zugriff auf Informationen (vgl. Abschnitt 2.4.2). Im Computerprogramm wird der Begriff „Lexikon“ anstatt des Begriffs „Glossar“ verwendet, da dieser Begriff bei den Versuchsteilnehmern als eher bekannt vorausgesetzt werden kann. Das

Glossar beinhaltet verschiedene in alphabetischer Reihenfolge angeordnete Seiten, auf denen die wichtigsten themenspezifischen Fachbegriffe in Kurzform erklärt werden (vgl. Abbildung 3.13). Über das Anklicken eines Buchstabens oder eines Begriffs, die sich waagrecht angeordnet unter der Menüleiste befinden, öffnet sich die entsprechend dazu gehörige Seite.

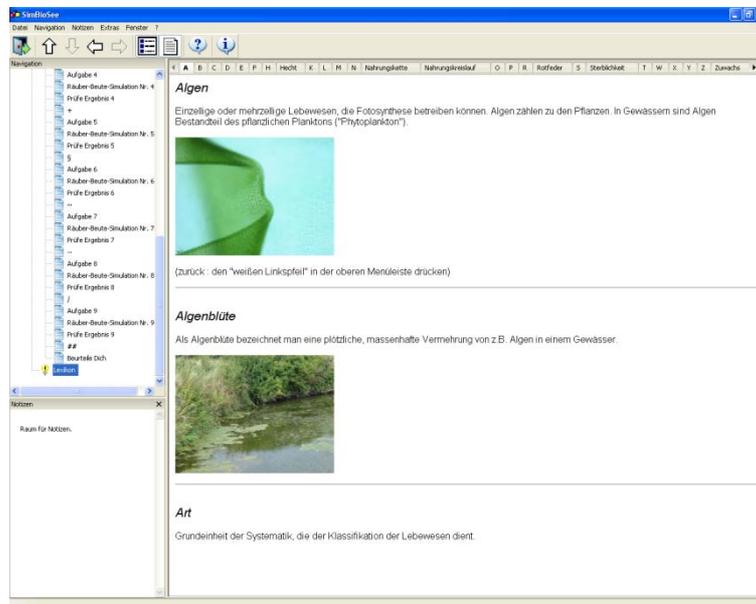


Abbildung 3.13: Beispiel einer Glossarseite.

## Logfiles

Unmittelbar nach dem Start der Lernumgebung zeichnet das Computerprogramm eine Protokolldatei (Logfile<sup>15</sup>) in Form einer Textdatei auf. In der Datei werden die Längen der einzelnen Besuchszeiten auf den Seiten dokumentiert. Weiterhin wird gespeichert, welche Seiten in welcher Reihenfolge besucht wurden. Gespeichert wird das Logfile in einem Ordner des Computerprogramms.

### 3.6.2 Arbeitsaufträge

Für die Unterstützung des Lernens wurden als Form der interpretativen Unterstützung (vgl. Abschnitt 2.4.1) Arbeitsaufträge entwickelt und in der Studie eingesetzt. Die Lernenden bearbeiteten verschiedene Arbeitsaufträge mit Hilfe der Computersimulation. Jeder der insgesamt acht Arbeitsaufträge wurde dem Lernenden auf einem Din A4 Papierausdruck dargereicht. Ein Arbeitsauftrag beschreibt ein ökologisches Ausgangsszenario zur Räuber-Beute-Beziehung, das durch einen externen Eingriff beeinflusst wird. Der zu simulierende Grad der Beeinflussung des Szenarios wird durch Zahlenwerte in jedem Arbeitsauftrag vorgegeben. Dieser Darstellung folgend wird eine Frage gestellt, welche Auswirkungen der Eingriff auf das eingangs beschriebene Szenario haben könnte. Ein Arbeitsauftrag erforderte

<sup>15</sup> Logfile bezeichnet die Aufzeichnungen eines Webservers. Ein Logfile protokolliert die Zugriffshäufigkeiten auf eine Webseite. Die Lernumgebung ist serverunabhängig; der Begriff Logfile wird in dieser Arbeit als Synonym für „gespeicherte Protokolldatei“ verwendet.

in allen Versuchsbedingungen die Bearbeitung von drei aufeinander folgenden Punkten auf dem Papierausdruck. Die Information, wann ein Punkt in einem Arbeitsauftrag bearbeitet werden sollte, wurde im Computerprogramm zum entsprechenden Zeitpunkt in einem Informationsfenster angekündigt (vgl. oben).

Der grundlegende Aufbau eines Arbeitsauftrags erfolgt nach der *POE*-Strategie (*predict – observe – explain*-Strategie) nach White und Gunstone (1992) mit dem *Inquiry Cycle* (White & Frederiksen, 1998) als Leitlinie (vgl. Abschnitt 2.4.1). Zunächst wurde der Lernende aufgefordert, (a) eine Vorhersage über den möglichen Ausgang des computersimulierten Experimentes zu treffen (vgl. zu den jeweiligen Punkten Abbildung 3.14). Aus mehreren vorgegebenen, kurzen *Single-Choice*-Antworten sollte der Lernende jeweils eine mögliche Antwort auswählen und ankreuzen. Betrifft die Vorhersage des simulierten Szenarios eine mögliche Veränderung beider Kurven von Räuber und Beute, sollte der Lernende für den möglichen Simulationsausgang für jede dieser Komponenten eine Vorhersage treffen. Betrifft die Vorhersage die potenzielle Veränderung nur einer Komponente, so war der Lernende gefragt, nur für diese Komponente den möglichen Simulationsausgang zu prognostizieren.

Mit dem folgenden Punkt wurde der Lernende gebeten, (b) das computersimulierte Experiment durchzuführen und das Simulationsergebnis für jede Komponente mit dem Simulationsbeginn zu vergleichen. Aus erneut mehreren vorgegebenen, kurzen *Single-Choice*-Antworten sollte der Lernende jeweils eine mögliche Antwort durch Ankreuzen auswählen.

Anschließend wurde der Lernende aufgefordert, zu prüfen, ob (c) die eingangs getroffene Vorhersage mit dem eigenen Simulationsergebnis übereinstimmte. Die Antwort konnte aus den Antworten „ja“ bzw. „nein“ durch Ankreuzen gegeben werden.

Die Arbeitsaufträge, die in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen von den Teilnehmern bearbeitet werden sollten, unterscheiden sich in dem anschließenden Punkt (d) der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, die im folgenden Abschnitt dargestellt wird. Lernende der Untersuchungsbedingungen (5) und (6) erhielten die Aufforderung, jedes ihrer Simulationsergebnisse im Anschluss an das entsprechend durchgeführte computersimulierte Experiment auf dem Papierausdruck zunächst schriftlich zu beschreiben und anschließend biologisch zu interpretieren. Lernende der Untersuchungsbedingungen (3) und (4) erhielten einen Hinweis darauf, das korrekte Simulationsergebnis der entsprechenden Aufgabe im Computerprogramm nach zu lesen. Es war für den Lernenden nicht möglich, einen Einblick in das vorgegebene Simulationsergebnis vor der Durchführung des jeweiligen computersimulierten Experimentes zu erhalten. Für Versuchsteilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (2) endete ein Arbeitsauftrag nach den oben aufgeführten Punkten (1) bis (3). Ein Beispiel eines Arbeitsauftrags der Untersuchungsbedingung (5) und (6) ist in Abbildung 3.14 dargestellt. Eine Übersicht über die Arbeitsaufträge befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

**Aufgabenblatt 1** Nummer Deines Computers:

Der Baron bringt ein spezielles Kraftfutter in den See ein, das die Vermehrung der **Rotfedern** fördert. Der Zuwachs der **Rotfedern** steigt pro Monat um den Wert "10". Nach 20 Monaten kontrolliert der Baron die Fischbestände. Was wird mit der Zahl der **Rotfedern** und **Hechte** passiert sein?

a) Triff eine Vorhersage.

Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...
<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.
<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.
<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.

b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.

Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...
<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.
<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.
<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.

c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.

Ja       Nein

d) Beschreibe hier Dein Simulationsergebnis:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Begründe hier biologisch Dein Simulationsergebnis:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Abbildung 3.14: Beispiel eines Arbeitsauftrags aus der Studie.

### 3.6.3 Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation

Die instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Dateninterpretation entweder (1) sich nicht näher mit dem Simulationsergebnis zu befassen, (2) das Simulationsergebnis vom Computerprogramm zu erhalten oder (3) die Aufforderung, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und biologisch zu interpretieren (vgl. Abschnitt 2.4.2), besteht aus einem Bereich auf jedem Arbeitsauftrag.

#### (1) Abzugebende Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses

Zunächst wird der Lernende aufgefordert, sein Simulationsergebnis schriftlich zu beschreiben. Anschließend wird er gebeten, dieses Ergebnis biologisch zu interpretieren (Punkt (d), vgl. Abbildung 3.15). Den Hinweis, das Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, erhält der Lernende zur entsprechenden Zeit durch eine Informationsseite am Computerbildschirm, nachdem das computersimulierte Experiment durchgeführt wurde. Während der Beschreibung und biologischen Interpretation durch den Lernenden kann der Lernende sein Simulationsergebnis am Computerbildschirm sehen.

d) Beschreibe hier Dein Simulationsergebnis: _____ _____ _____ Begründe hier biologisch Dein Simulationsergebnis: _____ _____
---

Abbildung 3.15: Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation. Diese erfordert von dem Lernenden, das eigene Computersimulationsergebnis zunächst zu beschreiben und anschließend biologisch zu interpretieren.

## (2) Vorgegebene Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses

Nach jedem durchgeführten Experiment erhält der Lernende die Möglichkeit, die korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses am Computerbildschirm auf einer separaten Informationsseite zu erfahren. Den Hinweis zu dieser instruktionalen Maßnahme erhält der Lernende auf jedem Arbeitsauftrag unter Punkt (d) (vgl. Abbildung 3.16).

d) Warum hat die Simulation zu diesem Ergebnis geführt? Lies nun die biologische Begründung am Computer unter „Lies hier“ in der Navigationsleiste. Du brauchst hier nichts aufzuschreiben.
--

Abbildung 3.16: Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation. Diese erfordert von dem Lernenden, sich mit dem vorgegebenen und korrekten Simulationsergebnis am Computerbildschirm auseinander zu setzen.

Die vorgegebene, korrekte Lösung besteht aus einer Beschreibung, einer biologischen Interpretation und einer Grafik des richtigen Simulationsergebnisses mit Hinweisen zu den relevanten Punkten der Fragestellung des jeweiligen Arbeitsauftrages (vgl. Abbildung 3.17). Während die Computersimulation durchgeführt wird, kann der Lernende zunächst nicht auf die vorgegebene Beschreibung und Interpretation des Ergebnisses der jeweiligen Aufgabe zugreifen. Der Lernende kann bei Erhalt dieser instruktionalen Maßnahme jedoch zu seinem eigenen Simulationsergebnis wechseln, um das vorgegebene Simulationsergebnis mit dem eigenen vergleichen zu können.

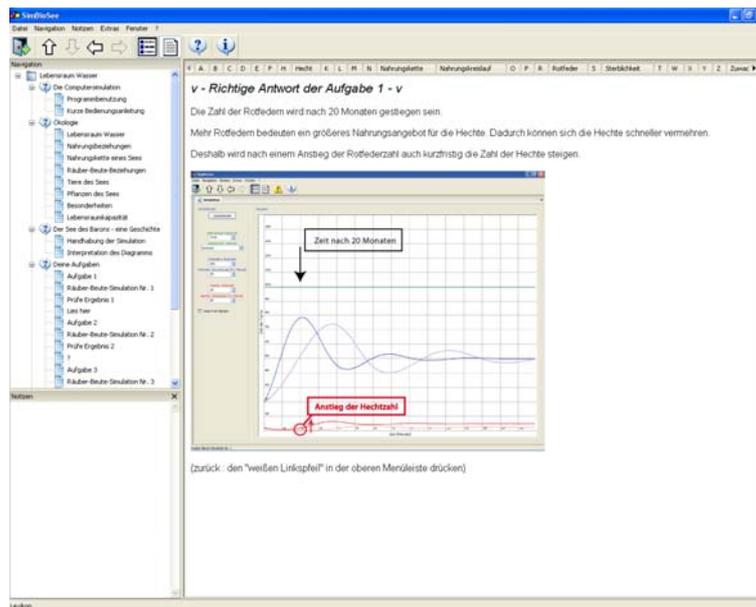


Abbildung 3.17: Bildschirmansicht der vorgegebenen Beschreibung und biologischen Interpretation eines Simulationsergebnisses. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation enthält die Beschreibung, die biologische Interpretation des Simulationsergebnisses sowie eine grafische Darstellung des korrekten Ergebnisses.

### (3) Keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation

Nach jedem durchgeführten Experiment erhielt der Lernende auf dem Arbeitsauftrag unter Punkt (d) keinen Hinweis darauf, sich mit dem Simulationsergebnis näher zu befassen (vgl. Abbildung 3.18).

d) Du musst hier nichts bearbeiten.

Abbildung 3.18: Ausbleibende instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation auf einem Arbeitsauftrag.

## 3.6.4 Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation

Die instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Selbstregulation wurde in das Computerprogramm integriert. Diese wird im Folgenden näher dargestellt.

### (1) Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation

#### Reflexionshilfe

Für Teilnehmer, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, wurde nach Beendigung der vier zu bearbeitenden Arbeitsaufträge ein Bereich im Computerprogramm zugänglich, der eine Reflexionshilfe (vgl. Abschnitt 2.4.3) enthält. Der Zeitpunkt und die Modalität des Erreichens dieser Reflexionshilfe werden im Computerprogramm durch eine Informationsseite angekündigt, die im Anschluss der vierten Aufgabe direkt folgt (vgl. Abbildung 3.19).

Die Reflexionshilfe (vgl. Abbildung 3.20) besteht aus einer separaten Seite, die nach Aktivierung durch den Lernenden den ganzen Computerbildschirm ausfüllt. Während der Bearbeitung der Reflexionshilfe können die restlichen Seiten des Computerprogramms nicht besucht werden. Die Reflexionshilfe beinhaltet zunächst die Aufforderung zur Bewertung der eigenen Arbeitsweisen mit der Computersimulation. Der Lernende soll auf einer Punkteskala von „1“ (schlecht) bis „5“ (sehr gut) die eigene systematische Vorgehensweise bei der Bearbeitung der Arbeitsaufträge mit Hilfe der Computersimulation zunächst selbst bewerten. Anschließend wird er gebeten, seine Bewertung schriftlich am Computer in einem vorgegebenen Textfeld zu begründen. Eine zweite Frage in der Reflexionshilfe betrifft die Übertragbarkeit des erworbenen Wissens auf ähnliche biologische Gegebenheiten mit Hilfe der Computersimulation. Der Lernende wurde erneut aufgefordert, seine Arbeitsweisen zunächst selbst zu bewerten und anschließend seine Bewertung schriftlich in einem Textfeld zu begründen.

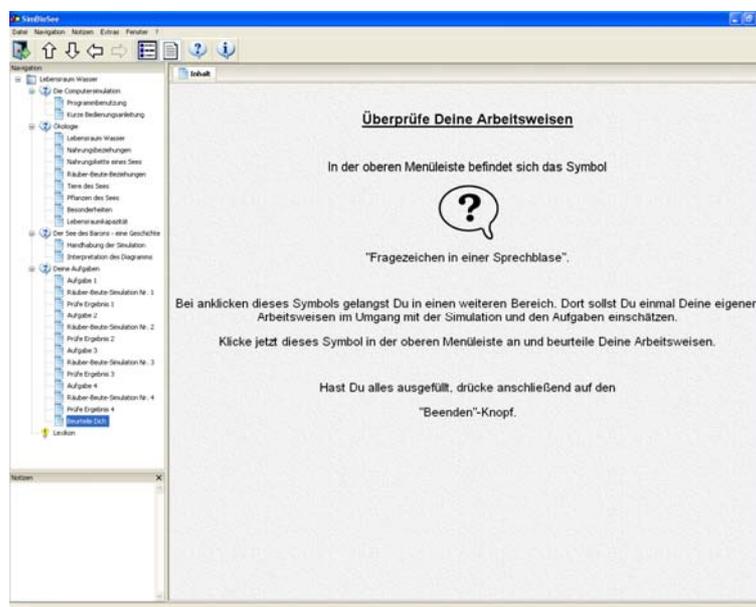


Abbildung 3.19: Anweisung zum Erreichen der Reflexionshilfe, die sich direkt im Anschluss an die vierte Aufgabe im Computerprogramm befindet.

**Bewerte jetzt einmal Deine Arbeit mit der Computersimulation**

Bewerte hier Deine Vorgehensweise mit der Computersimulation. Schätze zunächst Deine Arbeitsweisen durch Ankreuzen ein. Wie viele Punkte würdest Du Dir jeweils auf der Skala von 1 bis 5 (1 Punkt = "schlecht"; 5 Punkte = "sehr gut") geben? Bitte nur ein Kreuz pro Frage.

**Hast Du systematisch gearbeitet?**

Hast Du erst über die Aufgabenstellung nachgedacht und hast anschließend eine Vorhersage getroffen?  
 Wie viele Einstellungen hast Du während der Durchführung einer Computersimulation auf einmal verändert?  
 Hast Du Dein Simulationsergebnis mit Deiner vorher getroffenen Vorhersage verglichen?  
 Stimmt das Simulationsergebnis nicht mit Deiner Vorhersage überein: Hast Du darüber nachgedacht, was der Grund für Deine falsch getroffene Vorhersage war?

Kreuze an, wie viele Punkte Du Dir für Dein systematisches Arbeiten gibst:

1  2  3  4  5

Erkläre mit Hilfe der gestellten Fragen, wieso Du Dir diese Punktzahl für Deine systematische Arbeitsweise gegeben hast:

**Kannst Du Dein biologisches Wissen übertragen?**

Könntest Du durch den Umgang mit der Computersimulation feststellen, dass die dargestellten Kurven voneinander abhängig sind?  
 Hast Du erkannt, dass sich bei Veränderung der einen Kurve auch die andere Kurve ändert?  
 Kannst Du die dargestellte Abhängigkeit von Rotfeder und Hecht auch auf andere, ähnliche biologische Gegebenheiten übertragen? Z.B.: Wird in natürlichen Lebensräumen ein Faktor verändert, wirkt sich diese Veränderung auch auf andere Faktoren aus.  
 Nenne und beschreibe unten ein Beispiel dafür.

Kreuze an, wie viele Punkte Du Dir für Dein biologisches Übertragen von Wissen gibst:

Abbildung 3.20: Bildschirmansicht der separaten Seite der Reflexionshilfe.

In beiden Interventionen wurde die gleiche Reflexionshilfe eingesetzt. Die Bewertung und der Inhalt der Reflexionshilfe wurden vom Computerprogramm in separaten Logfiles gespeichert, die für den Lernenden nicht sichtbar waren.

## (2) Keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation

Bei Teilnehmern, die keine instruktionale Unterstützung zur Selbstregulation erhielten, entfiel der Hinweis zur Reflexionshilfe auf einer Informationsseite im Computerprogramm. Die Reflexionshilfe war bei diesen Versuchsteilnehmern nicht vorhanden.

### 3.6.5 Papier-und-Bleistift-Wissenstest

Für die vorliegende Studie wurde ein Testinstrument zur Erhebung des themenspezifischen Faktenwissens, konzeptuellen und prozeduralen Wissens entwickelt und eingesetzt. Vor- und Nachtest sind inhaltlich identisch; lediglich die Items sind im Nachtest in anderer Reihenfolge angeordnet als im Vortest. Jedes der theoriegeleitet konzipierten *Single-Choice*-Items des Papier-und-Bleistift-Wissenstests mit geschlossenem Antwortformat beinhaltet fünf Antwortmöglichkeiten, von denen jeweils eine Antwort korrekt ist; zwei Items boten die Möglichkeit eines offenen Antwortformats. Der aus sechs DIN A4 Seiten bestehende, themenspezifische Wissenstest enthält 21 Items, von denen die Ergebnisse aus 18 Items in die Auswertung einbezogen wurden (vgl. Abschnitt 7.4). Die Items beziehen sich durch die korrekte Antwortmöglichkeit und die Distraktoren auf folgende Themen:

- Grundkenntnisse von Nahrungsbeziehungen: Nahrungskette, Nahrungsnetz, Komponenten der Nahrungsbeziehungen (Produzenten, Konsumenten, Destruenten).
- Kenntnis und Merkmale ausgewählter, einheimischer Gewässerorganismen.
- Auswirkungen der Beeinflussung ausgewählter Faktoren in dem ausgewählten Gewässerökosystem (Biotoptragfähigkeit, Sterblichkeit und Zuwachs voneinander abhängiger Organismen).
- Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn mit Hilfe der Durchführung computer-simulierter Experimente.

Abbildung 3.21 zeigt ein Beispielitem zur Erhebung des themenspezifischen, konzeptuellen Wissens aus dem Papier-und-Bleistift-Wissenstest.

<p><b>Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <i>Die Zahl der Beutefische kann sich bis zur Kapazitätsgrenze erhöhen.</i></p> <p><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische kann sich erhöhen und wird anschließend stark fallen.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische wird sich nicht erhöhen.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische kann sich erhöhen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische wird sich über die Kapazitätsgrenze erhöhen.</p>
---

Abbildung 3.21: Beispielitem aus dem Papier-und-Bleistift-Wissenstest. Die korrekte Antwort dieses Items ist in diesem Beispiel durch blaue Kursivschrift dargestellt.

### 3.6.6 Test zur Erhebung des intuitiven Wissens

Im Folgenden wird das Computerprogramm „*Schnelltest*“ zur Erhebung des intuitiven Wissens dargestellt. Basierend auf der Definition der Wissensart des „intuitives Wissens“ als „*eine schnelle Einschätzung einer antizipierten Situation*“ (Swaak & de Jong, 2001) (vgl. Abschnitt 2.7.5) wurde in Anlehnung an das bereits bestehende Testinstrument „*What-If-Test*“ (Swaak, de Jong & van Joolingen, 2004) ein entsprechendes Testinstrument entwickelt. Das entwickelte Testformat zur Einschätzung des intuitiven Wissens berücksichtigt die Termini der Definition, die in der folgenden Tabelle 3.1 näher erläutert werden.

Tabelle 3.1: Erläuterung der Termini der Definition des intuitiven Wissens als „*schnelle Einschätzung einer antizipierten Situation*“ nach Swaak und de Jong (2001).

<b><i>Schnell</i></b>	Antwortzeit oder auch Latenzzeit zur Beantwortung eines Items. Im Test wird die Zeit gemessen von der Darbietung eines Items auf dem Computerbildschirm bis zu dessen Beantwortung. Die Antwortzeit kann als wichtiger Indikator gesehen werden für den Grad, inwieweit konzeptuelles Wissen eine intuitive Qualität besitzt. Schnell gegebene Antworten besitzen eine höhere intuitive Qualität als Antworten mit langen Antwortphasen.
<b><i>Einschätzung</i></b>	Die Art der Darstellung eines Items spielt eine zentrale Rolle für die Inhaltsauffassung durch den Lernenden. Etwa die Hälfte aller Items des Schnelltests enthalten vereinfachte Bilder von Simulationsergebnissen, die von minimalen textlichen Informationen begleitet werden. Die restlichen Items bestehen aus kurzen themenspezifischen Fragen. Die Antworten aller Items sind kurz formuliert.
<b><i>Antizipiert</i></b>	Es wird argumentiert, dass Antizipation bedeutend für intuitives Wissen ist. Aus diesem Grund besteht jedes Item aus einer Ausgangssituation, bestehend aus einer graphischen Startposition des Computersimulationsbildes und einer dazugehörigen Frage oder nur aus einer Frage und der zu vervollständigenden Aussage mit drei möglichen Simulationsergebnissen.
<b><i>Situation</i></b>	Die Items bestehen jeweils aus einer Frage oder einem Beginn einer Aussage und 3 möglichen Antworten. Die Frage bezieht sich auf eine gegenwärtige Situation (graphisch oder textlich) und die Veränderung dieser Situation durch einen bestimmten vorgegebenen Faktor. Durch die Antworten werden drei verschiedene, mögliche Vorhersagen über das Simulationsergebnis gegeben. Jedes Item enthält somit eine Situation, die durch eine Aktion beeinflusst wird und drei mögliche, resultierende Simulationsergebnisse.

## Gestaltung des „Schnelltests“

Hinsichtlich der Struktur der Bildschirmansicht gleicht der „Schnelltest“ dem des Computerprogramms „SimBioSee“. Die Bildschirmansicht des „Schnelltests“ ist wie „SimBioSee“ senkrecht zweigeteilt. Die linksseitige Navigationsleiste enthält ein Kapitel „Schnelltest-Anleitung“. Die Navigationsleiste ist mittig waagrecht geteilt: Im oberen Bereich befindet sich eine Navigationsleiste; der untere Bereich besteht aus einem Informationsfeld. Das Informationsfeld enthält Informationen hinsichtlich der Antwortauswahl im nachfolgenden Programm. Der rechtsseitige Bildschirmbereich nimmt im Vergleich zur Navigationsleiste den größeren Bildschirmbereich in Anspruch. Bei Programmstart wird dem Betrachter automatisch die Kapitelseite „Schnelltest-Anleitung“ als Programmstartseite dargestellt (vgl. Abbildung 3.22). Diese Programmseite enthält relevante Informationen im Umgang mit dem „Schnelltest“ und zur Beantwortung der Items.

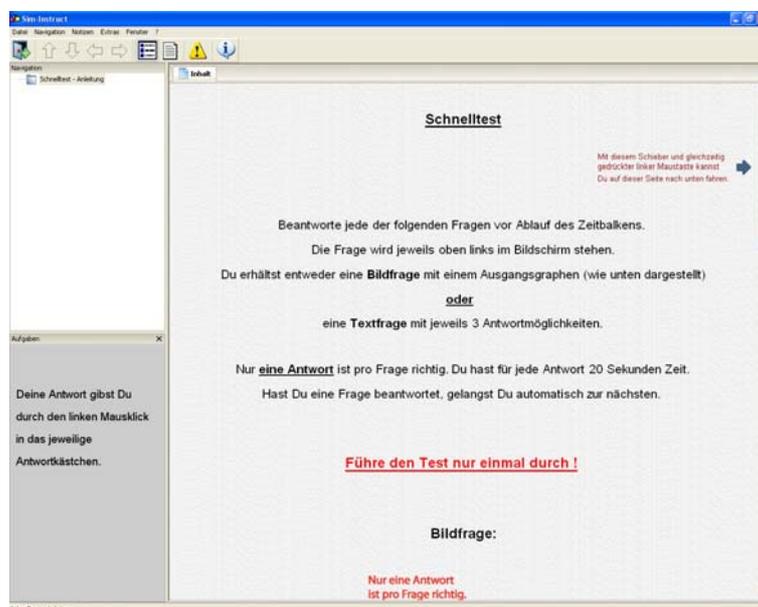


Abbildung 3.22: Bildschirmansicht des „Schnelltests“ nach Programmstart. Auf der linken Seite der senkrecht zweigeteilten Bildschirmansicht befindet sich die Navigationsleiste mit darunter lokalisiertem Informationsfeld. Rechtsseitig dargestellt ist der entsprechende Inhalt der Kapitelseite „Schnelltest-Anleitung“. Diese Seite enthält die wichtigsten Informationen im Umgang mit dem Computerprogramm, wie beispielsweise Informationen zur Form der dargestellten Items und deren Antwortformat sowie die Aufforderung zur nur einmaligen Durchführung des Testes.

Die Möglichkeit, Items des „Schnelltests“ beantworten zu können, startet nicht automatisch, sondern muss von dem Lernenden manuell gestartet werden. Durch ein Symbol in der Menüleiste wird es dem Lernenden ermöglicht, den „Schnelltest“ zu starten (vgl. Abbildung 3.23).



Abbildung 3.23: Menüleiste des „Schnelltests“. Durch einen Mausklick auf das symbol des gelben Dreiecks wird der „Schnelltest“ manuell gestartet.

Die Information, den „*Schnelltest*“ durch Drücken des Symbols zu starten, erhält der Lernende am Ende auf der Kapitelseite. Der textliche Hinweis, das Symbol zu drücken, wird an dieser Stelle der Kapitelseite durch die graphische Präsentation des vergrößerten Dreiecksymbols zusätzlich betont (vgl. Abbildung 3.24).

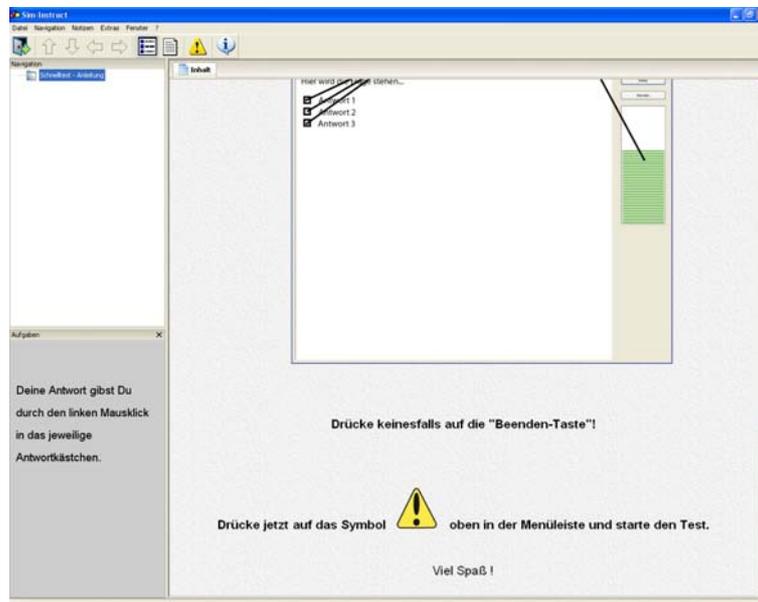


Abbildung 3.24: Die Aufforderung, den „*Schnelltest*“ manuell zu starten, erfährt der Lernende am Ende der Kapitelseite durch textliche Information und das entsprechende Symbol (gelbes Dreieck).

## Navigation

Ein Hinweis zur Navigation durch das Computerprogramm „*Schnelltest*“ entfällt, da das Programm selbst aus lediglich einer einzigen Kapitelseite besteht. Auf dieser Kapitelseite, die unmittelbar nach Programmstart sichtbar ist, befinden sich alle relevanten Informationen im Umgang mit dem Computerprogramm. Einziges Navigationsmittel ist die Computermaus, mit deren Hilfe durch scrollen<sup>16</sup> der gesamte Inhalt der Kapitelseite gelesen werden kann. Ein Hinweis über diese Form der Navigation befindet sich ebenfalls auf der Kapitelseite.

## Logfiles

Um eine Datenauswertung zu ermöglichen, speichert das Computerprogramm „*Schnelltest*“ ab dem Programmstart automatisch Logfiles, die für den Benutzer nicht sichtbar sind. Das Logfile speichert die Zeit in Prozent, die der Lernende zur Beantwortung jedes Items benötigt. Diese für jedes Item gemessene Latenzzeit entspricht der Zeit von der Darbietung eines Items auf dem Bildschirm bis zur Antwortgabe durch den Lernenden. Gespeichert werden die Latenzzeiten in den Logfiles in relativen Werten (Prozent benötigte Zeit zur Beantwortung eines Items von insgesamt 20 Sekunden) und in absoluten Werten (benötigte Zeit zur Beantwortung eines Items in ganzen Sekunden). Die Latenzzeiten wurden, um eine höhere

<sup>16</sup> „scrollen“ bedeutet das Verschieben eines Bildschirm- oder Fensterinhaltes. Dies geschieht meist mit Hilfe der Computermaus über Balken am rechten Fensterrand für das vertikale, und am unteren Fensterrand für das horizontale Verschieben des Inhaltes einer dargestellten Seite.

Genauigkeit bei der Auswertung zu erhalten, von Prozentwerten in Sekunden umgerechnet. 100 Prozent benötigte Zeit entspricht 20 Sekunden zur Beantwortung eines Items. Des Weiteren wird gespeichert, welche Antworten der Lernende in einem Item ausgewählt hat. Wird das Programm „*Schnelltest*“ während der Durchführung beendet und neu gestartet, wird dieses in den Logfiles gespeichert. Voraussetzung dafür ist, dass der „*Schnelltest*“ geöffnet bleibt und das Programm nicht geschlossen und erneut geöffnet wird, da in diesem Falle das bereits erstellte Logfile überschrieben wird.

### **Itemkonstruktion**

Der „*Schnelltest*“ besteht aus insgesamt 11 verschiedenen Items. Vor- und Nachtest des Schnelltests sind inhaltlich identisch. Zur Beantwortung jedes *Single-Choice*-Items mit drei Antwortmöglichkeiten hat der Lernende maximal 20 Sekunden Zeit. Die Information über die begrenzte Antwortzeit erfährt der Lernende auf der Seite nach dem Programmstart. In der Darstellung jedes Items ist in der rechten Bildschirmansicht eine Zeitleiste in Form eines senkrecht ablaufenden Zeitbalkens zu erkennen. Dieser ablaufende Zeitbalken soll für den Lernenden eine Situation erzeugen, die ihn veranlassen soll, möglichst schnell ein Item zu beantworten. Wird ein Item innerhalb der Zeitvorgabe nicht beantwortet, wechselt das Programm automatisch zum nächsten Item. Wird ein Item innerhalb der Zeitvorgabe beantwortet, wird automatisch das nächste Item gezeigt. Den 11 Items sind zwei Testitems vorangestellt. Die Testitems sind in ihrer Struktur mit den übrigen Items identisch und dienen dazu, dass der Lernende die Art und Weise der Antwortgabe kurzzeitig üben kann, bevor er mit der Beantwortung der eigentlichen Items beginnt. Diese Testitems sind von besonderer Relevanz im Vortest der ersten Intervention, da die Lernenden zu diesem Zeitpunkt erstmalig den Test durchführen. Der „*Schnelltest*“ beinhaltet insgesamt sechs Items mit graphischer Darstellung und anschließend fünf Items mit rein textlicher Information. Jedes dieser *Single-Choice*-Items besteht aus einer Frage und drei Antwortmöglichkeiten (vgl. Abbildung 3.25). Die ersten sechs aufeinander folgenden Items wurden mit grafischen Inhalten präsentiert. Jedes dieser Items besteht aus drei untereinander angeordneten Bildern, die dem Betrachter im linken Bildschirmbereich dargeboten wird. Jede Grafik zeigt ein vereinfachtes und verkleinertes Computersimulationsbild, bestehend aus der Zeitachse und der abhängigen Variable „Anzahl der Fische“ sowie zwei Kurven von Räuber- und Beuteanzahl und einer Geraden, welche die Lebensraumkapazität darstellt. Durch Setzen eines Hakens in ein dafür vorgesehenes Kästchen neben der entsprechenden Grafik wird eine Itemantwort ausgewählt. Die weiteren, darauffolgenden fünf Items wurden als Textfragen mit jeweils drei Antwortmöglichkeiten formuliert. Die Items der verwendeten Wissenstests weisen einen klaren Bezug zur Lernsoftware auf. Alle thematischen Inhalte, die Bestandteile der Tests sind, werden direkt oder indirekt im Computerprogramm behandelt. Alle Items der „*Schnelltests*“ können mit Hilfe der Computersimulation des Computerprogramms „*SimBioSee*“ korrekt gelöst werden.

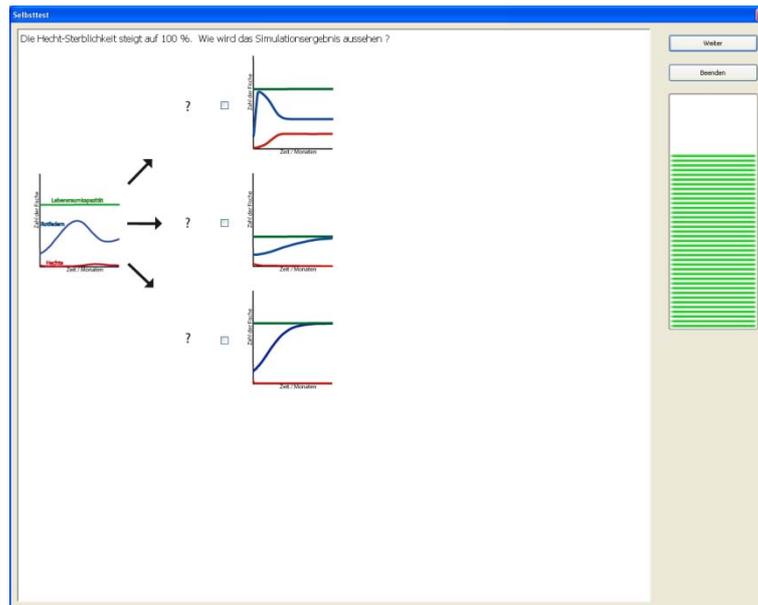


Abbildung 3.25: Bildschirmansicht eines Beispielitems. Im oberen Bereich befindet sich die Frage mit Darstellung der gegenwärtigen Situation sowie der Beschreibung zur Veränderung eines Faktors. Links darunter befindet sich eine Startsituation eines vereinfachten Computersimulationbildes, das dem Ausgangsgraphen in der Computersimulation entspricht. Rechts neben diesem Ausgangsgraphen befinden sich drei mögliche Simulationsergebnisse als Ergebnissituationen. Rechts in der Bildschirmansicht sichtbar ist eine Zeitleiste, die dem Lernenden anzeigt, wie viel Zeit ihm zur Beantwortung eines Items noch verbleibt.

Wurden alle Items bearbeitet, zeigt das Programm in einem PopUp-Fenster<sup>17</sup> in der Bildschirmmitte automatisch an, wie viele Items der Teilnehmer korrekt beantwortet hat (vgl. Abbildung 3.26).



Abbildung 3.26: PopUp-Fenster, das nach der Bearbeitung aller Items in der Mitte der Bildschirmansicht erscheint. Nach Drücken des OK-Buttons kann das Programm manuell geschlossen werden.

Der Lernende erhält durch dieses PopUp-Fenster lediglich eine Information darüber, wie viele Items korrekt beantwortet wurden. Welche Items korrekt oder falsch beantwortet wurden, wird in diesem PopUp-Fenster nicht angezeigt; ebenso werden dem Lernenden die Latenzzeiten vorenthalten.

<sup>17</sup> Bei einem PopUp-Fenster handelt es sich um ein verkleinertes Browserfenster, ohne dessen übliche Schaltflächen, das sich an definierten Orten auf dem Computerbildschirm zu definierten Zeiten automatisch öffnet.

### 3.6.7 Kontrollvariablen

Im Folgenden werden die Skalen der Kontrollvariablen vorgestellt.

#### **Computerkenntnisse (Computerkompetenz)**

Neben Fragen zur Erhebung der Dauer und der Lokalität der Computernutzung im privaten Bereich wurden zur Erhebung der Computerkompetenz zwei Skalen eingesetzt, die zum einen Kenntnisse im Umgang mit Computern im Allgemeinen und zum anderen Kenntnisse im Umgang mit dem Internet im Besonderen erfassten. Als Testinstrument wurde ein Fragebogen zur Nutzung von Informationstechnologien eingesetzt, der bereits in der PISA-Studie 2000 Anwendung fand (Haider & Lang, 2001). Einige Items des eingesetzten Testinstrumentes wurden für die achte Realschulklasse und gemäß dem aktuellen Technologiestand hinsichtlich der gängigen Software verändert bzw. angepasst. Der Fragebogen enthält neben der Erfassung demographischer Angaben, vier Items zur Computernutzung außerhalb der Schule. 10 Items erfassen Kenntnisse im Umgang mit Computern und Anwendungen und neun Items erfassen Kenntnisse im Umgang mit dem Medium Internet. Jedes Item wurde auf einer 7-stufigen Likert-Skala von „1“ (kann ich gar nicht) bis „7“ (kann ich sehr gut) bewertet. Bei einer theoriegeleiteten Trennung der Items in Anlehnung an Haider und Lang (2001) nach Selbsteinschätzung von computerbezogenen von internetbezogenen Fähigkeiten ergeben sich die im Folgenden aufgeführten zwei Skalen. Haider und Lang (2001) geben für ihre Skala „Selbsteinschätzung von computerbezogenen Fähigkeiten“ (vgl. Tabelle 3.2) einen Reliabilitätswert von Cronbachs- $\alpha = .86$  an. Für die Skala „Selbsteinschätzung von internetbezogenen Fähigkeiten“ (vgl. Tabelle 3.3) wird ein Reliabilitätswert Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .90 angegeben. Die in der vorliegenden Studie errechneten Reliabilitäten befinden sich in einem akzeptablen Bereich. Für das gesamte Testinstrument, das 19 Items zur Erfassung der Computerkompetenz beinhaltet, wird ein Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .89 errechnet.

*Selbsteinschätzung von computerbezogenen Fähigkeiten:*

Tabelle 3.2: Subskala zur Erfassung von computerbezogenen Fähigkeiten.

Item	
Com1	Ich kann einen Aufsatz oder Brief mit Textverarbeitung (z.B. mit Word) verfassen.
Com2	Ich kann mit einem Grafikprogramm Zeichnungen anfertigen.
Com3	Ich kann eine Datenbank (z.B. mit Excel) erstellen.
Com4	Ich kann eine Präsentation (z.B. mit PowerPoint) erstellen.
Com5	Ich kann in einem Email-Programm (z.B. Outlook) Adressen von Personen speichern.
Com6	Ich kann Software (Programme) auf meinem Computer installieren.
Com7	Ich kann Hardware (z.B. Drucker oder Scanner) auf meinem Computer einrichten.
Com8	Ich kann die Festplatte eines Computers formatieren.
Com9	Ich kann ein Betriebssystem (z.B. Windows XP) auf meinem Computer einrichten.
Com10	Ich kann einen Virus oder Trojaner in meinem Computer finden und beseitigen.
Cronbachs- $\alpha$ = .86	

*Selbsteinschätzung von internetbezogenen Fähigkeiten:*

Tabelle 3.3: Subskala zur Erfassung von internetbezogenen Fähigkeiten.

Item	
Com11	Ich kann mit einer Internetsuchmaschine (z.B. Google) umgehen.
Com12	Ich kann Emails versenden und empfangen.
Com13	Ich kann Informationen, die mich interessieren, im Internet finden.
Com14	Ich kann für mich interessante Informationen aus dem Internet herunterladen.
Com15	Ich kann zum Spaß im Internet herum surfen.
Com16	Ich kann mit anderen online im Internet chatten.
Com17	Ich kann Musik oder Radioprogramme über Internet empfangen.
Com18	Ich kann günstige Angebote im Internet suchen und vergleichen.
Com19	Ich kann Software von einem Internetanbieter auf meinem Computer herunterladen.
Cronbachs- $\alpha$ = .83	

**Computerbezogene Motivation**

Zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen, computerbezogenen Motivation wurde ein Testinstrument, bestehend aus zwei Skalen (Prenzel et al., 2000) eingesetzt (vgl. Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5). Die von Prenzel et al. (2000) entwickelten Skalen können auf einer 4-stufigen Likert-Skala bewertet werden. Aus Gründen der Anpassung des Testinstrumentes an die Form der übrigen, zum Vortest eingesetzten Testinstrumente in der vorliegenden Studie, wurde das Instrument mit einer 7-stufigen Likert-Skala eingesetzt. Prenzel et al. (2000) geben für ihre Skalen die folgenden Reliabilitätswerte an: Computernutzungsmotiv Spaß/Interesse: Cronbachs- $\alpha$  = .79 und für das Computernutzungsmotiv Nützlichkeit: Cronbachs- $\alpha$  = .81. Für das gesamte Testinstrument bzw. die Gesamtskala, das insgesamt acht Items zur Erfassung der computerbezogenen Motivation beinhaltet, wird ein Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .80 errechnet.

*Computernutzungsmotiv Spaß/Interesse:*

Tabelle 3.4: Subskala zur Erfassung des Computernutzungsmotivs Spaß/Interesse.

Item	
Mot1	Das Umgehen mit dem Computer macht mir großen Spaß.
Mot2	Ich finde, dass die Zeit bei der Beschäftigung mit dem Computer schneller vergeht als sonst.
Mot3	Ich beschäftige mich mit dem Computer, weil ich auf diesem Gebiet bessere Fähigkeiten habe als auf anderen.
Mot4	Der Computer kann mich so fesseln, dass ich alles um mich herum vergessen kann.
Cronbachs- $\alpha$ = .69	

*Computernutzungsmotiv Nützlichkeit:*

Tabelle 3.5: Subskala zur Erfassung des Computernutzungsmotivs Nützlichkeit.

Item	
Mot6	Durch das Benutzen von Programmen kann ich vieles schneller und besser bewerkstelligen als mit der Hand.
Mot7	Durch das Benutzen des Computers spare ich Arbeit und Zeit.
Mot8	Mit dem Computer kann ich schulische Aufgaben besser erledigen (z.B. Hausaufgaben, Referate vorbereiten).
Mot9	Durch das benutzen des Computers kann ich besser und schneller lernen.
Cronbachs- $\alpha$ = .79	

**Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen**

Zur Erfassung der subjektiv eingeschätzten Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen wurde ein Testinstrument von Schunk und Ertmer (1999) eingesetzt. Das ursprünglich 16 Items umfassende Testinstrument enthält in Anlehnung an Zimmermann (1994) die vier Skalen Motive (vgl. Tabelle 3.6), Methoden (vgl. Tabelle 3.7), Performanzresultate (vgl. Tabelle 3.8) und sozial- und umgebungsbedingte Ressourcen (vgl. Tabelle 3.9). Jede Skala besteht aus vier Items. Das Testinstrument wurde vom Autor dieser Arbeit von der englischen in die deutsche Sprache übersetzt und zum Verständnis der Zielgruppe der Studie entsprechend angepasst. Gemäß dem ursprünglichen Testinstrument konnten die Teilnehmer auf einer 7-stufigen Likert-Skala einschätzen, wie gut sie jede der beschriebenen Aktivitäten erfüllen. Bearbeitet wurde das Testinstrument nach jeder Intervention im Anschluss an den Nachtest. Ein Item wurde entfernt, da es sich inhaltlich in der Studie nicht verwenden ließ. Das Testinstrument mit den ursprünglichen Formulierungen befindet sich im Anhang. Für das gesamte Testinstrument mit 15 Items wurden Cronbachs- $\alpha$ -Werte von .83 (Interventionszeitpunkt 1) und .91 (Interventionszeitpunkt 2) errechnet. Im Folgenden werden die Items der vier verschiedenen Subskalen mit den dazugehörigen Reliabilitäten dargestellt.

*Motive:*

Tabelle 3.6: Subskala zur Erfassung der Beweggründe (Motive) .

Item	<u>Intervention</u> <u>1</u>	<u>Intervention</u> <u>2</u>
Mot1	Ich beginne eine neue Aufgabenstellung mit „SimBioSee“ ohne Probleme.	
Mot2	Ich bearbeite die verschiedenen Aufgaben bis zum Ende, selbst wenn ich andere interessante Dinge machen könnte.	
Mot3	Ich finde eine Möglichkeit, mich beim Lernen am Computer zu konzentrieren, auch wenn mich viele andere Dinge ablenken.	
Mot4	Ich finde Möglichkeiten mich zu motivieren die Aufgaben zu bearbeiten, auch wenn ich wenig Interesse daran habe.	
Cronbachs- $\alpha$	.78	.85

*Methoden:*

Tabelle 3.7: Subskala zur Erfassung der Methoden.

Item	<u>Intervention</u> <u>1</u>	<u>Intervention</u> <u>2</u>
Met1	Ich mache mir einen Plan um meine Aufgabe am Computer zu beenden.	
Met2	Ich erinnere mich an Informationen aus einem Lehrbuch und aus dem Unterricht.	
Met3	Ich organisiere mir meine Aufgaben.	
Met4	Ich suche und benutze geeignete Anleitungen, wenn ich eine mir unbekannte Aufgabe am Computer bewältigen soll.	
Cronbachs- $\alpha$	.67	.75

*Performanzresultate:*

Tabelle 3.8: Subskala zur Erfassung der Performanzresultate.

Item		<u>Intervention</u>	<u>Intervention</u>
		<u>1</u>	<u>2</u>
Perf1	Ich setzte mir bestimmte Ziele beim Umgang mit Computerlernprogrammen.		
Perf2	Ich überprüfe regelmäßig den Fortschritt meiner gesetzten Ziele.		
Perf3	Ich verändere meinen Lösungsansatz, wenn ich merke, dass ich mit meinem ursprünglichen Ansatz nicht weiter komme.		
Cronbachs- $\alpha$		.72	.83

*Sozial- umgebungsbedingte Ressourcen:*

Tabelle 3.9: Subskala zur Erfassung der sozial- umgebungsbedingten Ressourcen.

Item		<u>Intervention</u>	<u>Intervention</u>
		<u>1</u>	<u>2</u>
Soz1	Ich kenne Freunde und Klassenkameraden, die ich um Hilfe fragen kann, wenn ich mir unsicher bei dem bin, was ich mache.		
Soz2	Ich gestalte mir zum Lernen einen Ort ohne Ablenkungen.		
Soz3	Ich finde Freunde oder Klassenkameraden, die mir kritische Rückmeldungen geben zu früheren Stadien meines Lösungsansatzes.		
Soz4	Ich schaffe es, mir meine Zeit gut einzuteilen, wenn ich meine Arbeit zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeben muss.		
Cronbachs- $\alpha$		.60	.61

**Kognitive Belastung**

Nach jeder Intervention wurde die subjektiv empfundene kognitive Belastung der Lernenden erfasst. Zur Erfassung der kognitiven Belastung wurde in dieser Studie ein Testinstrument von Urhahne (2002) adaptiert, das auch bei Nerdel, Prechtel & Bayrhuber (2003) Anwendung fand (vgl. Tabelle 3.10). Das Testinstrument mit insgesamt acht Items beinhaltet vier Subskalen, bestehend aus jeweils zwei Items: „Selbsteinschätzung der benötigten Anstrengung“, „Subjektive Beurteilung der geistigen Anstrengung“, „Selbstberichtete Bewertung des inhaltlichen Verständnisses“ und „Wahrgenommene optimale Komplexität des Lernprogramms“. Die Items wurden mit einer 5-stufigen Likert-Skala beantwortet (gar nicht / viel zu leicht / viel zu einfach bis extrem / viel zu schwer / viel zu komplex).

Tabelle 3.10: Skala zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen kognitiven Belastung in beiden Interventionen.

Item	Intervention	Intervention
	<u>1</u>	<u>2</u>
Kog1	War das Programm "SimBioSee" für Dich eher zu leicht oder eher zu schwer?	
Kog2	Wie stark musstest Du Dich beim Lernen mit "SimBioSee" geistig anstrengen?	
Kog3	Wie sehr musstest Du Dich bemühen, um die Inhalte des Programms "SimBioSee" zu verstehen?	
Kog4	Waren die Inhalte des Programms "SimBioSee" Dir eher zu einfach oder eher zu schwer?	
Kog5	Fühltest Du Dich durch die Informationsfülle des Programms "SimBioSee" geistig überlastet?	
Kog6	Fühltest Du Dich durch die Komplexität (Auswahlmöglichkeiten, komplizierte Inhalte) des Lernprogramms geistig überlastet?	
Kog7	Wie häufig hattest Du den Eindruck, dass das Programm "SimBioSee" Dir zu viele Informationen anbot?	
Kog8	Wie häufig blieben die Informationen des Lernprogramms für Dich unverständlich?	
Cronbachs- $\alpha$	.86	.86

### 3.7 Ablauf

Im Vorfeld der Studie wurde sich bei dem zuständigen Lehrpersonal einer Schulklasse vergewissert, dass das Thema Ökologie im Allgemeinen bzw. Gewässerökologie im Speziellen, im schulischen Biologieunterricht bei den ausgewählten Schulklassen bisher nicht thematisiert wurde. Laut Auskunft des Lehrpersonals waren in allen Schulklassen Achsendiagramme im Allgemeinen und Liniendiagramme im Speziellen zu beiden Interventionszeitpunkten bereits thematische Bestandteile des Mathematikunterrichts. Es konnte daher davon ausgegangen werden, dass das Identifizieren und das Ablesen von Daten aus einem Liniendiagramm bzw. aus einem Koordinatensystem, den Lernenden nicht unbekannt war.

Die teilnehmenden Lernenden bearbeiteten zunächst im Biologieunterricht den themenspezifischen Vorwissenstest mit Items zu Fakten-, konzeptuellen und prozeduralen Wissen. Dieser Papier-und-Bleistift-Vortest wurde etwa zwei bis drei Tage vor dem ersten Interventionstag in Anwesenheit des zuständigen Lehrpersonals von jedem Lernenden einzeln bearbeitet. Nachdem die Lernenden den Vortest bearbeiteten, wurden sie weiterhin gebeten, Fragebögen bezüglich der subjektiv einzuschätzenden Computerkompetenz und der computerbezogenen Motivation zu bearbeiten. Das Lehrpersonal wurde darauf hingewiesen, dass die Schüler den Vortest und die Fragebögen in deren Anwesenheit und in Einzelarbeit bearbeiten sollen. Des Weiteren wurde das Lehrpersonal gebeten, auf evtl. themenspezifische

Fragen seitens der Lernenden während und nach der Bearbeitung des Vortests und der Fragebögen zunächst nicht näher einzugehen.

Die Durchführung der Studie erfolgte in einem längsschnittlich angelegten Untersuchungsdesign und fand gegen Ende des zweiten Schulhalbjahres 2008 statt (Mai-Juli). Durchgeführt wurde die Untersuchung während der normalen Unterrichtszeit des Biologieunterrichts, so dass für alle Versuchsteilnehmer Anwesenheitspflicht bestand. Die Untersuchung wurde im jeweiligen Klassenverband mit dem zuständigen Lehrpersonal und dem Versuchsleiter durchgeführt. Die zwei Interventionen mit dem Computerprogramm fanden im Abstand von etwa zehn Tagen in jeweils einer Schulklasse an zwei Unterrichtstagen statt. Jede Intervention wurde in einer 90-minütigen Schuldoppelstunde durchgeführt. Während einer Intervention arbeitete jeder Schüler im Klassenverband einzeln an einem vom Versuchsleiter mitgebrachten Laptop. Um für die Auswertung die Versuchspersonen den gespeicherten Logfiles, den bearbeiteten Arbeitsaufträgen (vgl. Abschnitt 3.6.2) und den ausgefüllten Testinstrumenten entsprechend zuordnen zu können, wurde jeder Laptop numerisch gekennzeichnet. Die Lernenden wurden vor jeder Intervention gebeten, diese Nummer auf den Arbeitsaufträgen und Testinstrumenten zu notieren. Am ersten Interventionstag, vor Beginn des Lernens mit dem Computerprogramm, erhielten die Versuchsteilnehmer einer Schulklasse eine Anleitung vom Versuchsleiter über die Hintergründe der Intervention. Die Versuchsteilnehmer aller Untersuchungsbedingungen erhielten hinsichtlich des Studienablaufs die gleichen Anweisungen. Um die Versuchsteilnehmer zu motivieren, erhielten sie die Information, an einer wissenschaftlichen Studie der Universität Kiel teilhaben zu dürfen. Der inhaltliche und zeitliche Ablauf der Intervention wurde darüber hinaus erläutert. Es wurde in diesem Zusammenhang erwähnt, dass mit Hilfe des Computerprogramms und der darin enthaltenen Computersimulation verschiedene Aufgaben bearbeitet werden sollen und dass alle nötigen Informationen dazu sich im Computerprogramm befinden. Es wurde darauf hingewiesen, dass sich im Computerprogramm ebenfalls Anweisungen im Umgang mit dem Computerprogramm und der Computersimulation befinden.

Nachdem die Versuchsteilnehmer die Einführung erhielten, bearbeiteten sie zunächst das Computerprogramm zur Erhebung des intuitiven Wissens. Anschließend bearbeiteten die Lernenden mit der in der Lernsoftware „*SimBioSee*“ enthaltenen Computersimulation vier unterschiedliche Arbeitsaufträge. Nachdem alle Teilnehmer einer Schulklasse ihre Arbeitsaufträge und gegebenenfalls die Reflexionshilfe bearbeiteten, führten die Lernenden das Computerprogramm zur Erhebung des intuitiven Wissens als Nachtest durch. Im Anschluss an das computergestützte Lernen bearbeitete jeder Schüler den Papier- und Bleistift-Nachtest. Anschließend bearbeitete jeder Schüler einen Fragebogen zur Einschätzung seiner kognitiven Belastung und einen Fragebogen zur Erhebung der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen. Am zweiten Interventionstag erfolgte keine wiederholte Einweisung durch den Versuchsleiter. Der zweite Interventionstag erfolgte in der gleichen Art und Weise wie der erste Interventionstag. Begründungen über den Zweck der Durchführung, sowie Aspekte hinsichtlich der Programmbedienungen erfolgten jedoch nicht mehr. Die Versuchsteilnehmer bearbeiteten mit Hilfe des Programms vier neue, unterschiedliche aber nach dem gleichen Schema aufgebaute Arbeitsaufträge wie in der ersten Intervention. Eine Übersicht über das 3x2-faktorielle Forschungsdesign ist in Abbildung 3.27 dargestellt. Aus

diesem Forschungsdesign ergeben sich sechs verschiedene Untersuchungsbedingungen, die in dieser Arbeit durchgehend mit den Ziffern (1) bis (6) nummeriert sind. Jede Untersuchungsbedingung erhält dadurch eine Zuordnung über die Maßnahmen instrukTIONALER Unterstützung, welche die Teilnehmer während den Interventionen erhielten. Die Zuordnung der Untersuchungsbedingung zu den entsprechenden instrukTIONALEN Maßnahmen ist in Tabelle 3.11 dargestellt.

Tabelle 3.11: Die sechs unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen im Hinblick auf die instrukTIONALEN Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

Untersuchungs- bedingung	InstrukTIONALE Maßnahme zur Dateninterpretation	InstrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation
(1)	Keine instrukTIONALE Maßnahme zur Dateninterpretation	Keine instrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation
(2)	Keine instrukTIONALE Maßnahme zur Dateninterpretation	InstrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation
(3)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm	Keine instrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation
(4)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm	InstrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation
(5)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden	Keine instrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation
(6)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden	InstrukTIONALE Maßnahme zur Selbstregulation

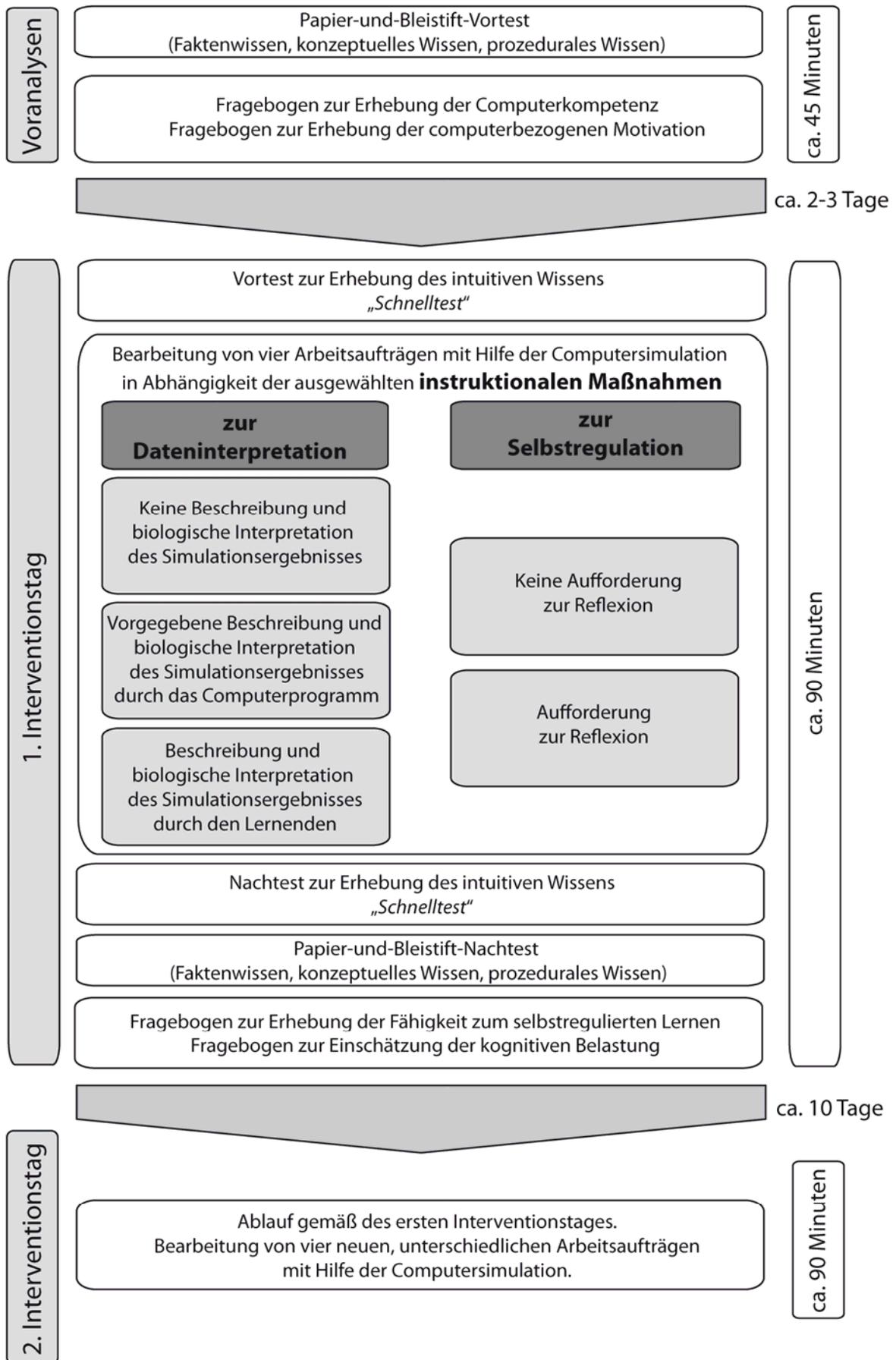


Abbildung 3.27: Darstellung des 3x2-faktoriellen Forschungsdesigns mit zeitlicher Abfolge.

## 3.8 Statistische Methoden

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurden übliche statistische Verfahren angewendet, von denen die Wichtigsten im Folgenden kurz erläutert werden. Für eine ausführliche Darstellung der Verfahren und Methoden zu diesen statistischen Verfahren sei auf die gängige Literatur verwiesen, wie beispielsweise (Backhaus et al., 2003; Bortz & Döring, 2006; Bühl, 2000).

Die statistischen Auswertungen in dieser Arbeit wurden mit Hilfe des Computerprogramms SPSS® in der Version 15.0 für Microsoft Windows® durchgeführt.

### 3.8.1 Deskriptive Statistik

Die in dieser Arbeit verwendete deskriptive Statistik umfasst die Berechnung von Mittelwerten, Skalenmittelwerten, Standardabweichungen und Medianen.

#### Mittelwert und Standardabweichung

Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel der jeweiligen Messwerte und berechnet sich aus dem Quotienten der Summe der Messwerte und ihrer Anzahl. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Messwerte und ist die Quadratwurzel der Varianz. Berechnet wird die Standardabweichung aus der Summe der Abweichungsquadrate aller Messwerte von ihrem arithmetischen Mittel, durch die um eins verminderte Anzahl der Werte dividiert.

#### Median und Mediansplit

In einigen eingesetzten Testinstrumenten in dieser Studie wurden die Antworten der Lernenden nach ihrer Qualität gestaffelt kategorisiert. Die Variablen dieser Skalen besitzen Ordinalniveau, so dass für die Items der Fragebögen zu dem Mittelwert häufig auch der Median berechnet wird. Der Median ist der Wert, unterhalb und oberhalb dessen jeweils die Hälfte der Messwerte liegen. Mit Hilfe eines Mediansplits wird eine Variable an dessen Median dichotomisiert, wodurch der Datensatz in zwei etwa gleich große Gruppen aufgeteilt wird. Es resultiert dadurch, jeweils auf die untersuchte Stichprobe bezogen, eine Gruppe oberhalb und eine Gruppe unterhalb des Medians. Dieses Verfahren wird oft im Rahmen einer Varianzanalyse durchgeführt.

#### Boxplot

Einige Ergebnisse werden zur besseren Übersicht anhand von Boxplots (Box-Whisker-Plots) dargestellt. Der Boxplot ist ein Diagramm, das zur grafischen Darstellung der Verteilung statistischer Daten Anwendung findet. Der Boxplot (vgl. Abbildung 3.28) besteht aus einem Rechteck (Box) und zwei angrenzenden, die Box verlängernden Linien (Whisker). Die Box entspricht dem Bereich, in dem sich die mittleren 50 Prozent der Daten befinden und reicht daher vom unteren bis zum oberen Quartil. Dieser Interquartilsabstand begrenzt die Box. Der Median (Zentralwert) wird durch einen Strich deutlich gemacht. Durch die „Whisker“ werden

die außerhalb der Box liegenden Werte dargestellt. Eventuelle Extremwerte eines Datensatzes (Ausreißer) befinden sich meist außerhalb der „Whisker“.

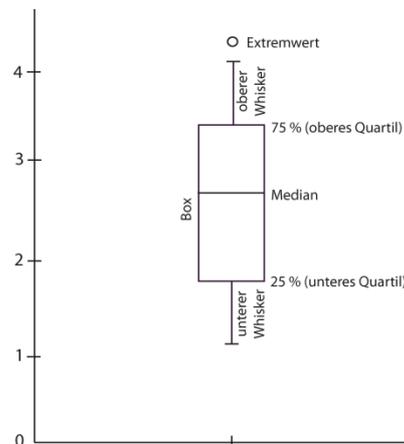


Abbildung 3.28: Box-Whisker-Plot (Boxplot) mit Quartilen und Median.

## 3.8.2 Tests zu Unterschieden und Zusammenhängen

### Voraussetzungen

Zur Überprüfung der Hypothesen in dieser Arbeit werden parametrische Testverfahren verwendet. Voraussetzung für die Durchführung dieser Tests sind intervallskalierte und normalverteilte Daten. Zudem sollten die Skalen Varianzhomogenität aufweisen. Unter bestimmten Bedingungen ist es jedoch möglich, parametrische Testverfahren anzuwenden, obwohl diese Kriterien nicht erfüllt werden. Einige der eingesetzten Testinstrumente in dieser Studie besitzen Ratingskalen, die allerdings kein exaktes Intervallskalenniveau besitzen (vgl. Bortz & Döring, 2002). Auch für die Summenscores, bestehend aus als ordinalskaliert anzusehenden Einzelitems, geht eine Variable hervor, auf die ein parametrischer Test angewendet werden kann. T-Tests und Varianzanalysen sind gegen die Abweichungen von der Normalverteilung der Werte recht robust, vor allem bei Stichproben über 30 Versuchsteilnehmern (vgl. Bortz, 2005). In diesem Falle der Verletzung empfiehlt es sich aber, das Signifikanzniveau auf  $p = .04$  anzupassen (Zöfel, 2003). Eine Verletzung der Varianzhomogenität gilt als problematischer. Im Falle von inhomogenen Varianzen sollte mit  $p = .01$  getestet werden, um ein faktisches Signifikanzniveau von  $p = .05$  zu erreichen (Zöfel, 2003). Bei festgestellter Inhomogenität der Varianzen durch einen Levene-Test wird dies in dieser Arbeit explizit genannt.

### T-Test und Varianzanalysen

T-Tests und Varianzanalysen sind statistische Testverfahren zur Überprüfung der Unterschiede von erreichten Mittelwerten. Anhand eines T-Tests werden dabei der Einfluss einer unabhängigen Variable mit zwei Gruppen auf eine abhängige Variable analysiert. Bei der Untersuchung von Mittelwertunterschieden zwischen mehr als zwei Gruppen findet die Varianzanalyse Verwendung. Für die Untersuchung mehrerer unabhängiger Variablen auf

eine abhängige Variable dient eine univariate Varianzanalyse nach dem allgemeinen linearen Modell. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung dient dem Vergleich einer (oder mehrerer) abhängigen Variablen zwischen verschiedenen Messzeitpunkten. Für die Durchführung varianzanalytischer Verfahren sind Voraussetzungen, dass die Daten normalverteilt sind und Varianzhomogenität gegeben ist. Einzelvergleiche zwischen zwei Mittelwerten werden mit Hilfe des *Scheffé*-Tests untersucht. Das Signifikanzniveau wird im Allgemeinen auf  $p = .05$  festgelegt ( $\alpha$ -Fehler-Niveau), das  $\beta$ -Fehler-Niveau wird auf  $p = .20$  festgelegt (vgl. Bortz & Döring, 2006). Zur Überprüfung der Nullhypothesen gelten die umgekehrten Signifikanzniveaus ( $\alpha = .20$ ;  $\beta = .05$ ). Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit für einen  $\beta$ -Fehler kann die Teststärke (Power) über  $1 - \beta$  berechnet werden. Tabelle 3.12 gibt einen Überblick über die verschiedenen Signifikanzniveaus (Irrtumswahrscheinlichkeiten), deren Bedeutungen und Symbolen.

Tabelle 3.12: Irrtumswahrscheinlichkeit.

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbol
$p > .05$	nicht signifikant	ns
$p \leq .05$	signifikant	*
$p \leq .01$	hoch signifikant	**
$p \leq .001$	höchst signifikant	***

### Kovarianzanalyse

Bei einer Kovarianzanalyse wird eine Variable als Kovariate in die Berechnung zusätzlich mit einbezogen. Ziel der Kovarianzanalyse ist es, die Auswirkungen von in einer Untersuchung nicht relevant erscheinender, unabhängiger Faktoren (Kovariate) auf die abhängige Variable auszublenden und einen möglichen Effekt einer unabhängigen Variable auf die abhängige Variable statistisch nachweisen zu können.

### Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse dient der Aufklärung von Zusammenhängen zwischen zwei Variablen. Im Falle einer bivariaten Korrelation dient sie der Aufklärung wechselseitiger Beziehungen (Bortz & Döring, 2006). Die Wahl des Korrelationskoeffizienten ist durch das Skalenniveau der Variablen und die Verteilung der Testwerte vorgegeben. Für normalverteilte, intervallskalierte Daten der Studie dieser Arbeit wurde daher der Korrelationskoeffizient nach Pearson bestimmt.

### 3.8.3 Skalenbildung

Für die Konstruktion vieler Testinstrumente haben einzelne Items eine geringe Bedeutung und erfüllen nur in ihrer Gesamtheit den Zweck einer übergeordneten Konstrukterfassung, die selbst direkt nicht messbar sind. In der vorliegenden Studie wurden die Items der verschiedenen Kategorien der Wissenstest so formuliert, dass sie umfassende, themenbezogene Inhalte der jeweiligen Wissensart abbilden, die mit Hilfe der Lernumgebung

beantwortet werden konnten. Die Items der Testinstrumente der Kontrollvariablen wurden in ihrer Formulierung zielgruppenorientiert ausgewählt, teilweise in die deutsche Sprache übersetzt und angepasst, so dass sie möglichst ein umfassendes Spektrum des zu erhebenden Konstrukts erfassen.

### **Faktorenanalyse**

Die Faktorenanalyse ist ein Analyseverfahren, das eine größere Anzahl von Variablen anhand der gegebenen Fälle auf eine geringere Anzahl unabhängiger Einflussgrößen, sog. Faktoren, zurückführt. Die in einem Satz von Variablen enthaltene Information wird damit auf eine möglichst geringe Zahl von hypothetischen Dimensionen reduziert. Variablen, die untereinander stark korrelieren, werden dabei zu einem Faktor zusammengefasst, während verschiedene Faktoren untereinander gering korrelieren. Ziel der Faktorenanalyse ist es, Faktoren zu ermitteln, die beobachtete Zusammenhänge zwischen den vorhandenen Variablen erklären. In der vorliegenden Arbeit kommt die Hauptkomponentenanalyse als Extraktionsmethode zur Anwendung. Als Rotationsverfahren wird die Varimax-Rotation<sup>18</sup> gewählt. Die Faktorladungen der Variablen auf den Komponenten (Faktoren) sind das eigentliche Ergebnis der Faktorenanalyse. Die extrahierten Faktoren werden schließlich gemäß ihrem Inhalt interpretiert. Faktorladungen  $> .50$  gelten als ausreichend hoch und können entsprechend interpretiert werden. Die durchgeführten Faktorenanalysen in dieser Studie sind entweder als konfirmatorisch, d.h. sie bestätigen bereits theoretisch hergeleitete Skalen oder sie haben einen explorativen Charakter, indem die Bildung von Faktoren und Skalen als Resultat der Analyse betrachtet wird (vgl. Backhaus et al., 2003).

### **Reliabilität**

Die Reliabilität ist ein Maß und wichtiges Gütekriterium für die formale Genauigkeit und interne Konsistenz eines Tests oder einer Skala. Die Reliabilität meint dabei die „Messgenauigkeit im Sinne der Reproduzierbarkeit der Testergebnisse unter konstanten Bedingungen“ (Amelang & Zielinski, 2002) und zeigt, wie gut ein Konstrukt gemessen wird, unabhängig davon, was gemessen wird. Für die Bestimmung der Reliabilität wird in der Skalendokumentation dieser Arbeit der Cronbachs-Alpha-Wert (Cronbachs- $\alpha$ ) verwendet (Lienert & Raatz, 1994). Cronbachs- $\alpha$  gibt an, ob alle Items einer Skala oder eines Tests dasselbe Merkmal erfassen. Hierbei werden alle Items eines Tests oder einer Skala als eigener Test verstanden und miteinander korreliert. Die Höhe der Korrelation ist abhängig von der Anzahl der Items. Des Weiteren ist die Korrelation höher, je mehr Items verschiedene Aspekte des zu erfassenden Konstrukts erheben. Cronbachs- $\alpha$  kann Werte von theoretisch minus eins bis plus eins annehmen. Für psychische Konstrukte gilt ein Wert von  $\alpha > .70$  als hinreichend gut. Bei Wissenstest, deren Skalen meist als nicht homogen betrachtet werden können, kann dieser Wert jedoch auch unter dem angegebenen Wert liegen.

---

<sup>18</sup> Die Varimax-Rotation rotiert die Faktoren orthogonal in der Form, dass ein Cluster möglichst durch einen Faktor erklärt wird

### Itemanalyse der Wissenstests

Die Items eines Tests besitzen unterschiedliche Lösungsraten, die als Itemindizes oder Itemschwierigkeiten bezeichnet werden. Schwierige Items werden von weniger Versuchsteilnehmern korrekt beantwortet als leichte Items, bei denen die Häufigkeit einer richtigen Antwort höher ist. Die Itemschwierigkeit wird durch einen Index gekennzeichnet, der dem Anteil derjenigen Personen entspricht, die das Item richtig gelöst haben (Bortz & Döring, 2006). Der Schwierigkeitsindex wird für jedes Item eines Tests berechnet. Die Auswertung der Antwortgabe folgt einem dichotomen Format. Bei diesem dichotomen Antwortformat erhält man die Schwierigkeit ( $p_i$ ) von Item  $i$ , indem die Anzahl der richtigen Lösungen ( $R$ ) durch die Gesamtzahl der Antworten ( $N$ ) dividiert wird. Die Schwierigkeit entspricht damit dem Anteil der Personen, die das betrachtete Item korrekt gelöst haben:

$$p_i = \frac{R_i}{N_i}$$

Ein Schwierigkeitsindex von beispielsweise  $p_i = .33$  besagt, dass das Item von 33% der Versuchsteilnehmer richtig gelöst wurde. Je höher der Schwierigkeitsindex, der Werte von 0 (das Item wurde von keinem Versuchsteilnehmer richtig gelöst) bis 1 (das Item wurde von allen Personen richtig gelöst) annehmen kann, desto leichter ist dieses Item von den Versuchsteilnehmern korrekt zu lösen. Die Itemindizes lagen, bis auf einzelne Ausnahmen, in dem allgemein gültigen und akzeptablen Bereich (vgl. Abschnitt 7.4). Im Vortest zeigen zwei Items eine marginal zu hohe Schwierigkeit ( $< .20$ ). In den Nachttests weist das Item der Skala Faktenwissen (Fak1<sup>19</sup>) eine marginal zu geringe ( $> .80$ ) Itemschwierigkeit auf. Ein Argument für die relativ hohe und korrekte Lösungswahrscheinlichkeit dieses Items ist, dass die Räuber-Beute-Beziehung zwischen Hecht und Rotfeder zentraler Bestandteil der Computersimulation ist. Dieses Item Fak1 befindet sich jedoch im Vortest im akzeptablen Bereich, so dass die erste Intervention diesbezüglich zu einem Lernerfolg führt. Die Entfernung des Items aus der Skala würde des Weiteren zu einer Erniedrigung des Cronbachs- $\alpha$ -Wertes führen. Aus diesen Gründen wird das Item Fak1 in der Skala Faktenwissen dennoch beibehalten.

### Trennschärfekoeffizient

Als Trennschärfe wird die Korrelation zwischen einem Item einer Skala und der entsprechenden Gesamtskala bezeichnet, die sich unter Ausschluss des jeweiligen Items ergeben würde. Dieser Koeffizient ist ein relevantes Kriterium zur Brauchbarkeit eines Items. Für mittlere Schwierigkeitsindizes ist die Trennschärfe am höchsten, während sie für niedrige und hohe Schwierigkeitsindizes abfällt. Die Trennschärfe der Items wird in den Tabellen zur Reliabilitätsanalyse der Skalen angezeigt (vgl. Abschnitt 7.4). Die Werte zeigen für die meisten Items annehmbare Trennschärfen. Die Items, die aufgrund unzufrieden stellender Trennschärfe ausgeschlossen wurden, sind entsprechend farblich gekennzeichnet.

<sup>19</sup> Fak1: „Wovon ernährt sich ein Hecht?“

### 3.8.4 Faktorenanalytische Trennung der Wissensarten

Zur Trennung der Wissensarten aus dem Papier-und-Bleistift-Test wurden explorative Faktorenanalysen mit den Ergebnissen der Nachtests durchgeführt. Um die theoriegeleitete Kategorisierung der Faktoren des Papier-und-Bleistift-Wissenstests zur Erfassung der Wissensarten Faktenwissen, konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen zu überprüfen, wurde zusätzlich zu jedem Test eine konfirmatorische Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenmethode mit Varimax-Rotation und entsprechend der verschiedenen Wissenskategorien drei voreingestellten Faktoren berechnet (vgl. Tabelle 3.14 und Tabelle 3.16). Da das intuitive Wissen mittels einer anderen Methode erhoben wurde (vgl. Abschnitt 3.6.6), wurden in der Faktorenanalyse nur drei Wissensarten berücksichtigt. Durch die explorative Faktorenanalyse lassen sich im ersten Nachtest acht Faktoren (vgl. Tabelle 3.13) und im zweiten Nachtest sechs Faktoren (vgl. Tabelle 3.15) darstellen.

Obwohl sich die Wissensarten mittels Faktorenanalysen nicht trennscharf darstellen lassen, werden sie trotzdem theoriegeleitet als getrennte Skalen dargestellt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Faktorenanalyse wurde aber auch eine gemeinsame Skala über die Wissensarten „Faktenwissen“, „konzeptuelles Wissen“ und „prozedurales Wissen“ hinweg gebildet.

Tabelle 3.13: Rotierte Komponentenmatrix nach der Hauptkomponentenanalyse als Extraktionsmethode der Items zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im ersten Nachtest.

Item	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
Konz6	.731							
Proz5	.729							
Fakt1	.524							
Konz1	.431							
Fakt6		.665						
Fakt3		.622						
Konz4		.494						
Konz2		.480						
Fakt2			.796					
Fakt4			.750					
Proz6				.769				
Konz8				.677				
Konz5					.858			
Proz4						.771		
Fakt5					.456	-.598		
Fakt7							.804	
Konz7							.660	
Proz3								.833
Eigenwert	3.350	1.575	1.443	1.365	1.186	1.162	1.080	1.004
Erklärte Varianz	18.612	8.753	8.014	7.584	6.587	6.453	5.999	5.577

Tabelle 3.14: Rotierte Komponentenmatrix mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenanalyse als Extraktionsmethode der Items zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im ersten Nachtest mit drei voreingestellten Faktoren.

Item	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Fakt4	.638		
Konz6	.585		
Konz2	.581		
Fakt2	.570		
Fakt7	.496		
Fakt6	.475		
Konz7	.341		
Fakt3	.280		
Konz8		.617	
Proz5		.524	
Proz6		.520	
Fakt1		.505	
Proz4		.399	
Konz5			.711
Fakt5			.674
Konz4			.478
Konz1			.441
Proz3			.141
Eigenwert	3.350	1.575	1.443
Erklärte Varianz	18.612	8.753	8.014

Tabelle 3.15: Rotierte Komponentenmatrix nach der Hauptkomponentenanalyse als Extraktionsmethode der Items zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im zweiten Nachtest.

Item	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6
Proz5	.705					
Proz3	.603					
Konz1	.585					
Konz6	.470					
Konz4		.799				
Fakt1		.658				
Konz2		.452				
Fakt3			.641			
Proz4			.593			
Fakt6			.570			
Proz6			.547			
Konz5				.742		
Konz8				.643		
Fakt7					.743	
Konz7					.591	
Fakt5					.422	
Fakt2						.779
Fakt4						.609
Eigenwert	3.726	1.541	1.414	1.246	1.149	1.048
Erklärte Varianz	20.698	8.562	7.854	6.921	6.383	5.821

Tabelle 3.16: Rotierte Komponentenmatrix mittels konfirmatorischer Faktorenanalyse nach der Hauptkomponentenanalyse als Extraktionsmethode der Items zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im zweiten Nachtest mit drei voreingestellten Faktoren.

Item	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
Konz2	.726		
Konz4	.691		
Fakt2	.623		
Proz5	.544		
Proz3	.486		
Fakt1	.417		
Fakt4	.267	.261	.256
Fakt7		.649	-.316
Konz6		.582	
Konz1		.570	
Konz7		.540	
Fakt5		.461	
Fakt6		.443	
Proz4			.631
Proz6			.577
Konz5			.537
Konz8			.537
Fakt3			.469
Eigenwert	3.726	1.541	1.414
Erklärte Varianz	20.698	8.562	7.854

### 3.8.4.1 Skalen der verschiedenen Wissensarten und der Kontrollvariablen

Die Items der verschiedenen Wissensarten des Papier-und-Bleistift-Tests lassen sich faktorenanalytisch nicht trennscharf in ihren entsprechenden Subskalen darstellen (vgl. Abschnitt 3.8.4). Die Items werden aus diesem Grund, basierend auf den im Abschnitt 2.7 genannten Definitionen der Wissensarten, theoriegeleitet zu Skalen zusammengestellt. Die Subskalen der Wissenstests erreichen geringe bis sehr geringe Reliabilitäten (vgl. Tabelle 3.17 bis Tabelle 3.20). Im Zusammenhang mit Wissenstests darf der Cronbachs- $\alpha$ -Wert jedoch nicht streng bewertet werden, da Wissenstests aufgrund der unterschiedlichen Inhalte einzelner Fragen als heterogen einzustufen sind (Bortz & Döring, 2006). Aufgrund der Heterogenität der Fragen in den Subskalen „Faktenwissen“ und „prozedurales Wissen“ können deren Reliabilitätswerte somit als ausreichend angesehen werden. Die Subskala „intuitives Wissen“ wurde im Vergleich zu den Wissensarten im Papier-und-Bleistift-Test mit einer anderen Methode erhoben. Des Weiteren wurden andere Itemformate verwendet. Diese Skala wird aus diesem Grund als eine eigene Skala beschrieben.

### Subskala „Faktenwissen“

Die Subskala „Faktenwissen“ enthält Items, die sich auf einzelne zu erfragende themenspezifische Elemente bezieht. Die Reliabilität der Skala, die aus insgesamt sieben Items besteht (vgl. Tabelle 3.17), erreicht für den Datensatz des ersten Nachttests im Vergleich zum Vortest und zum zweiten Nachttest den höchsten Cronbachs- $\alpha$ -Wert von  $\alpha = .49$ .

Tabelle 3.17: Subskala zur Erfassung des themenspezifischen Faktenwissens im ersten Nachttest.

Faktenwissen	
Fakt1:	Wovon ernährt sich ein Hecht?
Fakt2:	Welches Lebewesen zählt zu den Zersettern?
Fakt3:	Was ist Plankton?
Fakt4:	Welches Lebewesen zählt zu den Erzeugern
Fakt5:	Was ist ein Nahrungsnetz?
Fakt6:	Wo wächst die Seerose?
Fakt7:	Welche Besonderheiten besitzt die Brachse?
Cronbachs- $\alpha = .49$	

### Subskala „konzeptuelles Wissen“

Die Subskala „konzeptuelles Wissen“ enthält Items, die themenspezifische Zusammenhänge erfragt. Die Reliabilität der Skala, die aus insgesamt sieben Items besteht (vgl. Tabelle 3.18), erreicht für den Datensatz des zweiten Nachttests im Vergleich zum Vortest und zum ersten Nachttest den höchsten Cronbachs- $\alpha$ -Wert von  $\alpha = .63$ . Das Item Konz3 wird aus der Skala aufgrund einer geringen Trennschärfe entfernt (vgl. Anhang).

Tabelle 3.18: Subskala zur Erfassung des themenspezifischen konzeptuellen Wissens im zweiten Nachttest.

Konzeptuelles Wissen	
Konz1	Eine höhere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu...
Konz2	Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?
Konz4	Welche Aussage trifft auf ein Räuber-Beute-Verhältnis zwischen zwei Tierarten zu, die voneinander abhängig sind?
Konz5	Welche Aussage trifft zu? Ein Verhältnis zwischen einem Raubfisch und seiner Beute wird durch äußere
Konz6	Umstände gestört (z.B. durch die Verkleinerung eines Sees). Welche dieser beiden Gruppen wird wahrscheinlich schneller wieder anwachsen?
Konz7	Kann bei einem Aussterben des Räubers die Zahl der Beutetiere beliebig stark anwachsen?
Konz8	Ein höherer Zuwachs von Beutefischen in einem See führt zu...
Cronbachs- $\alpha = .63$	

### Subskala „prozedurales Wissen“

Die Subskala „prozedurales Wissen“ enthält Items, die den Umgang mit computersimulierten Experimenten und einem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn erfragen. Die Reliabilität der Skala, die aus insgesamt vier Items besteht (vgl. Tabelle 3.19), erreicht für den Datensatz des zweiten Nachtests im Vergleich zum Vortest und zum ersten Nachtest den höchsten Cronbachs- $\alpha$ -Wert von  $\alpha = .48$ . Zwei Items werden aus der Skala entfernt (vgl. Abschnitt 7.4). Bei diesen entfernten Items handelt es sich um Items mit einem offenen Antwortformat.

Tabelle 3.19: Subskala zur Erfassung des themenspezifischen prozeduralen Wissens im zweiten Nachtest.

Prozedurales Wissen	
Proz3	Wie stellt man Veränderungen in einer Simulation fest?
Proz4	Wie viele Variablen (Einstellungen, Parameter) sollte man gleichzeitig bei der Durchführung einer Simulation verändern?
Proz5	Kreuze an, wie Du sinnvoller Weise zur Gewinnung neuer Erkenntnisse vorgehst.
Proz6	Was unternimmst Du, wenn Dein Simulationsergebnis mit Deiner Vorhersage nicht übereinstimmt?
Cronbachs- $\alpha = .48$	

### Skala „intuitives Wissen“

Die Reliabilität der Skala „intuitives Wissen“, die aus insgesamt elf Items besteht (vgl. Tabelle 3.20), erreicht für den Datensatz des zweiten Nachttests im Vergleich zum ersten Vortest, ersten Nachttest und zweitem Vortest den höchsten Cronbachs- $\alpha$ -Wert von  $\alpha = .59$ .

Tabelle 3.20: Subskala zur Erfassung des intuitiven Wissens im zweiten Nachttest. Abkürzungen: (gra): Items, die Grafiken beinhalteten, (txt): Items, die in reiner Textform dargestellt wurden.

Intuitives Wissen	
Int1	Die Hecht-Sterblichkeit steigt auf 100%. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen? (gra)
Int2	Die Lebensraumkapazität eines Sees wird vergrößert. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen? (gra)
Int3	Die Startzahl der Hechte wird von 20 auf 100 erhöht. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen? (gra)
Int4	Der See wird zur Hälfte verkleinert. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen? (gra)
Int5	Die Hecht-Sterblichkeit steigt von 20% auf 30%. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen? (gra)
Int6	Die Hecht-Sterblichkeit fällt von 20% auf 10%. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen? (gra)
Int7	Der See wird um 20% verkleinert. Dadurch... (txt)
Int8	Die Hecht-Sterblichkeit steigt von 20% auf 30%. Nach 20 Monaten leben im See... (txt)
Int9	Sinkt der Rotfeder-Zuwachs... (txt)
Int10	Die Hecht-Sterblichkeit fällt von 20% auf 10%. Nach 20 Monaten leben im See... (txt)
Int11	Der See wird um 50% vergrößert. Dadurch... (txt)
Cronbachs- $\alpha = .59$	

### Skala „Wissen“

Die Skala „Wissen“ besteht aus 16 Items des Papier-und-Bleistift-Wissenstests. In dieser Skala wird nicht nach den Definitionen der verschiedenen Wissensarten „Faktenwissen“, „prozedurales Wissen“ und „konzeptuelles Wissen“ unterschieden. Um die höchst mögliche Reliabilität dieser Skala zu erreichen, wurden zwei Faktorenanalysen durchgeführt, in denen insgesamt fünf Items aus der Skala entfernt werden (vgl. Anhang). Die Reliabilität der Skala, die aus insgesamt 16 Items besteht (vgl. Tabelle 3.21), erreicht für den Datensatz des zweiten Nachttests im Vergleich Vortest und ersten Nachttest den höchsten Cronbachs- $\alpha$ -Wert von  $\alpha = .76$ .

Tabelle 3.21: Skala zur Erfassung des themenspezifischen Wissens im zweiten Nachtest.

Wissen	
Fakt1:	Wovon ernährt sich ein Hecht?
Fakt2:	Welches Lebewesen zählt zu den Zersettern?
Fakt4:	Welches Lebewesen zählt zu den Erzeugern
Fakt5:	Was ist ein Nahrungsnetz?
Fakt6:	Wo wächst die Seerose?
Konz1:	Eine höhere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu...
Konz2:	Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?
Konz4:	Welche Aussage trifft auf ein Räuber-Beute-Verhältnis zwischen zwei Tierarten zu, die voneinander abhängig sind?
Konz5:	Welche Aussage trifft zu?
Konz6:	Ein Verhältnis zwischen einem Raubfisch und seiner Beute wird durch äußere Umstände gestört (z.B. durch die Verkleinerung eines Sees). Welche dieser beiden Gruppen wird wahrscheinlich schneller wieder anwachsen?
Konz7:	Kann bei einem Aussterben des Räubers die Zahl der Beutetiere beliebig stark anwachsen?
Konz8:	Ein höherer Zuwachs von Beutefischen in einem See führt zu...
Proz3:	Wie stellt man Veränderungen in einer Simulation fest?
Proz4:	Wie viele Variablen (Einstellungen, Parameter) sollte man gleichzeitig bei der Durchführung einer Simulation verändern?
Proz5:	Kreuze an, wie Du sinnvoller Weise zur Gewinnung neuer Erkenntnisse vorgehst.
Proz6:	Was unternimmst Du, wenn Dein Simulationsergebnis mit Deiner Vorhersage nicht übereinstimmt?
Cronbachs- $\alpha$ = .76	

## 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Studie gezeigt. Es werden die deskriptiven Statistiken für die verschiedenen Subskalen der abhängigen Variablen und die Skalen der Kontrollvariablen vorgestellt. Des Weiteren werden Ergebnisse, wie Resultate zu Korrelationsanalysen, Ergebnisse ohne durchgeführte Intervention mit dem Computerprogramm und Auswertungen der Log-Dateien, dargestellt. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse für die in Abschnitt 2.9 formulierten Hypothesen dargelegt.

Für eine bessere Übersicht werden in vielen Tabellen und Abbildungen die sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen, die bereits im Methodenteil beschrieben wurden, durch deren Nummerierung wiedergegeben. Zur Verdeutlichung wird die Zuordnung der Nummerierung der entsprechenden Untersuchungsbedingung an dieser Stelle in Tabelle 4.1 noch einmal gezeigt.

Tabelle 4.1: Die sechs unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen im Hinblick auf die instruktionalen Maßnahmen. Es bedeuten: - = keine; + = vorhanden.

Untersuchungs- bedingung	Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation	Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation
(1)	Keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation	-
(2)	Keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation	+
(3)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm	-
(4)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm	+
(5)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden	-
(6)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden	+

### 4.1 Voranalysen

Die Voranalysen betreffen vor allem das themenspezifische Vorwissen der Lernenden in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Das erhobene gewässerökologische Vorwissen der Probanden war in der Studie gering. Selbst Teilnehmer mit einem vergleichsweise hohen Vorwissen hatten in den Nachtests die Möglichkeit sich noch zu verbessern, ohne die maximal erreichbaren Summenscores zu erzielen. Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3 geben einen Überblick über die erreichten Summenscores in den unterschiedlichen Tests, die mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung und t-Tests ermittelt wurden. Allgemein lassen sich in

den Papier-und-Bleistift-Nachtests signifikante Erhöhungen der Mittelwerte in allen Untersuchungsbedingungen nachweisen.

Tabelle 4.2: Erreichte Mittelwerte  $M$  (Gesamtscore), Standardabweichungen  $SD$  und Effektstärken (Cohen's  $d$ ) in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests zu den drei Messzeitpunkten (VT = Vortest, NT1 = Nachtest 1, NT2 = Nachtest 2) in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen ( $N = 124$ ). Der Test beinhaltet 18 Items.

Untersuchungs- bedingung	Vortest		Nachtest 1			Nachtest 2			$N$
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$d_{VT/NT1}$	$M$	$SD$	$d_{VT/NT2}$	
(1)	.36	.17	.52	.17	0.94	.40	.26	0.18	20
(2)	.31	.16	.59	.16	1.75	.49	.27	0.81	18
(3)	.45	.11	.56	.21	0.66	.60	.20	0.93	18
(4)	.42	.13	.61	.14	1.41	.57	.22	0.83	24
(5)	.39	.13	.65	.15	1.85	.65	.21	1.49	21
(6)	.36	.13	.39	.18	0.19	.46	.19	0.61	23

Tabelle 4.3 zeigt die entsprechenden T-Werte und Signifikanzen zu den erhobenen Mittelwerten zwischen Vortest und den Nachtests.

Tabelle 4.3: T-Werte und Signifikanzen zu den Mittelwerten zwischen dem Vortest und den Nachtests in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (NT1 = Nachtest 1, NT2 = Nachtest 2, VT = Vortest).

Untersuchungs- bedingung	$T_{(VT/NT1)}$	$T_{(VT/NT2)}$
(1)	3.98***	0.71
(2)	9.61***	3.64**
(3)	2.52*	3.08**
(4)	6.16***	3.78***
(5)	8.96***	6.33***
(6)	0.63	2.33*

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ . Signifikanzen im Nachtest 2 beziehen sich auf den Vergleich mit dem Vortest.

Das themenspezifische Vorwissen der Teilnehmer wurde erhoben und für die weitere Auswertung mit berücksichtigt. Die Ergebnisse des varianzanalytischen Verfahrens zeigen in den Untersuchungsbedingungen unterschiedliche Summenscores in den Vortests in den verschiedenen Wissenskategorien. Aus Gründen der Vollständigkeit werden die Summenscores des erhobenen intuitiven Wissens im ersten Vortest ebenfalls gezeigt. Laut Theorie kann intuitives Wissen durch Lernen mit Computersimulationen generiert werden, *während* mit der Lernumgebung gelernt wird. Um jedoch mögliche Veränderungen des intuitiven Wissens bereits ab dem ersten Vortest über die Interventionszeitpunkte zu erkennen, wurden die erreichten Summenscores des erhobenen intuitiven Wissens mit aufgeführt.

Hinsichtlich des Faktenwissens zeigt sich mittels einfaktorieller Varianzanalyse ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen  $F(5, 87) = 5.63$ ,  $p < .001$ . Das Faktenwissen unterscheidet sich daher signifikant in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen. Die vergleichsweise höchsten Summenscores im Faktenwissenvortest erreichen die Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die geringsten Summenscores erreichen

Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6). Die Varianzanalyse zeigt für das konzeptuelle Wissen im Vortest keinen signifikanten Unterschied für die Teilnehmer in den Untersuchungsbedingungen  $F(5, 79) = 0.90, p = .49, ns$ . Ebenso zeigen sich für das prozedurale Wissen  $F(5, 90) = 1.77, p = .13, ns$  bei den Teilnehmern und für das intuitive Wissen  $F(5, 85) = 1.04, p = .40, ns$  in den sechs Untersuchungsbedingungen keine signifikanten Unterschiede. Tabelle 4.4 zeigt die erreichten Summenscores im Vorwissenstest für die verschiedenen Wissensarten.

Tabelle 4.4: Erreichte Summenscores im Vortest zur Erhebung der verschiedenen Wissensarten in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen.

Untersuchungs- bedingung	Fakten- wissen		Konzeptuelles Wissen		Prozedurales Wissen		Intuitives Wissen	
	<u>M</u>	<u>SD</u>	<u>M</u>	<u>SD</u>	<u>M</u>	<u>SD</u>	<u>M</u>	<u>SD</u>
(1)	.36	.27	.38	.20	.40	.13	.48	.14
(2)	.46	.22	.30	.21	.29	.22	.54	.19
(3)	.56	.13	.41	.16	.48	.29	.48	.11
(4)	.57	.18	.31	.20	.35	.24	.46	.15
(5)	.51	.26	.38	.20	.28	.20	.52	.17
(6)	.27	.13	.41	.19	.35	.21	.44	.10

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass sich der signifikante Effekt, der sich in der Kategorie „Faktenwissen“ ergibt, der Untersuchungsbedingung (6) zuzuordnen ist. Teilnehmer dieser Untersuchungsbedingung erzielten im Vortest im Faktenwissen die geringste mittlere Summenscore.

Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Verteilung der Versuchsteilnehmer in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen gleich verteilt ist. Der Chi-Quadrat-Test mit den Personen, die an allen drei Messzeitpunkten anwesend waren, zeigt keine signifikanten Abweichungen der Teilnehmerzahlen in den Untersuchungsbedingungen,  $\chi^2(5) = 1.52, p = .91, ns$ .

#### 4.1.1 Evaluation der Lernumgebung „SimBioSee“

Im Vorfeld der Studie wurde die eingesetzte Lernumgebung mit 27 Lernenden einer siebten Gymnasialschulklasse hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit, Informationsqualität und Schnittstellenqualität in einer 90-minütigen Intervention an der Universität Bremen getestet. Für die Evaluation der Lernumgebung wurde das insgesamt 19 Items umfassende Testinstrument PSSUQ (*Post Study Usability Questionnaire*, Lewis, (2002) in übersetzter Form eingesetzt. Auf einer 7-stufigen Likert-Skala von „1“ (stimme gar nicht zu) bis „7“ (stimme völlig zu) wird die Zufriedenheit des Benutzers im Umgang mit dem Computerprogramm gemessen. Das aus zwei Din A4 Seiten bestehende Testinstrument beinhaltet die Skalen „Nutzerfreundlichkeit“ (vgl. Tabelle 4.5), „Informationsqualität“ (vgl. Tabelle 4.6) und „Schnittstellenqualität“ (vgl. Tabelle 4.7). Bei der Übersetzung der Items in die deutsche Sprache wurde darauf geachtet, dass die Items für die Zielgruppe leicht verständlich formuliert sind. Da sich die Skalen weder mit einer explorativen, noch mit einer

konfirmatorischen Faktorenanalyse mit vier bzw. drei zu erzwingenden Faktoren eindeutig abbilden ließen, wurden die theoriegeleiteten Skalen nach Lewis (2002) für die Auswertung beibehalten. Dass sich die Skalen nicht eindeutig trennen ließen, kann u.a. mit einem unzureichenden Verhältnis zwischen Itemzahl und Versuchsteilnehmern begründet werden. Bortz und Döring (2002) empfehlen in diesem Zusammenhang, dass die Zahl der Versuchsteilnehmer deutlich über der Itemzahl liegen sollte. Die Skalendokumentation befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Die Reliabilität der Skala „Nutzerfreundlichkeit“, die aus insgesamt acht Items besteht, erreicht einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .92.

Tabelle 4.5: Skala zur Erfassung der Nutzerfreundlichkeit des Computerprogramms.

Nutzerfreundlichkeit	
Benutz1:	Insgesamt bin ich damit zufrieden, wie leicht das Programm „ <i>SimBioSee</i> “ zu bedienen ist.
Benutz2:	Das Programm „ <i>SimBioSee</i> “ war einfach zu handhaben.
Benutz3:	Ich konnte die Aufgaben durch die Programmbenutzung erfolgreich bearbeiten.
Benutz5:	Ich konnte die Aufgaben mithilfe des Programms schnell bearbeiten.
Benutz5:	Ich war in der Lage, die Aufgaben mithilfe des Programms erfolgreich zu lösen.
Benutz6:	Es war angenehm mit dem Programm " <i>SimBioSee</i> " zu arbeiten.
Benutz7:	Es war einfach, den Umgang mit dem Programm zu erlernen.
Benutz8:	Ich denke, ich konnte durch die Programmbenutzung schnell etwas erreichen.
Cronbachs- $\alpha$ = .92	

Die Reliabilität der Skala „Informationsqualität“, die aus insgesamt sieben Items besteht, erreicht einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .78.

Tabelle 4.6: Skala zur Erfassung der Informationsqualität des Computerprogramms.

Informationsqualität	
Info1	Das Programm gab Fehlermeldungen, die mir genau sagten, wie die Probleme zu beheben sind.
Info2	Wann immer ich bei Programmbenutzung einen Fehler machte, konnte ich diesen leicht und schnell beheben.
Info3	Informationen auf dem Bildschirm oder im Lexikon waren gut zu verstehen.
Info4	Es war leicht, die nötigen Informationen zur Aufgabenbearbeitung zu finden.
Info5	Informationen über den Gebrauch des Programms waren leicht zu verstehen.
Info6	Mir halfen die Informationen zu den Aufgaben, um sie erfolgreich zu bearbeiten.
Info7	Die Anordnung der Informationen auf dem Bildschirm war übersichtlich.
Cronbachs- $\alpha$ = .78	

Die Reliabilität der Skala „Schnittstellenqualität“, die aus insgesamt vier Items besteht, zeigt einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .65.

Tabelle 4.7: Skala zur Erfassung der Schnittstellenqualität des Computerprogramms.

Schnittstellenqualität	
Schn1	Die Verbindungen zum Programm wie Tastatur, Maus und Headset waren geeignet.
Schn2	Mir gefiel es, die Verbindungsmöglichkeiten wie Tastatur, Maus und Headset zum Programm zu benutzen.
Schn3	Dieses Programm besitzt alle Funktionen und Möglichkeiten, die ich mir erwarte.
Schn4	Im Allgemeinen bin ich mit dem Programm "SimBioSee" zufrieden.
Cronbachs- $\alpha$ = .65	

Generell wurden die Skalen „Nutzerfreundlichkeit“, „Informationsqualität“ und „Schnittstellenqualität“ von den Lernenden überdurchschnittlich positiv bewertet (vgl. Abbildung 4.1).

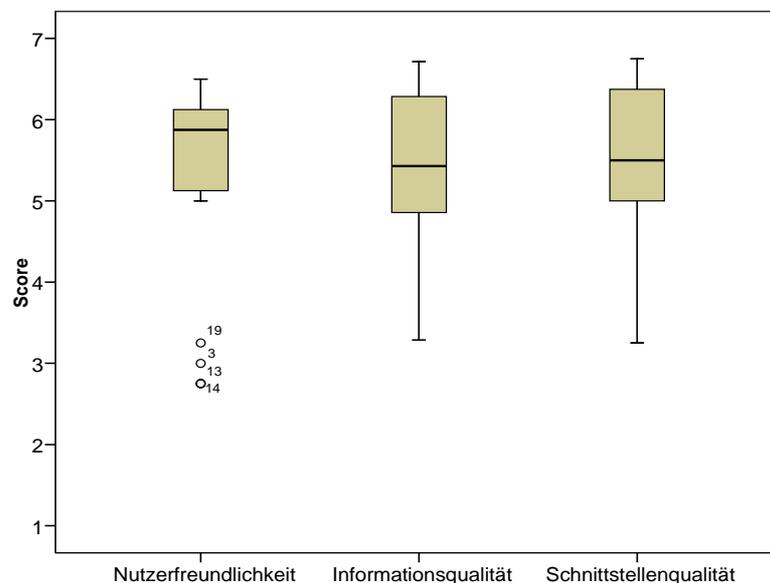


Abbildung 4.1: Boxplots der drei Skalen „Nutzerfreundlichkeit“, „Informationsqualität“ und „Schnittstellenqualität“.

### Motivation im Umgang mit der Lernumgebung

Parallel zur Ergebnisevaluation der Lernumgebung wurde des Weiteren die intrinsische Motivation im Umgang mit dem Computerprogramm mit Hilfe des Testinstrumentes „*Post-Experimental Intrinsic Motivation Inventory*“ von Deci und Ryan (2003) erhoben. Die theoriegeleiteten Skalen „Interesse/Vergnügen“ (vgl. Tabelle 4.8), „wahrgenommene Kompetenz“ (vgl. Tabelle 4.9), „wahrgenommene Wahlfreiheit“ (vgl. Tabelle 4.10) und „empfundener Druck/Anspannung“ (vgl. Tabelle 4.11) ließen sich mit Hilfe einer explorativen Faktorenanalyse bestätigen (vgl. Abschnitt 7.4). Die Items der Skala „Druck/Anspannung“ wurden aufgrund der negativen Formulierungen für die

Datenauswertung umcodiert, so dass diese Skala mit den übrigen Skalen verglichen werden kann.

Die Reliabilität der Skala „Interesse/Vergnügen“, die aus insgesamt drei Items besteht, erreicht einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .82 (vgl. Tabelle 4.8).

Tabelle 4.8: Skala zur Erfassung des Interesses/Vergnügens im Umgang mit dem Computerprogramm.

Interesse/Vergnügen	
IntVer1	Die Tätigkeit mit der Computersimulation hat mir Spaß gemacht.
IntVer2	Ich fand die Tätigkeit mit der Computersimulation sehr interessant.
IntVer3	Die Tätigkeit mit der Computersimulation war unterhaltsam.
Cronbachs- $\alpha$ = .82	

Die Reliabilität der Skala „wahrgenommene Kompetenz“, die aus insgesamt drei Items besteht, erreicht einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .89 (vgl. Tabelle 4.9).

Tabelle 4.9: Skala zur Erfassung der wahrgenommenen Kompetenz im Umgang mit dem Computerprogramm.

Wahrgenommene Kompetenz	
Komp1	Ich glaube, ich war bei der Arbeit mit „ <i>SimBioSee</i> “ ziemlich gut.
Komp2	Bei der Arbeit mit dem Computerprogramm stellte ich mich geschickt an.
Komp3	Mit meiner Leistung mit „ <i>SimBioSee</i> “ bin ich zufrieden.
Cronbachs- $\alpha$ = .89	

Die Reliabilität der Skala „wahrgenommene Wahlfreiheit“, die aus insgesamt drei Items besteht, erreicht einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .82 (vgl. Tabelle 4.10).

Tabelle 4.10: Skala zur Erfassung der wahrgenommenen Wahlfreiheit im Umgang mit dem Computerprogramm.

Wahrgenommene Wahlfreiheit	
Wah1	Bei der Arbeit mit „ <i>SimBioSee</i> “ konnte ich wählen, wie ich es mache.
Wah2	Ich konnte die Arbeit mit dem Computerprogramm selbst steuern.
Wah3	Bei der Tätigkeit mit dem Computerprogramm konnte ich so vorgehen, wie ich es wollte.
Cronbachs- $\alpha$ = .82	

Die Reliabilität der Skala „Druck/Anspannung“, die aus insgesamt drei Items besteht, erreicht einen Cronbachs- $\alpha$ -Wert von .68 (vgl. Tabelle 4.11).

Tabelle 4.11: Skala zur Erfassung des wahrgenommenen Drucks/Anspannung im Umgang mit dem Computerprogramm.

Druck/Anspannung	
Dru1	Ich hatte Bedenken, ob ich die Tätigkeit mit „ <i>SimBioSee</i> “ gut hinbekomme.
Dru2	Bei der Tätigkeit mit dem Computerprogramm fühlte ich mich unter Druck.
Dru3	Bei der Arbeit mit dem Computerprogramm fühlte ich mich angespannt.
Cronbachs- $\alpha$ = .68	

Generell wurden die Skalen „Interesse/Vergnügen“, „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „empfundener Druck/Anspannung“ im Umgang mit dem Computerprogramm von den Lernenden überdurchschnittlich positiv bewertet (vgl. Abbildung 4.2).

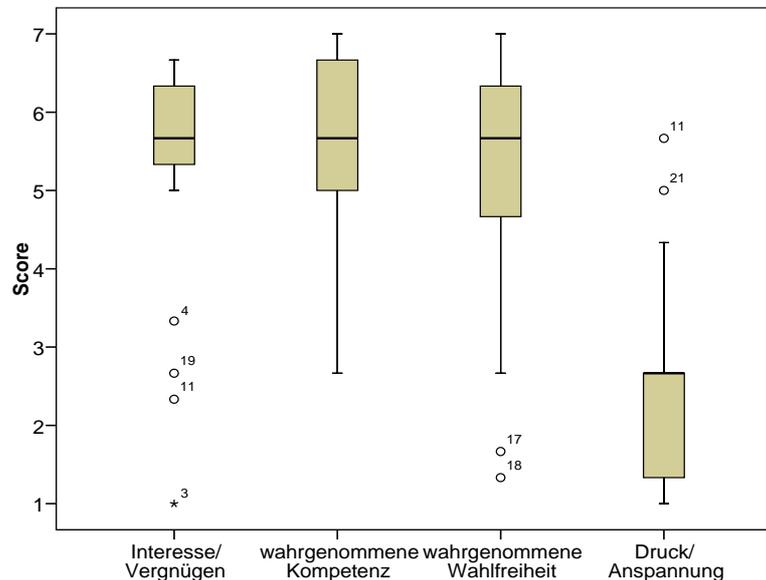


Abbildung 4.2: Boxplots der vier Skalen zur Motivation „Interesse/Vergnügen“, „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „empfundener Druck/Anspannung“.

Das Computerprogramm wurde hinsichtlich Nutzerfreundlichkeit, Qualität der gebotenen Information und der Schnittstellen überdurchschnittlich positiv von den Versuchsteilnehmern bewertet. Hinsichtlich der erhobenen intrinsischen Motivation zeigen sich überdurchschnittlich positive Bewertungen der Versuchsteilnehmer. Es zeigen sich daher deutliche Hinweise, dass sich der Umgang mit dem Computerprogramm positiv motivierend auf die Lernenden auswirkt. Dies erlaubt eine Aussage über die Verwendung des Computerprogramms in der Studie dieser Arbeit. Das Computerprogramm kann als benutzerfreundlich, informationsreich und motivationsfördernd bezeichnet werden, das bei den Anwendern eine geringe Anspannung hervorruft.

## 4.2 Allgemeine deskriptive Statistiken

Im Vor- und Nachtest zur Erfassung des Wissens einer Kategorie wurden, wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, zu jedem Item jeweils fünf Antwortmöglichkeiten geboten, von denen eine Antwort korrekt ist. Ausnahme bildet der computergestützte Test zur Erfassung des intuitiven Wissens, dessen Items jeweils drei Antwortalternativen enthalten. Eine richtig gegebene Antwort wurde mit einem Punkt bewertet, eine falsche Antwort wurde mit null Punkten bewertet. Nichtgegebene Werte wurden in der Auswertung als fehlende Werte (*missing values*) gekennzeichnet. Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich bei den Verteilungskurven um Normalverteilungen. Um die Summenscores der verschiedenen Skalen miteinander vergleichen zu können, wurden die Mittelwerte der Skalen standardisiert, indem

der Mittelwert einer Skala durch die Zahl der Items der jeweiligen Skala dividiert wurde. Es können somit Werte einer Skala zwischen minimal „0“ (kein Item wurde korrekt beantwortet) und maximal „1“ (alle Items wurden korrekt beantwortet) erreicht werden. Die erreichten Summenscores stellen die relativen Lösungshäufigkeiten in den Wissenstests dar und wurden mittels varianzanalytischer Verfahren verglichen. Die Zuwächse in den unterschiedlichen Wissenskategorien ergeben sich aus den Differenzen von Nachtests und Vortest. Die Signifikanzniveaus zwischen Vor- und erstem Nachtest bzw. Vor- und zweitem Nachtest wurde anhand von t-Tests ermittelt. Partiiell unausgefüllte Erhebungsinstrumente und das Fehlen von Teilnehmern an mindestens einem der drei Messzeitpunkte führten dazu, dass die Anzahl von Versuchsteilnehmern bei der Auswertung in den verschiedenen Wissenskategorien leicht variiert.

### 4.2.1 Skala „Wissen“

Da sich die Subskalen Faktenwissen, konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen des Papier-und-Bleistift-Tests nicht trennscharf nach ihren Kategorien faktorenanalytisch darstellen lassen (vgl. Abschnitt 3.8.4), wurden zunächst Analysen mit den Ergebnissen des gesamten Testinstruments durchgeführt. Dabei wurde nicht nach den verschiedenen Wissensarten unterschieden und das erhobene domänenspezifische Wissen in einer Skala dargestellt. Um jedoch Aussagen über die Hypothesen treffen zu können, werden zusätzlich die Analyseergebnisse der theoriegeleiteten Subskalen der verschiedenen Wissensarten Faktenwissen, prozedurales Wissen, konzeptuelles Wissen und intuitives Wissen dargestellt. Aufgrund einer Reiliabilitätsanalyse wurden aus dem gesamten Papier-und-Bleistift-Wissenstest zwei Items entfernt (vgl. Abschnitt 7.4), so dass die im Folgenden dargestellte Skala „Wissen“ insgesamt 16 Items beinhaltet.

Die Häufigkeiten zeigen im Vortest (vgl. Abbildung 4.3a) und in den beiden Nachtests (vgl. Abbildung 4.3b und Abbildung 4.3c) Normalverteilungen. Der Median liegt im Vortest bei .38 im ersten Nachtest bei .56 und im zweiten Nachtest bei .59 (vgl. Abbildung 4.3d). Der theoretisch maximal erreichbare Wert von „1“ wird im Vortest von keiner Person, im ersten und im zweiten Nachtest von jeweils einer Person erreicht.

Die statistische Ratewahrscheinlichkeit, mindestens ein Item korrekt zu beantworten, liegt bei 16 Items mit jeweils fünf Antwortalternativen bei  $1 - (.80)^{16} = .97$ .

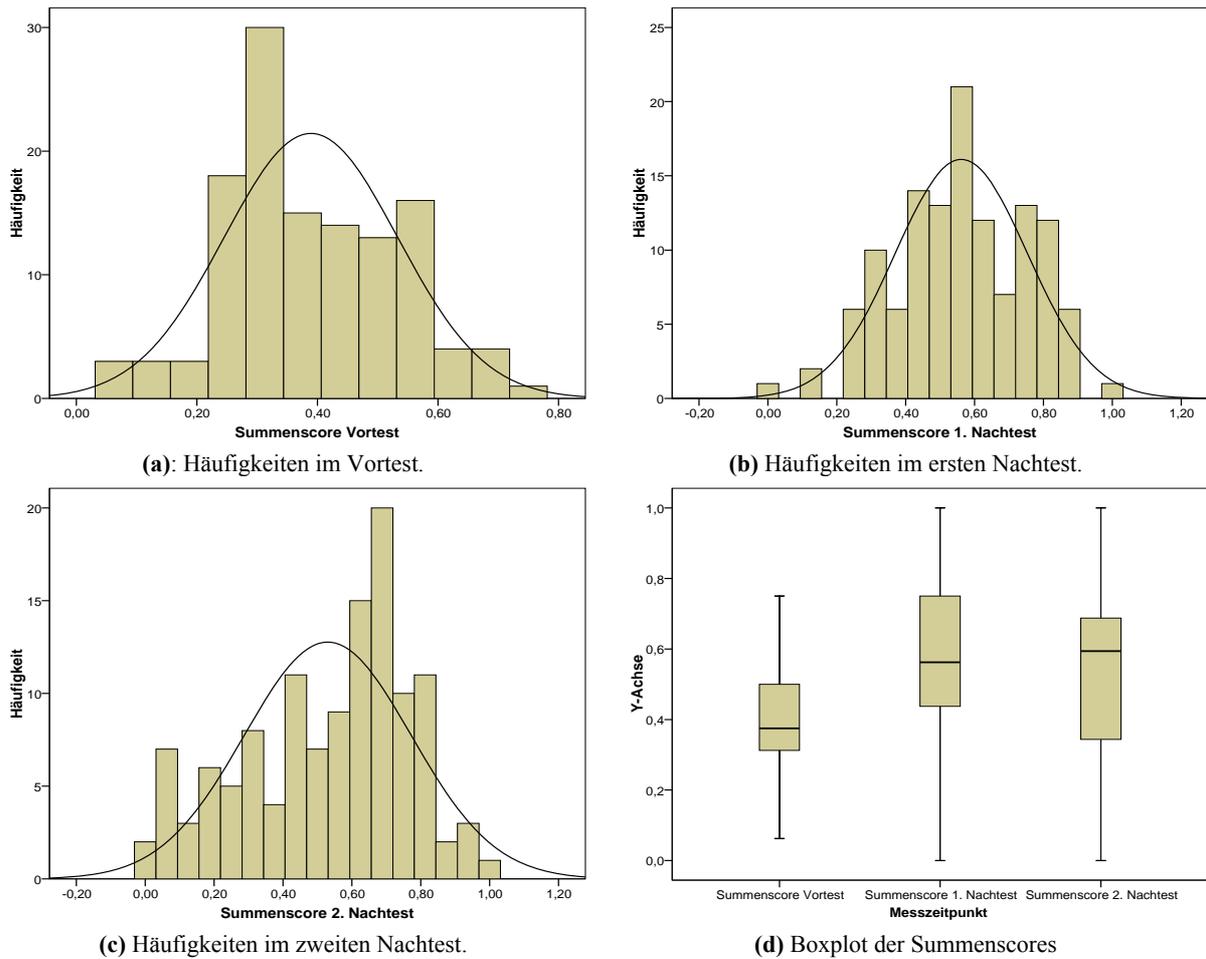


Abbildung 4.3: Verteilungen der Häufigkeiten für die Skala „Wissen“ zu den verschiedenen Messzeitpunkten (a-c); (d) zeigt die Boxplots für die Summenscores im Vortest und den beiden Nachttests.

Über die Messzeitpunkte ist generell eine Zunahme der Mittelwerte erkennbar und gibt Hinweise darauf, dass die Lernenden an domänenspezifischem Wissen hinzugewonnen haben (vgl. Tabelle 4.12).

Tabelle 4.12: Deskriptive Statistiken für die Skala „Wissen“ der Vor- und Nachttests. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Vortest	124	.39	.14	.38
Nachttest 1	124	.56	.19	.56
Nachttest 2	124	.53	.24	.59

### Wissenszuwächse

Tabelle 4.13 zeigt die deskriptiven Statistiken für die Wissenszuwächse zwischen erstem Nachttest und Vortest und zweitem Nachttest und Vortest. Der Median der Summenscores des erhobenen Wissens befindet sich bei .19 im ersten Nachttest und bei .16 im zweiten Nachttest. Es wird ersichtlich, dass der Zuwachs an Wissen für alle Untersuchungsbedingungen durchschnittlich im ersten Nachttest marginal höher ist als im zweiten Nachttest.

Tabelle 4.13: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des Zuwachses an Wissen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung; NT = Nachtest; VT = Vortest.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Zuwachs NT1-VT	124	.17	.18	.19
Zuwachs NT2-VT	124	.14	.22	.16

Die Zuwächse an Wissen unterscheiden sich in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen (vgl. dazu Abbildung 4.4 und Tabelle 4.14). In allen Untersuchungsbedingungen kann ein Anstieg des Wissens in den Nachtests nachgewiesen werden.

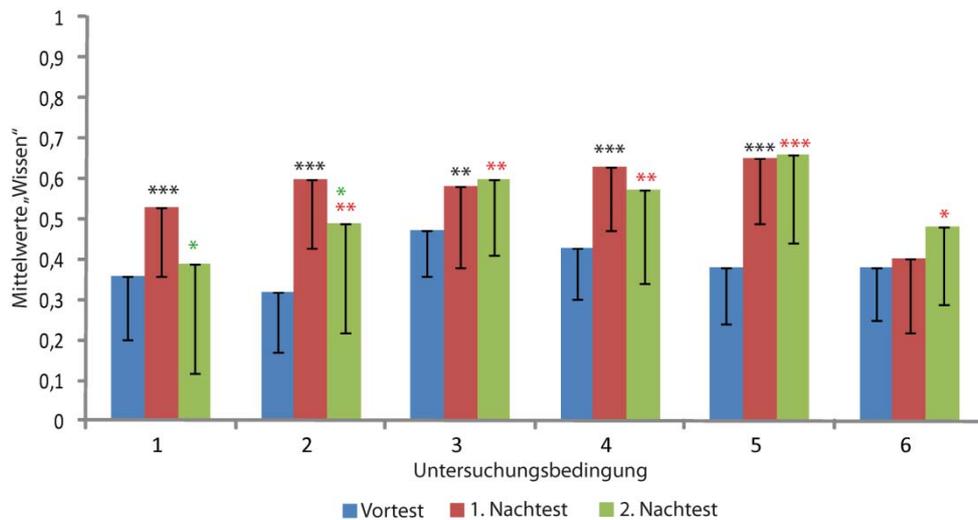


Abbildung 4.4: Grafische Darstellung der erreichten Mittelwerte des erhobenen Wissens mittels ANOVA mit Messwiederholung des Vor- und der Nachtests ( $N = 124$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest 1; \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest 2; \*: Signifikanzniveau zwischen Nachtest 1 und Nachtest 2.  $*p < .05$ ,  $**p < .01$ ,  $***p < .001$ .

Tabelle 4.14 gibt einen Überblick über die erreichten Mittelwerte in den verschiedenen Tests. Auch nach Entfernen der Items ergeben sich nur leichte Unterschiede zu den erhobenen Werten aus Tabelle 4.2 (s. oben). Die Ergebnisse sind daher ähnlich zu betrachten.

Tabelle 4.14: Erreichte Mittelwerte  $M$  (Gesamtscore), Standardabweichungen  $SD$  und Effektstärken (Cohen's  $d$ ) in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests zu den drei Messzeitpunkten (VT = Vortest, NT1 = Nachtest 1, NT2 = Nachtest 2) in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen ( $N = 124$ ). Der Test beinhaltet 16 Items.

Untersuchungs- bedingung	Vortest		Nachtest 1			Nachtest 2			$N$
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$d_{VT/NT1}$	$M$	$SD$	$d_{VT/NT2}$	
(1)	.36	.16	.53	.17	1.03	.39	.27	0.14	20
(2)	.31	.15	.60	.17	1.81	.49	.27	0.82	18
(3)	.47	.11	.50	.20	0.68	.60	.19	0.84	18
(4)	.43	.13	.63	.16	1.37	.57	.23	0.75	24
(5)	.38	.14	.65	.16	1.80	.66	.22	1.52	21
(6)	.38	.13	.40	.18	0.13	.47	.19	0.55	23

$*p < .05$ ,  $**p < .01$ ,  $***p < .001$ . Signifikanzen im Nachtest 2 beziehen sich auf den Vergleich mit dem Vortest

Tabelle 4.15 zeigt die entsprechenden T-Werte und Signifikanzen zu den erhobenen Mittelwerten zwischen dem Vortest und den Nachtests.

Tabelle 4.15: T-Werte und Signifikanzen zu den Mittelwerten zwischen dem Vortest und den Nachtests in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (NT = Nachtest, VT = Vortest).

Untersuchungs- bedingung	$T_{(NT1/VT)}$	$T_{(NT2/VT1)}$
(1)	4.65***	0.74
(2)	9.91***	3.35**
(3)	2.92**	2.84**
(4)	5.56***	3.21**
(5)	8.52***	6.19***
(6)	0.61	2.21*

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

Die Wissenszuwächse im ersten Nachtest der einzelnen Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) sind hoch bis höchst signifikant (vgl. Tabelle 4.16). Die vergleichbar größten Wissenszuwächse im ersten Nachtest erreichen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (2) und (5), die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten sowie Lernende der Bedingung (4), die eine Ergebnisbeschreibung und -interpretation vom Computerprogramm erhielten und zusätzlich mit einer Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden. Die vergleichsweise geringsten Wissenszuwächse zeigen in beiden Nachtests Lernende der Untersuchungsbedingung (6). Bei der Untersuchungsbedingung (1), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erhielten, fällt der Wissenszuwachs auf ein vergleichbares Niveau wie im Vortest (vgl. Tabelle 4.14).

Tabelle 4.16: Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1-Vortest	Nachtest 2-Vortest
(1)	.17***	.03
(2)	.29***	.18**
(3)	.11**	.13**
(4)	.20***	.14**
(5)	.27***	.28***
(6)	.02	.09*

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

## 4.2.2 Subskala „Faktenwissen“

Die Häufigkeiten zeigen im Vortest (vgl. Abbildung 4.5a) und in den beiden Nachtests (vgl. Abbildung 4.5b und Abbildung 4.5c) Normalverteilungen. Im Vortest ist eine leichte Linksschiefe, im zweiten Nachtest ist eine leichte Rechtsschiefe der Kurven erkennbar. Der Median liegt im Vortest bei .43, im ersten und im zweiten Nachtest jeweils bei .57 (vgl. Abbildung 4.5d).

Der theoretisch maximal erreichbare Wert von „1“ wird im Vortest von einer Person, im ersten Nachtest von acht Personen und im zweiten Nachtest von sieben Personen erreicht.

Die statistische Ratewahrscheinlichkeit, mindestens ein Item korrekt zu beantworten, liegt bei sieben Items mit jeweils fünf Antwortalternativen bei  $1 - (.80)^7 = .79$ .

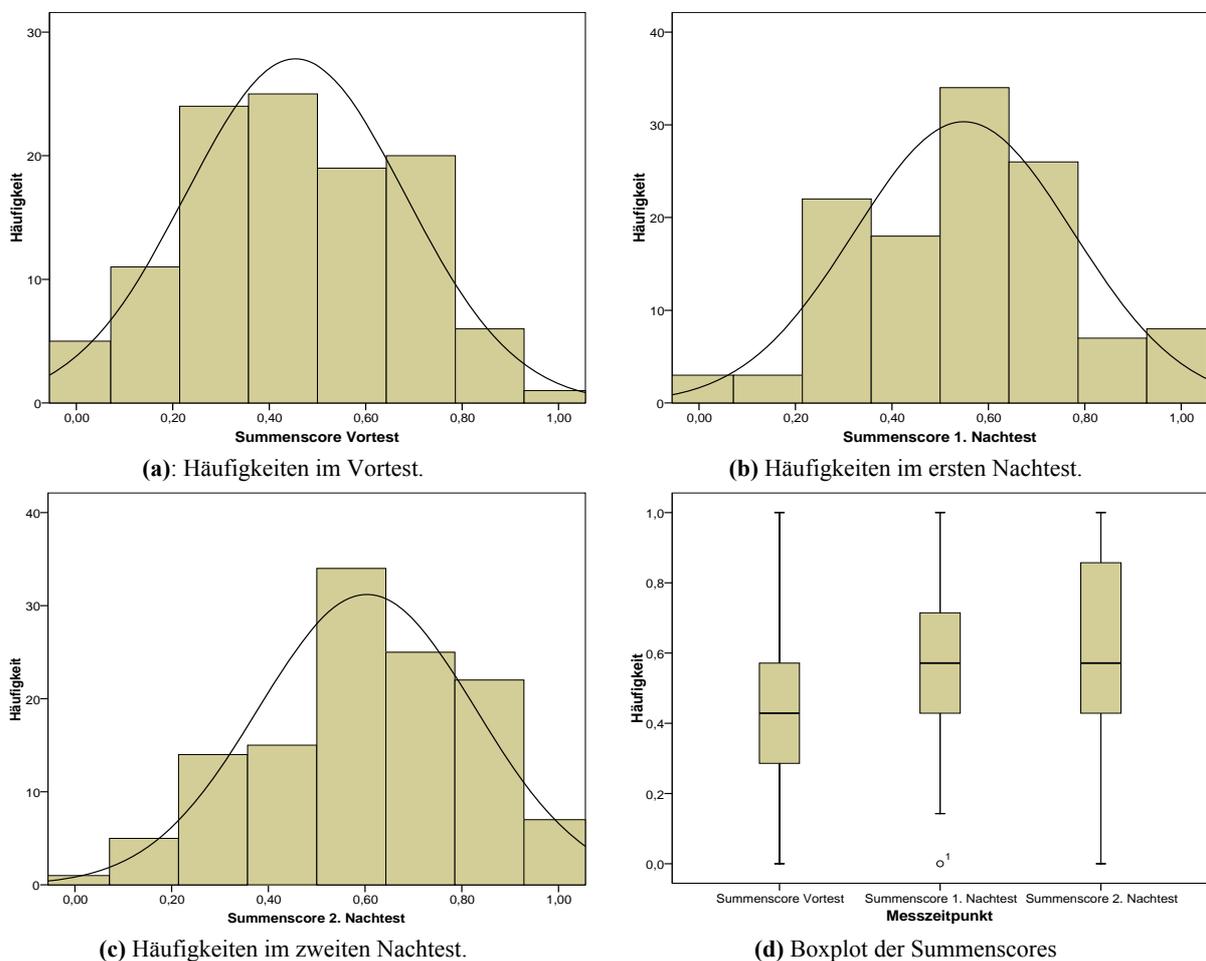


Abbildung 4.5: Verteilungen der Häufigkeiten für die Subskala „Faktenwissen“ zu den verschiedenen Messzeitpunkten (a-c); (a) zeigt eine leichte linksschiefe Kurve, (c) zeigt eine leichte rechtsschiefe Kurve; (d) zeigt die Boxplots für die Summenscores im Vortest und den beiden Nachtests.

Über die drei Messzeitpunkte ist generell eine Zunahme der Mittelwerte erkennbar und gibt Hinweise darauf, dass die Schüler an domänenspezifischem Faktenwissen hinzugewonnen haben (vgl. Tabelle 4.17).

Tabelle 4.17: Deskriptive Statistiken für die Subskala „Faktenwissen“ der Vor- und Nachtests. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Vortest	111	.45	.23	.43
Nachtest 1	121	.55	.23	.57
Nachtest 2	123	.60	.22	.57

### Faktenwissenszuwächse

Der Median befindet sich bei jeweils .14. Aus Tabelle 4.18 wird ersichtlich, dass das domänenspezifische Faktenwissen durchschnittlich über beide Nachtests hinweg ansteigt. Der Zuwachs an erhobenem Faktenwissen ist im zweiten Nachtest marginal höher als im ersten Nachtest.

Tabelle 4.18: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des Zuwachses an Faktenwissen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung; FW = Faktenwissen, NT = Nachtest; VT = Vortest.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Zuwachs FW NT1-VT	104	.11	.22	.14
Zuwachs FW NT2-VT	99	.16	.20	.14

Die Summenscores an Faktenwissen in den Wissenstests unterscheiden sich in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen. In allen Untersuchungsbedingungen kann ein Faktenwissenszuwachs in den Nachtests nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 4.19 und Abbildung 4.6).

Tabelle 4.19: Summenscores des erhobenen Faktenwissens des Vor- und der Nachtests ( $N = 93$ ).

Untersuchungs- bedingung	Vortest		Nachtest 1		Nachtest 2						
	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{T}_{(NT1/VT)}$	$\underline{d}$	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{T}_{(NT2/VT)}$	$\underline{d}$	$\underline{N}$
(1)	.36	.27	.48	.27	1.96	0.44	.54	.17	3.88***	0.80	14
(2)	.46	.22	.62	.14	2.54*	0.87	.52	.26	0.79	0.25	9
(3)	.56	.13	.57	.25	0.00	0.05	.70	.15	3.02**	0.10	14
(4)	.57	.18	.69	.13	3.33**	0.76	.77	.19	3.97***	1.08	19
(5)	.51	.26	.66	.21	3.32**	0.63	.66	.24	4.15***	0.60	20
(6)	.27	.13	.40	.14	2.06	1.18	.44	.17	3.41**	1.12	17

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

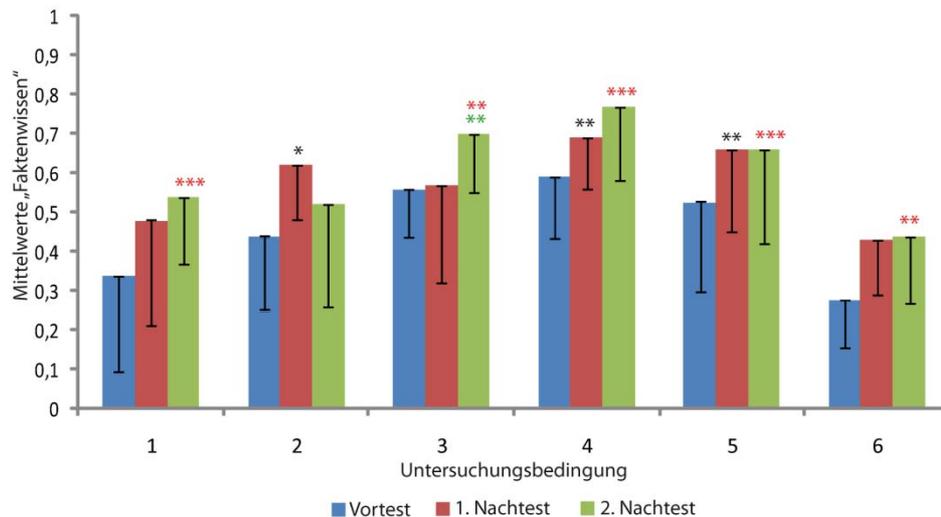


Abbildung 4.6: Grafische Darstellung der erreichten Mittelwerte des erhobenen Faktenwissens mittels ANOVA mit Messwiederholung des Vor- und der Nachttests ( $N = 93$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachttest 1; \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachttest 2; \*: Signifikanzniveau zwischen 1. und 2.  $*p < .05$ ,  $**p < .01$ ,  $***p < .001$ .

Die Lernenden aller sechs Untersuchungsbedingungen zeigen signifikante Wissenszuwächse über die Messzeitpunkte. Mit Ausnahme der Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (3), die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, zeigen die Lernenden der verbleibenden Bedingungen im ersten Nachttest signifikante Faktenwissenszuwächse (vgl. Tabelle 4.20). Lernende der Untersuchungsbedingung (6) zeigen ebenfalls keine signifikanten Faktenwissenszuwächse im ersten Nachttest. Insbesondere Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (2) und (5), die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, zeigen einen signifikanten Faktenwissenszuwachs im ersten Nachttest.

Tabelle 4.20: Faktenwissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen.

Untersuchungsbedingung	Nachttest 1-Vortest	Nachttest 2-Vortest
(1)	.12	.18***
(2)	.16*	.06
(3)	.01	.14**
(4)	.12**	.20***
(5)	.15**	.15***
(6)	.13	.17**

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

### 4.2.3 Subskala „Konzeptuelles Wissen“

Die Häufigkeiten zeigen im Vortest (vgl. Abbildung 4.7a) und in den beiden Nachtests (vgl. Abbildung 4.7b und Abbildung 4.7c) Normalverteilungen. Im Vortest ist eine leichte Linksschiefe, im zweiten Nachtest ist eine leichte Rechtsschiefe der Kurven erkennbar. Der Median liegt im Vortest bei .29, im ersten und im zweiten Nachtest jeweils bei .57 (vgl. Abbildung 4.7d). Über die Testzeitpunkte ist ebenfalls eine Zunahme der Mittelwerte erkennbar und lässt auf eine Zunahme an konzeptuellem Wissens schließen (vgl. Tabelle 4.21). Der maximal erreichbare Wert von „1“ wird im Vortest von keiner Person, im ersten Nachtest von 12 Personen und im zweiten Nachtest von acht Personen erreicht.

Die statistische Ratewahrscheinlichkeit, mindestens ein Item korrekt zu beantworten, liegt bei sieben Items mit jeweils fünf Antwortalternativen bei  $1 - (.80)^7 = .79$ .

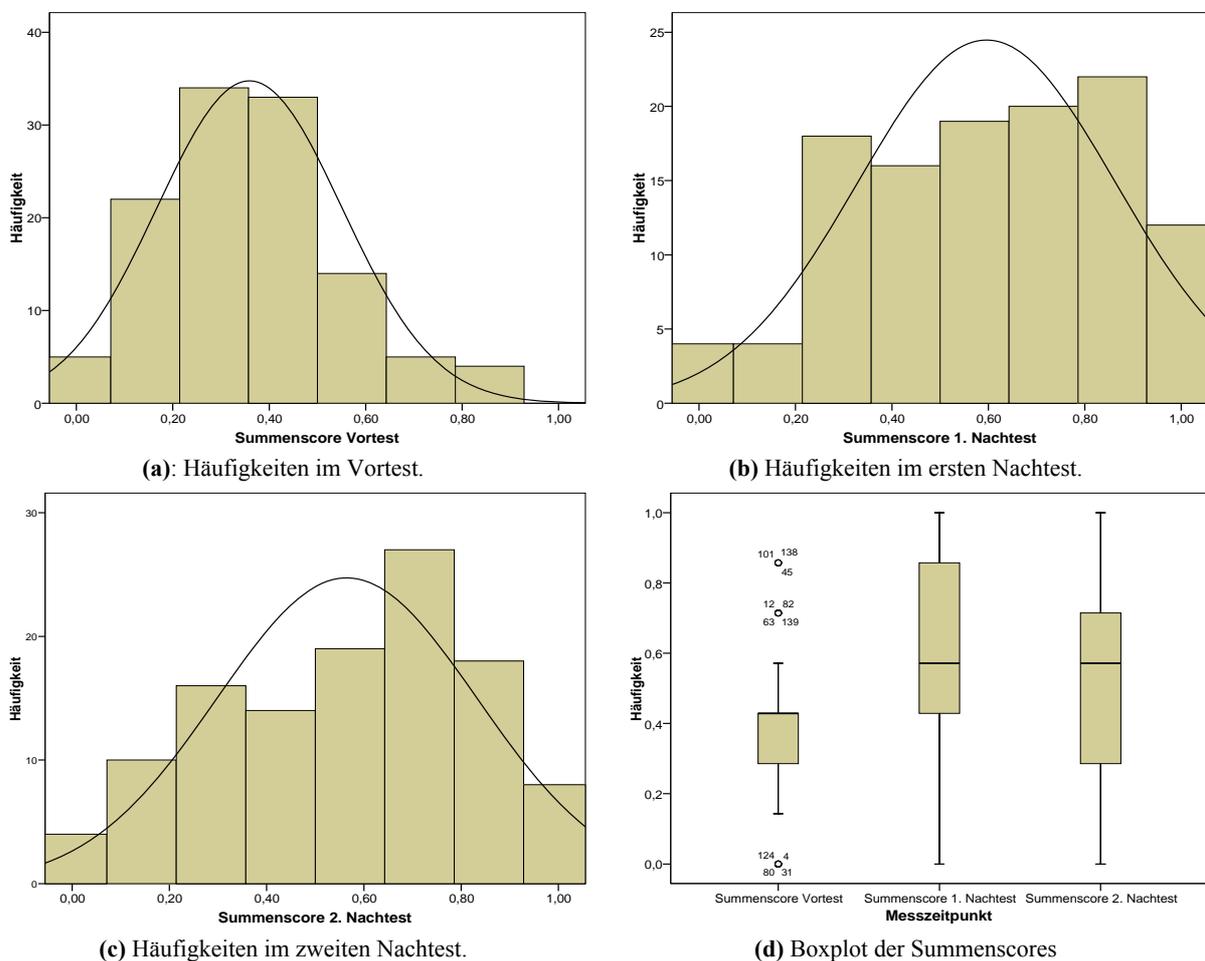


Abbildung 4.7: Verteilungen der Häufigkeiten für die Subskala „konzeptuelles Wissen“ zu den verschiedenen Messzeitpunkten (a-c); (a) zeigt eine leichte linksschiefe Kurve, (b) und (c) zeigen jeweils eine leichte rechtsschiefe Kurve; (d) zeigt die Boxplots für die Summenscores im Vortest und den beiden Nachtests.

Über die drei Messzeitpunkte ist eine Zunahme der Mittelwerte erkennbar und gibt Hinweise darauf, dass die Schüler an domänenspezifischem, konzeptuellem Wissen über die Interventionen hinzugewonnen haben (vgl. Tabelle 4.21).

Tabelle 4.21: Deskriptive Statistiken für die Subskala „konzeptuelles Wissen“ der Vor- und Nachtests. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Vortest	117	.36	.19	.29
Nachtest 1	115	.60	.27	.57
Nachtest 2	116	.57	.27	.57

### Konzeptuelle Wissenszuwächse

Der Median befindet sich bei jeweils .14. Aus Tabelle 4.22 wird ersichtlich, dass die Summenscores an konzeptuellem Wissen im ersten Nachtest vergleichsweise höher sind als im zweiten Nachtest.

Tabelle 4.22: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des Zuwachses an konzeptuellem Wissen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung; KW = konzeptuelles Wissen, NT = Nachtest; VT = Vortest.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Zuwachs KW NT1-VT	100	.22	.27	.14
Zuwachs KW NT2-VT	99	.16	.20	.14

Die Zuwächse an konzeptuellem Wissen unterscheiden sich in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen. In allen Untersuchungsbedingungen kann ein konzeptueller Wissenszuwachs in den Nachtests nachgewiesen werden. Die konzeptuellen Wissenszuwächse in den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) sind bereits im ersten Nachtest hoch bis höchst signifikant (vgl. Tabelle 4.23, Abbildung 4.8 und Tabelle 4.24).

Tabelle 4.23: Summenscores des erhobenen konzeptuellen Wissens des Vor- und der Nachtests ( $N = 85$ ).

Untersuchungs- bedingung	Vortest		Nachtest 1		Nachtest 2						
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$T_{(NT1/VT)}$	$d$	$M$	$SD$	$T_{(NT2/VT)}$	$d$	$N$
(1)	.38	.20	.60	.15	5.68***	1.24	.56	.33	2.19*	0.66	11
(2)	.30	.21	.63	.24	5.86***	1.46	.60	.31	4.50***	1.13	13
(3)	.41	.16	.65	.22	3.82**	1.25	.63	.17	4.41***	1.33	14
(4)	.31	.20	.63	.30	4.69***	1.26	.50	.29	2.28*	0.76	15
(5)	.38	.20	.69	.21	4.30***	1.51	.65	.27	3.50**	1.14	14
(6)	.41	.19	.40	.26	0.26	0.40	.51	.27	1.32	0.43	18

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

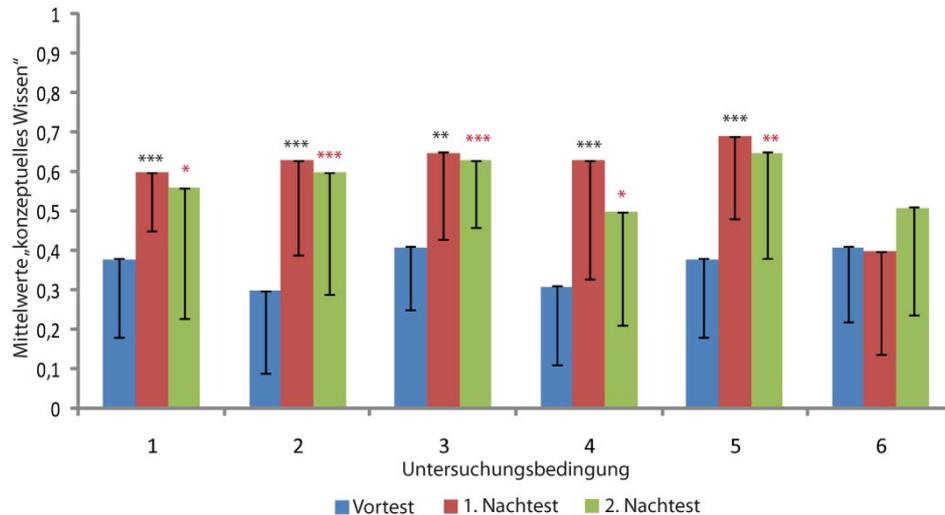


Abbildung 4.8: Grafische Darstellung der erreichten Mittelwerte des erhobenen konzeptuellen Wissens mittels ANOVA mit Messwiederholung des Vor- und der Nachtests ( $N = 85$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest; \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest 2.  $*p < .05$ ,  $**p < .01$ ,  $***p < .001$ .

Der konzeptuelle Wissenszuwachs der Teilnehmer aus Untersuchungsbedingung (6) ist in beiden Nachtests nicht signifikant. Die vergleichbar größten Wissenszuwächse im ersten Nachtest erreichen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (2) und (5), die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten sowie Lernende der Bedingung (4), die eine Ergebnisbeschreibung und -interpretation vom Computerprogramm erhielten sowie zusätzlich mit einer Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden.

Tabelle 4.24: Konzeptuelle Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1-Vortest	Nachtest 2-Vortest
(1)	.22***	.18*
(2)	.33***	.30***
(3)	.24**	.22***
(4)	.32***	.19*
(5)	.31***	.27**
(6)	-.01	.10

$*p < .05$ ,  $**p < .01$ ,  $***p < .001$ .

Die vergleichsweise geringsten Zuwächse an konzeptuellem Wissen zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6), die ihre Simulationsergebnisse beschreiben, interpretieren und zusätzlich reflektieren sollten.

#### 4.2.4 Subskala „Prozedurales Wissen“

Die Häufigkeiten zeigen im Vortest (vgl. Abbildung 4.9a) und in den beiden Nachtests (vgl. Abbildung 4.9b und Abbildung 4.9c) Normalverteilungen. Im Vortest ist eine leichte Linksschiefe erkennbar. Der Median liegt im Vortest bei .25, im ersten und im zweiten Nachtest jeweils bei .50 (vgl. Abbildung 4.9d). Vom Vortest zum ersten Nachtest ist eine Zunahme der Mittelwerte erkennbar und lässt auf eine Zunahme des prozeduralen Wissens schließen. Zum zweiten Nachtest lässt sich eine Abnahme der Mittelwerte erkennen, die jedoch über dem Wert des Vortestes liegt. Ausnahme bildet die Untersuchungsbedingung (1), dessen Mittelwert im zweiten Nachtest leicht unter den des Vortestes fällt (vgl. Tabelle 4.25 und Abbildung 4.10). Die höchste Summenscore an erhobenen prozeduralen Wissen lässt sich im ersten Nachtest nachweisen. Der maximal erreichbare Wert von „1“ wird im Vortest von zwei Personen, im ersten Nachtest von neun Personen und im zweiten Nachtest von 10 Personen erreicht.

Die statistische Ratewahrscheinlichkeit, mindestens ein Item korrekt zu beantworten, liegt bei vier Items mit jeweils fünf Antwortalternativen bei  $1 - (0.80)^4 = .59$ .

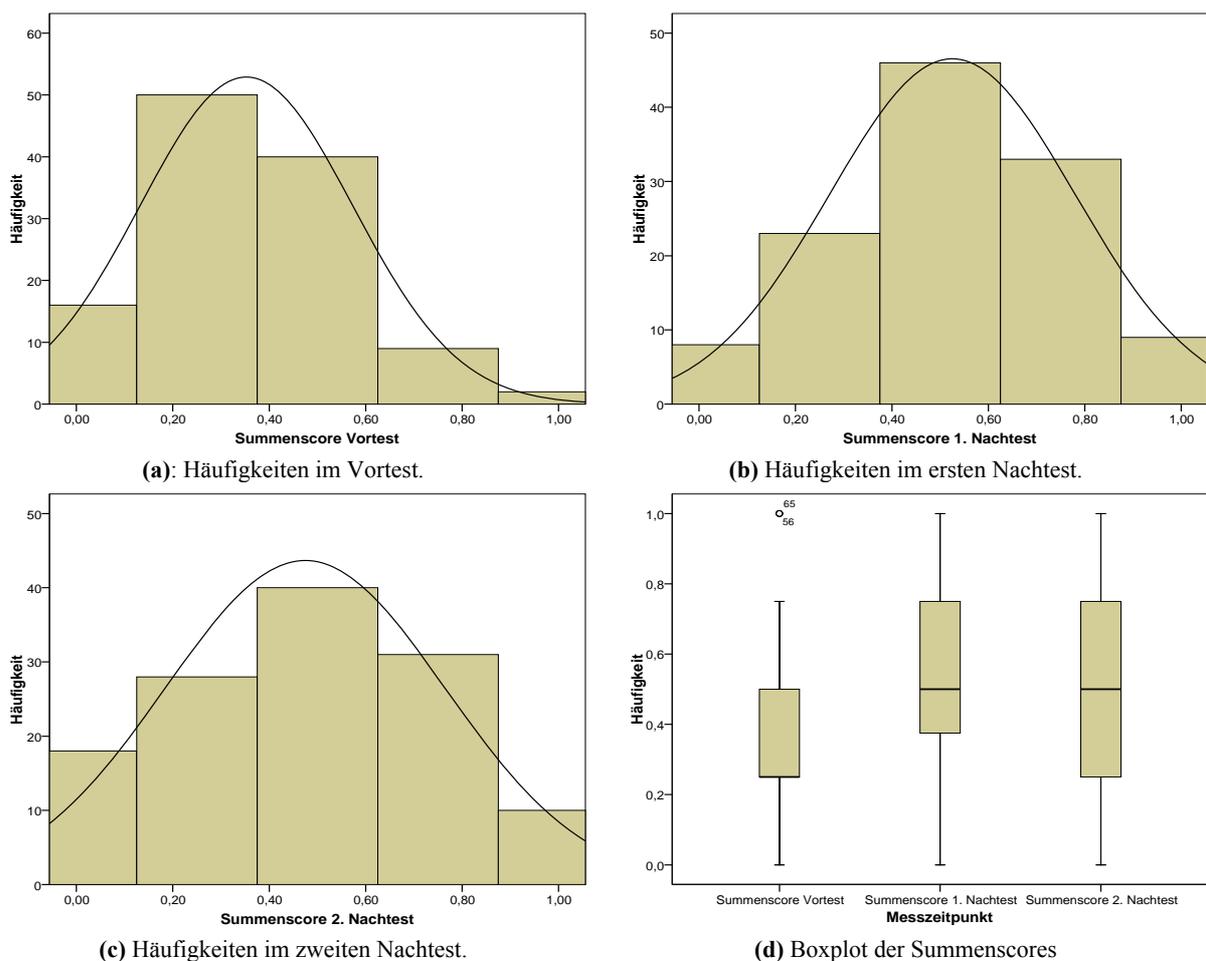


Abbildung 4.9: Verteilungen der Häufigkeiten für die Subskala „prozedurales Wissen“ zu den verschiedenen Messzeitpunkten (a-c); (a) zeigt eine leichte linksschiefe Kurve, (d) zeigt die Boxplots für die Summenscores im Vortest und den beiden Nachtests.

Tabelle 4.25: Deskriptive Statistiken für die Subskala „prozedurales Wissen“ der Vor- und Nachtests. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Vortest	117	.35	.22	.25
Nachtest 1	119	.53	.26	.50
Nachtest 2	127	.47	.29	.50

Der Median der Summenscores des erhobenen konzeptuellen Wissens befindet sich bei .25 im ersten Nachtest und bei .13 im zweiten Nachtest. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass der Zuwachs an prozeduralem Wissen für alle Untersuchungsbedingungen durchschnittlich im ersten Nachtest vergleichsweise höher ist als im zweiten Nachtest (vgl. Tabelle 4.26).

Tabelle 4.26: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des Zuwachses an prozeduralem Wissen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung; PW = prozedurales Wissen, NT = Nachtest; VT = Vortest.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Zuwachs PW NT1-VT	106	.18	.30	.25
Zuwachs PW NT2-VT	106	.13	.33	.13

### Prozeduraler Wissenszuwachs

Die Zuwächse an prozeduralem Wissen in den Wissenstests unterscheiden sich in den sechs Untersuchungsbedingungen. In allen Untersuchungsbedingungen kann im ersten Nachtest ein prozeduraler Wissenszuwachs nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 4.27 und Abbildung 4.10).

Tabelle 4.27: Summenscores des erhobenen prozeduralen Wissens des Vor- und der Nachtests ( $N = 96$ ).

Untersuchungs- bedingung	Vortest		Nachtest 1		Nachtest 2						
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$T_{(NT1/VT)}$	$d$	$M$	$SD$	$T_{(NT2/VT)}$	$d$	$N$
(1)	.40	.13	.63	.21	3.90**	1.32	.38	.29	-0.22	0.09	10
(2)	.29	.22	.55	.26	3.76**	1.08	.45	.34	1.67	0.56	14
(3)	.48	.29	.65	.25	2.06	0.63	.57	.27	1.03	0.32	15
(4)	.35	.24	.43	.22	1.28	0.35	.50	.27	2.17*	0.59	20
(5)	.28	.20	.65	.23	5.68***	1.72	.59	.25	4.27***	1.37	17
(6)	.35	.21	.40	.26	0.36	0.21	.38	.22	0.36	0.14	20

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

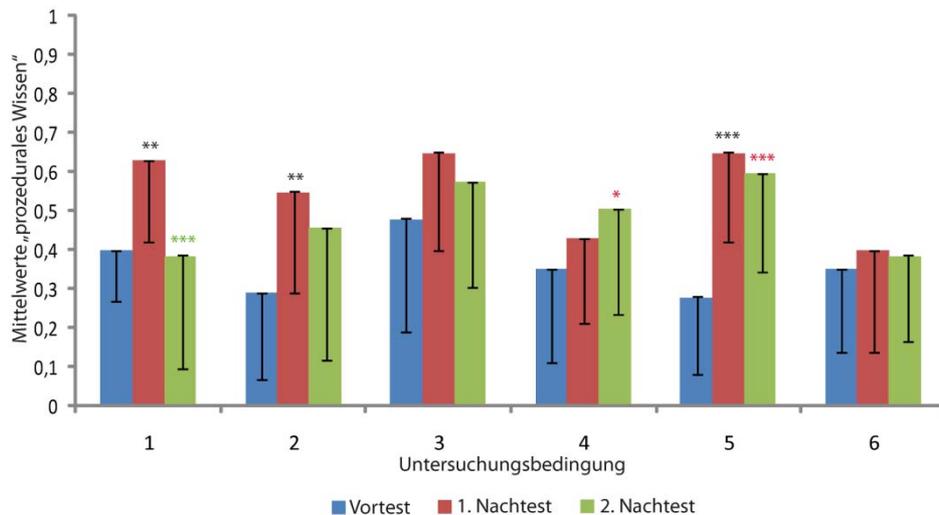


Abbildung 4.10: Grafische Darstellung der erreichten Mittelwerte des erhobenen prozeduralen Wissens mittels ANOVA mit Messwiederholung des Vor- und der Nachtests ( $N = 96$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest 1; \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest 2; \*: Signifikanzniveau zwischen Nachtest 1 und Nachtest 2. \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

Die vergleichsweise höchsten Wissenszuwächse an prozeduralem Wissen zeigen im ersten Nachtest Lernende der Bedingungen (2) und (5), die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (vgl. Tabelle 4.28). Im zweiten Nachtest lässt sich, bis auf Ausnahme der Untersuchungsbedingung (4), eine Verringerung der Mittelwerte vom ersten zum zweiten Nachtest erkennen.

Tabelle 4.28: Prozedurale Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1-Vortest	Nachtest 2-Vortest
(1)	.23**	-.02
(2)	.26**	.16
(3)	.17	.09
(4)	.08	.15*
(5)	.37***	.31***
(6)	.05	.03

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

Die Verringerung des Mittelwertes fällt bei der Untersuchungsbedingung (1) gering unter das Niveau des Vortests. Die Verringerung des Mittelwertes vom ersten Nachtest zum zweiten Nachtest ist bei dieser Untersuchungsbedingung hingegen signifikant  $t(12) = 5,11$ ,  $p < .001$ . Die annähernd geringsten prozeduralen Wissenszuwächse über beide Nachtests zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6), die angehalten wurden, ihre Simulationsergebnisse zunächst zu beschreiben und anschließend biologisch zu interpretieren.

### 4.2.5 Subskala „Intuitives Wissen“

Die Häufigkeiten zeigen in den zwei Vortests (vgl. Abbildung 4.11a und Abbildung 4.11c) und in den beiden Nachtests (vgl. Abbildung 4.11b und Abbildung 4.11d) Normalverteilungen. Der Median liegt im ersten Vortest bei .45, im ersten Nachtest und im zweiten Vortest jeweils bei .55 und im zweiten Nachtest bei .64. Vom ersten Vortest zum zweiten Nachtest ist für alle Untersuchungsbedingungen durchschnittlich eine Erhöhung der Mittelwerte erkennbar (vgl. Tabelle 4.29 und Abbildung 4.11e).

Tabelle 4.29: Deskriptive Statistiken für die Summenscores für die Subskala „intuitives Wissen“ der Vor- und Nachtests. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Vortest 1	122	.49	.15	.45
Nachtest 1	121	.57	.19	.55
Vortest 2	119	.57	.20	.55
Nachtest 2	122	.59	.22	.64

Der theoretisch maximal erreichbare Wert von „1“ wird im zweiten Vortest von zwei, im zweiten Nachtest von vier Personen erreicht.

Die statistische Ratewahrscheinlichkeit, mindestens ein Item korrekt zu beantworten, liegt bei elf Items mit jeweils drei Antwortalternativen bei  $1 - (.66)^{11} = .99$ .

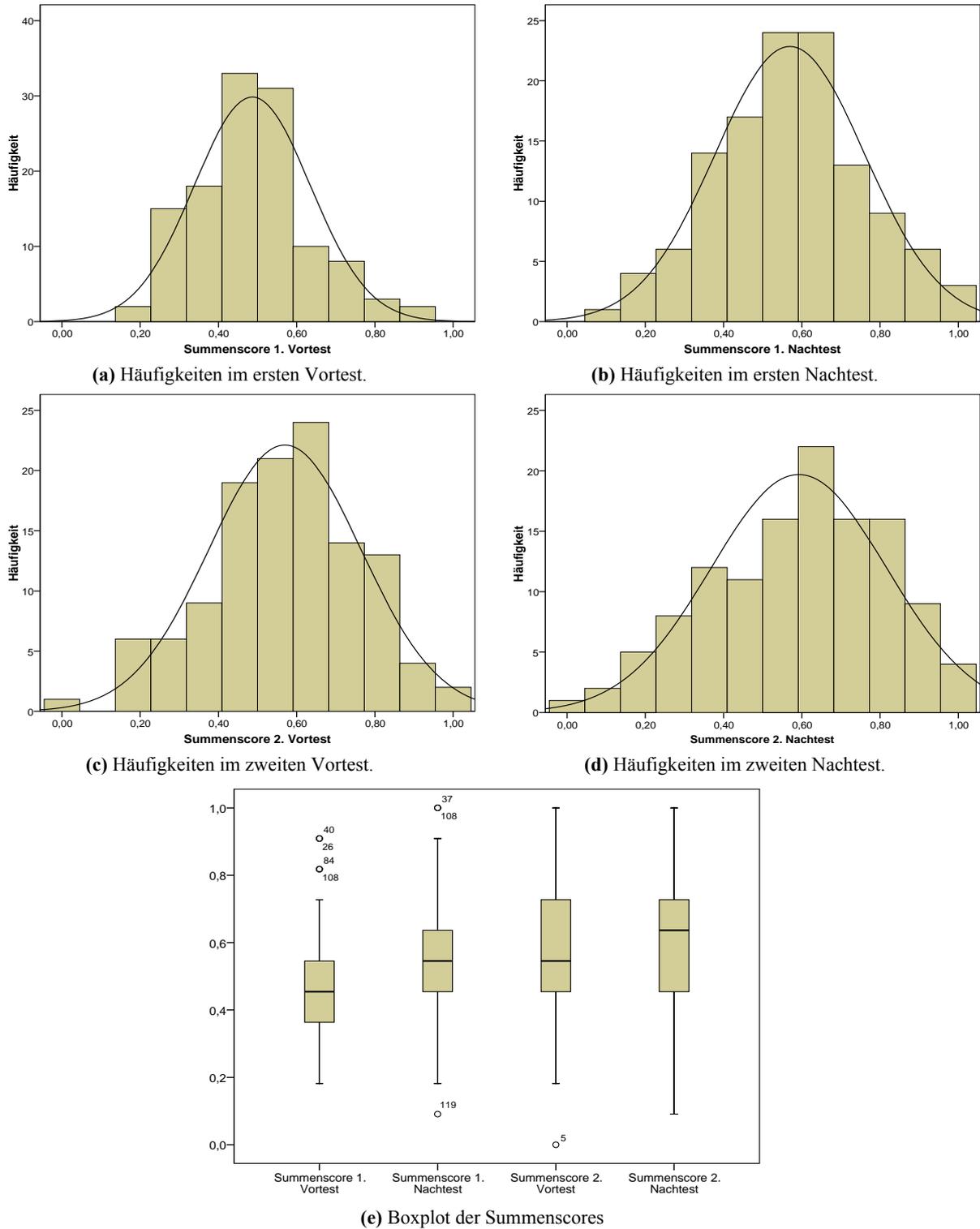


Abbildung 4.11: Verteilungen der Häufigkeiten für die Subskala „intuitives Wissen“ zu den verschiedenen Messzeitpunkten (a-d); (e) zeigt die Boxplots für die Summscores in den beiden Vor- und den beiden Nachtests.

Für die Zuwächse an intuitivem Wissen zwischen Vortest 1/Nachtest 1 und Vortest 1/Nachtest 2 für die verschiedenen Untersuchungsbedingungen lassen sich keine signifikanten Effekte nachweisen (vgl. Tabelle 4.30).

Tabelle 4.30: Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des Zuwachses an intuitivem Wissen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung; IW = intuitives Wissen, NT = Nachtest; VT = Vortest.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Zuwachs IW NT1-VT1	117	.08	.21	.09
Zuwachs IW NT2-VT1	110	.11	.21	.14

Der Median der erhobenen Mittelwerte des erhobenen intuitiven Wissenszuwachses befindet sich bei .09 im ersten Nachtest und bei .14 im zweiten Nachtest.

### Intuitiver Wissenszuwachs

Die Zuwächse an erhobenem intuitivem Wissen in den Wissenstests unterscheiden sich ebenfalls in den sechs Untersuchungsbedingungen. Im ersten Nachtest zeigen alle Untersuchungsbedingungen eine Erhöhung der Mittelwerte im Vergleich zum ersten Vortest. Signifikante Erhöhungen zeigen die Untersuchungsbedingungen (4) und (5) (vgl. Tabelle 4.31 und Abbildung 4.12). Die vergleichbar geringsten Anstiege in den Mittelwerten zwischen erstem Vor- und erstem Nachtest zeigen die Untersuchungsbedingungen (1), (2) und (6).

Die angegebenen Effektstärken Cohen's  $d$  beziehen sich auf die paarweisen Vergleiche zwischen Vortest 1/Nachtest 1 und Vortest 1/Nachtest 2.

Tabelle 4.31: Summenscores des erhobenen intuitiven Wissens der Vor- und der Nachtests ( $N = 98$ ). Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $d$  = Effektstärke Cohen's  $d$ .

Untersuchungs- bedingung	Vortest 1		Nachtest 1		$d$	Vortest 2		Nachtest 2		$d$	$N$
	$M$	$SD$	$M$	$SD$		$M$	$SD$	$M$	$SD$		
(1)	.47	.13	.50	.15	0.12	.53	.22	.61	.17	0.93	15
(2)	.59	.20	.62	.24	0.14	.68	.22	.64	.27	0.21	14
(3)	.46	.94	.55	.20	0.13	.55	.20	.56	.24	0.15	11
(4)	.45	.15	.62	.18	1.03	.58	.17	.66	.20	1.19	19
(5)	.51	.17	.65	.17	0.82	.63	.15	.59	.25	0.37	18
(6)	.43	.10	.45	.18	0.14	.52	.19	.52	.20	0.57	21

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

Tabelle 4.32 zeigt die entsprechenden T-Werte und Signifikanzen zwischen den verschiedenen Tests. Aus Gründen der Vollständigkeit wurden auch die T-Werte zwischen dem zweiten und dem ersten Nachtest angegeben.

Tabelle 4.32: T-Werte und Signifikanzen zwischen den verschiedenen Tests in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen (NT = Nachtest, VT = Vortest).

Untersuchungs- bedingung	$T_{(NT1/VT1)}$	$T_{(NT2/VT2)}$	$T_{(NT2/VT1)}$	$T_{(NT2/NT1)}$
(1)	0.77	2.33*	3.67**	0.91
(2)	0.42	-0.48	1.22	0.48
(3)	1.28	0.00	1.01	0.16
(4)	3.48**	1.92	4.36***	0.89
(5)	3.50**	-1.16	1.51	-1.81
(6)	0.46	-0.12	2.16*	1.49

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

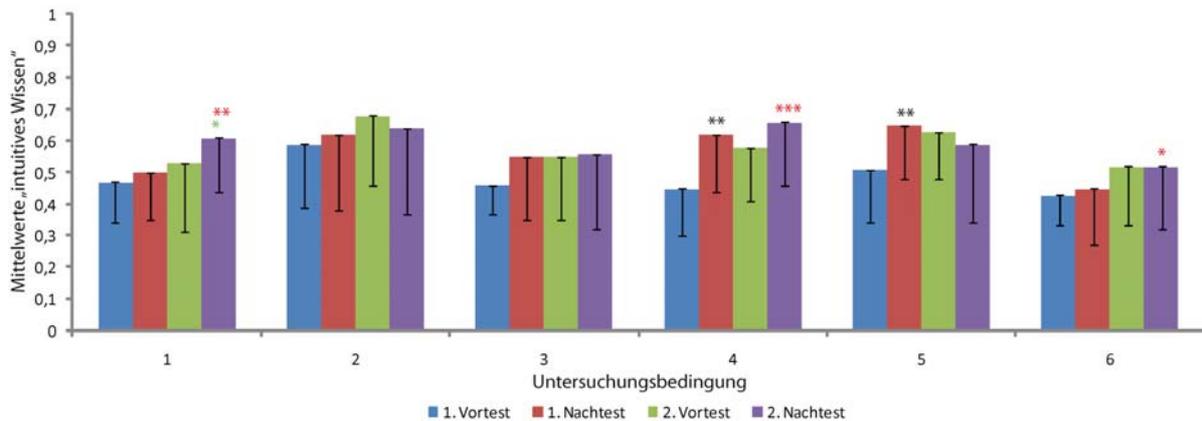


Abbildung 4.12: Grafische Darstellung der erreichten Mittelwerte des erhobenen intuitiven Wissens mittels ANOVA mit Messwiederholung der Vor- und der Nachtests ( $N = 98$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen Vortest 1 und Nachtest 1; \*: Signifikanzniveau zwischen Vortest 1 und Nachtest 2; \*: Signifikanzniveau zwischen Nachtest 1 und Nachtest 2. \* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

Die größten Zuwächse an intuitivem Wissen zwischen erstem Vortest und zweitem Nachtest zeigen Lernende der Untersuchungsbedingungen (1) und (4) (vgl. Tabelle 4.33).

Tabelle 4.33: Intuitive Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1-Vortest 1	Nachtest 2-Vortest 1
(1)	.03	.14**
(2)	.03	.05
(3)	.09	.10
(4)	.17**	.21***
(5)	.14**	.08
(6)	.02	.09*

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ .

## Latenzzeiten

In Tabelle 4.34 sind die durchschnittlich gemessenen Latenzzeiten der 11 Items aller Tests dargestellt. Die durchschnittlich längste Latenzzeit wurde im ersten Vortest von den Teilnehmern benötigt. Im ersten Vortest wurde ein Item durchschnittlich nach 10.0 Sekunden beantwortet. Über die vier Testzeitpunkte hinweg verringert sich die durchschnittliche Latenzzeit auf den vergleichsweise geringsten Wert von 7.4 Sekunden im zweiten Nachtest. Die kürzeste durchschnittliche Latenzzeit wird somit im zweiten Nachtest erreicht. Mit zunehmender Anzahl an Testzeitpunkten weisen die Versuchsteilnehmer geringere Latenzzeiten auf. In den Nachtests weisen die Versuchsteilnehmer im Vergleich zu den entsprechenden Vortests geringere Latenzzeiten auf.

Tabelle 4.34: Durchschnittlich gemessene Latenzzeiten in den verschiedenen Tests; angegeben in relativen und absoluten Werten ( $N$  = Anzahl der Teilnehmer).

Test	$N$	%	Sek.
Vortest 1	122	50.0	10.0
Nachtest 1	121	42.1	8.4
Vortest 2	119	41.5	8.3
Nachtest 2	122	36.8	7.4

Die erhobenen Latenzzeiten unterscheiden sich in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (vgl. Tabelle 4.35 und Abbildung 4.13). In allen Untersuchungsbedingungen werden die längsten Latenzzeiten im ersten Vortest; die kürzesten Latenzzeiten werden im zweiten Nachtest gemessen. Bis auf Untersuchungsbedingung (3) weisen im ersten Nachtest die Teilnehmer der verbleibenden Untersuchungsbedingungen signifikant kürzere Latenzzeiten als im ersten Nachtest auf. Bei Untersuchungsbedingung (6) nimmt im ersten Nachtest im Vergleich zum Vortest die Latenzzeit höchst signifikant ab  $t(22) = 5.60, p < .001$ . Ab dem ersten Nachtest verändert sich bei dieser Untersuchungsbedingung die Länge der Latenzzeit praktisch nicht mehr.

Tabelle 4.35: Summenscores der erhobenen Latenzzeiten der Vor- und der Nachtests ( $N = 98$ ). Bei den Angaben handelt es sich um Zeitwerte (Durchschnittlich benötigte Zeit/Sekunden zur Beantwortung der elf Items pro Untersuchungsbedingung). Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Untersuchungsbedingung	Vortest 1		Nachtest 1		Vortest 2		Nachtest 2		$N$
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$	
(1)	10.7	1.9	9.3	2.7	8.5	2.4	8.3	2.9	15
(2)	9.4	2.9	7.9	2.7	8.7	1.7	7.1	2.5	14
(3)	10.0	2.7	9.6	2.9	9.0	3.1	6.5	3.5	11
(4)	10.3	2.0	8.6	3.0	9.2	2.3	7.4	2.9	19
(5)	10.1	2.0	9.4	2.0	8.8	2.1	7.9	3.0	18
(6)	9.2	2.6	6.6	2.5	6.6	3.8	6.5	3.3	21

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

Tabelle 4.36 zeigt die entsprechenden T-Werte und Signifikanzen zu den Latenzzeiten zwischen den verschiedenen Tests. Aus Gründen der Vollständigkeit wurden auch die T-Werte zwischen dem zweiten und dem ersten Nachtest angegeben.

Tabelle 4.36: T-Werte und Signifikanzen zu den Latenzzeiten zwischen den verschiedenen Tests in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen (NT = Nachtest, VT = Vortest).

Untersuchungs- bedingung	$\underline{T}_{(NT1/VT1)}$	$\underline{T}_{(NT2/VT2)}$	$\underline{T}_{(NT2/VT1)}$	$\underline{T}_{(NT2/NT1)}$
(1)	-2.70*	-0.35	-2.92*	-1.09
(2)	-2.54*	-1.96	-3.70**	-0.94
(3)	-1.45	-2.02	-4.63***	-3.76**
(4)	-2.68*	-2.37*	-4.28***	-2.10*
(5)	-2.12*	-1.34	-2.94**	-2.51*
(6)	-5.60***	-0.12	-2.79*	-0.16

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

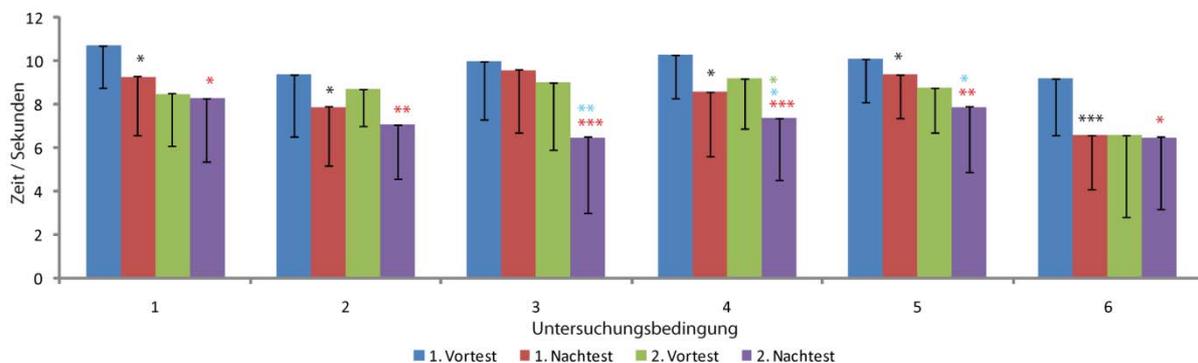


Abbildung 4.13: Grafische Darstellung der erhobenen Latenzzeiten in Sekunden mittels ANOVA mit Messwiederholung der Vor- und der Nachtests ( $N = 98$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen 1. Vor- und Nachtest 1; \*: Signifikanzniveau zwischen 1. Vor- und Nachtest 2; \*: Signifikanzniveau zwischen Vortest 2 und Nachtest 2; \*: Signifikanzniveau zwischen Nachtest 1 und Nachtest 2. \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ .

Wie bereits oben erwähnt, zeigen die größten intuitiven Wissenszuwächse zwischen erstem Vortest und zweitem Nachtest die Lernenden der Untersuchungsbedingungen (1) und (4) (vgl. Tabelle 4.33). Lernende der Untersuchungsbedingung (1) erhielten keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und auch keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation. Im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (2) bis (6) zeigt die Untersuchungsbedingung (1) die durchschnittlich höchsten Latenzzeiten (vgl. Tabelle 4.35).

### 4.3 Kontrollvariablen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der erhobenen Kontrollvariablen dargestellt.

#### 4.3.1 Wahrgenommene kognitive Belastung

In der folgenden Analyse wird die wahrgenommene kognitive Belastung der Versuchsteilnehmer als weitere Variable betrachtet. Zunächst werden generelle deskriptive Statistiken der kognitiven Belastung gezeigt, bevor auf Vergleiche der verschiedenen Untersuchungsbedingungen eingegangen wird. Durchschnittlich wird nach beiden Interventionen die empfundene kognitive Belastung von den Versuchsteilnehmern im Umgang mit dem Computerprogramm im mittleren Bereich mit 2.4 bewertet (vgl. Tabelle 4.37 und Abbildung 4.14).

Tabelle 4.37: Deskriptive Statistiken für die wahrgenommene kognitive Belastung der Versuchsteilnehmer nach beiden Interventionen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Nachtest 1	122	2.44	.71	2.38
Nachtest 2	122	2.43	.74	2.38

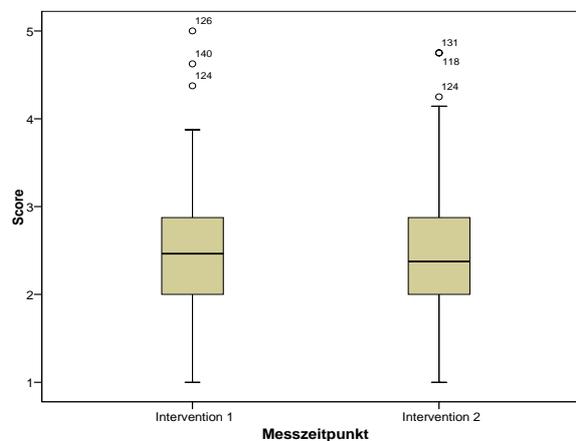


Abbildung 4.14: Boxplot der wahrgenommenen kognitiven Belastung durch die Versuchsteilnehmer nach beiden Interventionen. ( $N = 122$ ).

Beim Vergleich der wahrgenommenen kognitiven Belastung der Teilnehmer der verschiedenen Untersuchungsbedingungen zeigt sich, dass die Teilnehmer der Bedingung (6), die angehalten wurden, ihr Simulationsergebnis zu beschreiben, zu interpretieren und zusätzlich zu reflektieren, zu den Personen der Bedingungen (1) bis (5) ihre kognitive Belastung vergleichsweise erhöht einschätzten (vgl. Tabelle 4.38).

Tabelle 4.38: Deskriptive Statistiken für die wahrgenommene kognitive Belastung der Versuchsteilnehmer nach beiden Interventionen ( $N = 122$ ). Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Untersuchungsbedingung	Intervention 1		Intervention 2	
	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{M}$	$\underline{SD}$
(1)	2.23	.57	2.23	.54
(2)	2.32	.62	2.36	.79
(3)	2.35	.36	2.60	.63
(4)	2.43	.68	2.39	.75
(5)	2.14	.48	1.94	.42
(6)	3.23	.72	3.10	.80

Die durchschnittlich am geringsten eingeschätzte kognitive Belastung über beide Interventionszeitpunkte weisen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) auf, die ihr Simulationsergebnis beschreiben, biologisch interpretieren aber nicht reflektieren sollen, vgl. Abbildung 4.15 und Abbildung 4.16). Teilnehmer dieser Bedingung bewerten ihre kognitive Belastung nach der zweiten Intervention geringer als nach der ersten Intervention. Dieser beschriebene Effekt erreicht ein marginal signifikantes Signifikanzniveau  $t(21) = 2.02$ ,  $p = .06$ . Den durchschnittlich größten Zuwachs an eingeschätzter kognitiver Belastung über beide Interventionszeitpunkte erfahren Versuchsteilnehmer der Untersuchungsbedingung (3), die eine vorgegebene Ergebnisbeschreibung und -interpretation ohne Aufforderung zur Reflexion erhalten. Dieser Effekt erreicht ein marginal signifikantes Signifikanzniveau  $t(17) = -1.92$ ,  $p = .07$ . Versuchsteilnehmer, die sich nach dem Simulationslernen nicht mit einem der Aufgabe entsprechenden Simulationsergebnis auseinandersetzen sollten, weisen nach beiden Interventionen vergleichbar hohe, durchschnittliche kognitive Belastungen auf (Untersuchungsbedingungen (1) und (2)). Die Mittelwertvergleiche mittels t-Test mit gepaarten Stichproben ( $N = 112$ ) der ersten mit der zweiten Intervention zeigen hinsichtlich dieser beiden Untersuchungsbedingungen keine signifikanten Unterschiede.

### Interaktionseffekte und Zwischensubjekteffekte

Für die erste Intervention zeigen Tests der Zwischensubjekteffekte mit der kognitiven Belastung als abhängige Variable einen signifikanten Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation,  $F(2, 118) = 4.85$ ,  $p < .01$  und einen signifikanten Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(1, 118) = 18.39$ ,  $p < .001$  sowie eine signifikante Interaktion,  $F(2, 118) = 10.57$ ,  $p < .001$ . Abbildung 4.15 zeigt das Profildiagramm, in dem die signifikanten Effekte verdeutlicht werden. Dabei wird der signifikante Interaktionseffekt zwischen den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich, deren Teilnehmer ihr Simulationsergebnis beschreiben und interpretieren sollten, sich jedoch im Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterschieden.

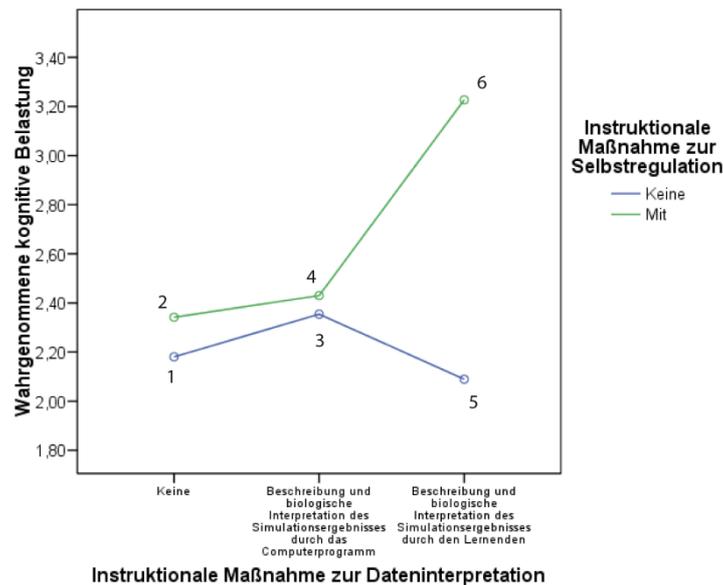


Abbildung 4.15: Profildigramm der erhobenen Mittelwerte wahrgenommener kognitiver Belastung in Abhängigkeit von den eingesetzten instruktionalen Maßnahmen nach der ersten Intervention.

Für die zweite Intervention zeigt sich für die kognitive Belastung als abhängige Variable ein marginal signifikanter Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation,  $F(2, 112) = 0.56, p = .58$  und ein signifikanter Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(1, 112) = 9.98, p < .01$  sowie eine signifikante Interaktion,  $F(2, 112) = 11.49, p < .001$ . Abbildung 4.16 zeigt das Profildigramm, in dem die signifikanten Effekte verdeutlicht werden. Dabei wird ebenfalls der signifikante Interaktionseffekt zwischen den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich.

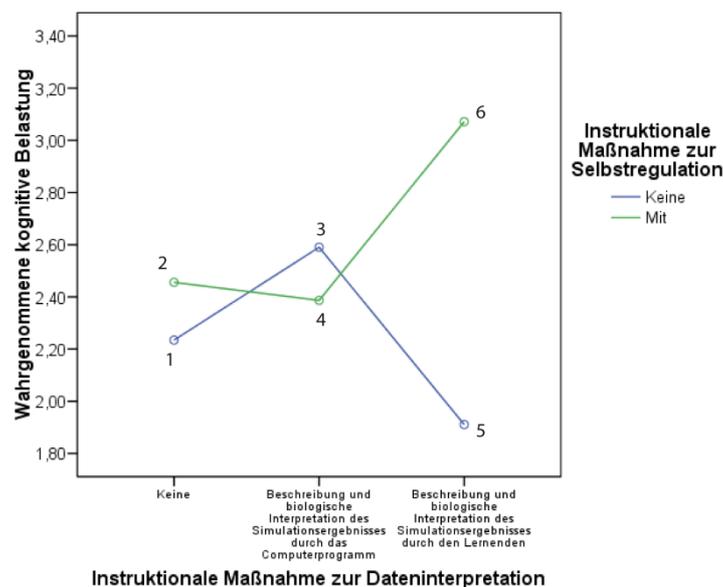


Abbildung 4.16: Profildigramm der erhobenen Mittelwerte wahrgenommener kognitiver Belastung in Abhängigkeit von den eingesetzten instruktionalen Maßnahmen nach der zweiten Intervention.

Um einen Einfluss der instruktionalen Maßnahmen auf die kognitive Belastung der Lernenden übersichtlicher betrachten zu können, werden für eine weitere Analyse die

instrukionalen Maßnahmen quantitativ zusammengefasst, je nachdem ob die Lernenden keine, eine oder zwei instrukionale Maßnahmen erhielten. Die Durchführung univariater Varianzanalysen für die erste und für die zweite Intervention mit der kognitiven Belastung als abhängige Variable und einer Kategorisierung der instrukionalen Maßnahmen hinsichtlich der Anzahl (Erhalt keiner/einer/zwei kombinierter instrukionaler Maßnahmen) zeigen Effekte, die im Folgenden vorgestellt werden.

Aufgrund der Zusammenfassung der Untersuchungsbedingungen zu den Kategorien zeigen sich eine ungleich verteilte Anzahl der Versuchsteilnehmer in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen,  $\chi^2(2) = 24.74$ ,  $p < .001$ . Die signifikante, ungleiche Verteilung resultiert aus der Untersuchungsbedingung (1), deren Teilnehmer als einzige Bedingung keine Unterstützung durch instrukionale Maßnahmen erhielt und dementsprechend eine geringe Anzahl an Teilnehmern aufweist. Der Levene-Test auf Varianzhomogenität zeigt einen signifikanten Wert für die erste Intervention,  $F(2, 121) = 3.19$ ,  $p < .05$ . Für die zweite Intervention ist Varianzhomogenität gegeben,  $F(2, 115) = 2.54$ ,  $p = .08$ , ns. Trotz der nicht gegebenen Varianzhomogenität werden für beide Interventionen Varianzanalysen durchgeführt, um Effekte der instrukionalen Maßnahmen auf die kognitive Belastung in gebündelter Darstellung übersichtlich zu zeigen.

Für die erste Intervention zeigt sich ein signifikanter Zwischensubjekteffekt für die instrukionale Maßnahme,  $F(2, 121) = 12.32$ ,  $p < .001$ . Die kognitive Belastung unterscheidet sich daher signifikant in den Untersuchungsbedingungen, die mit einer unterschiedlichen Anzahl an instrukionalen Maßnahmen unterstützt wurden (vgl. Abbildung 4.17).

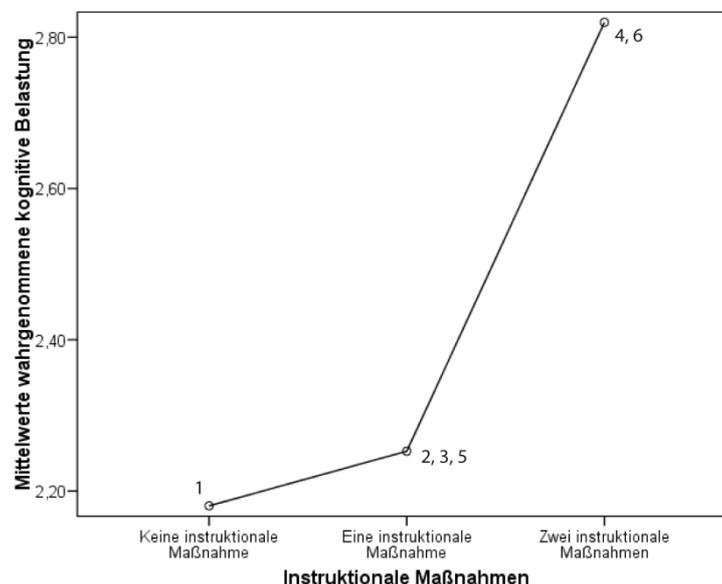


Abbildung 4.17: Darstellung der erhobenen Mittelwerte wahrgenommener kognitiver Belastung in Abhängigkeit der Anzahl der eingesetzten instrukionalen Maßnahmen nach der ersten Intervention.

Aus Abbildung 4.17 wird deutlich, dass die geringste kognitive Belastung Teilnehmer aufweisen, die keine instrukionale Maßnahme erhalten haben. Die Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen, die zwei instrukionale Maßnahmen erhalten haben (Untersuchungsbedingungen (4) und (6), die zusammengefasst wurden), weisen vergleichsweise im Durchschnitt die höchste kognitive Belastung auf. Der signifikante

Zwischensubjekteffekt bezieht sich auf diese Kategorie im Vergleich zu den beiden weiteren Kategorien.

Für die zweite Intervention zeigt sich ein signifikanter Zwischensubjekteffekt für die instruktionale Maßnahme,  $F(2, 115) = 5.39, p < .01$ . Die kognitive Belastung unterscheidet sich daher signifikant in den Untersuchungsbedingungen, die mit einer unterschiedlichen Anzahl an instruktionalen Maßnahmen unterstützt wurden (vgl. Abbildung 4.18).

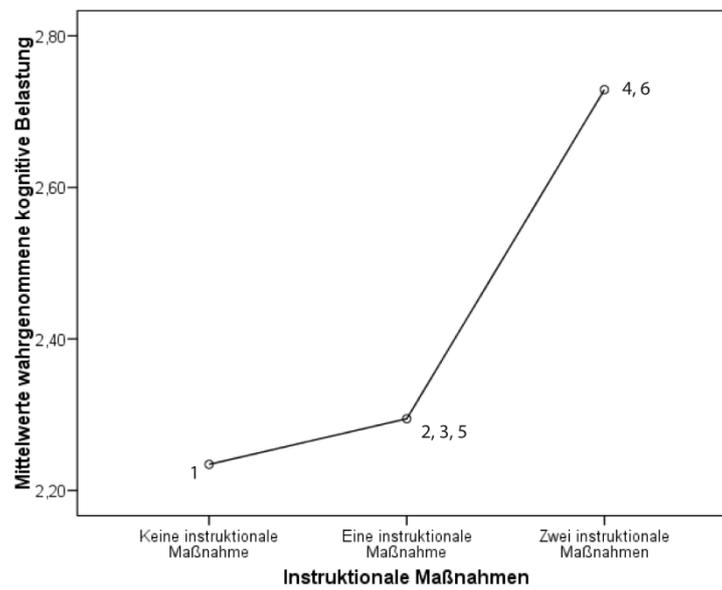


Abbildung 4.18: Darstellung der erhobenen Mittelwerte wahrgenommener kognitiver Belastung in Abhängigkeit der Anzahl der eingesetzten instruktionalen Maßnahmen nach der zweiten Intervention.

Aus Abbildung 4.18 lassen sich die Effekte der ersten Intervention hinsichtlich der wahrgenommenen kognitiven Belastung erneut nachweisen. Es wird deutlich, dass die geringste kognitive Belastung Teilnehmer aufweisen, die keine instruktionale Maßnahme erhalten haben. Die Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen, die zwei instruktionale Maßnahmen erhalten haben, weisen vergleichsweise im Durchschnitt die höchste kognitive Belastung auf. Der Effekt nach der ersten Intervention lässt sich nach der zweiten Intervention fast identisch wiederholen.

### Fazit:

Aus den Profildiagrammen in den Abbildung 4.15 und Abbildung 4.16 wird deutlich, dass Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) im Vergleich zu den Bedingungen (1) bis (5) die höchste wahrgenommene kognitive Belastung zeigen. Die geringste kognitive Belastung zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (5), die entweder keine instruktionale Maßnahme erhielten oder ihr Simulationsergebnis beschreiben und biologisch interpretieren sollten und nicht zur Reflexion angehalten wurden. Werden die instruktionalen Maßnahmen nach der Anzahl, welche die Lernenden erhielten, kategorisiert, zeigen sich ähnliche Effekte, die in den Profildiagrammen Abbildung 4.17 und Abbildung 4.18 dargestellt sind. Die höchste kognitive Belastung zeigen Teilnehmer, die zwei instruktionale Maßnahmen

erhielten. Dieser Effekt verstärkt sich jedoch durch die vergleichsweise hohen Mittelwerte der Untersuchungsbedingung (6).

### **Kovarianzanalysen**

Unter Einbezug der Kontrollvariable „kognitive Belastung“ als Kovariate in die Durchführung varianzanalytischer Verfahren mit den Ergebnissen des erhobenen Wissens als abhängige Variable zeigt sich für jede Wissenskategorie im ersten Nachtest ein signifikanter Einfluss der Kontrollvariablen auf die erreichten Werte. Ein signifikanter Haupteffekt zeigt sich für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation bezüglich des prozeduralen Wissens,  $F(1, 110) = 9.14, p < .01$ . Eine signifikante Interaktion zeigt sich im Faktenwissen,  $F(2, 112) = 8.87, p < .001$ . Hinsichtlich des konzeptuellen Wissens zeigt sich eine signifikante Interaktion,  $F(2, 105) = 3.71, p < .05$  und eine signifikante Interaktion wird für das intuitive Wissen deutlich,  $F(2, 110) = 3.79, p < .05$ .

Unter Einbezug der Kontrollvariablen der kognitiven Belastung als Kovariate in die Kovarianzanalyse für den zweiten Nachtest zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und das Faktenwissen,  $F(2, 103) = 9.36, p < .001$  sowie ein signifikanter Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und das prozedurale Wissen,  $F(2, 106) = 3.33, p < .05$ .

### **4.3.2 Eingeschätzte Computerkompetenz**

124 Teilnehmer, die an allen drei Messzeitpunkten teilnahmen, beantworteten den Fragebogen zur Erfassung der einzuschätzenden Computerkompetenz. Davon schätzten insgesamt 118 Personen ihre persönliche Computerkompetenz ein; sechs Personen beantworteten nur die Fragen zur Zeitnutzung mit dem Computer. 69 Personen (56%) sind weiblich, 55 Personen (44%) sind männlich. Die überwiegende Mehrheit, insgesamt 121 Personen (99%), gibt an, einen Computer außerhalb der Schule zu benutzen. Eine Person (1%) nutzt den Computer an einem anderen Ort. Zwei Personen machten keine Angabe zum Ort der Computernutzung. Insgesamt äußerten sich 95 Teilnehmer zur außerschulischen Computernutzung. 81 Teilnehmer (70%) besitzen zu Hause einen eigenen Computer. 33 Personen (28%) dürfen zu Hause einen Computer mitbenutzen und ein Teilnehmer (1%) kann zu Hause keinen Computer benutzen. Bezüglich der zeitlichen Nutzung verbringt die Mehrheit der 120 antwortenden Teilnehmer über eine Stunde Zeit wöchentlich am Computer. 33 Personen (28%) verbringen 1-5 Stunden, 40 Personen (33%) verbringen 6-10 Stunden und 42 Teilnehmer (35%) verbringen 11 Stunden oder mehr Zeit wöchentlich am Computer.

Die von den Versuchsteilnehmern eingeschätzte Computerkompetenz kann als überdurchschnittlich hoch bezeichnet werden (vgl. Tabelle 4.39). Es können daher zumindest Grundkenntnisse im Umgang mit dem Computer angenommen werden. Männliche Versuchspersonen schätzen ihre Computerkompetenz im Vergleich zu weiblichen Personen signifikant höher ein,  $F(1, 116) = 6.68, p < .01$ .

Tabelle 4.39: Deskriptive Statistiken für die eingeschätzte Computerkompetenz der Versuchsteilnehmer. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Eingeschätzte Computerkompetenz	118	5.50	.90	5.58

Die subjektiv eingeschätzte Computerkompetenz unterscheidet sich nur geringfügig in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (vgl. Tabelle 4.40).

Tabelle 4.40: Deskriptive Statistiken für die mittlere subjektiv eingeschätzte Computerkompetenz in den sechs Untersuchungsbedingungen. Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Untersuchungsbedingung	$M$	$SD$	$N$
(1)	5.33	0.94	20
(2)	5.41	0.12	17
(3)	5.89	0.46	17
(4)	5.28	0.01	23
(5)	5.71	0.88	20
(6)	5.46	0.77	21

### 4.3.3 Subjektiv eingeschätzte computerbezogene Motivation

Generell wird die computerbezogene Motivation von 118 Versuchsteilnehmern durchschnittlich mit  $M = 4.67$  ( $SD = 1.10$ ) auf einer 7-stufigen Skala bewertet. Die Subskala des zu messenden Nutzungsmotivs „Nützlichkeit“ wurde von 121 Teilnehmern durchschnittlich mit  $M = 4.36$  ( $SD = 1.43$ ); die Subskala des Motivs „Spaß/Interesse“ wurde von 119 Teilnehmern im Durchschnitt mit  $M = 5.00$  ( $SD = 1.16$ ) bewertet (vgl. dazu Abbildung 4.19).

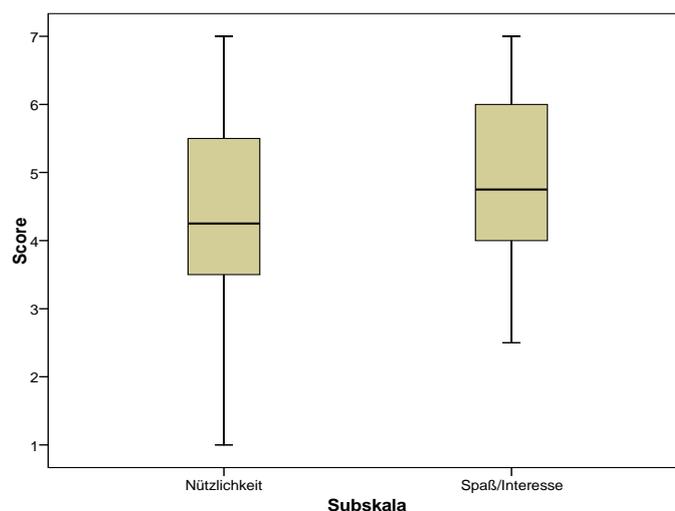


Abbildung 4.19: Boxplot der zwei Subskalen „Nützlichkeit“ und „Spaß/Interesse“ zur eingeschätzten Motivation im Umgang mit dem Computer.

Die subjektiv eingeschätzte computerbezogene Motivation unterscheidet sich nur geringfügig in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (vgl. Tabelle 4.41).

Tabelle 4.41: Deskriptive Statistiken für die mittlere eingeschätzte computerbezogene Motivation (Gesamtskala) in den sechs Untersuchungsbedingungen. Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Untersuchungsbedingung	$M$	$SD$	$N$
(1)	4.41	1.21	19
(2)	4.78	1.20	15
(3)	4.65	1.11	17
(4)	4.65	1.02	24
(5)	4.76	1.23	21
(6)	4.75	0.97	22

#### 4.3.4 Subjektiv wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation

Die subjektiv wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation wurde von allen Versuchsteilnehmern durchschnittlich hoch bewertet. Der Großteil der Lernenden bewertet seine Fähigkeit zur Selbstregulation im mittleren Bereich der 7-stufigen Skala (vgl. Tabelle 4.42 und Abbildung 4.20).

Tabelle 4.42: Deskriptive Statistiken für die durchschnittlich wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation aller Versuchsteilnehmer in den Nachtests der beiden Interventionen. Abkürzungen:  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen;  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung.

Test	$N$	$M$	$SD$	Median
Fähigkeit zur Selbststeuerung Nachtest 1	115	4.49	0.83	4.53
Fähigkeit zur Selbststeuerung Nachtest 2	106	4.24	1.14	4.20

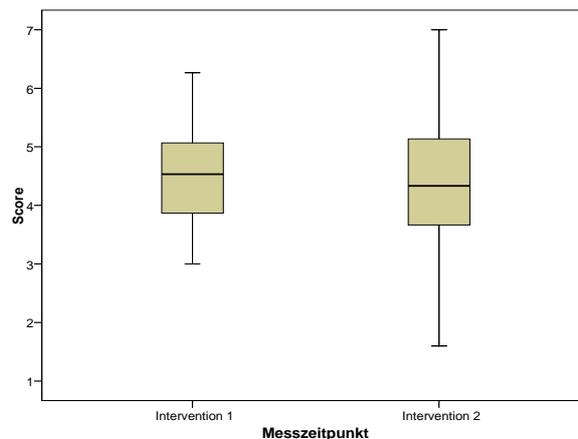


Abbildung 4.20: Boxplot der eingeschätzten Fähigkeit zur Selbstregulation nach beiden Interventionen.

Die vergleichsweise am höchsten eingeschätzte Fähigkeit zur Selbstregulation weisen Versuchsteilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) auf (vgl. Tabelle 4.43). Dieser Effekt ist nicht signifikant,  $F(1, 12) = .97, p = ns$ .

Tabelle 4.43: Deskriptive Statistiken für die wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation der Versuchsteilnehmer nach beiden Interventionen. Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Untersuchungsbedingung	Nachttest 1		Nachttest 2		$N$
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	
(1)	4.44	0.82	4.28	1.29	15
(2)	4.46	1.01	3.97	1.33	16
(3)	4.53	0.73	4.42	0.81	13
(4)	4.49	0.80	4.33	1.00	23
(5)	4.86	0.77	4.74	1.26	21
(6)	4.19	0.84	4.01	0.95	15

Aus Gründen der Vollständigkeit werden die Mittelwerte, Standardabweichungen und Mediane der vier verschiedenen theoriegeleiteten Subskalen nach (Zimmermann, 1994) angegeben. Die Mittelwerte der vier verschiedenen Subskalen „Motive“, „Methoden“, „Performanzresultate“ und „sozial-umgebungsbedingte Ressourcen“ befinden sich nach der ersten und der zweiten Intervention im mittleren Bereich der 7-stufigen Skala (vgl. Tabelle 4.44).

Tabelle 4.44: Deskriptive Statistiken für die vier verschiedenen, theoriegeleiteten Skalen zur Einschätzung der Fähigkeit zur Selbstregulation. Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Skala	Intervention 1				Intervention 2			
	$M$	$SD$	Median	$N$	$M$	$SD$	Median	$N$
Motive	4.91	1.20	5.00	130	4.59	1.44	4.75	127
Methoden	4.16	1.54	4.25	129	3.84	1.31	3.75	122
Performanzresultate	4.31	1.32	4.33	127	3.94	1.49	3.83	120
sozial-umgebungsbedingte Ressourcen	4.57	1.11	4.50	125	4.44	1.22	4.50	122

## 4.4 Korrelationsanalysen

### 4.4.1 Korrelationen zwischen den Wissensarten

Mittels bivariater Korrelationsanalysen wurde getestet, ob die erreichten Summenscores in den Kategorien Faktenwissen, konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen miteinander korrelieren. Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen sind in Tabelle 4.45 dargestellt.

Tabelle 4.45: Korrelationen nach Pearson zwischen den Summenscores im Vortest und den beiden Nachtests in den verschiedenen Wissenskategorien (a-c). Da für die Erhebung des intuitiven Wissens eine andere Erhebungsmethode verwendet wurde und laut Theorie intuitives Wissen *nach* dem Lernen mit Computersimulationen generiert wird, wurden nur Korrelationen der Nachtests zwischen intuitivem Wissen und den verbleibenden Wissensarten berechnet (Tabelle 4.45 (b) und (c)). Grün markiert sind signifikante Korrelationen zwischen den entsprechenden Wissensarten. Abkürzungen: FW = Faktenwissen, KW = konzeptuelles Wissen, PW = prozedurales Wissen, IW = intuitives Wissen.

**(a)**

Vortest	Vortest			Nachtest 1			Nachtest 2		
	FW	KW	PW	FW	KW	PW	FW	KW	PW
FW	1	.49*** $p < .001$	.08 $p = .40,$ ns	.51*** $p < 0.001$	.40*** $p < 0.001$	.17 $p = 0.09,$ ns	.63*** $p < 0.001$	.29*** $p < 0.01$	.32*** $p < 0.001$
KW	-	1	.33*** $p < .001$	.11 $p = .25,$ ns	.36*** $p < .001$	.17 $p = .09,$ ns	.19 $p = .06,$ ns	.22** $p < .05$	.28*** $p < .01$
PW	-	-	1	.02 $p = 0.83,$ ns	.13 $p = 0.21,$ ns	.18 $p = 0.07,$ ns	.20 $p < 0.05$	.09 $p = 0.38,$ ns	.07 $p = 0.48,$ ns

**(b)**

Nachtest 1	Nachtest 1			
	FW	KW	PW	IW
FW	1	.49*** $p < 0.001$	.80 $p = 0.40,$ ns	.33*** $p < 0.001$
KW	-	1	.33*** $p < .001$	.48*** $p < .001$
PW	-	-	1	.16 $p = .09,$ ns
IW	-	-	-	1

**(c)**

Nachtest 2	Nachtest 2			
	FW	KW	PW	IW
FW	1	.47*** $p < .001$	.39** $p < .001$	.36*** $p < .001$
KW	-	1	.50*** $p < .001$	.37*** $p < .001$
PW	-	-	1	.40*** $p < .001$
IW	-	-	-	1

\*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ , ns = nicht signifikant

Innerhalb der Tests zu den drei Testzeitpunkten korrelieren die Wissensarten Faktenwissen und konzeptuelles Wissen höchst signifikant miteinander ( $p \leq .001$ ). Innerhalb des ersten und des zweiten Nachtests korrelieren die Wissensarten konzeptuelles und prozedurales Wissen höchst signifikant miteinander ( $p \leq .001$ ). Zwischen Faktenwissen und prozeduralem Wissen

lässt sich lediglich im zweiten Nachtest eine signifikante Korrelation nachweisen. Innerhalb des ersten und des zweiten Nachtests lassen sich höchst signifikante Korrelationen zwischen intuitivem Wissen und konzeptuellem Wissen sowie zwischen intuitivem Wissen und Faktenwissen nachweisen ( $p < .001$ ).

#### 4.4.2 Korrelationen zwischen Antworten und Latenzzeiten des „Schnelltests“

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer Korrelationsanalyse zwischen korrekt beantworteten Items und Latenzzeiten zu den verschiedenen Testzeitpunkten gezeigt (vgl. Tabelle 4.46).

Tabelle 4.46: Korrelationen nach Pearson zwischen der Anzahl korrekt beantworteter Items und der durchschnittlichen Latenzzeit des entsprechenden Tests.

Messzeitpunkt	<u>Vortest 1</u>	<u>Nachtest 1</u>	<u>Vortest 2</u>	<u>Nachtest 2</u>
Korrelationskoeffizient $r$	.12, ns	.23*	.25**	.43**

\* $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , ns = nicht signifikant.

Mit Ausnahme der Ergebnisse des ersten Vortests lassen sich in den übrigen Tests signifikante Korrelationen zwischen der Anzahl korrekt beantworteter Items und der Latenzzeit erkennen. Über alle vier Testzeitpunkte lässt sich ein leichter Anstieg des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten erkennen. Der höchste Pearson'sche Korrelationskoeffizient lässt sich im Nachtest 2 mit einem signifikanten Wert von  $r = .43$ ,  $p < .01$  erkennen.

### 4.4.3 Korrelationen zwischen Wissenszuwachs und kognitiver Belastung

Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Zuwachs in den unterschiedlichen Wissensarten und der wahrgenommenen kognitiven Belastung der verschiedenen Interventionszeitpunkte besteht. Dazu wurden Korrelationsanalysen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 4.47 dargestellt sind.

Tabelle 4.47: Korrelationen zwischen den Skalen der Wissensarten und der wahrgenommenen kognitiven Belastung während der zwei Interventionen.

	Kognitive Belastung Intervention 1	Kognitive Belastung Intervention 2
Faktenwissenszuwachs Intervention 1	ns	---
Konzeptueller Wissenszuwachs Intervention 1	-.30**	---
Prozeduraler Wissenszuwachs Intervention 1	-.34**	---
Intuitiver Wissenszuwachs Intervention 1	ns	---
Faktenwissenszuwachs Intervention 2	---	ns
Konzeptueller Wissenszuwachs Intervention 2	---	-.24**
Prozeduraler Wissenszuwachs Intervention 2	---	-.23**
Intuitiver Wissenszuwachs Intervention 2	---	ns

\*\*  $p < .01$ , ns = nicht signifikant.

Zwischen dem Faktenwissenszuwachs und der kognitiven Belastung lassen sich keine Korrelationen erkennen. Es lassen sich negative Korrelationen in beiden Interventionen zwischen dem Zuwachs an konzeptuellem Wissen (Intervention 1,  $r = -.30$ ,  $p < .01$ ; Intervention 2,  $r = -.24$ ,  $p < .01$ ) und prozeduralem Wissen (Intervention 1,  $r = -.34$ ,  $p < .01$ ; Intervention 2,  $r = -.23$ ,  $p < .01$ ) nachweisen. Je höher der konzeptuelle und prozedurale Wissenszuwachs ist, desto weniger kognitive Belastung wurde berichtet.

## 4.5 Ergebnisse ohne Intervention

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Papier-und-Bleistift-Wissenstest der Teilnehmer dargestellt, die lediglich den themenspezifischen Vor- und Nachtest im zehntägigen Abstand ohne Intervention bearbeiteten. Um eine bessere Lesbarkeit und eine klare Zuordnung dieser Untersuchungsbedingung zusätzlich zu den sechs Untersuchungsbedingungen des 3x2-faktoriellen Forschungsdesigns zu gewährleisten, wird dieser Bedingung die Ziffer (7) zugeordnet.

### Summenscores

Tabelle 4.48 und Abbildung 4.21 zeigen die erreichten Summenscores in den drei Wissensarten, die von den Teilnehmern in den Papier-und-Bleistift-Tests erreicht wurden. Hinsichtlich des Faktenwissens und des prozeduralen Wissens lassen sich im Nachtest vergleichsweise höhere Summenscores nachweisen als im Vortest, die jedoch nicht signifikant sind.

Tabelle 4.48: Erreichte Mittelwerte, Standardabweichungen und Effektstärken in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests zu den zwei Messzeitpunkten ohne dazwischenliegende Intervention der Untersuchungsbedingung (7) mit dem Computerprogramm ( $N = 23$ ). Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen,  $d$  = Effektstärke Cohen's  $d$ .

Wissensart	Vortest		Nachtest		
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$d$
Faktenwissen	.27	.14	.34	.17	0.45
Konzeptuelles Wissen	.36	.11	.20*	.18	1.07
Prozedurales Wissen	.18	.15	.27	.18	0.54

\* $p < .05$ .

Im konzeptuellen Wissen erreichen die Teilnehmer im Nachtest sogar signifikant geringere Mittelwerte als im Vortest.

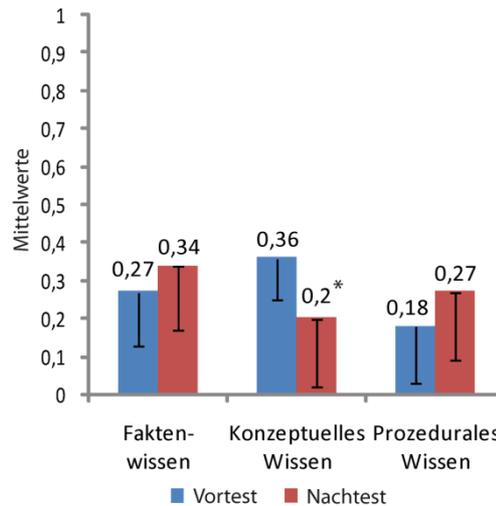


Abbildung 4.21: Grafische Darstellung der erreichten Mittelwerte in den erhobenen Wissensarten des Papier- und-Bleistift-Vor- und Nachtests der Untersuchungsbedingung (7), ( $N = 23$ ). \*: Signifikanzniveau zwischen Vor- und Nachtest.  $*p < .05$ .

### Summenscores im Vergleich zu den sechs Untersuchungsbedingungen

Das erhobene Wissen im Vortest ist bei den Lernenden vergleichbar zu den oben gezeigten Untersuchungsbedingungen (1) – (6) gering. Der Mittelwert des erhobenen Faktenwissens ist im Vergleich zu dem Durchschnittswert der sechs Untersuchungsbedingungen (vgl. Abschnitt 4.1, Tabelle 4.17,  $M = .45$ ;  $SD = .23$ ) geringer. Der Mittelwert des erhobenen konzeptuellen Wissens der sechs Untersuchungsbedingungen (vgl. Abschnitt 4.1, Tabelle 4.21  $M = .36$ ;  $SD = .19$ ) entspricht dem Mittelwert aus Tabelle 4.2. Der Mittelwert des prozeduralen Wissens bei Untersuchungsbedingung (7) ist im Vortest geringer als im Durchschnitt der sechs Untersuchungsbedingungen (vgl. Abschnitt 4.1, Tabelle 4.25,  $M = .35$ ;  $SD = .22$ ). Im Vergleich zu den erhobenen Mittelwerten der Scores der verschiedenen Wissensarten in den sechs Untersuchungsbedingungen (s.o.) zeigen sich ein marginaler Faktenwissenszuwachs und ein marginaler Zuwachs im prozeduralen Wissen bei der Untersuchungsbedingung (7). Hinsichtlich des konzeptuellen Wissens zeigt sich ein signifikanter Rückgang durchschnittlich korrekt beantworteter Items im Vergleich zum Vortest  $t(16) = 2.73$ ,  $p < .05$  (vgl. Tabelle 4.49). In der Tabelle werden die Mittelwertdifferenzen zwischen Nachtest 1 und Vortest gezeigt.

Tabelle 4.49: Vergleich der Mittelwertdifferenzen der erreichten Wissenszuwächse in den verschiedenen Wissensarten zwischen der Untersuchungsbedingung (7) und den Untersuchungsbedingungen (1-6). Abkürzung:  $M$  = Arithmetisches Mittel.

Untersuchungsbedingung	Fakten- wissen	Konzeptuelles Wissen	Prozedurales Wissen
	$\underline{M}$	$\underline{M}$	$\underline{M}$
(7)	.07	-.16*	.09
(1) – (6)	.11	.22	.18

\* $p < .05$ .

## Einzelvergleiche

Mit Hilfe univariater Varianzanalysen und zusätzlicher Einzelvergleiche (Kontraste) mit dem Vorwissen der entsprechenden Wissensart als Kovariate wurde getestet, ob sich die Untersuchungsbedingung (7) ohne Intervention von den Untersuchungsbedingungen (1) – (6) mit durchgeführter Intervention hinsichtlich eines Wissenszuwachses in den unterschiedlichen Wissenskategorien unterscheiden. Es wurde bei den Berechnungen Bezug auf den Vortest und den ersten Nachtest des Papier-und-Bleistift-Wissenstests genommen. Referenzkategorie der univariaten Varianzanalyse ist die Untersuchungsbedingung (7). Die Untersuchungsbedingungen (1) bis (6) schließen alle Teilnehmer mit ein, die am Vortest und an den beiden Nachtests teilgenommen haben. Da die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (7) nicht an der Intervention mit dem Computerprogramm teilnahmen, wurde das intuitive Wissen dementsprechend am Computer nicht erhoben. Folglich können keine Veränderungen in dieser Wissensart gezeigt werden.

Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen unter Einbeziehung aller Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) bis (7) signifikante Einflüsse des Vortests auf den Nachtest in den Kategorien Faktenwissen,  $F(1, 111) = 16.63, p < .001$ , konzeptuelles Wissen,  $F(1, 109) = 20.94, p < .001$  und prozedurales Wissen,  $F(1, 113) = 7.32, p < .01$ . Dies sagt aus, dass Teilnehmer, die im Vortest eine hohe Score erreichten, diese ebenfalls im ersten Nachtest erreichten. Des Weiteren werden durch Tests der Zwischensubjekteffekte signifikante Einflüsse der Untersuchungsbedingung auf das Faktenwissen,  $F(6, 111) = 4.51, p < .001$ , auf das konzeptuelle Wissen,  $F(6, 109) = 11.00, p < .001$  und auf das prozedurale Wissen,  $F(6, 113) = 6.14, p < .001$  deutlich. Dies gibt Hinweise darauf, dass sich die Untersuchungsbedingungen hinsichtlich eines Wissenszuwachses zwischen Vortest und erstem Nachtest unterscheiden.

In Hinblick auf das Faktenwissen zeigen Kontrastergebnisse signifikante Unterschiede der Untersuchungsbedingungen (2),  $p = .012$ , (4),  $p < .001$  und (5),  $p < .001$  gegen die Untersuchungsbedingung (7). Die Untersuchungsbedingung (3),  $p = .09$  zeigt im Vergleich zu der Untersuchungsbedingung (7) einen marginal signifikanten Einfluss auf den Faktenwissenserwerb. Teilnehmer dieser vier Untersuchungsbedingungen zeigen einen Faktenwissenszuwachs, der über zufällig beantwortete Items dieser Wissenskategorie hinausgeht. Tabelle 4.50 zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Faktenwissenszuwächse im ersten Nachtest der sieben Untersuchungsbedingungen (vgl. auch Abbildung 4.22).

Tabelle 4.50: Mittelwerte und Standardabweichungen des Zuwachses an Faktenwissens im ersten Nachtest ( $N = 119$ ). Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1		
	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{N}$
(1)	.48	.23	18
(2)	.59	.17	10
(3)	.55	.25	15
(4)	.70	.13	21
(5)	.66	.21	21
(6)	.40	.14	19
(7)	.34	.17	15

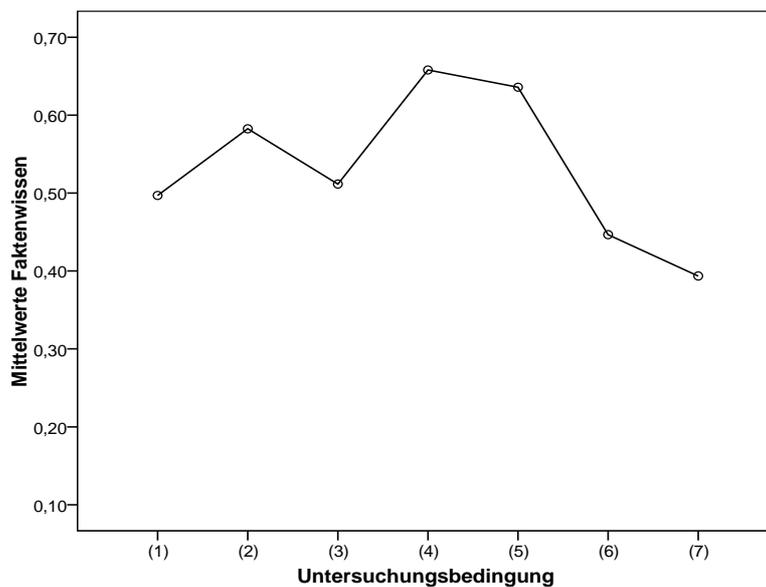


Abbildung 4.22: Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen Faktenwissens im ersten Nachtest in den sieben Untersuchungsbedingungen ( $N = 119$ ).

Hinsichtlich des konzeptuellen Wissens zeigen Kontrastergebnisse signifikante Unterschiede aller sechs Untersuchungsbedingungen (Untersuchungsbedingung (1) bis (5),  $p < .001$ ; Untersuchungsbedingung (6),  $p < .05$ ) gegen die Bedingung (7). Im Vergleich zu dieser Untersuchungsbedingung (7) haben die Lernenden der sechs Interventionsbedingungen signifikant höhere Mittelwerte in der Wissenskatgorie erreichen können. Tabelle 4.51 zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Zuwächse im konzeptuellen Wissen im ersten Nachtest der sieben Untersuchungsbedingungen (vgl. auch Abbildung 4.23).

Tabelle 4.51: Mittelwerte und Standardabweichungen des Zuwachses an konzeptuellem Wissen im ersten Nachtest ( $N = 117$ ). Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1		
	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{N}$
(1)	.58	.18	14
(2)	.62	.25	15
(3)	.59	.27	16
(4)	.65	.29	19
(5)	.69	.21	14
(6)	.40	.29	22
(7)	.20	.18	17

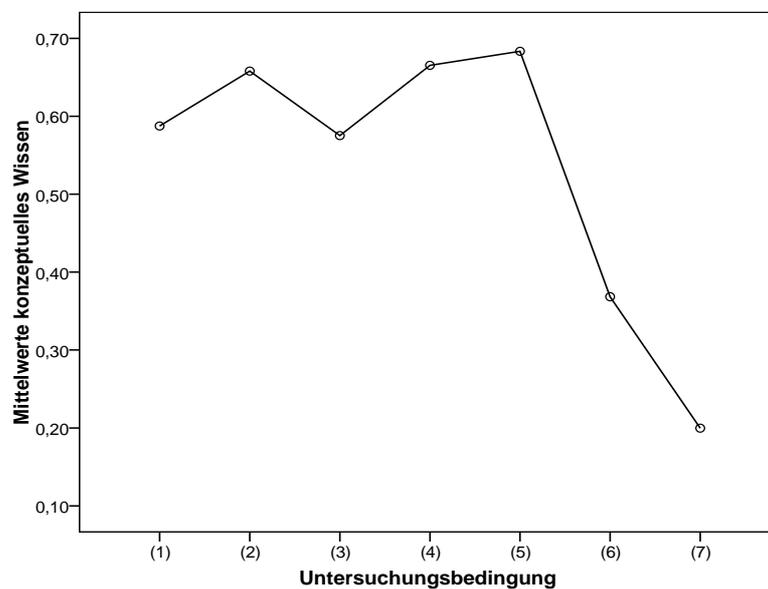


Abbildung 4.23: Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen konzeptuellen Wissens im ersten Nachtest in den sieben Untersuchungsbedingungen ( $N = 117$ ).

Hinsichtlich des prozeduralen Wissens haben die Lernenden der Untersuchungsbedingungen (1),  $p < .001$ , (2),  $p < .01$ , (3),  $p < .01$  und (5),  $p < .001$  signifikant höhere Mittelwerte in der Wissenskategorie gegen die Untersuchungsbedingung (7) erreicht. Tabelle 4.52 zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Zuwächse im prozeduralen Wissen im ersten Nachtest der sieben Untersuchungsbedingungen (vgl. auch Abbildung 4.24).

Tabelle 4.52: Mittelwerte und Standardabweichungen des Zuwachses an prozeduralem Wissen im ersten Nachtest ( $N = 121$ ). Abkürzungen:  $M$  = arithmetisches Mittel;  $SD$  = Standardabweichung,  $N$  = Anzahl der Versuchspersonen.

Untersuchungsbedingung	Nachtest 1		
	$\underline{M}$	$\underline{SD}$	$\underline{N}$
(1)	.65	.22	13
(2)	.55	.25	15
(3)	.62	.25	17
(4)	.42	.21	22
(5)	.65	.23	17
(6)	.40	.25	22
(7)	.27	.18	15

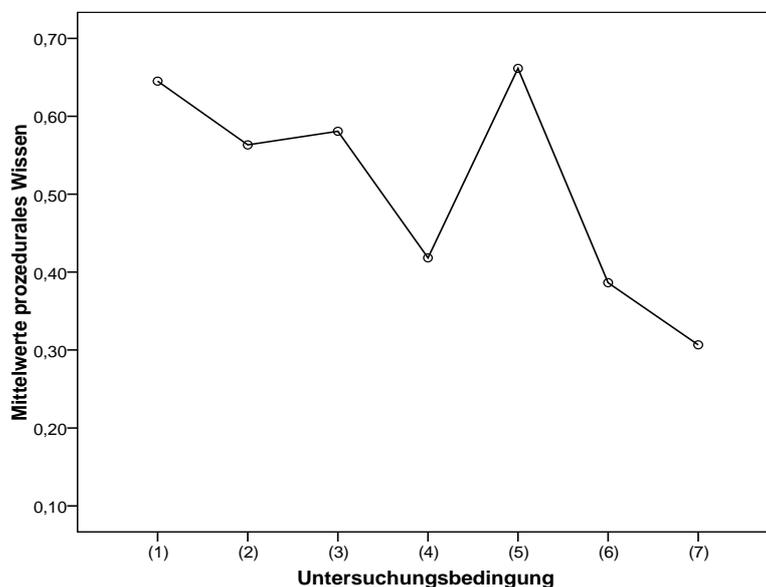


Abbildung 4.24: Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen prozeduralen Wissens im ersten Nachtest in den sieben Untersuchungsbedingungen ( $N = 121$ ).

### Fazit:

Die Ergebnisse zeigen, dass der Vortest einen Einfluss auf die Ergebnisse des ersten Nachtests hat. Die Kontrastvergleiche hingegen verdeutlichen, dass im Durchschnitt die Lernenden der Untersuchungsbedingungen (1) bis (6) in allen Wissenskategorien signifikant höhere Mittelwerte im ersten Nachtest erreichen als Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (7). Besonders deutlich zeigt sich der Unterschied des Wissenszuwachses zwischen Teilnehmern der Untersuchungsbedingung (7) und den Bedingungen (1) bis (6) im konzeptuellen Wissen. Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (7) zeigen in diesem Zusammenhang sogar einen signifikanten Rückgang der Mittelwerte im Nachtest.

## Korrelationsanalysen

### *Einfluss des Vortests auf den Nachtest bei der Untersuchungsbedingung (7)*

Mittels der Berechnung einer bivariaten Korrelationsanalyse wurde überprüft, ob sich ein Einfluss des Papier-und-Bleistift-Vortests auf die Ergebnisse des Nachtests ergibt. Tabelle 4.53 zeigt einen Überblick über die Korrelationen der erhobenen Mittelwerte in den verschiedenen Wissensarten.

Tabelle 4.53: Korrelationen nach Pearson zwischen den Mittelwerten im Vortest und im Nachtest in den verschiedenen Wissenskategorien. Abkürzungen: FW: Faktenwissen, KW: konzeptuelles Wissen, PW: prozedurales Wissen.

Vortest	Vortest			Nachtest		
	FW	KW	PW	FW	KW	PW
FW	1	.42 <i>p</i> = 0.12, ns	.34 <i>p</i> = 0.22, ns	-.20 <i>p</i> = 0.49, ns	-.10 <i>p</i> = 0.71, ns	.000 <i>p</i> = 1.00, ns
KW	-	1	.13 <i>p</i> = 0.62, ns	.23 <i>p</i> = 0.40, ns	-.29 <i>p</i> = 0.26, ns	-.32 <i>p</i> = 0.25, ns
PW	-	-	1	-.31 <i>p</i> = .27, ns	.30 <i>p</i> = .24, ns	.56* <i>p</i> < .05

\**p* < .05.

Es lässt sich eine positive, signifikante Korrelation zwischen den erhobenen Mittelwerten des prozeduralen Wissens im Vor- und im Nachtest nachweisen,  $p < .05$ . Diese Korrelation zeigt, dass die Versuchsteilnehmer, die im Vortest bereits vergleichbar hohe Mittelwert im prozeduralen Wissen zeigen, im Nachtest ebenfalls eine hohe Score erzielen. Weitere Korrelationen zwischen den Wissensarten sind nicht signifikant, was u.U. auf die vergleichbar geringe Stichprobengröße zurück zu führen ist; die Korrelationskoeffizienten zeigen vergleichbar hohe Werte wie in der Korrelationsberechnung der Stichprobe der Untersuchungsbedingungen (1) bis (6).

## 4.6 Logfiles

Die aufgezeichneten Logfiles ermöglichen Aussagen über die Aufenthaltszeiten und die Häufigkeiten der Besuche auf den Kapitelseiten des Computerprogramms während des Lernens mit der computergestützten Lernumgebung. Abbildung 4.25 zeigt die durchschnittliche Besuchszeitendauer der Versuchsteilnehmer der sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen auf der Kapitelseite, die jeweils die Computersimulation enthält. Gezeigt werden die durchschnittlichen Besuchszeiten in Sekunden auf der jeweiligen Computersimulationsseite zur entsprechenden Aufgabe. Auf der Ordinate ist somit zu jeder Aufgabe die entsprechende Simulationsseite dargestellt, unterteilt nach den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Die Aufgaben 1 bis 4 wurden mit der entsprechenden Simulation in der ersten Intervention bearbeitet, die Aufgaben 5 bis 8 wurden während der zweiten Intervention bearbeitet.

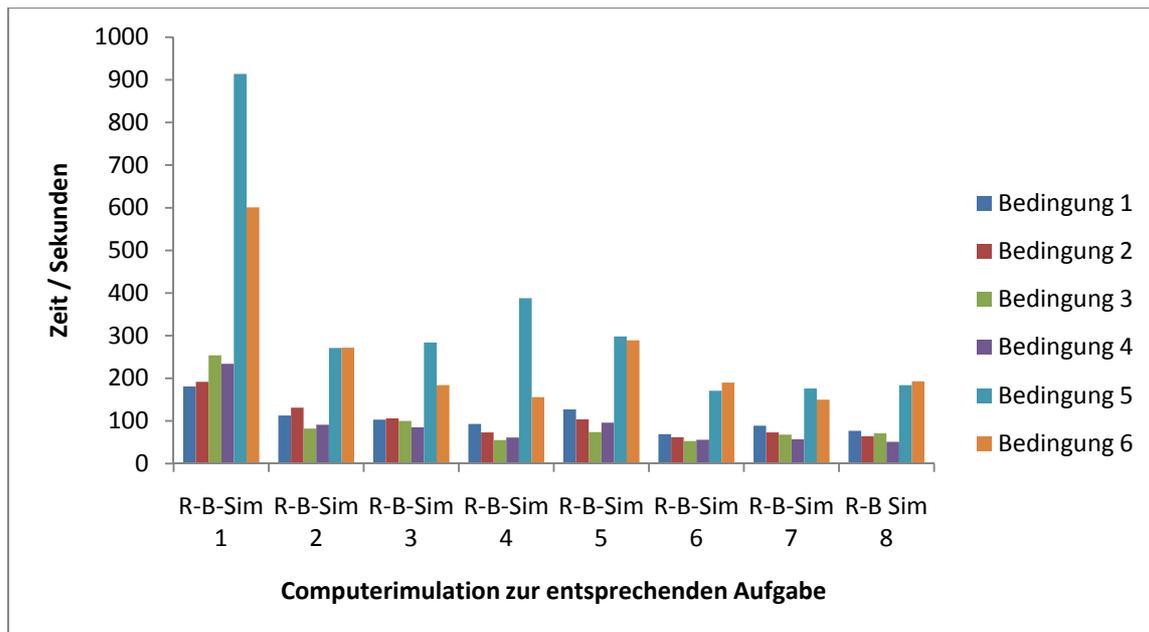


Abbildung 4.25: Dauer der Besuchszeiten in Sekunden auf der Computersimulationsseite zu jeder der acht Aufgaben angegeben für die sechs Untersuchungsbedingungen.

Die vergleichsweise längsten Besuchszeiten zeigen sich bei der jeweils ersten Räuber-Beute-Simulation (R-B-Sim) einer Intervention (vgl. Tabelle 4.54). Diese Zeiten sind bei den Räuber-Beute-Simulationen (1) und (5) im Vergleich zu verbleibenden sechs tendenziell höher. Innerhalb einer Untersuchungsbedingung nehmen die Besuchszeiten mit fortschreitender Aufgabebearbeitung, die an die entsprechende Computersimulation geknüpft ist, ab.

Tabelle 4.54: Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Sekunden in der Computersimulation (Seite im Computerprogramm „R-B-Sim“) zu jeder der acht Aufgaben während jeder der zwei Interventionen nach den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Abkürzung:  $M$  = Mittelwert.

		Untersuchungsbedingung						$M$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Intervention 1	R-B-Sim 1	181	192	254	234	914	601	396
	R-B-Sim 2	113	131	82	91	271	272	160
	R-B-Sim 3	103	106	100	85	284	184	144
	R-B-Sim 4	93	73	55	61	388	156	138
Intervention 2	R-B-Sim 5	127	104	74	96	298	289	165
	R-B-Sim 6	69	62	53	56	171	190	100
	R-B-Sim 7	89	73	68	57	176	150	102
	R-B-Sim 8	77	64	71	51	184	193	107
$M$		107	101	95	91	336	254	

Die vergleichsweise längsten Besuchszeiten auf den jeweiligen Computersimulationsseiten zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (5) und (6). Diese Teilnehmer wurden aufgefordert, durch den Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation ihr

Simulationsergebnis schriftlich zu beschreiben und biologisch zu interpretieren. Die vergleichsweise im Durchschnitt kürzesten Besuchszeiten zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die eine Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten.

## 4.7 Hypothesenprüfungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Hypothesenprüfungen gezeigt.

### 4.7.1 Hypothese 1

Die erste Hypothese, die in dieser Arbeit untersucht wird, soll klären, ob durch die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation generell ein themenspezifischer Zuwachs in den verschiedenen Wissenskategorien beim Lernen mit Computersimulationen erkennbar wird.

Zunächst werden die Ergebnisse zu möglichen Effekten in den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen, den instruktionalen Maßnahmen und den erreichten, über alle drei Messzeitpunkte (Vortest, Nachtest 1, Nachtest 2) gemittelte Summenscores für jede Wissensart gezeigt. Die Berechnungen erfolgten zunächst mittels varianzanalytischer Verfahren mit Messwiederholung. Anschließend daran werden für jede Wissensart die Ergebnisse von Kovarianzanalysen gezeigt, in denen der Vortest einer jeweiligen Wissensart als Kovariate in die Berechnung mit einbezogen wurde. Für jede Wissensart wurde die Analyse für den ersten und für den zweiten Nachtest durchgeführt.

*Hypothese 1: Die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation fördern die Aneignung von themenspezifischem Faktenwissen, konzeptuellem Wissen, prozeduralem Wissen und intuitivem Wissen beim Lernen mit Computersimulationen.*

#### 4.7.1.1 Skala „Wissen“

Für das mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung über alle drei Messzeitpunkte erhobene Wissen ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Messzeitpunkt,  $F(2, 117) = 74.24, p < .001, \eta^2 = .56$ . Die Interaktion zwischen dem Messzeitpunkt und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation ist nicht signifikant,  $F(2, 117) = .09, p = .92, ns$ . Weiterhin ergeben sich eine signifikante Interaktion zwischen dem Messzeitpunkt und der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation,  $F(4, 234) = 3.81, p < .01, \eta^2 = .06$  sowie eine signifikante Interaktion zwischen dem Messzeitpunkt und den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation,  $F(4, 234) = 8.40, p < .001, \eta^2 = .13$ . Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen einen signifikanten Effekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation,  $F(2, 118) = 4.28, p < .05, \eta^2 = .07$ . Des Weiteren lässt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation feststellen,  $F(2, 118) = 4.44, p < .01, \eta^2 = .07$  (vgl. Abbildung 4.26).

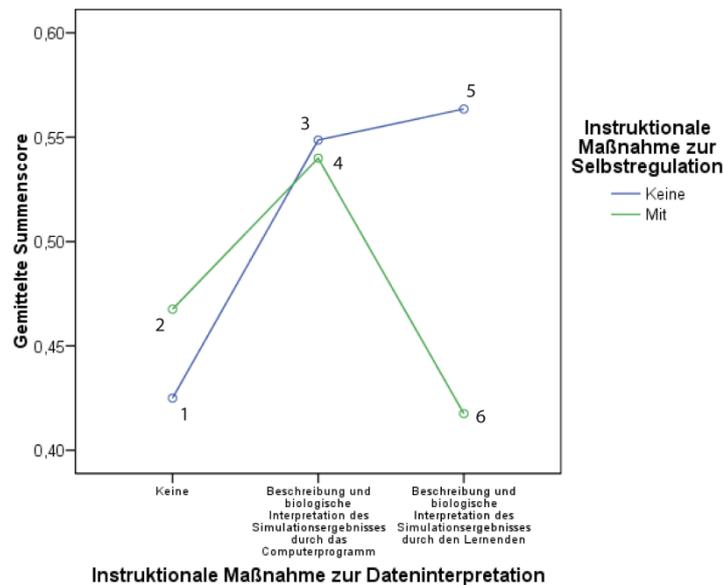


Abbildung 4.26: Profildigramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation lässt sich mit Hilfe der Tests auf Zwischensubjekteffekte kein signifikanter Effekt nachweisen,  $F(1, 118) = 1.92, p = .17, ns$ . Bei Betrachtung des Profildigramms wird der Interaktionseffekt bei den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich. Die höchsten Summenscores an Wissen zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) und (3), die jeweils nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten. Die geringsten Summenscores an Wissen zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1), die keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erhielten und (6), die ihr Simulationsergebnis beschreiben, interpretieren und zusätzlich reflektieren sollten.

### Kovarianzanalysen

Es lässt sich ein signifikanter Unterschied des erhobenen Wissens im Vortest nachweisen,  $F(5, 118) = 3.08, p < .01$ . Die Einzelvergleiche von Mittelwerten ergeben, dass sich die Untersuchungsbedingung (2) signifikant von der Untersuchungsbedingung (3) unterscheidet,  $p < .04$ . Aufgrund dieses signifikanten Unterschiedes wird der Einfluss des Vorwissens auf die abhängige Variable „Wissen“ in den Nachtests mit berücksichtigt. Die Ergebnisse des erhobenen Vorwissens werden daher als Kovariate in die Berechnungen von Varianzanalysen mit berücksichtigt und im Folgenden dargestellt.

### Vortest – erster Nachtest

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „Wissen“ im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 117) = 1.74, p = .18, ns$ . Des

Weiteren zeigt sich für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 117) = 0.69, p = .41, ns$ . Jedoch zeigt sich eine signifikante Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(2, 117) = 16.98, p < .001$  (vgl. Abbildung 4.27).

Um die Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation weiter spezifizieren zu können, werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Es werden dabei die Untersuchungsbedingungen verglichen, die jeweils die gleiche instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten und sich im Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterscheiden (Untersuchungsbedingungen (1) und (2); (3) und (4); (5) und (6)). Dabei zeigt sich, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, ein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 117) = 3.97, p < .05$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(1, 117) = 2.49, p = .11, ns$ . Die Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (5) und (6), die als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied im Wissen im ersten Nachtest,  $F(1, 117) = 29.35, p < .001$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(2, 117) = 4.38, p < .05$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), die mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich ebenfalls signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(2, 117) = 14.88, p < .001$ . In Abbildung 4.27 wird der Interaktionseffekt bei den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich. Die Untersuchungsbedingungen (2) und (4) zeigen im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) und (3) bei Erhalt der jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation höhere Summenscores.

Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6)) basiert auf dem vergleichsweise geringen Wissen der Lernenden der Untersuchungsbedingung (6). Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an Wissen im ersten Nachtest zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6). Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten zeigt sich bei der Untersuchungsbedingung (5), deren Teilnehmer die vergleichsweise höchsten Summenscores erreichen.

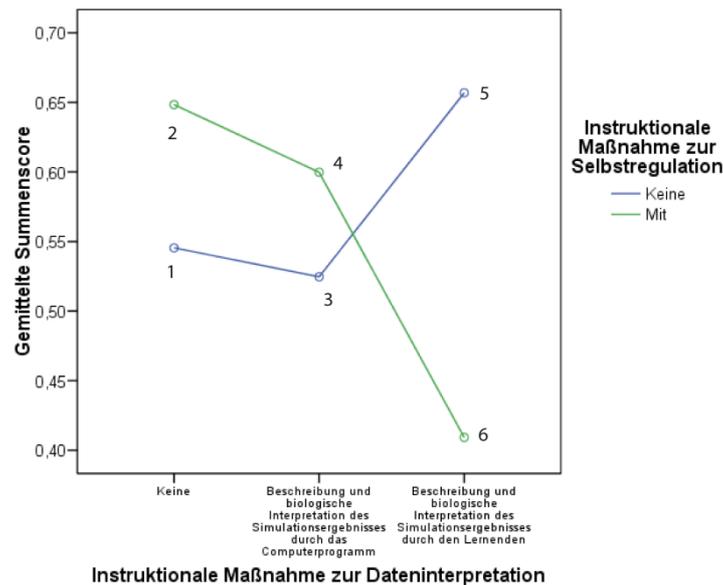


Abbildung 4.27: Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenschoren „Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

### Fazit:

Hinsichtlich des Wissens zeigt sich im ersten Nachtest, dass Teilnehmer, die ihr Ergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, jedoch keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingung (5)), vergleichbar hohe Lernerfolge zeigen wie Teilnehmer, die lediglich eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingung (2)). Bei Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigen die Teilnehmer tendenziell höhere Wissenszuwächse, als wenn diese Maßnahme ausbleibt. Dieses wird besonders deutlich bei einem Vergleich der Wissenszuwächse der Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die zwar beide keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten, sich jedoch im Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterscheiden. Der Unterschied des Zuwachses bei diesen beiden Untersuchungsbedingungen unterscheidet sich signifikant. Eine vergleichbare Tendenz der Wissenszuwächse ist bei den Untersuchungsbedingungen (3) und (4) erkennbar, die sich im Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterscheiden. Bei Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Effekt. Im Vergleich zur Untersuchungsbedingung (5) zeigen die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) jedoch signifikant geringere Wissenszuwächse. Im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) weist die Untersuchungsbedingung (6) die geringsten Summenschore auf. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, kombiniert mit der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation, zusätzlich zu reflektieren, zeigt die geringsten Mittelwerte hinsichtlich eines Zuwachses an Wissen.

Generell lässt sich eine Tendenz erkennen, dass der Erhalt einer Selbstregulationshilfe einen Wissenszuwachs effektiv unterstützt (Untersuchungsbedingungen (2) und (4)), während ein Ausbleiben dieser Maßnahme zu vergleichsweise geringeren Lernerfolgen führt

(Untersuchungsbedingungen (1) und (3)). Ausnahme bildet ein Vergleich der Untersuchungsbedingungen (5) und (6).

### ***Vortest – zweiter Nachtest***

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten des zweiten Papier-und-Bleistift-Nachtests als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 117) = 1.89, p = .16, ns$ . Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 117) = .23, p = .63, ns$ . Es kann jedoch eine signifikante Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation nachgewiesen werden,  $F(2, 117) = 5.81, p < .01, \eta^2 = .09$ .

Um die Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation weiter spezifizieren zu können, werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, ein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 117) = 3.92, p < .05$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Teilnehmer als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(1, 117) = 0.00, p = .10, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied im Wissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 117) = 8.18, p < .01$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Resultate. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Probanden keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(2, 117) = 7.22, p < .001$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Teilnehmer eine unterstützende, instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(2, 117) = 0.63, p = .53, ns$ .

Bei Betrachtung des Profildiagramms in Abbildung 4.28 wird der signifikante Interaktionseffekt bei den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich.

Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4) zeigen die gleichen Wissenszuwächse. Die Untersuchungsbedingung (5) zeigt im Vergleich zu den verbleibenden Untersuchungsbedingungen die durchschnittlich höchsten Wissenszuwächse; die im Vergleich zu allen

anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Wissenszuwächse zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (6).

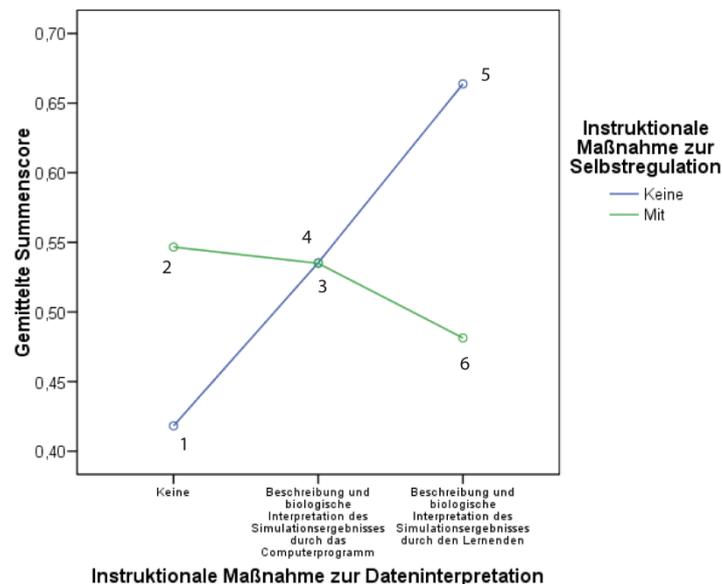


Abbildung 4.28: Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

### Fazit:

Bereits im ersten Nachtest kann gezeigt werden, dass Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) die vergleichsweise höchsten Summenscores an Wissen aufweisen. Die geringsten Summenscores zeigen im zweiten Nachtest Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (6).

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Kovarianzanalyse zum ersten Nachtest zeigen Lernende der Untersuchungsbedingungen (1), (2) und (4) im zweiten Nachtest einen Rückgang der Summenscores an Wissen. Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (3), (5) und (6) können sich im zweiten Nachtest im Vergleich zum ersten Nachtest marginal verbessern. Es lässt sich eine Tendenz erkennen, dass sich mit zunehmender Komplexität einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und zusätzlicher Unterstützung der Selbstregulation geringere Summenscores im Wissen zeigen (Untersuchungsbedingung (2) > (4) > (6)). Bei einem Ausbleiben der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation lässt sich der gegenteilige Effekt nachweisen: Mit zunehmender, anzunehmender Komplexität der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation werden entsprechend zunehmend höhere Summenscores im Wissen erreicht (Untersuchungsbedingung (1) < (3) < (5)).

Die vergleichbar und durchschnittlich höchsten Mittelwerte im zweiten Nachtest zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5).

#### 4.7.1.2 Subskala „Faktenwissen“

Für das mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung über alle drei Messzeitpunkte erhobene Faktenwissen ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Messzeitpunkt,  $F(2, 86) = 25.34, p < .001, \eta^2 = .37$ . Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen einen signifikanten Effekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation,  $F(2, 87) = 9.64, p < .001, \eta^2 = .18$ . Des Weiteren lässt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation feststellen,  $F(2, 87) = 10.42, p < .001, \eta^2 = .19$  (vgl. Abbildung 4.29).

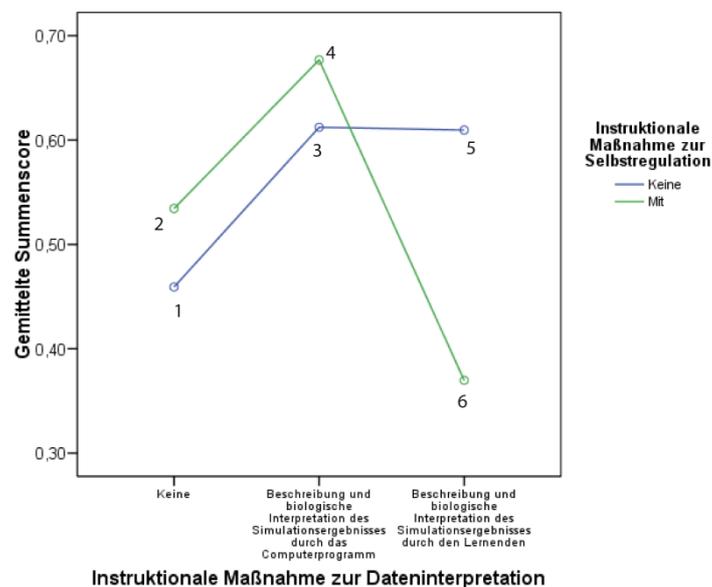


Abbildung 4.29: Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „Faktenwissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation lässt sich mit Hilfe der Tests auf Zwischensubjekteffekte kein signifikanter Effekt nachweisen,  $F(1, 87) = 0.96, p = .33, ns$ . Die weiteren Interaktionen der Zwischensubjekteffekte mit den Messzeitpunkten als Faktor sind nicht signifikant.

#### Fazit:

Bei Betrachtung der Untersuchungsbedingungen, welche die gleiche instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten, zeigen bis auf Ausnahme der Untersuchungsbedingung (6), die Teilnehmer, der Untersuchungsbedingungen die vergleichsweise höheren Summenscores, die mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation und einer jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation unterstützt wurden (Untersuchungsbedingungen (2) und (4)). Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das Ergebnis vom Computerprogramm zu erhalten (Untersuchungsbedingungen (3) und (4)), unterstützt den Faktenwissenserwerb noch effektiver, wenn zusätzlich die Unterstützung durch eine Maßnahme zur Selbstregulation erfolgt (Untersuchungsbedingung (4)).

## Kovarianzanalysen

### *Vortest – Erster Nachtest*

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „Faktenwissen“ im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 97) = 0.48, p = .62, ns$ . Des Weiteren zeigt sich für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(1, 97) = 0.19, p = .66, ns$ , kein signifikanter Haupteffekt. Jedoch zeigt sich eine signifikante Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(2, 97) = 8.28, p < .001, \eta^2 = .15$ .

Um die Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation weiter spezifizieren zu können, werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 97) = 1.79, p = .18, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich signifikant im Faktenwissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(1, 97) = 6.76, p < .01$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), die als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied im Faktenwissen im ersten Nachtest,  $F(1, 97) = 9.38, p < .01$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(2, 97) = 3.38, p < .05$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), die mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich ebenfalls signifikant im Faktenwissenszuwachs im erstem Nachtest,  $F(2, 97) = 5.60, p < .01$ .

Bei Betrachtung des Profildiagramms in Abbildung 4.30 wird der Interaktionseffekt bei den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich. Die Untersuchungsbedingungen (2) und (4) zeigen im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) und (3) bei Erhalt der jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation höhere Summenscores. Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6)) basiert auf dem vergleichsweise geringen Faktenwissen der Untersuchungsbedingung (6). Die im

Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an Faktenwissen im ersten Nachtest zeigt die Untersuchungsbedingung (6). Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten zeigt sich bei der Untersuchungsbedingung (5).

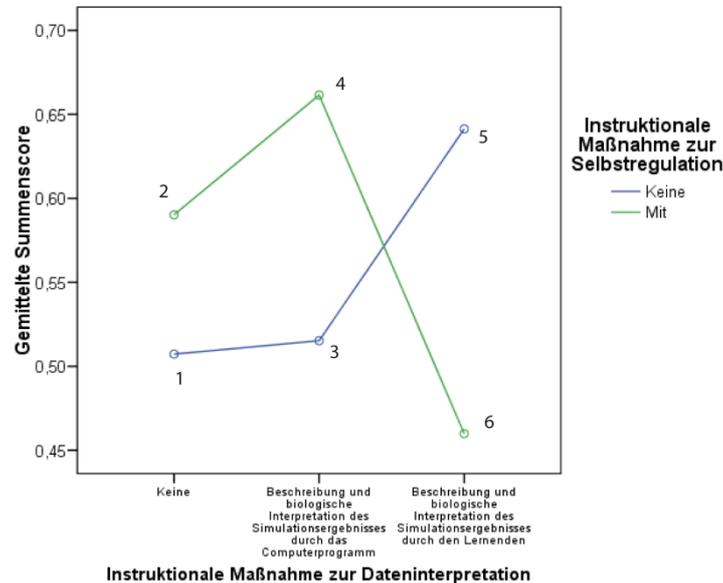


Abbildung 4.30: Profildiagramm zu den im Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „Faktenwissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation. Zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation wird ein Interaktionseffekt deutlich.

### Fazit:

Hinsichtlich des Faktenwissens zeigt sich im ersten Nachtest, dass Teilnehmer, die ihr Ergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten jedoch keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingung (5)), vergleichbar hohe Lernerfolge zeigen wie Teilnehmer, die eine Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm erhielten und mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden (Untersuchungsbedingung (4)). Bei Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigen die Teilnehmer tendenziell höhere Faktenwissenszuwächse, als wenn diese Maßnahme ausbleibt. Dieses wird besonders deutlich bei einem Vergleich der Faktenwissenszuwächse der Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die zwar die gleiche instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten, sich jedoch im Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterscheiden. Der Unterschied des Zuwachses bei diesen beiden Untersuchungsbedingungen unterscheidet sich signifikant. Eine ähnliche Tendenz ist bei einem Vergleich der Faktenwissenszuwächse der Untersuchungsbedingungen (1) und (2) erkennbar.

Bei Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Effekt. Im Vergleich zur Untersuchungsbedingung (5) zeigen die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) jedoch signifikant geringere Wissenszuwächse. Im Vergleich zu

den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) weist die Untersuchungsbedingung (6) die geringsten Werte auf. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, kombiniert mit der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation, zusätzlich zu reflektieren, zeigt einen geringen Effekt eines Zuwachses an Faktenwissen. Eine Kombination aus diesen beiden instruktionalen Maßnahmen scheint daher zu vergleichsweise geringem Faktenwissen beim Lernen mit Computersimulationen zu führen.

Generell lässt sich eine Tendenz erkennen, dass der Erhalt einer Selbstregulationshilfe einen Faktenwissenszuwachs effektiv unterstützt (Untersuchungsbedingungen (2) und (4)), während ein Ausbleiben dieser Maßnahme zu vergleichsweise geringeren Lernerfolgen führt (Untersuchungsbedingungen (1) und (3)). Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang ein Vergleich der Untersuchungsbedingungen (5) und (6). Bei diesem Vergleich ist ein gegenteiliger Effekt erkennbar.

### ***Vortest – Zweiter Nachtest***

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „Faktenwissen“ im zweiten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation einen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 88) = 3.89, p < .05, \eta^2 = .08$ . Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 88) = 1.70, p = .20, ns$ . Es kann keine signifikante Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation nachgewiesen werden,  $F(2, 88) = 1.76, p = .18, ns$ .

Es werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), deren Probanden keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 88) = 0.74, p = .39, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Teilnehmer als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant im Faktenwissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(1, 88) = 1.35, p = .25, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen marginal signifikanten Unterschied im Faktenwissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 88) = 2.94, p = .09, ns$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Lernende keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs im

zweiten Nachtest,  $F(2, 88) = 0.56, p = .57, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Teilnehmer mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich signifikant im Faktenwissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(2, 88) = 4.96, p < .01$ . Abbildung 4.31 zeigt das Profildiagramm zu den Ergebnissen zwischen Vor- und zweitem Nachtest. Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4) zeigen im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) und (2) bei Erhalt der jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation höhere Summenscores. Der signifikante Effekt zwischen den Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende eine instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, zeigt sich durch die hohe Summenscore der Untersuchungsbedingung (4) im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (2) und (6). Vergleicht darüber hinaus man die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsbedingungen des zweiten Nachtests mit den Ergebnissen des ersten Nachtests, zeigen sich in beiden Nachtests die geringsten Summenscores bei der Untersuchungsbedingung (6).

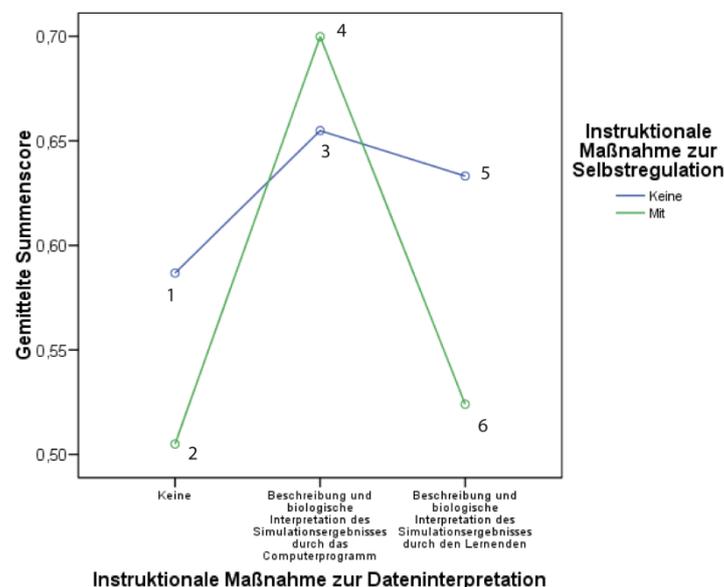


Abbildung 4.31: Profildiagramm zu den im Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „Faktenwissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

### Fazit:

Im zweiten Nachtest zeigt sich hinsichtlich des Faktenwissens, dass Teilnehmer, die ihr Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten jedoch keine instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingung (5)), vergleichbar hohe Lernerfolge zeigen wie Teilnehmer, die eine Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm erhielten ohne zusätzliche instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation (Untersuchungsbedingung (3)). Die vergleichbar höchsten Faktenwissenszuwächse im zweiten Nachtest zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (4). Im Vergleich zum ersten Nachtest zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (2) mit Hilfe der durchgeführten Kovarianzanalyse einen Abfall der durchschnittlichen Summenscore im zweiten Nachtest. Neben der Untersuchungsbedingung (2) zeigen, wie bereits im ersten

Nachtest, die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) die geringsten Summenscores an Faktenwissen, während Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) im Vergleich zur Bedingung (6) höhere Summenscores aufzeigten.

Wie bereits im ersten Nachtest können im zweiten Nachtest ebenfalls die vergleichbar größten Faktenwissenszuwächse bei Teilnehmern der Untersuchungsbedingung (4) gezeigt werden. Die vorgegebene Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation mit zusätzlicher instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation zeigt tendenziell höhere Faktenwissenszuwächse im ersten wie auch im zweiten Nachtest als die Untersuchungsbedingungen (1) bis (5).

Generell kann im zweiten Nachtest im Vergleich zum ersten Nachtest durch die Kovarianzanalysen ein Faktenwissenszuwachs in den Untersuchungsbedingungen (1), (3), (4) und (6) gezeigt werden. Untersuchungsbedingung (5) zeigt in beiden Tests ähnliche Summenscores; Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (2) zeigen im Vergleich zum ersten Nachtest einen Rückgang der Summenscore. Ohne instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigen die Teilnehmer im Durchschnitt tendenziell höhere Faktenwissenszuwächse im zweiten Nachtest, als wenn die Lernenden diese Maßnahme erhalten. Generell lässt sich im zweiten Nachtest eine Tendenz erkennen, dass keine instruktionale Unterstützung zur Selbstregulation einen Faktenwissenszuwachs effektiver unterstützt, als wenn die instruktionale Unterstützung zur Selbstregulation vorhanden ist.

#### **4.7.1.3 Subskala „Konzeptuelles Wissen“**

Für das über die drei Messzeitpunkte erhobene konzeptuelle Wissen ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Messzeitpunkt,  $F(2, 78) = 39.96, p < .001, \eta^2 = .51$ . Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen einen marginal signifikanten Effekt für die instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Selbstregulation,  $F(1, 79) = 3.24, p = .08, \eta^2 = .04$ . Hinsichtlich der instruktionalen Maßnahme zur Unterstützung der Dateninterpretation konnte kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden,  $F(2, 79) = 0.06, p = .94, ns$ . Des Weiteren lässt sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation nachweisen,  $F(2, 79) = 0.88, p = .42, ns$ . (vgl. Abbildung 4.32).

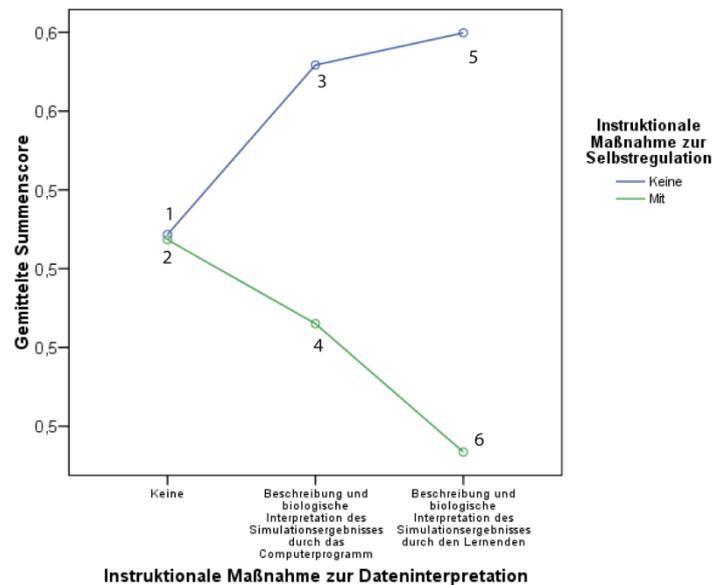


Abbildung 4.32: Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „konzeptuelles Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

### Fazit:

Die größten Zuwächse des über die drei Messzeitpunkte erhobenen und gemittelten konzeptuellen Wissens zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (3) und (5). Es erscheint für einen konzeptuellen Wissenszuwachs hingegen wenig effektiv, wenn die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm vorgegeben wird und die Teilnehmer zusätzlich zur Reflexion aufgefordert werden (Untersuchungsbedingung (4)). Eine Beschreibung, Interpretation und zusätzliche Reflexion des eigenen Simulationsergebnisses führt zu ineffektiven Lernergebnissen hinsichtlich des konzeptuellen Wissens (Untersuchungsbedingung (6)).

## Kovarianzanalysen

### Vortest – Erster Nachtest

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „konzeptuelles Wissen“ im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 93) = 2.04, p = .14, ns$ . Ebenso zeigt sich für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 93) = 1.13, p = .30, ns$ . Es zeigt sich jedoch eine signifikante Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(2, 93) = 8.45, p < .001, \eta^2 = .15$ .

Um die Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation weiter spezifizieren zu können, werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Es zeigen sich dabei keine signifikanten Unterschiede im konzeptuellen Wissen bei den

Untersuchungsbedingungen (1) und (2), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten,  $F(1, 93) = 0.81, p = .37$ , ns. Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im konzeptuellen Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(1, 93) = 1.62, p = .21$ , ns. Zwischen den Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Probanden als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr Simulationsergebnis beschreiben und interpretieren sollten, zeigt sich ein signifikanter Unterschied im konzeptuellen Wissen im ersten Nachtest,  $F(1, 93) = 19.97, p < .001$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Effekte. Zwischen den Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, zeigt sich ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des konzeptuellen Wissens im ersten Nachtest,  $F(2, 93) = 11.49, p < .001$ . Zwischen den Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen,  $F(2, 93) = 0.91, p = .41$ , ns.

Bei Betrachtung des Profildiagramms in Abbildung 4.33 wird der Interaktionseffekt bei den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich. Die Untersuchungsbedingungen (2) und (4) zeigen im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) und (3) bei Erhalt der jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation höhere Summenscores. Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6)) zeigt sich durch das vergleichsweise geringe konzeptuelle Wissen der Untersuchungsbedingung (6). Die im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) geringsten Summenscores an konzeptuellem Wissen im ersten Nachtest zeigt darüber hinaus die Untersuchungsbedingung (6).

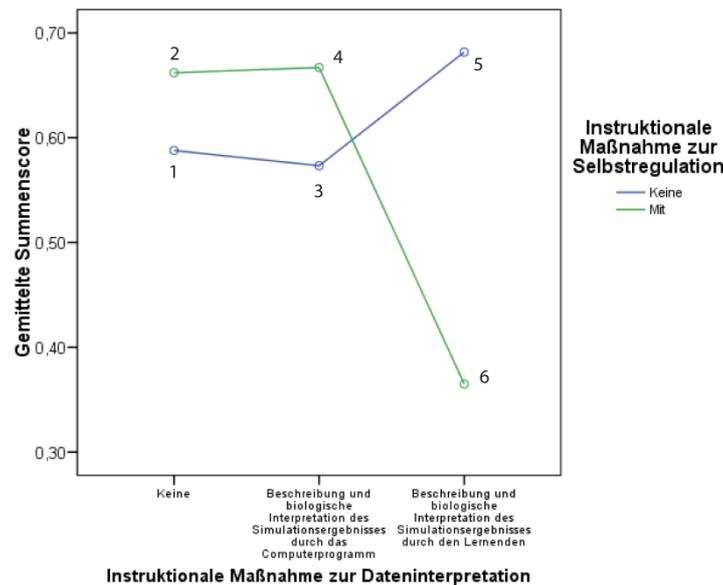


Abbildung 4.33: Profildiagramm zu den im Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „konzeptuelles Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation. Zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation wird ein Interaktionseffekt deutlich.

### Fazit:

Generell lässt sich, ähnlich dem Faktenwissen, eine Tendenz erkennen, dass der Erhalt einer Selbstregulationshilfe einen konzeptuellen Wissenszuwachs effektiv unterstützt, wenn zusätzlich als instruktionale Maßnahme die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm vorgegeben wird (Untersuchungsbedingung (4)). Für die Untersuchungsbedingungen (2) und (4) lassen sich Tendenzen erkennen, dass bei einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen der Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation einen konzeptuellen Wissenszuwachs effektiv unterstützt, während ein Ausbleiben dieser Maßnahme zu vergleichsweise geringeren Lernerfolgen führt (vgl. dazu Untersuchungsbedingungen (1) und (3)). Ausnahme bildet diesbezüglich ein Vergleich der Untersuchungsbedingungen (5) und (6). Bei diesem Vergleich ist ein gegenteiliger Effekt erkennbar.

Bei Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Effekt. Im Vergleich zur Untersuchungsbedingung (5) zeigen die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) jedoch signifikant geringere Mittelwerte des erhobenen konzeptuellen Wissens. Im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) zeigt weist die Untersuchungsbedingung (6) die geringsten Werte auf. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation kombiniert mit der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigt einen geringen Effekt eines Zuwachses an Faktenwissen. Eine Kombination aus diesen beiden instruktionalen Maßnahmen führt zu einem vergleichsweise geringen Faktenwissen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die instruktionale Maßnahme der Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses ohne zusätzliche instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation bei Untersuchungsbedingung (5) einen vergleichbaren Einfluss auf die

Aneignung von konzeptuellem Wissen hat, wie der Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation und die vorgegebene Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses (4) oder nur der Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation (2).

### *Vortest – Zweiter Nachtest*

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „konzeptuelles Wissen“ im zweiten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 86) = 0.09, p = .91$ , ns. Des Weiteren zeigt sich für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 86) = 0.55, p = .46$ , ns. Es zeigt sich eine marginal signifikante Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(2, 86) = 2.99, p = .06, \eta^2 = .07$ .

Aufgrund der marginal signifikanten Interaktion werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 86) = 2.07, p = .15$ , ns. Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant im konzeptuellen Wissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 86) = 0.79, p = .38$ , ns. Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Teilnehmer als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied im konzeptuellen Wissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 86) = 4.11, p < .05$ .

Zwischen den beiden Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) folgenden Resultate. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Probanden keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs,  $F(2, 86) = 2.14, p = .12$ , ns. Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant im konzeptuellen Wissen im zweiten Nachtest,  $F(2, 86) = 1.15, p = .32$ , ns. Im Profildiagramm in Abbildung 4.34 zeigt sich der marginal signifikante Interaktionseffekt bei den Untersuchungsbedingungen (5) und (6).

Im Vergleich zum ersten Nachtest zeigen sich auch im zweiten Nachtest die größten konzeptuellen Wissenszuwächse bei den Untersuchungsbedingungen (2) und (5). Bei diesen Untersuchungsbedingungen handelt es sich jeweils um Bedingungen, die entweder nur mit

einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden. Die vergleichbar geringsten konzeptuellen Wissenszuwächse zeigen die Untersuchungsbedingungen (1) und (6). Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an konzeptuellem Wissen im zweiten Nachtest zeigt die Untersuchungsbedingung (6).

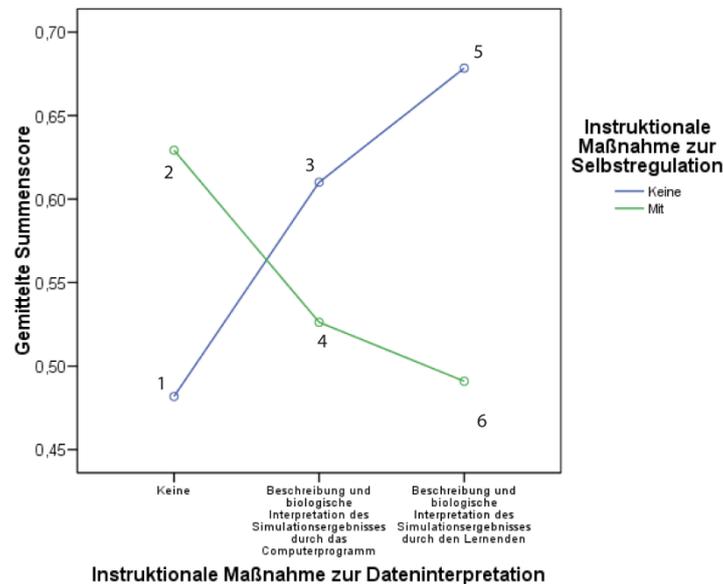


Abbildung 4.34: Profildigramm zu den im Vortest und zweiten Nachtest gemittelten Summenscores „konzeptuelles Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

### Fazit:

Wie bereits im ersten Nachtest gezeigt werden konnte, zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) die vergleichsweise höchsten Summenscores an konzeptuellem Wissen. Die geringsten konzeptuellen Wissenszuwächse zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (6). Dies lässt die Vermutung zu, dass ein Ausbleiben instruktionaler Unterstützung zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation für einen konzeptuellen Wissenszuwachs bei einer wiederholten Intervention zu vergleichbaren Ergebnissen führt, als wenn Teilnehmer ihr Simulationsergebnis beschreiben, interpretieren und zusätzlich reflektieren sollen. Beide Kombinationen scheinen bei einer zweiten Intervention zu ineffektiven Lernerfolgen zu führen. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Kovarianzanalyse zum ersten Nachtest zeigen die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), die eine instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, im zweiten Nachtest einen Rückgang der Summenscores an konzeptuellem Wissen.

Es lässt sich eine Tendenz erkennen, dass sich mit zunehmender Komplexität einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und zusätzlicher Unterstützung der Selbstregulation geringere Summenscores im konzeptuellen Wissen zeigen (Untersuchungsbedingung (2) > (4) > (6)). Bei einem Ausbleiben der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation lässt sich der gegenteilige Effekt nachweisen: Mit zunehmender Komplexität der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation werden entsprechend zunehmend höhere Summenscores im konzeptuellen Wissen erreicht

(Untersuchungsbedingung (1) < (3) < (5)). Hinsichtlich der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation scheint ein Ausbleiben dieser Unterstützung für einen konzeptuellen Wissenserwerb als vergleichsweise effektiver, als wenn diese Maßnahme erfolgt. Als vergleichsweise erfolgreichste Maßnahme für einen konzeptuellen Wissenserwerb im zweiten Nachtest zeigt sich die selbständige Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses ohne instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation.

Generell lässt sich auch im zweiten Nachtest die Tendenz erkennen, dass für die Aneignung konzeptuellen Wissens der Erhalt entweder nur einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation (Untersuchungsbedingungen (3) und (5)) oder nur zur Selbstregulation (Untersuchungsbedingung (2) effektiv ist.

#### 4.7.1.4 Subskala „Prozedurales Wissen“

Für das über die drei Messzeitpunkte erhobene prozedurale Wissen ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Messzeitpunkt,  $F(2, 89) = 20.65, p < .001, \eta^2 = .32$ . Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen einen signifikanten Effekt für die instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Selbstregulation,  $F(1, 90) = 7.71, p < .01, \eta^2 = .08$ . Für die instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation zeigt sich kein signifikanter Effekt,  $F(2, 90) = 0.99, p = .38, ns$ . Weiterhin lässt sich keine signifikante Interaktion zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation nachweisen,  $F(2, 90) = 0.68, p = .51, ns$ . (vgl. Abbildung 4.35).

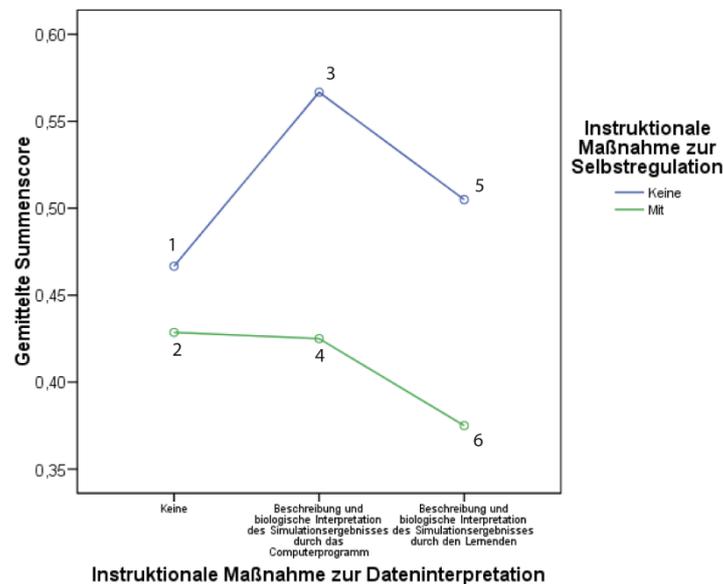


Abbildung 4.35: Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „prozedurales Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

## Kovarianzanalysen

### *Vortest – Erster Nachtest*

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „prozedurales Wissen“ im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 99) = 1.65, p = .20$ . Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 99) = 14.25, p < .001, \eta^2 = .13$  und gibt Hinweise auf einen Unterschied im prozeduralen Wissen unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation kann kein signifikanter Interaktionseffekt gezeigt werden,  $F(2, 99) = 1.33, p = .27, ns$ . Obwohl kein signifikanter Interaktionseffekt gezeigt wird, werden im Folgenden Einzelvergleiche durchgeführt, um Effekte auf den prozeduralen Wissenserwerb in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen darstellen zu können.

Generell können höhere Summenscores im prozeduralen Wissen bei den Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5) gezeigt werden, deren Teilnehmer keine Unterstützung zur Selbstregulation erhielten als bei den Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6). Ein Gruppenvergleich von Untersuchungsbedingungen, die jeweils mit der gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation unterstützt wurden zeigt dabei, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 99) = 0.71, p = .40, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Teilnehmer als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich signifikant im Faktenwissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(1, 99) = 5.35, p < .05$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied im prozedurale Wissen im ersten Nachtest,  $F(1, 99) = 13.48, p < .001$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) folgende Effekte. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Probanden keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(2, 99) = 0.43, p = .65, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich signifikant im prozeduralen Wissen im erstem Nachtest,  $F(2, 99) = 3.87, p < .05$ .

Die vergleichbar höchsten Summenscores im ersten Nachtest zeigen die Untersuchungsbedingungen (1) und (5).

Bei Betrachtung des Profildiagramms in Abbildung 4.36 wird deutlich, dass kein Interaktionseffekt zwischen den Untersuchungsbedingungen gezeigt werden kann. Die Untersuchungsbedingungen (1) und (3) zeigen im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (2) und (4) bei Erhalt der jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation höhere Summenscores. Dieser Effekt ist im Vergleich zu den Scores der Wissensarten Faktenwissen und konzeptuelles Wissen umgekehrt (vgl. oben), bei denen die höheren Scores die Untersuchungsbedingungen (2) und (4) erreichen. Bei Betrachtung der drei Untersuchungsbedingungen, die mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, zeigt die Untersuchungsbedingung (1), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten, die vergleichbar höchsten Scores. Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, deren Lernende eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6)) basiert auf dem vergleichsweise geringen prozeduralen Wissen der Untersuchungsbedingung (6).

Der signifikante Haupteffekt zwischen den Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Probanden eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, basiert auf dem innerhalb dieser drei Untersuchungsbedingungen vergleichsweise geringen prozeduralen Wissen der Bedingung (6). Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an prozeduralem Wissen im ersten Nachtest zeigt ebenfalls die Untersuchungsbedingung (6).

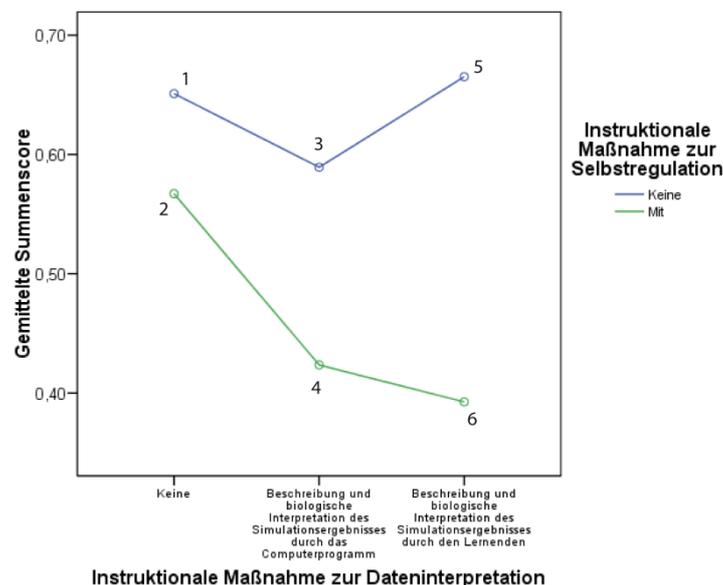


Abbildung 4.36: Profildiagramm zu den im Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „prozedurales Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation. Zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation kann kein Interaktionseffekt gezeigt werden.

**Fazit:**

Hinsichtlich des prozeduralen Wissens in Abhängigkeit der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation scheint aus Ausbleiben dieser Maßnahme zu besseren Lernerfolgen zu führen, als wenn die Teilnehmer unterstützt werden. Es lässt sich eine Tendenz erkennen, dass nur der Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, zur effektiven Aneignung prozeduralen Wissens führt. Vergleichbar hohe Werte zeigt auch die Untersuchungsbedingung (1), deren Teilnehmer mit keiner instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation unterstützt wurden. Im Vergleich zur Untersuchungsbedingung (5) zeigen die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) jedoch signifikant geringere Wissenszuwächse.

Im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) zeigt die Untersuchungsbedingung (6), wie bereits für das Faktenwissen und konzeptuelle Wissen gezeigt werden kann, die geringsten Werte. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, kombiniert mit der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation, zusätzlich zu reflektieren, zeigt einen geringen Effekt eines Zuwachses an Faktenwissen. Eine Kombination aus diesen beiden instruktionalen Maßnahmen scheint daher zu ineffektiven Lernerfolgen hinsichtlich des prozeduralen Wissens beim Lernen mit Computersimulationen zu führen.

***Vortest – Zweiter Nachtest***

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „prozedurales Wissen“ im zweiten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen sowie den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 95) = 1.40, p = .25, ns$ . Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 95) = 1.59, p = .21, ns$ . Es zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(2, 95) = 2.23, p = .11, ns$ . Trotz nicht-signifikantem Interaktionseffekts werden im Folgenden Einzelvergleiche durchgeführt, um Effekte auf den prozeduralen Wissenserwerb in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen darstellen zu können.

Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen zeigen ein marginale Signifikanz unter den Bedingungen, die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5)),  $F(2, 95) = 2.82, p = .07$ .

Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen zeigen, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), die keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 95) = 0.27, p = .60, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich ebenfalls signifikant im prozeduralen Wissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(1, 95) =$

0.16,  $p = .69$ , ns. Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Teilnehmer als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied im prozeduralen Wissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 95) = 6.12$ ,  $p < .05$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Bedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) folgende Resultate. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich marginal signifikant im prozeduralen Wissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(2, 95) = 2.82$ ,  $p = .07$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich nicht signifikant im prozeduralen Wissenszuwachs,  $F(2, 95) = 1.07$ ,  $p = .35$ , ns.

Abbildung 4.37 zeigt das Profildiagramm zwischen Vortest und zweitem Nachtest. Die größten prozeduralen Wissenszuwächse. Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an prozeduralem Wissen im zweiten Nachtest zeigen die Untersuchungsbedingungen (1), die weder eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation noch zur Selbstregulation erhielten und Untersuchungsbedingung (6), deren Teilnehmer ihr Simulationsergebnis beschreiben, interpretieren und zusätzlich reflektieren sollten.

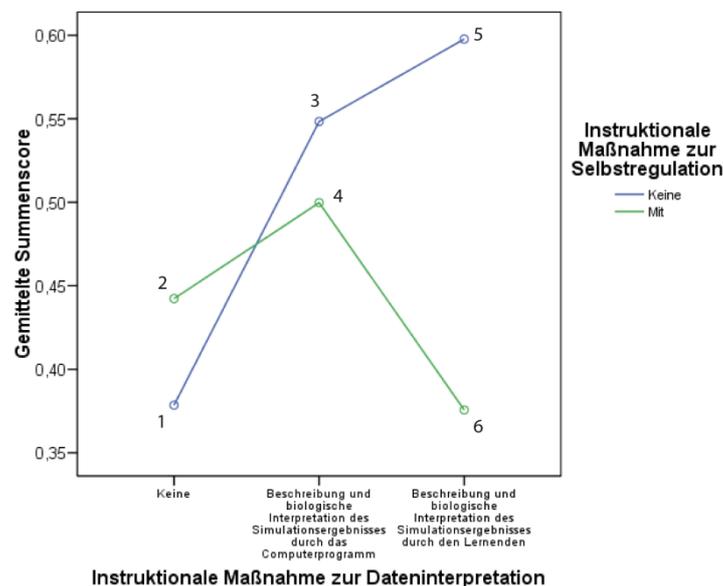


Abbildung 4.37: Profildiagramm zu den im Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „prozedurales Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation. Zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation kann kein Interaktionseffekt gezeigt werden.

Im Vergleich zu den Ergebnissen im ersten Nachtest zeigt sich eine generelle Verringerung der Summenscores im zweiten Nachtest im Vergleich zum ersten Nachtest (vgl. oben Abbildung 4.10). Besonders deutlich wird dieses bei der Untersuchungsbedingung (1) (vgl.

dazu auch Tabelle 4.27). Wie bereits im ersten Nachtest erreichen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (5) die höchsten Summenscores an prozeduralem Wissen. Die geringsten Summenscores erreichen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (6).

**Fazit:**

Die Unterstützung durch eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ohne zusätzliche Unterstützung zur Selbstregulation zeigt Tendenzen für einen effektiven prozeduralen Wissenszuwachs im zweiten Nachtest. Als vergleichsweise besonders effektiv zeigt sich dabei die Maßnahme, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren. Hinsichtlich der instruktionalen Unterstützung zur Selbstregulation zeigen sich Tendenzen, dass ein Ausbleiben der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation für einen prozeduralen Wissenserwerb effektiver ist, als wenn die Lernenden mit dieser Maßnahme unterstützt werden.

Die geringsten und vergleichbar niedrigen, prozeduralen Summenscores zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (6). Mit Blick auf die im Vortest erreichten Summenscores zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (1) relativ zu den anderen Bedingungen jedoch hohe Summenscores. Im Vergleich zum Vortest ändert sich die Höhe der erreichten Summenscore der Untersuchungsbedingung (6) nur sehr gering. Dies lässt die Vermutung zu, dass ein Ausbleiben instruktionaler Unterstützung zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation für einen prozeduralen Wissenszuwachs bei einer wiederholten Intervention zu vergleichbaren Ergebnissen führt, als wenn Teilnehmer ihr Simulationsergebnis beschreiben, interpretieren und zusätzlich reflektieren sollen. Beide Kombinationen scheinen bei einer zweiten Intervention zu ineffektiven Lernerfolgen zu führen. Für die Untersuchungsbedingungen (3) und (5) lassen sich ähnliche Tendenzen wie im ersten Nachtest nachweisen. Dieses kann auch durch eine ANOVA mit Messwiederholung bestätigt werden.

**4.7.1.5 Subskala „Intuitives Wissen“**

Für das über die vier Messzeitpunkte erhobene intuitive Wissen ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Messzeitpunkt,  $F(3, 90) = 9.71, p < .001, \eta^2 = .25$ . Tests der Zwischen-subjekteffekte zeigen keinen signifikanten Effekt für die instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Dateninterpretation,  $F(2, 92) = 0.75, p = .48, ns$ . sowie keinen signifikanten Effekt zur Unterstützung der Selbstregulation,  $F(1, 92) = 0.19, p = .66, ns$ . Für die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation lässt sich ein signifikanter Interaktionseffekt nachweisen,  $F(2, 92) = 5.51, p < .01$  (vgl. Abbildung 4.38).

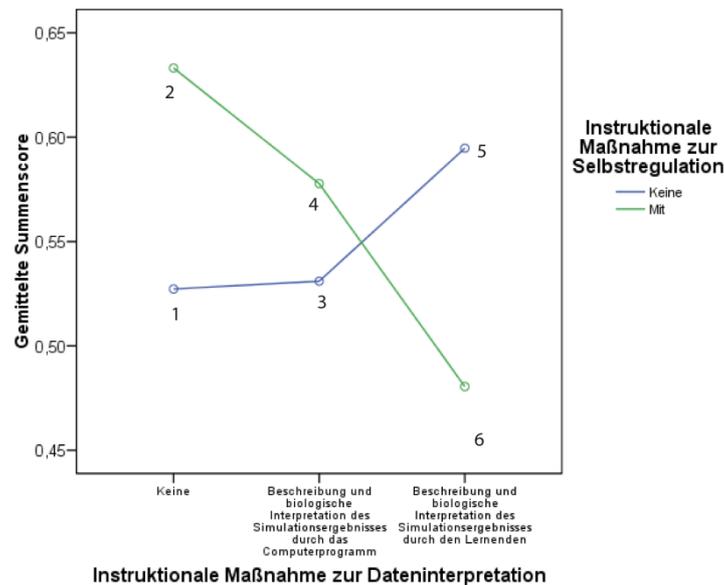


Abbildung 4.38: Profildigramm zu den über die vier Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „intuitives Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

## Kovarianzanalysen

### *Erster Vortest – Erster Nachtest*

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „intuitives Wissen“ im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen und den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 106) = 0.78, p = .46, ns$ . Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 106) = 0.17, p = .69, ns$ . Zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ein signifikanter Interaktionseffekt,  $F(2, 106) = 7.31, p < .001, \eta^2 = .12$ .

Die signifikante Interaktion gibt Hinweise auf einen Unterschied im intuitiven Wissen unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen.

Um die Interaktion zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation weiter spezifizieren zu können, werden Einzelvergleiche zwischen den sechs Untersuchungsbedingungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), deren Teilnehmer keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 106) = 0.75, p = .39, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich marginal signifikant im intuitiven Wissen im ersten Nachtest,  $F(1, 106) = 3.71, p = .06$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Probanden als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten,

zeigen einen signifikanten Unterschied im intuitiven Wissen im ersten Nachtest,  $F(1, 106) = 11.19, p < 0.001$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich signifikant im Wissenszuwachs im ersten Nachtest,  $F(2, 106) = 3.40, p < .05$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich signifikant im intuitiven Wissen im ersten Nachtest,  $F(2, 106) = 5.58, p < .01$ .

In Abbildung 4.39 wird der Interaktionseffekt zwischen den Untersuchungsbedingungen (5) und (6) deutlich. Die Untersuchungsbedingungen (2) und (4) zeigen im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) und (3) bei Erhalt der jeweils gleichen instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation höhere Summenscores. Der signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6)) basiert auf dem vergleichsweise geringen intuitiven Wissen der Untersuchungsbedingung (6). Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an Faktenwissen im ersten Nachtest zeigt die Untersuchungsbedingung (6). Der marginal signifikante Effekt innerhalb der Untersuchungsbedingungen, die keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, zeigt sich dieser Effekt bei der Untersuchungsbedingung (5).

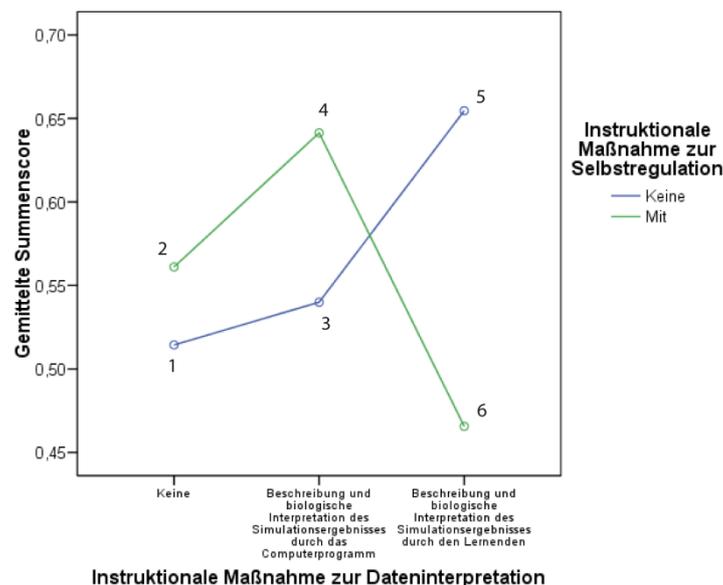


Abbildung 4.39: Profildigramm zu den zwischen erstem Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „intuitives Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

**Fazit:**

Hinsichtlich des intuitiven Wissens zeigt sich, dass Teilnehmer, die ihr Ergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten jedoch keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingung (5)), ähnlich hohe Lernerfolge zeigen wie Teilnehmer, die eine Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm erhielten und mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden (4). Bei Erhalt einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigen die Teilnehmer tendenziell höhere intuitive Wissenszuwächse, als wenn diese Maßnahme ausbleibt. Dieses wird deutlich bei einem Vergleich des erhobenen intuitiven Wissens der Untersuchungsbedingungen (3) und (4), die zwar gleiche instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten, sich jedoch im Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterscheiden. Der Unterschied des Zuwachses bei diesen beiden Untersuchungsbedingungen unterscheidet sich signifikant. Eine ähnliche Tendenz ist bei einem Vergleich der Zuwächse an intuitivem Wissen der Untersuchungsbedingungen (1) und (2) erkennbar.

Bei Erhalt der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, zeigt sich ebenfalls ein signifikanter Effekt. Im Vergleich zur Untersuchungsbedingung (5) zeigen die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) jedoch signifikant geringere Wissenszuwächse. Im Vergleich zu den Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) weist die Untersuchungsbedingung (6) die geringsten Werte auf. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, kombiniert mit der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation, zusätzlich zu reflektieren, zeigt einen geringen Effekt eines Zuwachses an intuitivem Wissen. Eine Kombination aus diesen beiden instruktionalen Maßnahmen scheint daher zu vergleichsweise geringen intuitivem Wissen zu führen.

Generell lässt sich eine Tendenz erkennen, dass der Erhalt einer Selbstregulationshilfe einen intuitiven Wissenszuwachs bereits nach der ersten Intervention effektiv unterstützt (Untersuchungsbedingungen (2) und (4)), während ein Ausbleiben dieser Maßnahme zu vergleichsweise geringeren Lernerfolgen führt (Untersuchungsbedingungen (1) und (3)). Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang ein Vergleich der Untersuchungsbedingungen (5) und (6). Bei diesen Untersuchungsbedingungen ist ein gegenteiliger Effekt erkennbar.

Es lässt vermuten, dass die Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses ohne entsprechende instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation bei Untersuchungsbedingung (5) einen positiven Einfluss auf die Aneignung von intuitivem Wissen hat.

***Erster Vortest – Zweiter Nachtest***

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten in der Kategorie „intuitives Wissen“ im zweiten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen und den erreichten Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 99) = 0.22, p = .80, ns$ . Des Weiteren zeigt sich für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation kein signifikanter

Haupteffekt,  $F(1, 99) = 0.01, p = .94, ns$ . Es zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(2, 99) = 1.60, p = .21, ns$ . Obwohl kein signifikanter Interaktionseffekt gezeigt wird, werden im Folgenden Einzelvergleiche durchgeführt, um Effekte auf den intuitiven Wissenserwerb in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen darstellen zu können.

Einzelvergleiche zwischen den Untersuchungsbedingungen bezüglich der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation zeigen, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), deren Teilnehmer keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 99) = 0.44, p = .51, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant im intuitiven Wissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 99) = 2.74, p = .10, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Teilnehmer als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen keinen signifikanten Unterschied im intuitiven Wissen im zweiten Nachtest,  $F(1, 99) = 0.57, p = .45, ns$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Lernende keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant im Wissenszuwachs im zweiten Nachtest,  $F(2, 99) = 0.37, p = .69, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Teilnehmer mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant im intuitiven Wissen im zweiten Nachtest,  $F(2, 99) = 1.76, p = .18, ns$ .

Abbildung 4.40 zeigt das Profildiagramm zu den Ergebnissen zwischen erstem Vor- und zweitem Nachtest. Die Untersuchungsbedingung (4) zeigt im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsbedingungen die höchsten Summenscores. Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Summenscores an intuitivem Wissen im zweiten Nachtest zeigen die Untersuchungsbedingung (3) und (6).

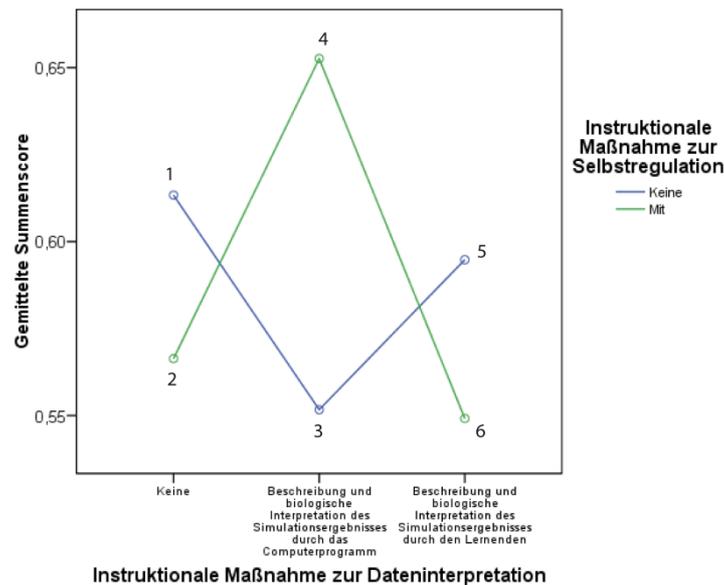


Abbildung 4.40: Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „intuitives Wissen“ in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

### Fazit:

Im zweiten Nachtest kann die Tendenz des ersten Nachtests bestätigt werden, dass die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm zu erhalten, ohne zusätzliche Unterstützung der Selbstregulation zu einem effektiven Lernerfolg führt (4).

### Latenzzeiten

Für die über alle vier Messzeitpunkte erhobenen Latenzzeiten ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Messzeitpunkt,  $F(3, 86) = 17.98, p < .001, \eta^2 = .39$  jedoch keine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation,  $F(3, 86) = 2.17, p = .10, ns$ . Tests der Zwischensubjekteffekte zeigen einen signifikanten Effekt für die instruktionale Maßnahme zur Unterstützung der Selbstregulation,  $F(1, 88) = 4.60, p < .05, \eta^2 = .05$ . Für die instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation zeigt sich kein signifikanter Effekt,  $F(2, 88) = 1.03, p = .36, ns$ . Weiterhin lässt sich keine signifikante Interaktion zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation nachweisen,  $F(2, 88) = 1.98, p = .14, ns$ . (vgl. Abbildung 4.41).

Obwohl kein signifikanter Interaktionseffekt gezeigt wird, werden im Folgenden Einzelvergleiche durchgeführt, um weitere Effekte in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen darstellen zu können.

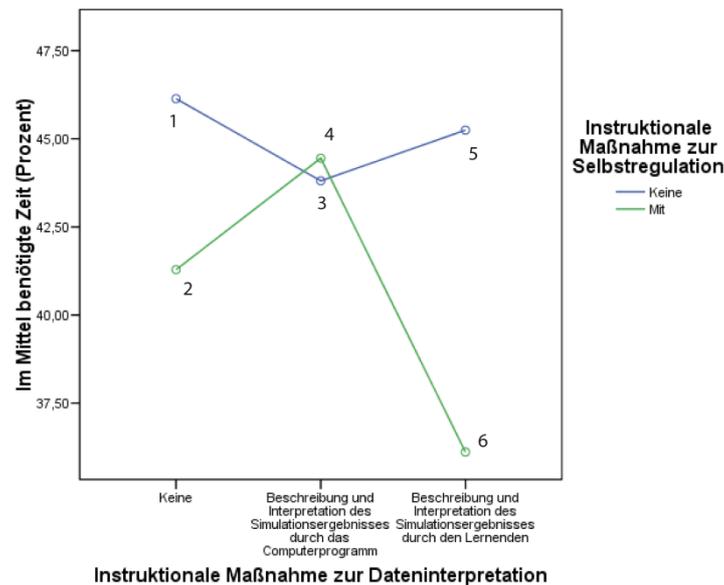


Abbildung 4.41: Profildigramm zu den über die vier Messzeitpunkte gemittelten Summenscores der erhobenen Latenzzeiten zur durchschnittlichen Beantwortung der Items in Abhängigkeit von den instruksionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

## Kovarianzanalysen

### *Erster Vortest – Erster Nachtest*

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten der Latenzzeiten im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruksionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen und den erreichten Latenzzeit-Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruksionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 106) = 0.56, p = .58, ns$ . Für die instruksionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 106) = 4.01, p < .05, \eta^2 = .04$ . Zwischen der instruksionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruksionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt,  $F(2, 106) = 2.45, p = .09, ns$ .

Einzelvergleiche zwischen den Untersuchungsbedingungen bezüglich der instruksionalen Maßnahme zur Dateninterpretation zeigen, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), deren Teilnehmer keine instruksionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 106) = 0.29, p = .59, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Lernende als instruksionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant hinsichtlich der erhobenen Latenzzeiten im ersten Nachtest,  $F(1, 106) = 1.63, p = .91, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Probanden als instruksionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen einen signifikanten Unterschied in der erhobenen Latenzzeit im ersten Nachtest,  $F(1, 106) = 9.82, p < .01$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Teilnehmer keine instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant in den Latenzzeiten im ersten Nachtest,  $F(2, 106) = 0.51, p = .60, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, unterscheiden sich signifikant in den Latenzzeiten,  $F(2, 106) = 3.12, p < .05$ .

Abbildung 4.42 zeigt das Profildiagramm zu den Ergebnissen zwischen erstem Vor- und erstem Nachtest. Die Untersuchungsbedingung (5) zeigt im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsbedingungen die durchschnittlich längsten Latenzzeiten zum Beantworten der Items. Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Latenzzeiten zeigt die Untersuchungsbedingung (6).

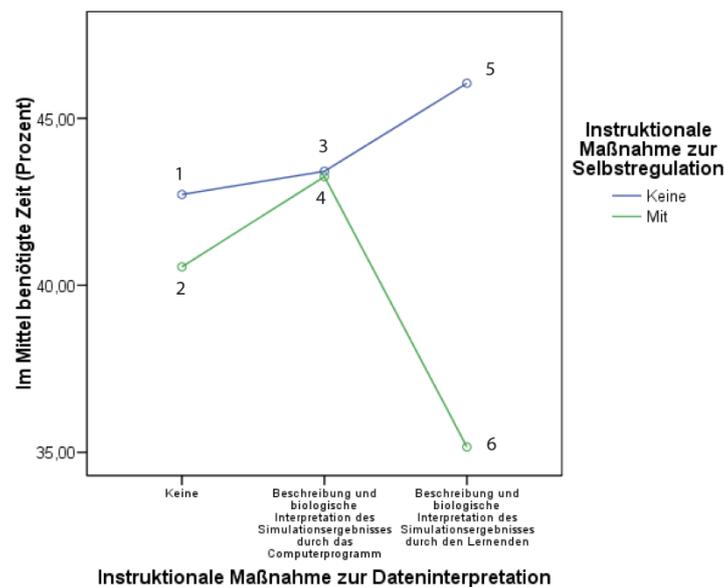


Abbildung 4.42: Profildiagramm zu den mittleren Latenzzeiten, angegeben in Prozent benötigter Zeit, im ersten Nachtest zur durchschnittlichen Beantwortung der Items in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

Generell zeigen die Untersuchungsbedingungen (2) und (6), deren Teilnehmer entweder keine instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten oder ihr Simulationsergebnis beschreiben und interpretieren sollten sowie mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, Tendenzen geringerer Latenzzeiten als die Untersuchungsbedingungen ohne diese Maßnahme.

**Erster Vortest – Zweiter Nachtest**

Die Durchführung einer Kovarianzanalyse mit den erreichten Mittelwerten der Latenzzeiten im ersten Nachtest als abhängige Variable, den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als unabhängige Variablen und den erreichten Latenzzeit-Mittelwerten des Vortests als Kovariate zeigt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation keinen signifikanten Haupteffekt,  $F(2, 99) = 1.27, p = .29, ns$ . Für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Haupteffekt,  $F(1, 99) = 0.47, p = .50, ns$ . Zwischen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt,  $F(2, 99) = 1.59, p = .21, ns$ .

Einzelvergleiche zwischen den Untersuchungsbedingungen bezüglich der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation zeigen, dass zwischen den Untersuchungsbedingungen (1) und (2), deren Teilnehmer keine instruktionale Unterstützung zur Dateninterpretation erhielten, kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf einen Wissenszuwachs besteht,  $F(1, 99) = 0.55, p = .46, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (3) und (4), deren Lernende als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die korrekte Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten, unterscheiden sich ebenfalls nicht signifikant hinsichtlich der erhobenen Latenzzeiten im ersten Nachtest,  $F(1, 99) = 0.43, p = .51, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (5) und (6), deren Probanden als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation ihr eigenes Simulationsergebnis zunächst beschreiben und anschließend biologisch interpretieren sollten, zeigen keinen signifikanten Unterschied in der erhobenen Latenzzeit im ersten Nachtest,  $F(1, 99) = 2.24, p = .14, ns$ .

Zwischen den beiden verschiedenen Untersuchungsbedingungen zur Selbstregulation (keine/mit instruktionaler Maßnahme zur Selbstregulation) zeigen sich für die drei Bedingungen zur Dateninterpretation (keine/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm/Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden) die folgenden Ergebnisse. Die Untersuchungsbedingungen (1), (3) und (5), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant in den Latenzzeiten im ersten Nachtest,  $F(2, 99) = 2.35, p = .10, ns$ . Die Untersuchungsbedingungen (2), (4) und (6), deren Lernende mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation unterstützt wurden, zeigen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Latenzzeiten,  $F(2, 99) = 0.29, p = .75, ns$ .

Abbildung 4.43 zeigt das Profildiagramm zu den Ergebnissen zwischen erstem Vor- und zweitem Nachtest. Die Untersuchungsbedingungen (1) und (5) zeigen im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsbedingungen die durchschnittlich längsten Latenzzeiten. Die im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsbedingungen geringsten Latenzzeiten zeigen die Untersuchungsbedingungen (3) und (6).

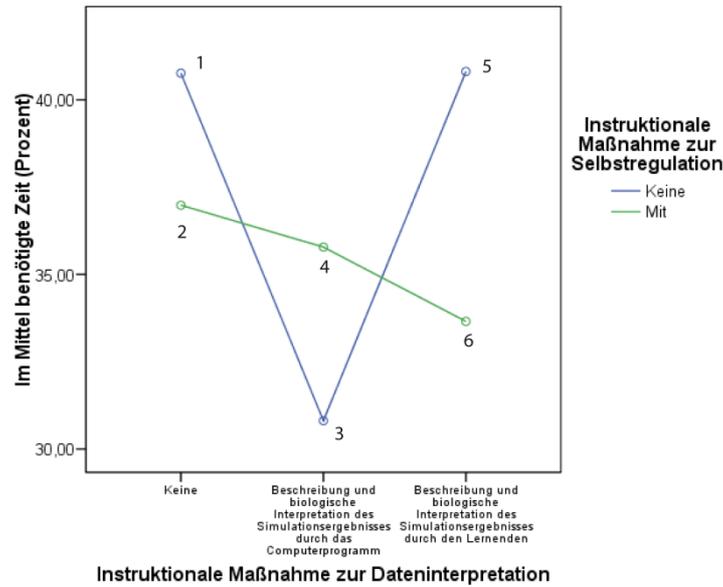


Abbildung 4.43: Profildiagramm zu den mittleren Latenzzeiten, angegeben in Prozent benötigter Zeit, im zweiten Nachtest zur durchschnittlichen Beantwortung der Items in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

Die vergleichsweise kürzesten Latenzzeiten im zweiten Nachtest zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (3). Die längsten Latenzzeiten zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) und (5).

**Hypothese 1** wird dahingehend bestätigt, dass bei Erhalt nur einer instruktionalen Maßnahme entweder zur Dateninterpretation oder nur einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation der Wissenserwerb effektiv gefördert wird. Die Hypothese wird jedoch für eine bestimmte Maßnahmenkombination abgelehnt. Die Kombination aus der instruktionalen Maßnahme, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, und der zusätzlichen instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation, die Arbeitsweisen zu bewerten und die Ergebnisse zu reflektieren, führt zu vergleichsweise geringen Lernerfolgen.

Die postulierten Haupteffekte für einen Lernerfolg in Abhängigkeit einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation lassen sich nicht bestätigen. Es zeigen sich jedoch Interaktionseffekte zwischen den eingesetzten instruktionalen Maßnahmen. Eine instruktionalen Maßnahme entweder nur zur Dateninterpretation oder nur zur Selbstregulation erweist sich als effektiv; bei einer bestimmten Kombination der instruktionalen Maßnahmen lässt sich ein geringer Effekt zeigen. Dieser Effekt zeigt sich auch in den Ergebnissen der theoriegeleiteten Subskalen. Es zeigt sich in den Ergebnissen der Skala „Wissen“ sowie in Subskalen, dass sich die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf die Aneignung des Wissens in den verschiedenen Kategorien unterschiedlich effektiv auswirken.

## 4.7.2 Hypothese 2

Die zweite Frage, die in dieser Arbeit untersucht werden sollte, bezieht sich in erster Linie auf den Zuwachs an Wissen im experimentellen Umgang mit einer Computersimulation und der Variablenkontrolle sowie der Aneignung intuitiven Wissens durch den Umgang mit der Computersimulation nach einmaligem Einsatz.

*Hypothese 2: Die instruktionalen Maßnahmen verbessern bei einmaligem Einsatz vor allem den prozeduralen, jedoch nicht den intuitiven Wissenserwerb.*

Um diese Hypothese zu überprüfen wurde eine Varianzanalyse nach dem linearen Modell mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Untersuchungsbedingung und dem Messwiederholungsfaktor Wissenszuwachs in der jeweiligen Wissensart zwischen Vor- und erstem Nachtest durchgeführt.

Die vergleichsweise größten Wissenszuwächse erreichen die Lernenden ( $N = 74$ ) beim einmaligen Einsatz der instruktionalen Maßnahmen im konzeptuellen und im prozeduralen Wissen; die vergleichsweise geringsten Zuwächse lassen sich für das intuitive Wissen und das Faktenwissen nachweisen (vgl. Tabelle 4.55).

Tabelle 4.55: Wissenszuwachs nach *einmaligem* Einsatz der instruktionalen Maßnahmen in den unterschiedlichen Wissensarten. Deskriptive Statistik ( $N = 74$ ).

Wissensart	<i>M</i>	<i>SD</i>
Faktenwissen	.09	.22
Konzeptuelles Wissen	.21	.28
Prozedurales Wissen	.18	.31
Intuitives Wissen	.07	.09

Im ersten Nachtest lässt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Wissenszuwachs in den vier Wissensarten identifizieren,  $F(3, 66) = 9.97$ ;  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .31$ . Des Weiteren ist eine signifikante Interaktion zwischen dem Wissenszuwachs in den vier Wissensarten und den Untersuchungsbedingungen erkennbar,  $F(5, 68) = 4.58$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .25$ . Der Wissenszuwachs in den vier Wissensarten unterscheidet sich daher signifikant. Die Interaktion betrifft die Untersuchungsbedingung (6), in der die Teilnehmer die geringsten Wissenszuwächse erreichen. Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (2), die lediglich eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, profitieren von dieser instruktionalen Maßnahme. Diese weisen den größten Zuwachs an prozeduralem und konzeptuellem Wissen auf (vgl. Abbildung 4.44).

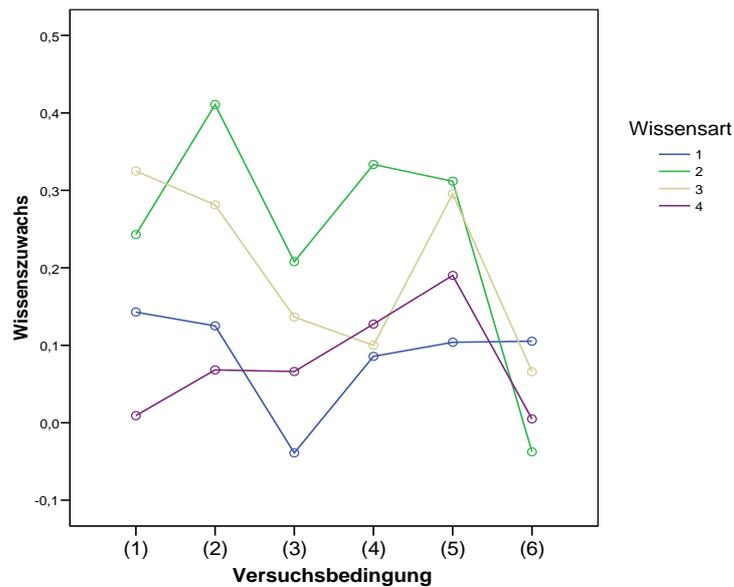


Abbildung 4.44: Wissenszuwächse bei einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen. Wissensarten: 1: Faktenwissen, 2: konzeptuelles Wissen, 3: prozedurales Wissen, 4: intuitives Wissen.

**Hypothese 2** wird somit zum Teil bestätigt, da die instruktionalen Maßnahmen bei einmaligem Einsatz den prozeduralen, vor allem aber auch den konzeptuellen Wissenserwerb verbessern. Der intuitive Wissenszuwachs wird durch die instruktionalen Maßnahmen nach der ersten Intervention primär nicht verbessert. In diesem Zusammenhang wird die Hypothese 2 bestätigt.

### 4.7.3 Hypothese 3

Die dritte Frage, die in dieser Arbeit untersucht wird, baut auf die zweite Fragestellung auf. Sie soll klären, ob neben der Aneignung prozeduralen und intuitiven Wissens nach einmaliger Intervention zusätzliche Effekte auf den konzeptuellen Wissenserwerb nach mehrmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen erkennbar sind.

*Hypothese 3: Die instruktionalen Maßnahmen verbessern bei mehrmaligem Einsatz neben dem intuitiven und prozeduralen Wissenserwerb auch den konzeptuellen Wissenserwerb.*

Um die Hypothese 3 zu überprüfen wurde eine Varianzanalyse nach dem linearen Modell mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Untersuchungsbedingung und dem Messwiederholungsfaktor Wissenszuwachs in der jeweiligen Wissensart zwischen Vor- und zweitem Nachtest durchgeführt.

Bereits bei der Überprüfung von Hypothese 2 konnte ein vergleichsweise hoher konzeptueller Wissenszuwachs bei den Versuchsteilnehmern nachgewiesen werden, der im zweiten Nachtest ebenfalls bestätigt werden kann (vgl. Tabelle 4.56). Für den Zuwachs in den Wissensarten lässt sich kein signifikanter Haupteffekt identifizieren, lediglich eine Tendenz ist erkennbar,  $F(3, 60) = 2.21, p = .10, ns$ . Es konnte keine signifikante Interaktion zwischen

den Zuwächsen der zu testenden Wissensarten und den Untersuchungsbedingungen nachgewiesen werden,  $F(5, 62) = .70$ , ns.

Tabelle 4.56: Wissenszuwachs nach *mehrmaligem* Einsatz der instruktionalen Maßnahmen in den unterschiedlichen Wissensarten. Deskriptive Statistik ( $N = 68$ ).

Wissensart	<i>M</i>	<i>SD</i>
Faktenwissen	.14	.20
Konzeptuelles Wissen	.23	.30
Prozedurales Wissen	.15	.33
Intuitives Wissen	.14	.18

Die Berechnung zu den Innersubjektivkontrasten, in dem Zuwächse im Faktenwissen, prozeduralen Wissen und intuitiven Wissen gegen den konzeptuellen Wissenszuwachs im zweiten Nachtest getestet wurde, zeigt die folgenden Ergebnisse: Es konnten Signifikanzen im Test des Zuwachses im Faktenwissen gegen den konzeptuellen Wissenszuwachs,  $F(1, 62) = 6.25$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .09$  und den Zuwachs im intuitiven Wissen gegen den konzeptuellen Wissenszuwachs,  $F(1, 62) = 4.79$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .07$  sowie eine marginale Signifikanz des prozeduralen Wissenszuwachses gegen den konzeptuellen Wissenszuwachs,  $F(1, 62) = 2.92$ ,  $p = .09$ ,  $\eta^2 = .05$  nachgewiesen werden. Der vergleichsweise größte Zugewinn an konzeptuellem Wissen zeigt sich bei Teilnehmern der Untersuchungsbedingungen (2) und (5) (vgl. Abbildung 4.45). Generell zeigen sich die höchsten Zuwächse im konzeptuellen Wissen.

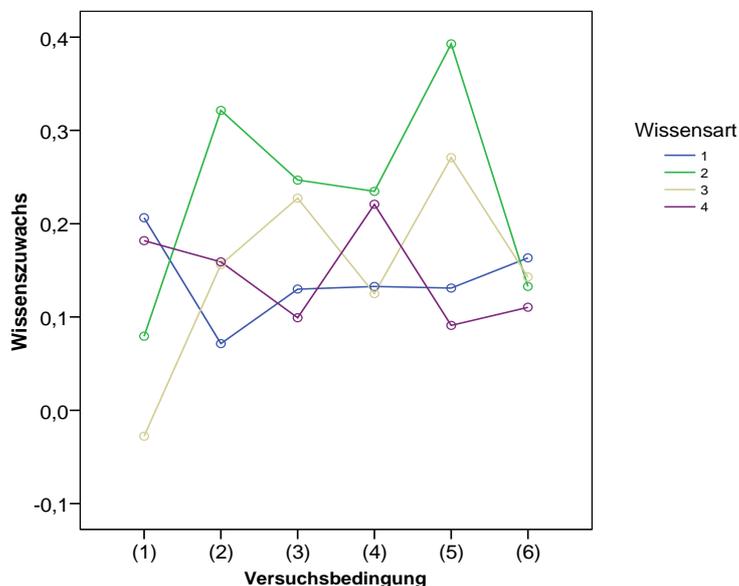


Abbildung 4.45: Wissenszuwächse bei mehrmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen. Wissensarten: 1: Faktenwissen, 2: konzeptuelles Wissen, 3: prozedurales Wissen, 4: intuitives Wissen.

Aufgrund der auf Hypothese 2 aufbauenden **Hypothese 3** kann diese ebenfalls nicht eindeutig verifiziert werden, da bezüglich des konzeptuellen Wissens bereits bei einem einmaligen Einsatz der instruktionalen Maßnahmen der vergleichsweise größte Zuwachs nachgewiesen werden konnte (vgl. Hypothese 1). Wird die Hypothese 3 unabhängig von Hypothese 2 betrachtet, kann diese jedoch bestätigt werden. Mehrmaliger Einsatz der instruktionalen Maßnahmen verbessert den domänenspezifischen, konzeptuellen Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen. Ein Vergleich der Mittelwerte zeigt für das intuitive Wissen im zweiten Nachtest eine deutliche Erhöhung. Mehrmaliger Einsatz der instruktionalen Maßnahmen führt zu einer Erhöhung des intuitiven Wissens.

#### 4.7.4 Hypothese 4

Hypothese 4 bezieht sich auf den Erwerb von Faktenwissen beim Lernen mit Computersimulationen. Mit Hilfe dieser Hypothese soll geklärt werden, ob die ausgewählten instruktionalen Maßnahmen beim Lernen mit Computersimulationen Effekte auf den domänenspezifischen Erwerb von Faktenwissen im Vergleich zum konzeptuellen Wissen, prozeduralen Wissen und intuitiven Wissen zeigen.

*Hypothese 4: Die instruktionalen Maßnahmen haben einen weniger ausgeprägten Effekt auf den Erwerb von Faktenwissen.*

Um diese Hypothese zu überprüfen wurde eine Varianzanalyse nach dem linearen Modell mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Untersuchungsbedingung und dem Messwiederholungsfaktor Wissenszuwachs in der jeweiligen Wissensart zwischen Vor- und erstem Nachtest durchgeführt. Dabei wurden Innersubjektkontraste der erhobenen Mittelwerte der Wissensarten konzeptuelles, prozedurales und intuitives Wissen gegen das Faktenwissen getestet.

Bei einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zeigen Tests zu den Innersubjektkontrasten der Zuwächse im konzeptuellen, prozeduralen und intuitiven Wissen gegen den Faktenwissenszuwachs die folgenden Ergebnisse: Es konnten Signifikanzen im Test des Zuwachses im konzeptuellen Wissen gegen den Zuwachs im Faktenwissen,  $F(1, 68) = 18.49$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .21$  und dem Zuwachs im prozeduralen Wissen gegen den Faktenwissenszuwachs,  $F(1, 68) = 7.17$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .10$  nachgewiesen werden. Bei mehrmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zeigen Berechnungen zu den Effekten der Innersubjektkontraste Zuwächse im konzeptuellen Wissen einen signifikanten Unterschied zum Faktenwissen,  $F(1, 62) = 6.25$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .09$ . Die deskriptiven Statistiken der Tabelle 4.55 (vgl. Hypothese 2) und Tabelle 4.56 (vgl. Hypothese 3) zeigen, dass der Zuwachs an Faktenwissen bei einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen neben dem intuitiven Wissen sowie bei mehrmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen die geringsten Mittelwerte aufweisen.

**Hypothese 4** wird bestätigt. Die ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation zeigen weniger ausgeprägte Effekte auf den Erwerb von Faktenwissen.

#### 4.7.5 Hypothese 5a

Hypothese 5a: *Instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation verbessern das konzeptuelle Wissen.*

Es zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation,  $F(2, 97) = 4.49, p < .05, \eta^2 = .09$ . Mittels univariaten Varianzanalyse konnte für den konzeptuellen Wissenszuwachs zwischen Vortest und erstem Nachtest sowie den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation ein signifikanter Interaktionseffekt nachgewiesen werden,  $F(2, 94) = 9.27, p < .001, \eta^2 = .17$ . Deskriptive Statistiken zu den ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation zeigen den vergleichsweise höchsten Mittelwert für die Kontrollgruppe ohne instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation (vgl. Tabelle 4.57).

Tabelle 4.57: Konzeptueller Wissenszuwachs nach *einmaligem* Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation. Deskriptive Statistik ( $N = 100$ ).

Untersuchungs- bedingung	Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation	<i>M</i>	<i>SD</i>
(1) und (2)	Keine (Kontrollgruppe)	.29	.19
(3) und (4)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm	.27	.27
(5) und (6)	Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden	.12	.30

Während die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation für die beiden Untersuchungsbedingungen „keine Beschreibung und biologische Ergebnisinterpretation“ (2) und „vorgegebene Beschreibung und biologische Ergebnisinterpretation“ (4) einen positiven Einfluss auf den konzeptuellen Wissenszuwachs hat, ist dies für die Bedingung „abzugebende Beschreibung und biologische Ergebnisinterpretation“ (6) nicht der Fall. Hier kann praktisch kein Wissenszuwachs nachgewiesen werden; fehlt allerdings die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation (5), ist der konzeptuelle Wissenszuwachs vergleichbar hoch wie bei den Untersuchungsbedingungen (2) und (4) (vgl. Abbildung 4.46).

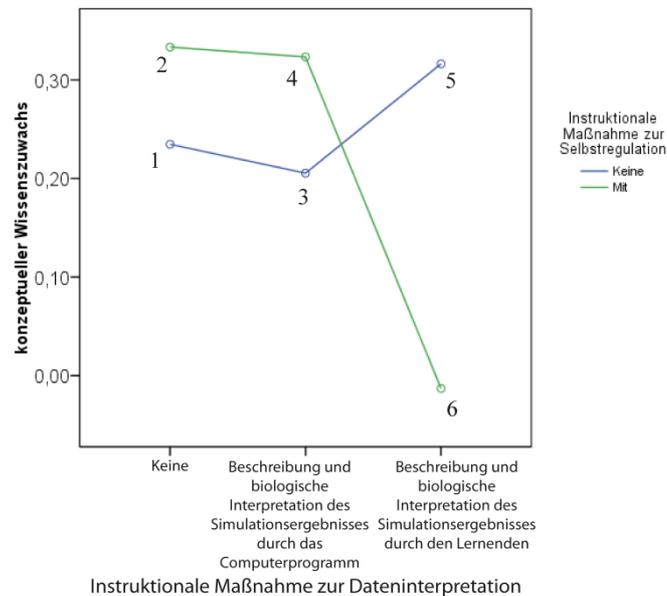


Abbildung 4.46: Profildigramm zum konzeptuellen Wissenszuwachs in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation.

Hinsichtlich einer Verbesserung des konzeptuellen Wissens durch die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation zeigen die Teilnehmer der Kontrollgruppe die größten Zuwächse (vgl. Tabelle 4.57). Der Erhalt einer Beschreibung und biologischen Interpretation des Simulationsergebnisses erweist sich darüber hinaus als effektive instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation. Die Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden erweist sich als vergleichsweise ineffektivste instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation.

*Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass der nachgewiesene Effekt einer Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch den Lernenden als vergleichbar ineffektive Maßnahme zur Dateninterpretation dadurch zustande kommt, dass die Untersuchungsbedingungen (5) und (6) zusammengefasst wurden. Die vergleichsweise geringen konzeptuellen Wissenszuwächse der Teilnehmer aus der Untersuchungsbedingung (6) sind ausschlaggebend für dieses Ergebnis.*

Hypothese 5a wird hinsichtlich der Verbesserung des konzeptuellen Wissenserwerbs durch instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation zumindest partiell bestätigt, da die größten Wissenszuwächse Teilnehmer der Untersuchungsbedingung zeigen, die keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten. Die geringsten Zuwächse an konzeptuellem Wissen zeigen des Weiteren die Teilnehmer, die ihr Simulationsergebnis beschreiben und interpretieren sollten.

### 4.7.6 Hypothese 5b

Hypothese 5b: *Instruktionale Maßnahmen zur Selbstregulation verbessern das prozedurale Wissen.*

Für einen prozeduralen Wissenszuwachs kann ein signifikanter Haupteffekt für die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation nachgewiesen werden,  $F(1, 104) = 7.68, p < .01, \eta^2 = .07$ . Deskriptive Statistiken zu den ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Selbstregulation zeigen den vergleichsweise höchsten Mittelwert für die Kontrollgruppe ohne instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation (vgl. Tabelle 4.58). Es konnte für den prozeduralen Wissenszuwachs und die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation sowie der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation ein signifikanter Interaktionseffekt nachgewiesen werden,  $F(2, 100) = 3.35, p < .05, \eta^2 = .06$ .

Tabelle 4.58: Prozeduraler Wissenszuwachs nach *einmaligem* Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zur Selbstregulation. Deskriptive Statistik ( $N = 106$ ).

Untersuchungs- bedingung	Instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation	<i>M</i>	<i>SD</i>
(1), (3), (5)	Keine (Kontrollgruppe)	.27	.29
(2), (4), (6)	Selbsteinschätzung und Reflexion	.11	.30

Bei Berücksichtigung der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation als Einflussfaktoren auf den prozeduralen Wissenserwerb zeigen sich durch den Interaktionseffekt im Profildiagramm die größten Wissenszuwächse bei Teilnehmern, die ihr Simulationsergebnis selbst beschreiben und biologisch interpretieren sollten, jedoch keine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (5). Die geringsten prozeduralen Wissenszuwächse erreichen Teilnehmer, die ihr Simulationsergebnis selbst beschreiben und biologisch interpretieren sollten und darüber hinaus eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (6) (vgl. Abbildung 4.47). Für einen prozeduralen Wissenszuwachs erweist sich die instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation daher tendenziell als ineffektiv. Dieser Effekt lässt sich bereits durch die Ergebnisse in Hypothese 1 zeigen.

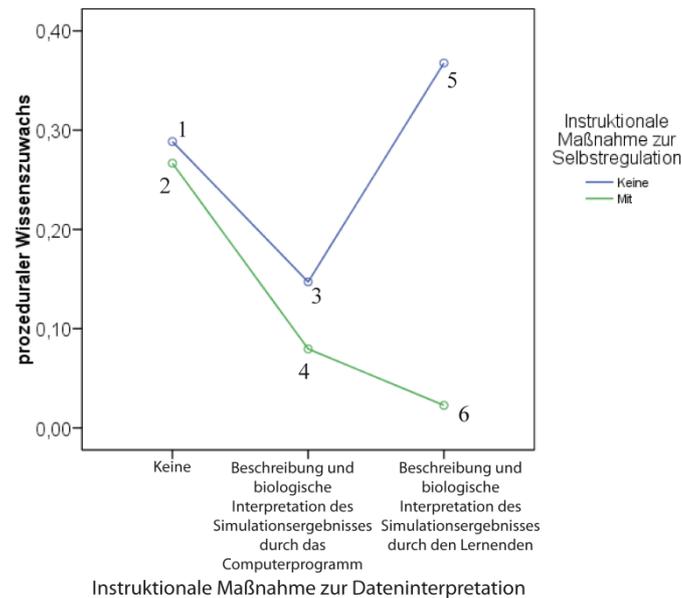


Abbildung 4.47: Profildigramm zum Interaktionseffekt zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation hinsichtlich des prozeduralen Wissenszuwachses.

**Hypothese 5b** wird nicht bestätigt. Der Einsatz der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation erweist sich auf das prozedurale Wissen im Vergleich zur Kontrollgruppe ineffektiv.

#### 4.7.7 Hypothese 6

Diese Fragestellung nimmt Bezug auf das unterschiedlich hohe domänenspezifische Vorwissen der Versuchsteilnehmer.

*Hypothese 6: Lernende mit geringem Vorwissen können sich durch die instruktionalen Maßnahmen vergleichsweise stärker verbessern als Lernende mit einem hohen Vorwissen.*

Im Vorwissenstest und im ersten Nachtest erlangte kein Proband die maximal erreichbare Summenscore. Eine 2-faktorielle ANOVA mit dem durch Mediansplit (Median bei .38) geteiltem Datensatz zwischen Versuchspersonen mit hohem und geringem Vorwissen als unabhängige Variable und dem Wissenszuwachs als abhängige Variable, zeigt einen signifikanten Haupteffekt für die Vorwissensgruppen,  $F(1, 122) = 10.78, p < .001, \eta^2 = .08$ . Die deskriptive Statistik zeigt, dass Lernende mit geringem Vorwissen sich vergleichsweise stärker verbessern als Lernende mit hohem Vorwissen (vgl. Tabelle 4.59 und Abbildung 4.48). Zwischen Vorwissen und Wissenszuwachs kann eine signifikante, negative Korrelation gezeigt werden,  $r = -.34, p < .001$ . Den größten Wissenszuwachs zeigen Lernende mit geringem Vorwissen der Untersuchungsbedingungen (2) und (5), die jeweils entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten. Den vergleichbar geringsten Wissenszuwachs zeigen Lernende

mit hohem Vorwissen der Bedingung (6), die ihr Simulationsergebnis zunächst erst schriftlich beschreiben, biologisch interpretieren und anschließend reflektieren sollten.

Tabelle 4.59: Wissenszuwachs in den durch Mediansplit geteilten Gruppen nach Einsatz der instruktionalen Maßnahmen. Deskriptive Statistik ( $N = 124$ ).

Lernermerkmal	$M$	$SD$	$n$
geringes Vorwissen	.21	.17	76
hohes Vorwissen	.10	.18	48

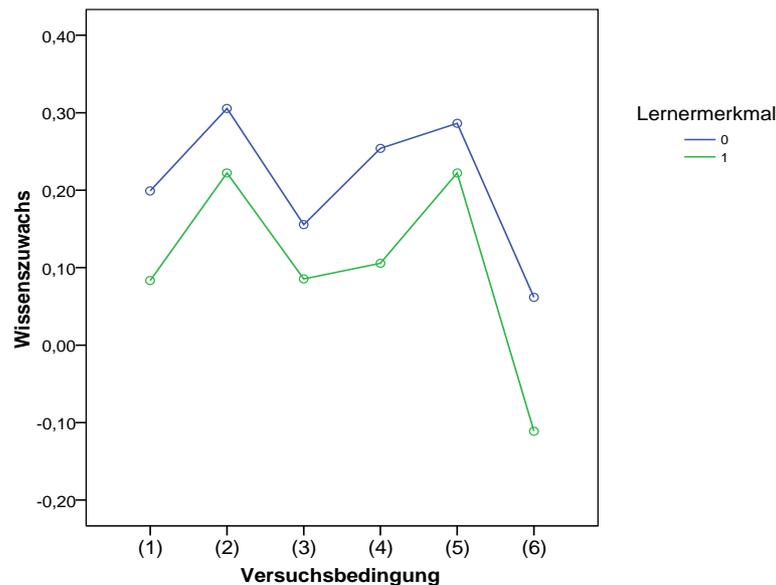


Abbildung 4.48: Wissenszuwächse im ersten Nachttest. Lernermerkmal: 0: geringes Vorwissen, 1: hohes Vorwissen.

Ebenso erreichte im zweiten Nachttest kein Teilnehmer die theoretisch maximal erreichbare Summenscore. Durch eine 2-faktorielle ANOVA können keine signifikanten Haupteffekte für die unabhängige Variable „Vorwissen“ und dem Wissenszuwachs im zweiten Nachttest gezeigt werden,  $F(1, 122) = 2.35$ ;  $p = .13$ , ns. Die deskriptive Statistik zeigt jedoch Tendenzen, dass sich Lernende mit geringem Vorwissen vergleichsweise stärker verbessern als Lernende mit hohem Vorwissen (vgl. Tabelle 4.60 und Abbildung 4.49). Die größten Wissenszuwächse zeigen Lernende der Untersuchungsbedingungen (2), (3) und (5). Die negative Korrelation zwischen Vorwissen und Wissenszuwachs ist nicht signifikant,  $r = -.14$ ;  $p = ns$ .

Tabelle 4.60: Wissenszuwachs zwischen Vortest und zweitem Nachttest in den durch Mediansplit geteilten Gruppen nach Einsatz der instruktionalen Maßnahmen. Deskriptive Statistik ( $N = 124$ ).

Lernermerkmal	$M$	$SD$	$n$
geringes Vorwissen	.17	.02	76
hohes Vorwissen	.11	.03	48

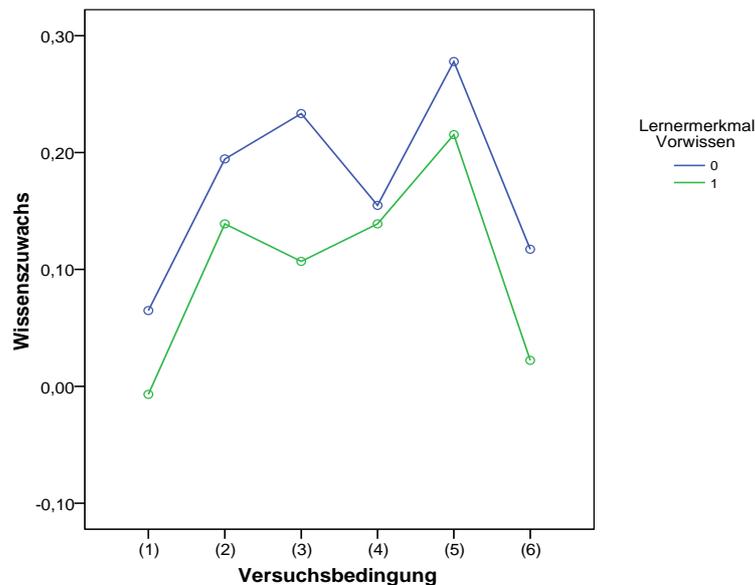


Abbildung 4.49: Wissenszuwächse im zweiten Nachtest. Lernermerkmal: 0: geringes Vorwissen, 1: hohes Vorwissen.

**Hypothese 6** wird bestätigt, da sich Lernende mit geringem themenspezifischen Vorwissen im ersten Nachtest signifikant stärker verbessern als Lernende mit einem vergleichsweise hohen Vorwissen. Im zweiten Nachtest kann eine ähnliche Tendenz festgestellt, aber nicht statistisch abgesichert werden.

#### 4.7.8 Hypothese 7

Diese Hypothese berücksichtigt das Lernermerkmal der subjektiv eingeschätzten Computerkompetenz beim Wissenserwerb mit der computergestützten Lernumgebung und den ausgewählten instruktionalen Maßnahmen.

*Hypothese 7: Bei geringer Computerkompetenz wird trotz der instruktionalen Maßnahmen wenig Wissen mit den Computersimulationen erworben.*

Durch den Test zur Einschätzung der eigenen Computerkompetenz gaben 99% aller antwortenden Teilnehmer an, außerhalb der Schule einen Computer zu benutzen. 98% besitzen entweder einen eigenen Computer oder können einen Computer mitbenutzen. Insgesamt verbringen 68% der Teilnehmer mehr als fünf Stunden wöchentlich vor dem Computer. Bei dieser Hypothese werden die Teilnehmer berücksichtigt, die sich durch einen Mediansplit der Gruppe mit vergleichsweise geringer Computerkompetenz zuordnen ließen ( $n = 60$ ). Der durch eine 7-stufige Likert-Skala ermittelte Median liegt bei 5.60. Es konnte ein signifikanter Haupteffekt für Messzeitpunkt,  $F(1, 54) = 57.76, p < .001, \eta^2 = .52$  sowie ein signifikanter Interaktionseffekt für Messzeitpunkt und Untersuchungsbedingung,  $F(5, 54) = 4.16, p < .01, \eta^2 = .28$  nachgewiesen werden. Bei Betrachtung der Mittelwerte zeigt sich, dass sich der Interaktionseffekt der Untersuchungsbedingung (6) zuordnen lässt. Teilnehmer dieser

Untersuchungsbedingung mit vergleichsweise geringer Computerkompetenz weisen im ersten Nachtest keinen Wissenszuwachs auf (vgl. Abbildung 4.50).

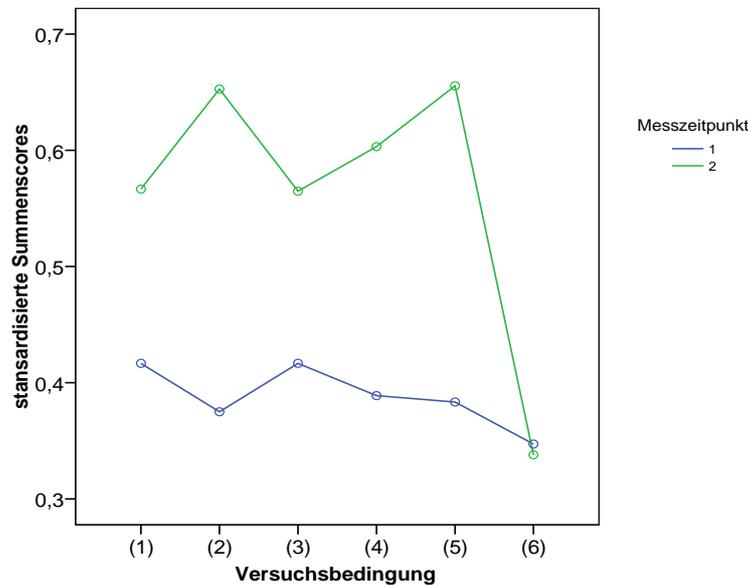


Abbildung 4.50: Erreichte Summenscores in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests von Teilnehmern mit *geringer Computerkompetenz*. Messzeitpunkt 1: Vortest, Messzeitpunkt 2: erster Nachtest.

Eine 2-faktorielle ANOVA mit dem durch Mediansplit geteilten Datensatz zwischen Versuchspersonen mit hoher und geringer Computerkompetenz als unabhängige Variable und dem Wissenszuwachs als abhängige Variable, zeigt einen signifikanten Effekt für die Untersuchungsbedingung,  $F(5, 106) = 5.66, p < .001, \eta^2 = .21$ . Es lässt sich keine signifikante Interaktion nachweisen. Abbildung 4.51 zeigt, dass der Wissenszuwachs in den Untersuchungsbedingungen (2) und (5), deren Teilnehmer entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, vergleichsweise am größten ist, während die Lernenden mit geringer Computerkompetenz der Untersuchungsbedingung (6) den geringsten Wissenszuwachs aufweisen. Generell lässt sich kein Einfluss der wahrgenommenen Computerkompetenz auf einen Wissenszuwachs nachweisen,  $r = .01, ns$ .

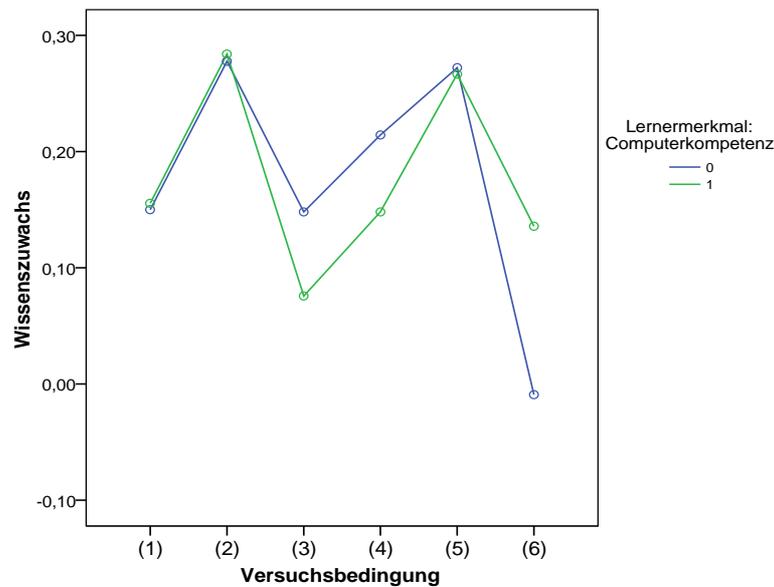


Abbildung 4.51: Wissenszuwachs bei den Teilnehmern in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Lernermerkmal Computerkompetenz: 0: geringe Computerkompetenz ( $n = 60$ ), 1: hohe Computerkompetenz ( $n = 58$ ).

**Hypothese 7** wird nicht bestätigt, da Lernende mit geringer wie auch mit hoher Computerkompetenz, mit Ausnahme der Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6), die ihr Simulationsergebnis beschreiben, biologisch interpretieren und zusätzlich reflektieren sollten, signifikant im ersten Nachtest hinzulernen. Die Computerkompetenz zeigt keinen signifikanten Effekt auf einen Wissenszuwachs.

#### 4.7.9 Hypothese 8

Mit dieser Hypothese soll geklärt werden, ob die subjektiv eingeschätzte Fähigkeit zur Selbstregulation Einfluss auf den Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen hat.

Hypothese 8: *Bei geringen Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen wird trotz der instruktionalen Maßnahmen wenig Wissen mit den Computersimulationen erworben.*

Mittels 2-faktorieller ANOVA mit dem durch Mediansplit (Median bei 4.53) geteilten Datensatz zwischen Versuchspersonen mit hoher und geringer Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen als unabhängige Variable und dem Wissenszuwachs als abhängige Variable, zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für die Untersuchungsbedingung,  $F(5, 103) = 6.38, p < .001, \eta^2 = .24$ . Es lässt sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Untersuchungsbedingung und den durch einen Mediansplit geteilten Gruppen nachweisen,  $F(5, 103) = .89, ns$ . Generell weisen alle Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (1) bis (5) einen Wissenszuwachs auf. Bei den durch einen Mediansplit geteilten Gruppen lassen sich die größten Wissenszuwächse bei den Teilnehmern der Untersuchungsbedingungen (2) und (5) identifizieren. Die geringsten Wissenszuwächse zeigen Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) (vgl. Abbildung 4.52). Es zeigen sich keine signifikanten

Unterschiede bezüglich des Wissenserwerbs zwischen Lernenden mit niedriger oder hoher wahrgenommener Fähigkeit zur Selbstregulation. Zwischen der Fähigkeit zur Selbstregulation und dem Wissenszuwachs zeigt sich keine signifikante Korrelation,  $r = .147$ , ns.

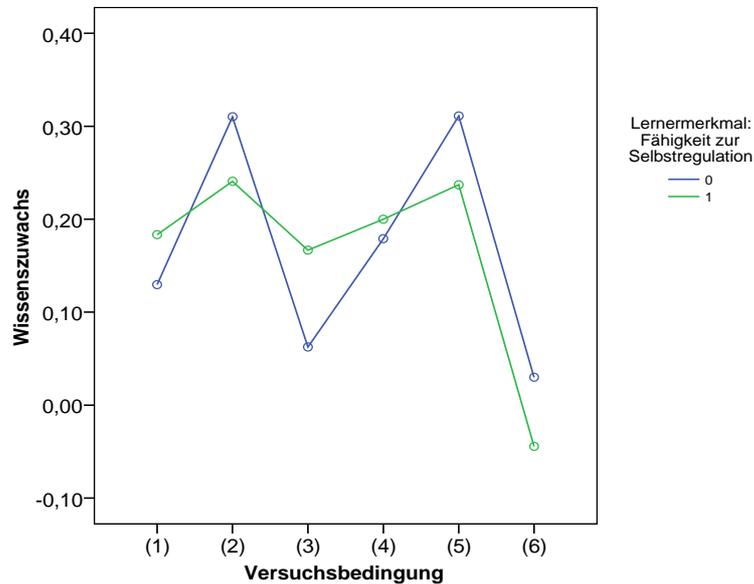


Abbildung 4.52: Wissenszuwachs bei den Teilnehmern in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Lernermerkmal Fähigkeit zur Selbstregulation: 0: geringe wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation ( $n = 56$ ), 1: hohe wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation ( $n = 59$ ).

**Hypothese 8** wird zurückgewiesen, da Lernende mit einer vergleichsweise geringen Fähigkeit zur Selbstregulation ähnlich viel Wissen hinzugewinnen wie Teilnehmer mit einer hohen Fähigkeit zur Selbstregulation. Den größten Wissenszuwachs erreichen Teilnehmer mit geringer Fähigkeit zur Selbstregulation der Untersuchungsbedingungen (2) und (5). Die vergleichsweise geringsten Wissenszuwächse erreichen Teilnehmer der Kontrollgruppe (1) und Lernende, die entweder eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation (Untersuchungsbedingung (3)) bzw. eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und zusätzlich eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten (Untersuchungsbedingung (6)). Eine geringe Fähigkeit zur Selbstregulation führt trotz instruktionaler Maßnahmen nicht zwangsläufig zu einem vergleichsweise geringeren Wissenszuwachs.

## 5 Diskussion

Die bekannten Defizite deutscher Schüler beim Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (Baumert et al., 1997) gaben Anlass zur Durchführung einer Studie, in der unterstützende Maßnahmen für einen effektiven Wissenserwerb entwickelt und getestet wurden. Unter Berücksichtigung mediengestützter Technologien und Möglichkeiten zum Wissenserwerb im Biologieunterricht wurde für diese Studie eine Lehr-Lern-Methode gewählt, mit der sich die Lernenden achter Realschulklassen selbständig domänenspezifisches Wissen auf der Basis simulierter Experimente in einer computergestützten Lernumgebung erarbeiten sollten. Hinsichtlich des Lernens mit Computersimulationen sind mehrere Problembereiche bereits identifiziert. In dieser Studie wurden die Problembereiche Dateninterpretation und Selbstregulation beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie in den Blick genommen. Entsprechende instruktionale Maßnahmen zur Unterstützung dieser genannten Bereiche wurden ausgewählt, entwickelt und getestet.

Zunächst wird in diesem Kapitel kurz auf die didaktische Fragestellung und den Hintergrund der vorliegenden Forschungsarbeit eingegangen, bevor anschließend einige methodenkritische Anmerkungen und die Ergebnisse der Studie diskutiert werden. Abschließend werden praxisrelevante Aspekte genannt, die aus den Ergebnissen resultieren und als wichtig für einen zukünftigen Schuleinsatz erachtet werden.

### 5.1 Untersuchungsgrundlagen

Erkenntnisgewinnung durch Experimentieren gilt als ein Kompetenzbereich des Faches Biologie (KMK, 2005). Die Durchführung realer Experimente im Themenbereich Ökologie ist oftmals schwer realisierbar, da ökologische Strukturen und Prozesse meist durch eine hohe Komplexität und Dynamik geprägt sind, die Vermittlung und Verständnis erschweren. In diesem Zusammenhang ergibt sich einerseits die biologiedidaktische Frage, wie man ökologisch-dynamische Prozesse z.B. in Form eines Modells für die Lernenden möglichst optimiert darstellen kann und andererseits, wie man den Wissenserwerb bei der Auswahl einer bestimmten Vermittlungsmethode effektiv fördern kann. Die Lernenden sollten dabei möglichst nicht nur themenspezifische Fakten, sondern auch ein Verständnis über die gegebenen Zusammenhänge und Konzepte erlangen. Abhängig von der Art des Modells können sich Lernende darüber hinaus auch prozedurales Wissen im Umgang mit dem gegebenen Modell und Grundlagen wissenschaftlichen Arbeitens aneignen. Ein tieferes Verständnis über die gegebene Thematik ermöglicht es den Lernenden, ihr Wissen mit bereits bestehendem Vorwissen verknüpfen zu können und es somit in neuen Situationen sinnvoll und gewissenhaft anwenden zu können (vgl. Baumert et al., 2001).

Der Erkenntnisgewinn mittels der Durchführung von Experimenten anhand einer modellhaften Computersimulation kann einen entsprechenden Ansatz zur Vermittlung und zum Verständnis ökologischer Strukturen und Prozesse bieten (vgl. Abschnitt 2.3.1). Der Erkenntnisgewinn setzt weiterhin die Interpretation von Daten und anschließendes Schlussfolgern voraus. Dem Einsatz von Computersimulationen als Lehr-Lernmethode im Biologieunterricht werden zahlreiche Vorteile zugeschrieben (vgl. Abschnitt 2.3.1).

Allerdings gibt es Hinweise darauf, dass ein effektiver Wissenserwerb nur ermöglicht wird, wenn das Lernen durch instruktionale Maßnahmen, wie z.B. zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation, zusätzlich unterstützt wird (vgl. Abschnitt 2.4). Das Lernen ohne den Lernprozess unterstützende Maßnahmen erweist sich zahlreicher Studien zufolge als wenig effektiv für einen Wissenserwerb. Lernende benötigen daher Maßnahmen der instruktionalen Unterstützung, um sich effektiv neue Wissensinhalte selbständig aneignen zu können. Aus diesem Grunde wurden konkrete instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation ausgewählt, entwickelt und in einer Studie mit Lernenden der achten Realschulstufe in Schulklassen getestet. Um das Lernen mit der computergestützten Lernumgebung durch die zu testenden instruktionalen Maßnahmen zu verbessern, wurde ein gewässerökologisches Computerprogramm mit einer Computersimulation zur Räuber-Beute-Beziehung zwischen den zwei in Mitteleuropa einheimischen Fischarten „Rotfeder“ und „Hecht“ entwickelt (vgl. Abschnitt 3.6.1).

## 5.2 Methodenkritische Anmerkungen

In diesem Abschnitt werden einige methodische Aspekte diskutiert, die Einfluss auf die Ergebnisse haben könnten.

### Stichprobengröße

124 Lernende, die auf sechs verschiedene Untersuchungsbedingungen verteilt waren, nahmen an der empirischen Studie teil. Die doppelstündigen Interventionszeitpunkte erforderten eine Koordination mit dem zuständigen Lehrpersonal, dass pro Schultag nur eine Intervention in einer Schulklasse durchgeführt wurde, da die durch die Computerprogramme erstellten Log-Dateien nach einer durchgeführten Intervention zunächst für eine anschließende Auswertung gesichert werden mussten. Bei einer zweiten Intervention an einem Tag ohne die zwischenzeitliche und zeitaufwendige Sicherung der Log-Dateien wären die bestehenden Datensätze überschrieben worden und hätten dementsprechend nicht ausgewertet werden können. Eine größere Stichprobe hätte aus Gründen statistisch vergleichbarer Teilnehmerzahlen in den Untersuchungsbedingungen eine Verdoppelung der Schulklassen auf insgesamt 12 vorausgesetzt, was in insgesamt 24 Interventionszeitpunkten resultiert wäre, die sich im gegebenen Zeitraum nicht koordinieren ließen. Da diese Arbeit im Rahmen eines DFG-Projekts angefertigt wurde und somit ein zeitlicher Rahmen vorgegeben war, wurde aus diesem Grunde auf eine Stichprobenerweiterung in dem darauf folgenden Schulhalbjahr nach sechswöchigen Schulferien verzichtet.

### Studiendurchführung und Forschungsdesign

Die Interventionen wurden in den partizipierenden Schulklassen während der regulären Unterrichtszeit durchgeführt. Die Durchführung dieser Studie in Form einer Feldstudie zeigt im Vergleich zu einer Laborstudie praxisrelevante Vorteile. Das in der Studie eingesetzte Material, wie die computergestützte Lernumgebung, die instruktionalen Maßnahmen zur

Dateninterpretation und zur Selbstregulation sowie die zu bearbeitenden Arbeitsaufträge und der zeitliche Ablauf einer Intervention wurden unter realen Bedingungen getestet. Die Untersuchungsergebnisse erhalten durch diesen Umstand eine hohe externe Validität (Bortz & Döring, 2006). Des Weiteren erhalten die durch die Studie gewonnenen Erkenntnisse nicht nur einen theoretischen, sondern auch einen erheblichen praktischen Bezug zum Unterricht. Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt, der für die Durchführung einer Feldstudie im Vergleich zu einer Laborstudie spricht, betrifft die zeitliche Organisation der Datenerhebung. Die Durchführung einer Laborstudie in universitären Räumen hätte pro Schulklasse zwei Schultage in Anspruch genommen, was seitens des Lehrpersonals nicht vertretbar gewesen wäre. Die Durchführung einer Feldstudie erforderte lediglich zweimal eine Schuldoppelstunde.

Die ausgewählte Klassenstufe bot für die Studiendurchführung einige Herausforderungen. Im Vergleich zu beispielsweise Oberstufenschülern, die erwartungsgemäß konstruktiver mit unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen innerhalb eines Klassenverbandes umgehen, kann dies bei Lernenden der Mittelstufe nicht vorausgesetzt werden. Die Studie wurde daher mit einem quasiexperimentellen 3x2-faktoriellen Forschungsdesign durchgeführt. Auf ein experimentelles Forschungsdesign, in dem in einer Schulklasse alle sechs Untersuchungsbedingungen vertreten sind, wurde aus den im Folgenden aufgeführten Gründen verzichtet.

Projektbezogene Vorstudien mit allen sechs Untersuchungsbedingungen pro Schulklasse zeigten, dass die Lernenden der verschiedenen Bedingungen zusätzlich unterschiedliche Instruktionen des Versuchsleiters direkt vor und während der Intervention benötigen. Es ergaben sich in dieser Hinsicht Probleme, einige Lernende zusätzlich bei der Vorgehensweise in der Bearbeitung ihrer instruktionalen Maßnahmen unterstützend zu beraten, während weitere Lernende einer Schulklasse diese Unterstützung nicht erhalten sollten. Die unterstützende Beratung beinhaltete lediglich Anmerkungen im Umgang mit den instruktionalen Maßnahmen, die im jeweiligen Computerprogramm zwar bereits vorhanden waren, von einigen Teilnehmern jedoch nicht hinreichend gelesen wurden. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Vorstudien zeigen darüber hinaus, dass die Teilnehmer der verschiedenen Untersuchungsbedingungen unterschiedlich viel Zeit bei der Bearbeitung ihrer instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und/oder zur Selbstregulation benötigen. Aus den genannten Gründen wurde bei der Durchführung der Studie ein quasiexperimentelles Design verwendet, in dem die Zuordnung einer Schulklasse zu einer Untersuchungsbedingung erfolgte.

Die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation sollen den Lernprozess und einen Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen effektiv fördern. Um die Effektivität der instruktionalen Maßnahmen vergleichen zu können, war es daher von großer Wichtigkeit, dass jeder Lernende allein die computersimulierten Experimente durchführte und die zu testenden, ausgewählten instruktionalen Maßnahmen bearbeitete.

Ein Nachteil des quasiexperimentellen Designs ist das potenzielle Entstehen von Klasseneffekten. Aus u.a. diesem Grund wurde das Vorwissen der Lernenden im Vorfeld der Interventionen erhoben und in der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt. Hinsichtlich der Wissensarten unterscheidet sich lediglich das Faktenvorwissen signifikant in den sechs

Untersuchungsbedingungen. Der signifikante Effekt des vergleichsweise als gering anzusehenden Faktenvorwissens kann den Teilnehmern der Untersuchungsbedingung (6) zugeordnet werden. Gegen einen generellen Klasseneffekt, der die Teilnehmer dieser Untersuchungsbedingung als vergleichsweise leistungsschwache Lernende erscheinen lassen würde, spricht die Tatsache, dass sie in den weiteren Wissensarten kein signifikant geringeres Vorwissen im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsbedingungen aufweisen.

Da sich die Wissenszuwächse in allen Wissensarten bei den Teilnehmern der Untersuchungsbedingung (6) im Vergleich zu den übrigen Bedingungen gering halten, kann des Weiteren diskutiert werden, ob die Schulklasse der Untersuchungsbedingung (6) entweder aus Lernenden besteht, die durchschnittlich ein vergleichsweise geringes themenspezifisches Vorwissen haben oder ob der verhältnismäßig geringe Wissenszuwachs in den beiden Nachtests auf die bestimmte Kombination der instruktionalen Maßnahmen zurück zu führen ist. Stützende Hinweise für letzteres Argument zeigen die Ergebnisse des Testinstruments zur Erhebung der kognitiven Belastung. Da die Teilnehmer dieser Schulklasse ihre kognitive Belastung im Vergleich zu den Teilnehmern der übrigen Untersuchungsbedingungen höher einschätzen, liegt die Vermutung nahe, dass zwischen der vergleichsweise erhöhten kognitiven Belastung und dem geringen Wissenszuwachs in allen erhobenen Wissenskategorien ein kausaler Zusammenhang besteht. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass sich die subjektiv eingeschätzte kognitive Belastung der Untersuchungsbedingung (6) noch im mittleren Bereich der Likert-Skala befindet; im Vergleich zu den übrigen fünf Bedingungen ist sie jedoch als überdurchschnittlich hoch zu betrachten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Untersuchungsbedingung (6) als kritisch betrachtet werden sollte. Für diese Untersuchungsbedingung können Klasseneffekte zwar nicht nachgewiesen werden, sie können dennoch nicht ausgeschlossen werden und sind aus diesem Grund kritisch zu hinterfragen. Dies sollte bei der Diskussion der Hypothesen mit berücksichtigt werden.

### **Weitere den Lernerfolg beeinflussende Variablen**

Zu berücksichtigen ist eine anzunehmende kognitive Belastung, die von der Bearbeitung der Testinstrumente, den Arbeitsaufträgen und den instruktionalen Maßnahmen bei den Lernenden eventuell selbst induziert wurde. Während jeder Intervention waren die Lernenden angewiesen, einen Papier-und-Bleistift-Wissenstest mit insgesamt 21 Items zu beantworten, vier verschiedene Arbeitsaufträge mit der Computersimulation zu bearbeiten, zu Beginn und nach dem computergestützten Lernen den Test zur Erhebung des intuitiven Wissens auszuführen, einen Test zur subjektiven Einschätzung der kognitiven Belastung und zur subjektiv eingeschätzten Fähigkeit des selbstregulierten Lernens auszufüllen. Unter Berücksichtigung der Vielzahl an Material, das von den Lernenden bearbeitet wurde, kann angenommen werden, dass dadurch die Effektivität der zu testenden, instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation eventuell eingeschränkt wurde. Es ist im Hinblick auf den Lernerfolg mit dem Computerprogramm „*SimBioSee*“ zu nennen, dass das gewählte Thema „Ökologie“ im Allgemeinen bzw. „Gewässerökologie“ im Speziellen, vor den Interventionen kein Bestandteil im Unterricht der Schulklassen war. Es kann daher auch vermutet werden, dass das Erarbeiten biologischer Konzepte, Prinzipien und

Begriffe eines neuen Themengebietes mittels der Durchführung computersimulierter Experimente in relativ kurzer Zeit zu einer intrinsischen, kognitiven Belastung (Sweller, 1998) geführt haben könnte und dies in entsprechend eingeschränkten Lernerfolgen resultieren kann. Die Art und Weise, die gegebenen biologischen Inhalte mit Hilfe einer computergestützten Lernumgebung und computersimulierter Experimente selbstreguliert im Biologieunterricht zu erarbeiten war darüber hinaus für die Teilnehmer neu. Dieses könnten weitere Gründe sein, warum lediglich eine so geringe Anzahl Lernender alle Items des Wissenstests korrekt beantwortet hat.

### **Einfluss von Lernermerkmalen**

Der Lernerfolg durch das selbständige Erarbeiten naturwissenschaftlicher Konzepte, Prinzipien und Begriffe mit Hilfe von Computersimulationen ist u.a. abhängig vom Vorwissen sowie den Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden im Umgang mit dem Computer. Aus diesem Grund wurden neben dem themenspezifischen Vorwissen auch die subjektiv eingeschätzte Computerkompetenz sowie die subjektiv eingeschätzte Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen eines jeden Lernenden mit erhoben. Die genannten Lernerkmale in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation werden insbesondere in den Hypothesen 6 bis 8 diskutiert.

### **Trennung der Wissensarten des Papier-und-Bleistift-Tests**

Die Items eines Wissenstest, die eine unterschiedliche Aufgabenschwierigkeit aufweisen, können im Vergleich zu Testinstrumenten zur Erhebung psychischer Konstrukte mit meist gleichen Schwierigkeitsindizes der Items als nicht homogen betrachtet werden (Lienert & Raatz, 1994). Bei der Auswahl der Testitems des Wissenstests und der entsprechenden themenspezifischen Inhalte des Computerprogramms wurde berücksichtigt, dass die Lernenden keine schulisch vermittelten Vorkenntnisse im Hinblick auf das ökologische Thema hatten. Der domänenspezifische Inhalt der Items wurde streng an die Inhalte der Lernumgebung angepasst, so dass sich alle Items mit Hilfe des Computerprogramms und der Computersimulation (vgl. Abschnitt 3.6.1) korrekt beantworten ließen. Um alle zu erhebenden Wissenskategorien durch die Formulierung ausgewählter Items abdecken zu können, wurde bei der Itemkonstruktion darauf geachtet, dass der Inhalt jedes Items der Definition einer Wissenskategorie entspricht (vgl. Abschnitt 2.7) und mit Hilfe des Computerprogramms und/oder der Durchführung der computersimulierten Experimente gelöst werden konnte.

Es wurde Wissen durch unterschiedliche Items erhoben, das sich theoriegeleitet in verschiedene Wissenskategorien unterteilen lässt. Die Unterscheidung dieser Wissenskategorien ließ sich jedoch weder durch eine explorative, noch mittels einer konfirmatorischen Faktorenanalyse mit der Anzahl der Wissensarten entsprechenden voreingestellten Faktoren trennscharf darstellen (vgl. Abschnitt 3.8.4). Es wurden daher die Subskalen Faktenwissen, konzeptuelles Wissen und prozedurales Wissen gemäß des Inhalts der Items theoriegeleitet aufgrund der in Abschnitt 2.7 dargestellten Definitionen der Wissensarten zusammengestellt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass durch das

Lernen mit einer Computersimulation Wissen der verschiedenen, genannten Kategorien vermittelt wird (Mandl & Spada, 1988; Tennyson & Breuer, 2002; White & Frederiksen, 1998; White & Frederiksen, 2000; Zhang et al., 2004). Es werden einerseits die Ergebnisse der theoriegeleiteten Subskalen und andererseits die Ergebnisse der Gesamtskala diskutiert. Es wurden daher zusätzlich die Ergebnisse einer Skala errechnet, die das zu erhebende Gesamtkonstrukt „Wissen“ berücksichtigt. Gegenwärtig liegen keine empirischen Forschungsergebnisse zur trennscharfen Darstellung der genannten Wissensarten vor.

Dass sich die Wissensarten faktorenanalytisch nicht trennen lassen, kann verschiedene Gründe haben. Die Kognitionsforschung definiert verschiedene Wissensarten nach den unterschiedlichsten Kriterien (Tulving, 1985). Eine häufig verwendete Kategorisierung der Wissensarten ist eine inhaltlich-prozessuale, die das Wissen in die Bereiche *deklarativ* und *prozessual* unterteilt und der Terminologie *deklarativ* und *prozedural* folgt (Anderson, 1996; Anderson & Krathwohl, 2001; Kerres, 1998; Tulving, 1985). Anderson und Krathwohl (2001) schreiben dem deklarativen Wissen das Faktenwissen und das konzeptuelle Wissen zu. Faktenwissen gilt dabei als grundsätzliches Element konzeptuellen Wissens. Hinsichtlich der Fakten beschreiben sie diese Wissensart als voneinander isolierten Informationseinheiten (*bits of information*), während konzeptuelles Wissen eine komplexere und organisierte Form dieser Informationseinheiten darstellt. Shavelson, Ruiz-Primo und Wiley (2005) bezeichnen deklaratives Wissen als *propositionales Wissen*. Dieses Wissen umfasst Faktenwissen und konzeptuelles Wissen.

Byrnes und Wasik (1991) unterscheiden zwar prozedurales Wissen von konzeptuellem Wissen, die jedoch nicht als einander ausschließend betrachtet werden dürfen. Sie betonen, dass mit zunehmend erlangtem konzeptuellem Wissen in der mathematischen Domäne einhergehend entsprechende mathematische Prozeduren zu erfolgreichen Ergebnissen führen. Bei weniger vorhandenem konzeptuellem Wissen werden die Prozeduren weniger korrekt ausgeführt. Konzeptuelles Wissen bildet somit die Basis für eine erfolgreiche, korrekte Lösung von Prozeduren. Rittle-Johnson et al. (2001) argumentieren ähnlich, dass prozedurales Wissen und konzeptuelles Wissen nicht als separate Wissenskategorien, sondern als Kontinuum zu betrachten sind. Sie beschreiben diese beiden Wissensarten in ihrem „iterativen Modell für die Entwicklung konzeptuellen und prozeduralen Wissens“ als einander iterativ beeinflussende Kategorien. Bei einer Zunahme der einen Wissensart erfolgt daraufhin der Zuwachs der anderen, die wiederum erstere beeinflusst. Diese gegenseitige und signifikante Korrelation von prozeduralem und konzeptuellem Wissen in den beiden Nachtests kann durch die Ergebnisse von Korrelationsanalysen zwischen prozeduralem und konzeptuellem Wissen in der Studie dieser Arbeit bestätigt werden (vgl. Abschnitt 4.4.1).

Die beschriebenen Erkenntnisse verdeutlichen, dass die theoretisch nach ihrem Inhalt trennbaren Wissensarten schwer als separate Einheiten betrachtet werden können, sondern in einander übergehen. Die Argumentationen bilden Erklärungsansätze, warum sich die erhobenen Wissensarten in der Studie dieser Arbeit faktorenanalytisch nicht trennscharf voneinander darstellen lassen.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

### 5.3.1 Effekte durch das Computerprogramm „*SimBioSee*“

Unabhängig von den ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation können die Effekte auf einen Wissenserwerb bei den Teilnehmern auch auf das Computerprogramm „*SimBioSee*“ zurückgeführt werden. Dieses zeigt ein Vergleich der Ergebnisse einer Untersuchungsbedingung, die den Nachtest ohne Intervention mit dem Programm bearbeitete (Untersuchungsbedingung (7)) mit den Untersuchungsbedingungen, die an einer Intervention teilnahmen (Untersuchungsbedingungen (1) bis (6), (vgl. Abschnitt 4.5). Selbst im Vergleich der Untersuchungsbedingung (7) mit der Untersuchungsbedingung (1), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und/oder zur Selbstregulation erhielten, zeigen sich signifikante Unterschiede im Wissenserwerb: Die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (7) zeigen in allen Wissenskategorien geringere Wissenszuwächse im Nachtest als die Lernenden der Untersuchungsbedingung (1). Dies lässt die Aussage zu, dass die Intervention mit der Lernumgebung „*SimBioSee*“ zu einem höheren Wissenszuwachs in den verschiedenen Wissenskategorien führt, als wenn die Intervention mit dem Computerprogramm ausbleibt.

### 5.3.2 Effekte durch die konkreten Arbeitsaufträge

Um die Aufmerksamkeit der Lernenden auf die themenspezifischen, biologischen Inhalte fokussieren zu können, wurden konkrete Arbeitsaufträge zur Bearbeitung eingesetzt (vgl. Abschnitt 2.4.1). Mit Hilfe dieser unterstützenden Maßnahme wurden die Lernenden direkt aufgefordert, Arbeitsaufträge zu bearbeiten. Es sollte dadurch vermieden werden, dass sich z.B. eher oberflächliche Aufforderungen in den Arbeitsaufträgen als wenig effektiv erweisen. Alle Arbeitsaufträge wurden bewusst nach einem gleichen Schema aufgebaut (vgl. Abschnitt 3.6.2), so dass sich die Lernenden nicht bei jeder neuen Aufgabe zunächst mit der Aufgabenstruktur kognitiv auseinander setzen mussten, sondern sich gleich auf deren Inhalt konzentrieren konnten. Diese Form des für alle Arbeitsaufträge geltenden, gleichen Schemas sollte die Lernenden daher kognitiv entlasten. Der zu dem Wissenszuwachs in den Untersuchungsbedingungen (2) bis (6) vergleichbar hohe Lernerfolg besonders im konzeptuellen Wissen im ersten Nachtest der Untersuchungsbedingung (1), deren Teilnehmer keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erhielten, kann u.U. auf die gut strukturierten Arbeitsaufträge zurück geführt werden. Bis auf eine Unterstützung durch eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation bearbeiteten auch die Lernenden der Untersuchungsbedingung (1) die gleichen Arbeitsaufträge. Einen Erklärungsansatz für den vergleichbar hohen Wissenszuwachs von Teilnehmern der Untersuchungsbedingung (1) bietet die Diskussion der Ergebnisse für Hypothese 3.

### 5.3.3 Effekte durch die instruktionalen Maßnahmen

Im Folgenden werden die Hypothesen hinsichtlich der Effekte der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf den Wissenserwerb diskutiert. Aufgrund des komplexen Forschungsdesigns werden an einigen Stellen die zu diskutierenden Ergebnisse noch einmal kurz dargestellt.

#### **Hypothese 1**

##### ***Faktenwissen***

Generell erweist sich der Einsatz einer Selbstregulationshilfe für einen Faktenwissenszuwachs als effektiv. Eine Ausnahme zeigen Ergebnisse der Untersuchungsbedingung (6). Ebenso effektiv erweist sich der Einsatz nur einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Ergebnis zu beschreiben und zu interpretieren. Die Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses wirkt sich vergleichbar effektiv einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation auf einen Faktenwissenserwerb aus. Die Kombination der instruktionalen Maßnahmen, das Simulationsergebnis vom Computerprogramm zu erhalten und über die Ergebnisse zu reflektieren, wirkt sich im Vergleich zu den anderen Untersuchungsbedingungen effektiv auf den Faktenwissenserwerb aus. Die höchsten Faktenwissenszuwächse zeigen Teilnehmer, die das Simulationsergebnis erhalten haben und zusätzlich reflektieren sollten. Obwohl diese Teilnehmer bereits im Vortest das vergleichbar höchste Faktenwissen aufweisen, konnte dieses über die Nachtests noch gesteigert werden. Eine bestimmte Kombination instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erweist sich als wenig effektiv auf die Aneignung von Faktenwissen.

Lernen setzt die Auswahl relevanter Informationen, die Organisierung dieser Information in kohärente Repräsentationen und Integration dieser Repräsentationen in bestehendes Wissen voraus (vgl. Mayer, 2001). Es ist wahrscheinlich, dass durch die Vorgabe des korrekten Simulationsergebnisses der kognitive Prozess der Auswahl der zum Verständnis beitragenden relevanten Informationen erleichtert werden kann (Moreno & Mayer, 2005). Der vergleichsweise hohe Faktenwissenszuwachs bei Teilnehmern, die ein Simulationsergebnis erhalten haben, kann dabei aufgrund einer kognitiven Entlastung durch Erleichterung mittels dieser instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation zurückgeführt werden. Es kann daher ein kausaler Zusammenhang zwischen den vorgegebenen Simulationsergebnissen, einer kognitiven Entlastung durch diese instruktionale Maßnahme und einem daraus resultierenden hohen Faktenwissenszuwachs bestehen.

##### ***Konzeptuelles Wissen***

Der Erwerb themenspezifischen, konzeptuellen Wissens wird durch den Einsatz entweder nur einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation effektiv gefördert. In diesem Zusammenhang erweist sich die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Ergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, als effektive Unterstützung für einen Wissenserwerb. Es zeigt sich, dass ein generelles Ausbleiben der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation für einen konzeptuellen Wissenserwerb als nachteilig erweist. Der

signifikante Interaktionseffekt, bestehend aus einer Kombination einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erweist sich auf einen konzeptuellen Wissenszuwachs als wenig effektiv.

Durch die selbständige Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses ist der Lernende gefordert, sich eingehender mit dem themenspezifischen Inhalt auseinander zu setzen. Durch die Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses können somit bei den Lernenden Selbsterklärungen induziert werden (Chi et al., 1994; Tajika et al., 2007), die zu einem Tiefenverständnis über die gegebenen Wissensinhalte führen können. Durch diesen aktiv konstruierenden Wissensprozess können Lernende ihre Lernleistung und das Verständnis über neue Wissensinhalte erhöhen, indem die neuen Informationen in bereits bestehende Wissensstrukturen integriert werden (vgl. dazu auch Abschnitt 5.4).

### ***Prozedurales Wissen***

Generell erweisen sich für die Aneignung prozeduralen Wissens die selbständige sowie vorgegebene Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation ohne zusätzliche Aufforderung zur Reflexion als effektiv. Diese unterstützenden Maßnahmen erfordern eine kognitive Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Simulationsergebnis. In diesem Zusammenhang erweist sich die selbständige Beschreibung und Interpretation des Ergebnisses als besonders effektiv auf einen prozeduralen Wissenserwerb. Die Aufforderung zur Reflexion erweist sich hingegen als wenig effektiv für die Aneignung prozeduralen Wissens. Das Ausbleiben der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation sowie eine bestimmte Kombination beider Maßnahmen erweisen sich als wenig effektiv auf einen prozeduralen Wissenserwerb.

Ein Grund für die geringe Effektivität der Reflexion kann sein, dass die Lernenden mehr ergebnisorientiert auf die Bearbeitung der Arbeitsaufträge fokussiert waren als weniger auf den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung mittels der Durchführung computersimulierter Experimente nach dem *Inquiry Cycle*. Dieser Effekt einer stark ergebnisorientierten Fokussierung der Lernenden wird bei der Diskussion der Hypothese 3 noch näher beschrieben.

### ***Intuitives Wissen***

Für die Aneignung intuitiven Wissens zeigen die Studienergebnisse, dass die Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses eine effektive instruktionale Maßnahme darstellt. Ebenso effektiv ist eine instruktionale Maßnahmenkombination aus vorgegebenem Simulationsergebnis sowie zusätzlicher Reflexion. Eine bestimmte Maßnahmenkombination erweist sich hingegen als wenig effektiv für den intuitiven Wissenserwerb.

Die Lernenden der Untersuchungsbedingung (4) waren gefordert, sich mindestens zweimal mit dem Simulationsergebnis einer Aufgabe zu befassen. Neben dem Befassen mit dem eigenen Simulationsergebnis nach der Durchführung der Experimente, erhielten die Lernenden zusätzlich die Möglichkeit, das korrekte Simulationsergebnis durch das Computerprogramm zu erhalten. Da zur Aneignung intuitiven Wissens die Darstellungsform

des themenspezifischen Inhaltes und der Items des „*Schnelltests*“ eine entscheidende Rolle spielt (Fischbein, 1987; Swaak & de Jong, 2001), wurden überwiegend Items verwendet, die Grafiken von Simulationsergebnissen enthalten. Diese Grafiken sind vereinfachte und im Format verkleinerte Diagramme von Ergebnissen der Computersimulation (vgl. Abschnitt 3.6.6). Es kann ein kausaler Zusammenhang zwischen der mehrfachen, kognitiven Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Simulationsergebnis und der effektiven Aneignung intuitiven Wissens bestehen. Durch die vorgegebene Auswahl an relevanten Informationen wie die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm kann der kognitive Prozess der Informationsauswahl bei den Lernenden erleichtert werden (vgl. dazu auch Hypothese 1 „*Faktenwissen*“ und Hypothese 5a). Es wird angenommen, dass sich die piktorale Darstellungsform der Simulationsergebnisse und die mehrfache Auseinandersetzung mit den Simulationsergebnissen positiv auf die Aneignung intuitiven Wissens auswirken können.

### *Latenzzeit*

Die Latenzzeit kann als ein Maß angesehen werden, inwieweit die Antwortgabe intuitiv erfolgt. Schnelle und korrekte Antwortgaben spiegeln intuitives Wissen vermutlich besser wider als langsam gegebene und korrekte Antworten (Swaak & de Jong, 2001) (vgl. Abschnitt 2.7.5). Die Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen, die eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, erreichen im ersten Nachtest im Vergleich zu den Probanden der übrigen Untersuchungsbedingungen kürzere Latenzzeiten. Hinsichtlich der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vorgegeben zu bekommen, scheint es in der ersten Intervention unerheblich für die Länge der Latenzzeiten zu sein, ob die Lernenden eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhalten oder nicht.

Für die Untersuchungsbedingung (6) kann in Betracht gezogen werden, dass durch die bestimmte Kombination der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation deren Teilnehmer einen Motivationsverlust erfahren haben. Die Kombination aus dem Beschreiben und Interpretieren des eigenen Simulationsergebnisses mit zusätzlicher Reflexion erforderte von den Lernenden im Vergleich zu den Teilnehmern der verbleibenden Untersuchungsbedingungen eine intensivere Auseinandersetzung mit dem eigenen Simulationsergebnis und der Reflexion über die eigenen Arbeitsweisen. Es kann aufgrund dessen wahrscheinlich sein, dass die Bearbeitung des „*Schnelltests*“ von den Lernenden im Nachtest mit weniger Motivation erfolgte, möglichst viele Items korrekt zu beantworten und die Lernenden eher darauf fokussiert waren, den Test möglichst schnell zu Lasten korrekt gegebener Antworten zu bearbeiten, was zu entsprechend kürzeren Latenzzeiten führte. Dieses Argument lässt sich zusätzlich stützen anhand der geringen korrekten Antworten: Lernende der Untersuchungsbedingung (6) zeigen neben den vergleichsweise geringsten Latenzzeiten auch die geringste Zahl an korrekt beantworteten Items im ersten Nachtest.

Die geringste Anzahl korrekt beantworteter Items und die längsten Latenzzeiten zeigen die Teilnehmer aller Untersuchungsbedingungen im ersten Vortest. Dies lässt sich damit begründen, dass gemäß der Definition des intuitiven Wissens als „*schnelle Einschätzung einer antizipierten Situation*“ (vgl. Abschnitt 2.7.5) dieses Wissen während des Lernens mit Computersimulationen generiert wird. Da der erste Vortest vor den Computerinterventionen

von den Lernenden bearbeitet wurde, haben zu dem gegebenen Zeitpunkt die Lernenden sich noch kein oder nur sehr wenig intuitives Wissen aneignen können. Ein weiterer Grund für die geringe Anzahl korrekt gegebener Antworten und vergleichsweise langen Latenzzeiten ist auf die Erhebungsmethode zurück zu führen. Die Lernenden konnten zum Zeitpunkt des ersten Vortests noch keine Erfahrungen im Umgang mit dem Testinstrument „*Schnelltest*“ sammeln und mussten sich im Umgang mit dem Programm zunächst vertraut machen. Daraus können u.a. die langen Latenzzeiten resultieren.

### ***Gesamtskala „Wissen“***

Da sich die verschiedenen Wissensarten nicht trennscharf voneinander darstellen lassen, werden an dieser Stelle die Ergebnisse für den gesamten Papier-und-Bleistift-Wissenstest diskutiert.

Der Einsatz einer Selbstregulationshilfe erweist sich für einen Wissenserwerb als effektive instruktionale Maßnahme. Eine Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang eine bestimmte Kombination instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation (vgl. Abschnitt 5.2). Die Beschreibung und Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erweist sich für einen Wissenszuwachs als effektive Unterstützung.

Die Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass für die Aneignung themenspezifischen Wissens der Erhalt entweder nur einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation effektiv ist. Es erweist sich in diesem Zusammenhang die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, als effektive Unterstützung für einen Wissenserwerb. Das Ausbleiben instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation sowie eine bestimmte Maßnahmenkombination zeigen hingegen wenig Effektivität bei der Aneignung domänenspezifischen Wissens. Es kann daraus gefolgert werden, dass sowohl eine zu geringe Unterstützung durch instruktionale Maßnahmen zur Dateninterpretation und Selbstregulation als auch ein zu großes Angebot an Unterstützung wenig effektiv ist.

Zur besseren Übersicht werden an dieser Stelle die wichtigsten Diskussionsansätze der Ergebnisse zur Hypothese 1, getrennt nach den sechs verschiedenen Untersuchungsbedingungen, noch einmal zusammengefasst dargestellt.

#### *Untersuchungsbedingung (1):*

Das Ausbleiben instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erweist sich als wenig effektiv für die Aneignung konzeptuellen und prozeduralen Wissens. Für die Gesamtskala „*Wissen*“ zeigt sich der gleiche Effekt; das Ausbleiben der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation wirkt sich wenig effektiv auf einen themenspezifischen Wissenserwerb aus.

*Untersuchungsbedingung (2):*

Der Erhalt nur einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation fördert effektiv den konzeptuellen Wissenszuwachs. Für die Aneignung prozeduralen Wissens zeigen sich hingegen geringe Effekte bei dem Erhalt nur dieser instruktionalen Maßnahme. Für das Gesamtkonstrukt „Wissen“ zeigen sich effektive Zuwächse bei Erhalt nur einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation.

*Untersuchungsbedingung (3):*

Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm zu erhalten, zeigt positive Effekte bei der Aneignung konzeptuellen Wissens. Für die Aneignung prozeduralen Wissens zeigt sich durch diese instruktionale Maßnahme ebenfalls ein vergleichsweise hoher Wissenszuwachs.

*Untersuchungsbedingung (4):*

Für den Erwerb von Faktenwissen erweist sich die instruktionale Maßnahmenkombination aus vorgegebener Ergebnisbeschreibung und -interpretation sowie zusätzlicher Reflexion als effektive Maßnahme im Vergleich zu den verbleibenden Untersuchungsbedingungen. Des Weiteren unterstützt diese instruktionale Maßnahmenkombination effektiv einen konzeptuellen und intuitiven Wissenserwerb. Für das prozedurale Wissen zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchungsbedingung wenig Effektivität. Im Hinblick auf das erhobene Gesamtwissen zeigen sich effektive Wissenszuwächse bei dieser Untersuchungsbedingung.

*Untersuchungsbedingung (5):*

Die Teilnehmer dieser Untersuchungsbedingung erhielten lediglich eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren. Für einen Faktenwissenszuwachs erweist sich diese instruktionale Maßnahme als effektiv. Auch für die Aneignung konzeptuellen Wissens zeigen sich bei dieser Untersuchungsbedingung effektive Erfolge hinsichtlich einer Wissensaneignung. Ebenso können bei dieser instruktionalen Maßnahme Erfolge bei der Aneignung prozeduralen Wissens gezeigt werden. Für den Erwerb intuitiven Wissens erweist sich diese instruktionale Maßnahme als effektiv. Die Ergebnisse der Subskalen lassen sich für die Gesamtskala „Wissen“ für diese Untersuchungsbedingung bestätigen. Die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erweist sich als effektive Unterstützung für einen Wissenserwerb.

*Untersuchungsbedingung (6):*

Es sollte bei den Ergebnissen der Untersuchungsbedingung (6) berücksichtigt werden, dass ein Klasseneffekt zwar nicht nachgewiesen wurde, allerdings auch nicht ausgeschlossen werden kann. In allen Subskalen der verschiedenen Wissensarten Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen und intuitives Wissen, weisen die Teilnehmer dieser Untersuchungsbedingung durchschnittlich die geringsten Wissenszuwächse auf. Signifikante Interaktionseffekte zeigen, dass die Maßnahmenkombination zur ineffektiven Aneignung von Wissen in den verschiedenen Kategorien führt. Einhergehend wird für die Skala „Wissen“ der gleiche Effekt dargestellt, so dass gezeigt werden kann, dass sich die

instruktionale Maßnahmenkombination zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation als wenig effektiv auf einen Wissenserwerb auswirkt.

Nähere Diskussionsansätze zu kausalen Zusammenhängen zwischen den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation sowie der Einfluss von Drittvariablen auf den Wissenszuwachs geben die Interpretationen der Ergebnisse zu den Hypothesen 2 bis 8, die im Folgenden dargestellt werden.

### **Hypothese 2**

Der Zuwachs an intuitivem Wissen ist in allen Bedingungen im Vergleich zu den verbleibenden Wissensarten niedrig. Eine erste Intervention mit der Computersimulation und der für die Lernenden neuen Thematik erscheint für die Generierung intuitiven Wissens wenig effektiv. Das für die Testteilnehmer neue biologische Themengebiet und mangelnde Erfahrungen im Umgang mit dem Computerprogramm „*SimBioSee*“, der Computersimulation sowie dem Erhebungsinstrument „*Schnelltest*“ können Gründe sein, warum die Teilnehmer einen nur marginalen Zuwachs an intuitivem Wissen erzielen konnten. Ebenso kann begründet werden, warum der Zuwachs an prozeduralem Wissen nach einem einmaligen Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zwar hoch, im Verhältnis zum konzeptuellen Wissen (vgl. dazu Diskussion Hypothese 3) jedoch etwas geringer ausfällt. Der Umgang mit einer Computersimulation und die Durchführung der Experimente bedürfen offenbar längerer Trainingsphasen, in der wissenschaftliches Arbeiten nach dem *Inquiry Cycle* gelernt wird. Es lässt sich aber eine Tendenz des Wissenszuwachses in Abhängigkeit von den instruktionalen Maßnahmen erkennen. Es profitieren hinsichtlich des prozeduralen Wissens besonders Probanden, die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten.

### **Hypothese 3**

Der vergleichsweise hohe Zuwachs an konzeptuellem Wissen bereits nach dem ersten Nachttest kann u.U. mit der Bearbeitung der konkreten Arbeitsaufträge begründet werden, anhand derer sich die Versuchsteilnehmer fundamentale Zusammenhänge der gegebenen Thematik erarbeiten konnten. Es kann angenommen werden, dass die gut vorstrukturierte Form der Arbeitsaufträge zu einem „geführten Entdecken“ bei den Versuchsteilnehmern führt (Swaak et al., 2004). Dieses kann sich bei den Versuchsteilnehmern in einem tendenziell ergebnisorientierten anstatt prozessorientierten Lernverhalten äußern. Da die zu entdeckenden ökologischen Zusammenhänge mit Hilfe der Computersimulation und den Arbeitsaufträgen Bestandteil des konzeptuellen Wissenstest waren, liegt die Vermutung nahe, dass zwischen dem konzeptuellen Wissenszuwachs bereits im ersten Nachttest und den zu bearbeitenden Arbeitsaufträgen ein Zusammenhang bestehen könnte. Die gezielte Auseinandersetzung mit den gegebenen Fragestellungen und deren Bearbeitung nach festen Vorgaben des *Inquiry Cycle* in den Arbeitsaufträgen könnte ein Grund für den Anstieg des konzeptuellen Wissens nach bereits der ersten Intervention sein. Gut strukturierte Arbeitsaufträge mit dieser direktiven Form könnten somit den „entdeckenden Charakter“ beim Lernen mit Computersimulationen einschränken, so dass diese als lediglich geschlossene Listen mit vorgegebenen Zielen betrachtet werden (Manlove et al., 2006). Folglich könnten die

Lernenden dazu neigen, eher oberflächlich diesen Listen zu folgen als sich mit dahinter stehenden Konzepten auseinander zu setzen.

Die Tendenz eines konzeptuellen Wissenszuwachses im ersten Nachtest konnte im zweiten Nachtest erneut nachgewiesen werden: Besonders die Versuchsteilnehmer, die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten, zeigen in diesem Zusammenhang den größten konzeptuellen Wissenszuwachs. Bei Betrachtung der Hypothese 3 als unabhängig zur Hypothese 2 kann diese daher bestätigt werden, weil der konzeptuelle Wissenszuwachs bereits im ersten Nachtest hoch ist. Nach mehrmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen ist im Vergleich zu einem einmaligen Einsatz ein höherer intuitiver Wissenszuwachs erkennbar. Dies bestätigt u.a. die Annahme, dass intuitives Wissen im Umgang mit der Computersimulation erfahrungsbasiert ist (Swaak & de Jong, 1996) (vgl. Abschnitt 2.7.5).

#### **Hypothese 4**

Die signifikanten Faktenwissenszuwächse aller Versuchsteilnehmer können primär auf das relativ geringe themenspezifische Faktenvorwissen zurück geführt werden. Die Signifikanz im Test der Innersubjektivkontraste des konzeptuellen und des prozeduralen Wissens gegen das Faktenwissen lässt sich damit begründen, dass die computersimulierten Experimente weniger Faktenwissen als domänenspezifisches Verständnis und prozedurales Wissen vermitteln (Korfiatis et al., 1999). Es zeigt sich, dass durch das Experimentieren mit der Computersimulation mehr konzeptuelles und prozedurales Wissen erlernt wird als Faktenwissen (vgl. Abschnitt 2.3.1). Ein Grund für primär erworbenes konzeptuelles und prozedurales Wissen könnte in der Bearbeitung der strukturierten Arbeitsaufträge liegen (vgl. Abschnitt 3.6.2). Durch diese Arbeitsaufträge wurde einerseits der wissenschaftliche Erkenntnisprozess beim Experimentieren mit einer Computersimulation nach dem *Inquiry Cycle* unterstützt (vgl. Abschnitt 2.4.1). Andererseits waren die Lernenden aufgefordert, sich durch die direkten Anweisungen durch die Arbeitsaufträge mit dem gegebenen biologischen Konzept zu befassen. Da für die Lernenden im Mittelpunkt der Interventionen die Bearbeitung der Arbeitsaufträge mittels computersimulierter Experimente stand, kann dies ein Grund für primär angeeignetes konzeptuelles und prozedurales Wissen sein.

#### **Hypothese 5a**

Die lediglich partielle Bestätigung der Hypothese 5a liegt darin begründet, dass den vergleichsweise größten konzeptuellen Wissenszuwachs die Teilnehmer der Kontrollgruppe aufweisen, die keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten. Die geringsten Zuwächse an konzeptuellem Wissen erreichten die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung, die ihr Simulationsergebnis beschreiben und zusätzlich biologisch interpretieren sollten. Positive Effekte lassen sich jedoch für die instruktionale Maßnahme nachweisen, bei der die Probanden die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm erhielten.

Durch den Erhalt der Simulationsergebnisse kann der kognitive Prozess einer Informationsauswahl durch den Lernenden erleichtert werden (vgl. dazu auch Diskussion Hypothese 1) (Moreno & Mayer, 2005), so dass der vergleichsweise hohe konzeptuelle Wissenszuwachs auf diese instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation zurückgeführt

werden kann. Der dennoch hohe konzeptuelle Wissenszuwachs von Probanden der Kontrollgruppe kann mit der direktiven Struktur der zu bearbeitenden Arbeitsaufträge begründet werden (vgl. Hypothese 3).

### **Hypothese 5b**

Hypothese 5b wird nicht bestätigt, da die Teilnehmer ohne instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation signifikant höhere Zuwächse im prozeduralen Wissen erreichen, als mit einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation.

Bei der Evaluation der Ergebnisse für die Hypothesen 5a und 5b sind die bereits oben beschriebenen Interaktionseffekte zwischen den instruktionalen Maßnahmen zu berücksichtigen. Hinsichtlich des Zuwachses an Wissen in den verschiedenen Wissensarten und der geringen Effektivität der Beschreibung und biologischen Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation zeigt sich dieser Interaktionseffekt unter Einbeziehung der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation (vgl. Abbildung 4.47). Eine Erklärung für die geringe Effektivität dieser beiden zusammenwirkenden instruktionalen Maßnahmen bietet der Blick auf die erhobene Einflussgröße der kognitiven Belastung der Lernenden (Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998). Durch den Einsatz gezielter instruktionaler Maßnahmen kann und soll die kognitive Belastung beim Lernen mit Computersimulationen reduziert werden (Leutner, 1993). Jedoch schätzen Lernende, die ihr Simulationsergebnis beschreiben, biologisch interpretieren und zusätzlich zur Reflexion aufgefordert wurden, ihre subjektiv wahrgenommene kognitive Belastung im Vergleich zu den Lernenden der übrigen Bedingungen hoch ein. Je größer die kognitive Belastung, desto geringere Lernleistungen werden generell von den Lernenden erbracht. Diese tendenziell negative Korrelation zwischen der subjektiv wahrgenommenen kognitiven Belastung und der gemessenen Lernleistung in Form von erhobenem Wissen in den Nachtests lässt vermuten, dass ein kausaler Zusammenhang besteht. Eine erhöhte kognitive Belastung kann ein Grund dafür sein, warum eine bestimmte Kombination der ausgewählten instruktionalen Maßnahmen beim Lernen mit Computersimulationen zu einem vergleichsweise geringen themenspezifischen Wissenszuwachs führt. So zeigen Lernende, die ihr Simulationsergebnis beschreiben und biologisch interpretieren sowie zusätzlich reflektieren sollten, in den Nachtests vergleichsweise die geringsten konzeptuellen und prozeduralen Wissenszuwächse.

Dass die Kombination aus der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben und zu interpretieren, und zur Selbstregulation, die eigenen Vorgehensweisen zu bewerten und die Ergebnisse zu reflektieren, zu einer erhöhten kognitiven Belastung führten, lässt sich, neben den nicht auszuschließenden Klasseneffekten, mit der „*Cognitive Load Theory*“ (Chandler & Sweller, 1991b; Sweller et al., 1998; van Merriënboër & Sweller, 2005) begründen. Die Theorie berücksichtigt neben der menschlichen Gedächtnisstruktur das Instruktionsdesign des zu lernenden Materials. Hinsichtlich der Gedächtnisstruktur wird postuliert, dass das menschliche Arbeitsgedächtnis auf eine Anzahl gleichzeitig zu verarbeitender Elemente beschränkt ist (Miller, 1956), auf die jedoch im Folgenden nicht näher eingegangen wird. Im Hinblick auf das Instruktionsdesign, das dem Design der instruktionalen Maßnahmen entspricht, werden mit der „*Cognitive Load Theory*“ verschiedene Typen der kognitiven Belastung unterschieden. Die intrinsische kognitive

Belastung („*intrinsic cognitive load*“) bezieht sich dabei auf die kognitive Belastung, die von dem Lerninhalt bzw. der instruktionalen Maßnahmen selbst ausgeht und lässt sich durch deren Gestaltung nicht beeinflussen. Die Größe der intrinsischen kognitiven Belastung ist im Wesentlichen vom domänenspezifischen Vorwissen des Lernenden über die gegebene Thematik abhängig (Bannert, 2002; Sweller et al., 1998). Da jedoch das erhobene Vorwissen der Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) vergleichbar mit dem Vorwissen der Teilnehmer der übrigen Untersuchungsbedingungen ist, lässt sich eine erhöhte intrinsische kognitive Belastung aufgrund mangelnden Vorwissens ausschließen. Es kann jedoch evtl. ein kausaler Zusammenhang in einem weiteren kognitiven Belastungstyp, der extrinsischen kognitiven Belastung („*extrinsic cognitive load*“), hergestellt werden. Dieser als „äußere kognitive Belastung“ zu bezeichnende Belastungstyp wird durch die Art und Weise der Gestaltung des Lernmaterials (Seufert et al., 2007) bzw. der instruktionalen Maßnahmen bewirkt und kann durch ein entsprechendes Instruktionsdesign kontrolliert werden (de Jong, 2010; Mayer & Moreno, 2002). Es können effektive Wissenszuwächse gezeigt werden, wenn die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation, die die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) erhielten, unabhängig voneinander dargereicht werden (Untersuchungsbedingung (2) und (5)). Da der Erhalt nur jeweils einer instruktionalen Maßnahme zu keiner wesentlich erhöhten kognitiven Belastung beiträgt, kann die erhöhte extrinsische kognitive Belastung daher u.U. lediglich auf die Kombination dieser instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation zurückgeführt werden, die sich in entsprechend geringen Wissenszuwächsen widerspiegeln. Die Kombination aus einer bestimmten instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation und einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation kann als erhöhte extrinsische kognitive Belastung gelten und somit zu entsprechend geringen Wissenszuwächsen führen.

### **Hypothese 6**

Es profitieren von der instruktionalen Unterstützung primär Lernende mit einem geringen Vorwissen, die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation erhielten. Lernende mit einem hohen Vorwissen, die keine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation erhielten, zeigen einen hohen Wissenszuwachs. Es kann eine in der Literatur bereits beschriebene Annahme bestätigt werden, dass Lernende mit einem hohen Vorwissen weniger auf instruktionale Unterstützung angewiesen sind und das Fehlen instruktionaler Maßnahmen besser kompensieren können, während Lernende mit einem geringen Vorwissen hingegen von den instruktionalen Maßnahmen profitieren (Renkl, 1996). Dieses bestätigt sich tendenziell bei einem Vergleich der Lernenden mit hohem Vorwissen der Untersuchungsbedingung (1) mit Lernenden mit geringem Vorwissen der Untersuchungsbedingung (6), die einen ähnlich hohen Wissenszuwachs erzielten. Ein Vergleich der zwei untersuchten Gruppen nach ihrem Lernermerkmal „Vorwissen“ zeigt die jeweils geringsten Wissenszuwächse bei Lernenden der Untersuchungsbedingung (6). Eine Erklärung für diesen Umstand kann der Blick auf die bereits in Hypothese 4 beschriebene Einflussgröße der kognitiven Belastung bieten. Es lässt vermuten, dass die erhöhte kognitive Belastung der Teilnehmer von Untersuchungsbedingung (6) als ein Grund für den geringen Wissenszuwachs angesehen werden kann.

### **Hypothese 7**

Die Falsifizierung der Hypothese 7 kann auf die insgesamt überdurchschnittlich hoch eingeschätzte Computerkompetenz fast aller Probanden zurückgeführt werden. Der dadurch entstandene Deckeneffekt dieser überdurchschnittlich hohen Bewertung der subjektiv eingeschätzten Computerkompetenz kann damit begründet werden, dass die meisten Versuchsteilnehmer zum Zeitpunkt der Interventionen im Umgang mit dem Computer vertraut sind (vgl. dazu Krützer & Probst, 2006; OECD, 2006). Selbst die von den Versuchsteilnehmern als gering eingeschätzte Computerkompetenz kann noch als ausreichend betrachtet werden, so dass trotz der instruktionalen Maßnahmen vergleichbar viel themenspezifisches Wissen mit der Computersimulation erworben wird wie mit vergleichsweise hoher Computerkompetenz.

### **Hypothese 8**

Während unsystematische Vorgehensweisen beim wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn durch Experimentieren mit Computersimulationen sich wenig effektiv auf einen Wissenserwerb auswirken, begünstigen entsprechend vorhandene metakognitive Fähigkeiten den selbstregulierten Wissenserwerb in komplexen, computergestützten Lernumgebungen (Veenman et al., 1997). Dieses konnte nicht nachgewiesen werden. Entgegen der Hypothese zeigt sich eine Tendenz, dass insbesondere Lernende mit geringen Fähigkeiten zum selbstregulierten Lernen, die entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erhielten, von den eingesetzten instruktionalen Maßnahmen profitieren und den vergleichsweise größten Wissenszuwachs zeigen. Die Effektivität für den Wissenserwerb kann daher weniger von der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen abhängig gemacht werden, als mehr von der Art der eingesetzten instruktionalen Unterstützung. Dies zeigt sich bei Lernenden, die mit hoher und mit geringer Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen der Untersuchungsbedingung (6) die vergleichsweise geringsten Wissenszuwächse aufweisen, während die vergleichsweise höchsten Wissenszuwächse Lernende mit gering eingeschätzter Fähigkeit zur Selbstregulation der Untersuchungsbedingungen (2) und (5) zeigen.

## 5.4 Zusammenfassende und abschließende Diskussion

Die Lernenden zeigen in den Nachtests höhere Summenscores in den Wissenstests als im Vortest. Dies erlaubt eine Aussage über die Aneignung von Wissen durch den Einsatz des Computerprogramms mit der Computersimulation und den instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation. Die Lernenden konnten sich über die Interventionszeitpunkte neues, themenspezifisches Wissen aneignen. Die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation unterstützen für sich genommen nur tendenziell einen themenspezifischen Wissenszuwachs beim Lernen mit Computersimulationen. Die Ergebnisse der Studie zeigen dabei, dass sich die eingesetzten instruktionalen Maßnahmen beim Lernen mit Computersimulationen unterschiedlich effektiv auf die verschiedenen Wissensarten auswirken. Als effektiv erweist sich die Unterstützung durch entweder nur eine instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation oder nur eine instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation. Im Vergleich zu den übrigen Maßnahmen erweist sich die Beschreibung und biologische Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation als effektiv.

Durch die Beschreibung und biologische Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses können bei den Lernenden Selbsterklärungen induziert werden, die in einem tieferen Verständnis über die themenspezifischen Wissensinhalte resultieren können. Selbsterklärungen sind Erklärungen eines Sachverhaltes, die von dem Lernenden selbst erbracht werden und hauptsächlich an sich selbst gerichtet sind (vgl. Renkl, 2005). Diese Selbsterklärungen enthalten Informationen, die nicht direkt im Lernmaterial für den Lernenden dargestellt sind (Berthold, Eysink & Renkl, 2009). Durch diesen als einen aktiv konstruierenden Wissensprozess geltenden Selbsterklärungseffekt (Chi et al., 1994; Tajika et al., 2007; Wong, Lawson & Keeves, 2002) kann der Lernende seine Lernleistung und das Verständnis über neue Wissensinhalte erhöhen, indem neue Informationen in bereits bestehende Wissensstrukturen eingebettet werden. Der Selbsterklärungseffekt kann als ein Grund gelten, warum eine Beschreibung und biologische Interpretation des eigenen Simulationsergebnisses zu einem vergleichbar höheren Wissenszuwachs führt. Der Erhalt einer Reflexionshilfe als instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation erweist sich im Vergleich zu einem Ausbleiben dieser Maßnahme als effektiv für einen Wissenszuwachs. Durch die Reflexion werden sich Lernende über den eigenen Lernprozess bewusst (van den Boom et al., 2004), was sich effektiv auf einen Wissenszuwachs auswirkt. Die vergleichsweise geringe Effektivität der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation auf den prozeduralen Wissenszuwachs kann auf die vermutlich starke Ergebnisorientierung beim Bearbeiten der Arbeitsaufträge zurückgeführt werden. Offensichtlich fokussierten die Lernenden mehr auf das Lösen der Arbeitsaufträge anstatt sich tiefgründiger mit dem Simulationlernen und dem thematischen Prinzip zu befassen. Dies kann zur Folge gehabt haben, dass der Einsatz der instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation keine positiven Effekte auf den prozeduralen Wissenserwerb zeigt. Für die Unterstützung des Lernens mit Computersimulationen wird im Hinblick auf die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation kein kumulatives Zusammenwirken nachgewiesen; eine Kombination aus einer instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation

und einer instruktionalen Maßnahme zur Selbstregulation führt infolgedessen nicht zu einem entsprechend höheren themenspezifischen Wissenserwerb. Die Studienergebnisse zeigen in diesem Zusammenhang, dass zu viel instruktionale Unterstützung durch eine bestimmte Maßnahmenkombination beim Lernen mit Computersimulationen sogar zu nachteiligen Effekten führen kann. Für zukünftige Forschungsarbeiten sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden.

Direktive Arbeitsaufträge zur unterstützenden Zielsetzung (de Jong et al., 1998) stellen eine instruktionale Maßnahme dar, die einen Wissenszuwachs zwar effektiv unterstützen, den entdeckenden Charakter beim Lernen mit Computersimulationen jedoch einschränken und eine verstärkte Ergebnisorientierung der Lernenden zur Folge haben können. Für Forschung und Schulpraxis sollte daher darauf geachtet werden, dass unterstützende Arbeitsaufträge einen angemessenen Freiraum für entdeckendes Lernen bereitstellen. Aus den Ergebnissen lässt sich generell eine Tendenz erkennen, dass die Teilnehmer im ersten Nachtest höhere Summenscores in den erhobenen Wissensarten erreichen als im zweiten Nachtest. Besonders deutlich wird ein Rückgang der Summenscores im zweiten Nachtest bei Betrachtung der Ergebnisse in der Wissenskategorie „prozedurales Wissen“. Dieser Rückgang könnte unter Umständen mit einem evtl. Motivationsverlust der Lernenden während der zweiten Intervention oder bei der Bearbeitung des zweiten Nachtests begründet werden. Für zukünftige Studien sollte daher als zusätzliche Kontrollvariable neben der Erhebung der subjektiv empfundenen kognitiven Belastung auch die subjektiv eingeschätzte Motivation während der Intervention zusätzlich mit erhoben werden. Mittels dieser Einflussvariablen könnten solche beobachteten Effekte besser analysiert werden.

Im Hinblick auf die ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation zeigen sich die vergleichsweise größten Wissenszuwächse in Abhängigkeit von der Unterstützung zur Dateninterpretation. Dieser Effekt könnte darin begründet liegen, dass sich die Lernenden bereits im Mathematikunterricht Grundlagen des Ablesens und Konstruierens von Daten aus Liniendiagrammen sowie deren Interpretation aneignen konnten. Im Vergleich zu diesem explizit gelernten Inhalt des Unterrichts kann angenommen werden, dass die Probanden zum Zeitpunkt der Interventionen zwar über Erfahrungen hinsichtlich des selbstregulierten Lernens verfügten, diese aber noch einer Optimierung bedürfen, um die Effektivität des Lernens weiterhin steigern zu können. Für die Schulpraxis hinsichtlich des Lernens mit Computersimulationen könnte ein der Computerintervention vorausgehendes Training zum selbstregulierenden Lernen (vgl. White & Frederiksen, 1998) zu noch besseren Lernerfolgen führen (Perels, Gürtler & Schmitz, 2005; Schunk & Ertmer, 2000).

### **Papier-und-Bleistift-Wissenstest**

Neben den Ergebnissen zu den Hypothesen wird an dieser Stelle das Papier-und-Bleistift-Testinstrument zur Erhebung des Faktenwissens, konzeptuellen Wissens und prozeduralen Wissens abschließend diskutiert.

Das Testinstrument wurde in Interventionen einer Vorstudie getestet und für die in dieser Arbeit beschriebenen Studie so konzipiert, dass die Items einerseits von den Teilnehmern nach dem Computersimulationslernen im Rahmen der zur Verfügung stehenden Zeit

bearbeitet werden konnten. Andererseits wurde, wie bereits beschrieben, darauf geachtet, dass alle Items mit Hilfe des Computerprogramms von den Lernenden korrekt gelöst werden konnten. Das Testinstrument besteht aus 19 geschlossenen *Single-Choice*-Items und zwei Items mit offenem Antwortformat zum prozeduralen Wissen. Auffallend bei der Auswertung der Ergebnisse des Testinstruments ist, dass die Items mit offenem Antwortformat zum einen von den Lernenden inhaltlich unzureichend bearbeitet wurden. Zum anderen wurden diese Items nur von sehr wenigen Lernenden bearbeitet. Aus diesem Grunde mussten diese Items für eine Auswertung zugunsten einer erhöhten Reliabilität der Subskala „prozedurales Wissen“ entfernt werden. Diese Items wurden in dem Testinstrument so platziert, dass sie sich unter den ersten 10 Items befinden. Damit sollte verhindert werden, dass mögliche Positionseffekte zur Bearbeitung dieser Items ausgeschlossen werden (*end-of-test-effect*, vgl. (Åberg-Bengtsson & Ottoson, 2006). Da diese Items dennoch nur unzureichend von den Lernenden bearbeitet wurden, lässt darauf schließen, dass für die ausbleibende Bearbeitung andere Gründe in Betracht gezogen werden müssen. Ein Grund könnte ein evtl. Motivationsverlust der Lernenden sein, am Ende einer Intervention die Antworten selbst zu formulieren. Eine Einflussnahme der kognitiven Belastung ist in diesem Zusammenhang eher auszuschließen, da auch die Teilnehmer, die ihre kognitive Belastung als vergleichsweise gering eingeschätzt haben, diese Items ebenfalls nicht bearbeiteten.

Des Weiteren ist das Format der Testitems zu diskutieren. Für die Erhebung des Wissens wurden, neben den genannten zwei Items mit offenem Antwortformat, bewusst überwiegend *Single-Choice*-Items gewählt. Ein Nachteil, der durch *Single-Choice*-Items entsteht, ist, dass evtl. auftretende Fehlkonzepte hinsichtlich des Verständnisses der gegebenen biologischen Thematik und des Experimentierens mittels der Computersimulation nicht erkannt werden können. Ein beachtlicher Vorteil bei der Wahl von *Single-Choice*-Items liegt jedoch darin, dass ein möglichst breites Spektrum an Wissen in relativ geringer Zeit erhoben werden kann. In Anbetracht der Mannigfaltigkeit an zu bearbeitendem Material durch die Lernenden innerhalb einer Intervention wurde deshalb das *Single-Choice*-Itemformat zur Erhebung des Wissens gewählt.

**Fazit**

Die instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation per se sowie deren Kombination wirken sich unterschiedlich effektiv auf einen themenspezifischen Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen aus. Während der Einsatz nur einer instruktionalen Maßnahme die Wissensaneignung effektiv fördert, führt eine bestimmte Kombination beider Maßnahmen zu einem vergleichsweise geringen Wissenserwerb. Eine erhöhte kognitive Belastung der Lernenden kann ein Grund sein, warum eine bestimmte Kombination der instruktionalen Maßnahmen zu einem geringen Wissenserwerb führt.

## 5.5 Praxisrelevanz für den Schulunterricht

Das Lernen mit Computersimulationen bietet durch die in Kapitel 2 dieser Arbeit beschriebenen Vorteile eine zeitgemäße Methode zum erfolgreichen Wissenserwerb im Biologieunterricht im Sinne konstruktivistischer Lehr-Lern-Theorien. Die Studie wurde in Schulklassen unter realen Bedingungen praxisnah durchgeführt. Das dadurch getestete Material und die getestete Methodik können somit eine Anwendung im Biologieunterricht im Hinblick auf das Lernen mit Computersimulationen finden (Eckhardt & Harms, 2010a; Eckhardt & Harms, 2010b). Die Ergebnisse der Studie geben wichtige Hinweise für den Schulunterricht. Die Unterstützung durch die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, das eigene Simulationsergebnis selbst zu beschreiben und zu interpretieren erweist sich im Vergleich zu einem Erhalt der Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm als besonders effektiv. Ebenso zeigt sich die Bewertung der eigenen Arbeitsweisen sowie Reflexion über die Ergebnisse als lernförderliche, instruktionale Maßnahme. Diese unterstützenden Maßnahmen zeigen besonders effektive Lernerfolge mit Blick auf das konzeptuelle und prozedurale Wissen. Diese beiden Wissensarten, die als nicht separate Wissensarten gesehen werden dürfen, sondern sich gegenseitig beeinflussen, sollten primär im Entdecken naturwissenschaftlicher Zusammenhänge und im Umgang wissenschaftlicher Arbeitsweisen unterstützt werden. Die Unterstützung der Aneignung von Faktenwissen sollte keinesfalls vernachlässigt werden; es sollte jedoch bei der Auswahl geeigneter instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation beim Lernen mit Computersimulationen primär der Fokus auf eine Unterstützung gelegt werden, die konzeptuelles und prozedurales Wissen effektiv fördern. Eine Maßnahmenkombination aus Beschreibung, Interpretation und zusätzlicher Reflexion über die eigenen Simulationsergebnisse zeigen vergleichsweise geringe Lernerfolge, da anzunehmen ist, dass dies eine erhöhte kognitive Belastung bei den Lernenden hervorrufen kann. Dieses sollte beim Einsatz von Computersimulationen im Schulunterricht berücksichtigt werden.

### Die Aufgabe der Lehrkraft beim Lernen mit Computersimulationen

Das Lernen mit Computersimulationen in der beschriebenen Art und Weise fokussiert auf die selbständige Aneignung naturwissenschaftlicher Zusammenhänge durch den Lernenden und weniger auf die Vermittlung des Unterrichtsinhaltes durch die Lehrkraft. Die Lehrkraft entscheidet zunächst, ob eine Computersimulation im Unterricht eingesetzt werden soll, um das Potenzial der dadurch gebotenen Möglichkeiten für die Aneignung von themenspezifischem Wissen und Erfahrungen für die Lernenden nutzbar zu machen (Dexter, Anderson & Becker, 1999). Die Lehrkraft fungiert als motivierender Anleiter, stiller Beobachter (Wessner, Schwabe & Haake, 2004) und kann den Lernenden kontextgebundene Aufgaben zur selbstständigen Bearbeitung und Lösung mit Hilfe der Computersimulation anbieten. Während der Bearbeitung von Aufgaben oder Arbeitsaufträgen werden die Lernenden bei Verständnisschwierigkeiten und im Umgang mit den computersimulierten Experimenten durch die Lehrkraft zusätzlich unterstützt. Konstruktivistische Lehr-

Lerntheorien schreiben der Lehrkraft auch häufig die Rolle eines Betreuers „*coach*“ oder „Moderator des Lernens“ zu (Collins, 2006; Volman, 2005). Es sollte daher bedacht werden, dass die Lehrkraft weiterhin eine relevante Rolle bei der Aneignung von Wissen durch das Lernen mit Computersimulationen einnimmt.

## 5.6 Forschungsperspektiven und Ausblick

Aus den Ergebnissen lassen sich hinsichtlich einer Wirksamkeit der ausgewählten instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf den themenspezifischen Wissenserwerb beim Lernen mit Computersimulationen einige noch zu klärende Fragen ableiten. Es wäre für Folgestudien zu prüfen, ob im Computerprogramm integrierte Reflexionshilfen für einen Wissenserwerb noch effektiver genutzt werden, wenn der Computerintervention ein entsprechendes zielgruppenorientiertes kognitives Training im Vorfeld des Computerlernens vorausgeht, in dem der sinnvolle Umgang mit den Reflexionshilfen trainiert wird. Es bleibt zu klären, ob dieses kognitive Training die Effektivität mit Blick auf einen themenspezifischen Wissenserwerb bei den Lernenden erhöht. Des Weiteren bleibt die Frage offen, ob dieses Training einer möglichen kognitiven Belastung vorbeugen und dadurch eine Lernleistung erhöht werden kann.

Intuitives Wissen wird beim Lernen mit Computersimulationen über längerfristige Erfahrungen generiert. Es bleibt zu klären, ob in diesem Zusammenhang zwei Interventionen zur Generierung intuitiven Wissens bei den Lernenden ausreichen. Schnelle und korrekte Antwortgaben besitzen eher einen intuitiven Charakter, als überwiegend korrekte Antworten mit langen Latenzzeiten. Über die Interventionszeitpunkte ist in allen Untersuchungsbedingungen eine Abnahme der Latenzzeit erkennbar bei Zunahme korrekter Antwortgaben. Im Hinblick auf die Generierung intuitiven Wissens über die Messzeitpunkte durch instruktionaler Unterstützung erweist sich die Maßnahmenkombination eines Erhaltes des Ergebnisses mit zusätzlicher Reflexion sowie der Maßnahme, das eigene Simulationsergebnis zu beschreiben, als vergleichsweise effektive Maßnahmen für einen intuitiven Wissenserwerb. Um in Hinblick auf längerfristige Erfahrungen zur Aneignung intuitiven Wissens genauere Aussagen treffen zu können, hätten noch zusätzliche Interventionen mit der Computersimulation durchgeführt werden müssen, um evtl. signifikante Effekte der instruktionalen Maßnahmen auf den intuitiven Wissenserwerb zeigen zu können.

Es bleibt hinsichtlich des intuitiven Wissens weiterhin zu klären, ab wann intuitives Wissen in reflektiertes Wissen, das an intuitiver Qualität verliert, übergeht. Dieses ist gerade im Hinblick auf die erfahrungsbasierte Aneignung des Wissens über längere Zeiträume zu berücksichtigen, da gerade bei längeren Lernphasen ein Verständnis über die Inhalte der Domäne zunimmt, das dann auch verbalisiert werden kann. Dieses kann Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein, in denen untersucht wird, wie viel Erfahrung der Lernenden zur Generierung intuitiven Wissens in Abhängigkeit instruktionaler Maßnahmen beim Lernen mit Computersimulationen nötig sind.

In dieser Arbeit wurden instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf der Basis von Forschungsergebnissen ausgewählt, entwickelt und in einer Studie getestet. Diese Auswahl erhebt nicht den Anspruch, vollständig zu sein. Die

Interpretation von Daten, die in einem Diagramm dargestellt sind, setzt zunächst den Prozess des Ablesens von Informationen voraus. Dieser Prozess des Ablesens muss von den Lernenden erst gelernt werden (Mokros & Tinker, 1987). Dieser nicht unerhebliche Aspekt sollte in zukünftigen Studien, entsprechend des Vorwissens der Studienteilnehmer, berücksichtigt werden. Neben einer Beschreibung und Interpretation der eigenen Simulationsergebnisse könnten die Lernenden zusätzliche instruktionale Maßnahmen über die Modalität der Dateninterpretation erhalten. Die Lernenden könnten beispielsweise hinsichtlich der Identifizierungsprozesse (Bertin, 1974) noch mehr unterstützt werden. Dies könnte z.B. realisiert werden über zusätzliche, unterstützende Maßnahmen, *wie* beim Ablesen von Daten aus einem Diagramm vorgegangen werden sollte (vgl. Abschnitt 2.5). Eine weitere Aufgabe der Forschung kann darin bestehen, zu untersuchen, wie sich diese unterstützenden Maßnahmen auf einen Wissenszuwachs auswirken, wenn sie in das Computerprogramm integriert werden.

Des Weiteren stellt sich die Frage, inwieweit die Ergebnisse dieser Arbeit auf andere naturwissenschaftliche Fächer übertragbar sind. In der Studie der vorliegenden Arbeit wurden Effekte ausgewählter instruktionaler Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation auf einen domänenspezifischen Wissenserwerb am Beispiel einer Räuber-Beute-Beziehung zwischen zwei Fischarten im Biologieunterricht untersucht. Es ergibt sich die Frage, ob ähnliche, in der Studie dieser Arbeit identifizierte Effekte der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation und zur Selbstregulation beim Lernen mit Computersimulationen sich auf die Fächer Chemie und Physik übertragen lassen. In diesen Fächern eignen sich ebenfalls Computersimulationen zum selbständigen Erarbeiten naturwissenschaftlicher Konzepte und Prinzipien mittels der Durchführung simulierter Experimente. Dieses herauszufinden können Ansätze zukünftiger Forschung hinsichtlich des unterstützten Lernens mit Computersimulationen sein.

## 6 Literaturverzeichnis

- Åberg-Bengtsson, L. & Ottoson, T. (2006). What lies behind graphicacy? Relating students' results on a test of graphically represented quantitative information to formal academic achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 43-62.
- Amelang, M. & Zielinski, W. (2002). *Psychologische Diagnostik und Intervention*. Berlin: Springer.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, 89, 369-406.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition* (Vol. 10). Cambridge, MA.: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: David McKay Company, Inc.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, 70(2), 181-214.
- Azevedo, R. & Bernard, R. M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 13(2), 111-127.
- Azevedo, R. & Hadwin, A. F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition-implications for the design of computer-based scaffolds. *Instructional Science*, 33, 367-379.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2003). *Multivariate Analysemethoden*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load - recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12, 139-146.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, J., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (2001). *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O. & Neubrand, J. (1997). *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bayrhuber, H. & Kull, U. (Hrsg.). (2005). *Linder Biologie*. Braunschweig: Schroedel.
- Bergau, M., Beuren, A., Bohm, I., et al. (Hrsg.). (2005). *Prisma Biologie*. Stuttgart: Klett.
- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1987). The combination of explicit and implicit learning processes in task control. *Psychological research*, 49, 7-15.
- Berthold, K., Eysink, T. H. S. & Renkl, A. (2009). Assisting self-explanation prompts are more effective than open prompts when learning with multiple representations. *Instructional Science*, 37(4), 345-363.
- Bertin, J. (1974). *Graphische Seminologie: Diagramme, Netze, Karten*. Berlin: de Gruyter.
- Boekaerts, M. (1997). Self-Regulated Learning: A New Concept Embraced by Researchers, Policy Makers, Educators, Teachers, and Students. *Learning and Instruction*, 7(2), 161-186.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Vol. 6). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (Vol. 4). Berlin: Springer.

- Breuer, K. & Kummer, R. (1990). Cognitive effects from process learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 6(1), 69-81.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2000). *SPSS Version 10, Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Addison Wesley Verlag.
- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK). (1999). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung*. (Vol. 72). Bonn.
- Byrnes, J. P., & Wasik, B. A. (1991). Role of conceptual knowledge in mathematical procedural learning. *Developmental Psychology*, 27(5), 777-786.
- Campbell, N. A. & Reece, J. B. (2006). *Biologie*. München: Pearson.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991a). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991b). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chang, K. E., Chen, Y.-L., Lin, H.-Y. & Sung, Y.-T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, 51, 1486-1498.
- Chen, C.-M. (2009). Personalized E-learning system with self-regulated learning assisted mechanisms for promoting learning performance. *Expert Systems with Applications*, 36, 8816-8829.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H. & la Vancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Collins, A. (2006). Cognitive Apprenticeship. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Corno, L. & Madinach, E. B. (1983). The role of cognitive engagement in classroom learning and motivation. *Educational Psychologist*, 18, 88-108.
- Czihak, G., Langer, H. & Ziegler, H. (1976). *Biologie*. Berlin: Springer.
- de Jong, T. (2006). Scaffolds for computer simulation based scientific learning. In J. Elen & R. E. Clark (Hrsg.), *Dealing with complexity in learning environments*. London: Elsevier Science Publishers.
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105-134.
- de Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31, 105-113.
- de Jong, T., Martin, E., Zamarro, J.-M., Esquembre, F., Swaak, J. & van Joolingen, W. R. (1999). The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 597-615.
- de Jong, T. & Njoo, M. (1992). Learning and instruction with computer simulations: learning processes involved. In E. De Corte, Linn, M., Mandl, H. & Verschaffel, L. (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (S. 411-429). Berlin: Springer-Verlag.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Swaak, J., Veermans, K., Limbach, R., King, S. & Gureghian, D. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14(3), 235-246.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)* Verfügbar unter: <http://www.psych.rochester.edu/SDT/measures/intrins.html> [28.09.2009].

- Dexter, S. L., Anderson, R. E. & Becker, H. J. (1999). Teachers' views of computers as catalysts for changes in their teaching practice. *Journal of Research on Computing in Education*, 31(3), 221-238.
- Eckhardt, M. & Harms, U. (2010a). Computersimulationen als Modelle. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 106-110). Berlin: Cornelson Scriptor.
- Eckhardt, M. & Harms, U. (2010b). Entdeckendes Lernen mit Computersimulationen. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 58-62). Berlin: Cornelson Scriptor.
- Elshout, J. J. & Veenman, M. V. J. (1992). Relation between intellectual ability and working method as predictors of learning. *Journal of Educational Research*, 68(2), 179-201.
- Eysink, T. H. S., Dijkstra, S. & Kuper, J. (2002). The role of guidance in computer-based problem solving for the development of concepts of logic. *Instructional Science*, 30, 307-333.
- Fischbein, E. (1987). *Intuition in science and mathematics*. Dordrecht: Reidel.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906-911.
- Friedrich, H. F. (2002). Selbstgesteuertes Lernen - sechs Fragen, sechs Antworten. Verfügbar unter: <http://www.learn-line.nrw.de/angebote/selma/medio/grundlegendes/vortraegeaufsaetze/friedrich/friedrich.pdf> [07.01.2009].
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Glaser, R., Schauble, L., Raghavan, K. & Zeitz, C. (1992). Scientific reasoning across different domains. In E. de Corte, M. Linn, H. Mandl & Verschaffel, L. (Hrsg.), *Computer-based learning environments and problem solving* (S. 345-373). Berlin: Springer.
- Gorman, M. E. & Gorman, M. E. (1984). A comparison of disconfirmatory, confirmatory and control strategies on Wason's 2-4-6 task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36, 629-648.
- Gorman, M. E., Stafford, A. & Gorman, M. E. (1987). Disconfirmation and dual hypotheses on a more difficult version of Wason's 2-4-6 task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39, 1-28.
- Gräsel, G., Bruhn, J., Mandl, H. & Fischer, F. (1997). Lernen mit Computernetzen aus konstruktivistischer Perspektive. *Unterrichtswissenschaft*, 25, 4-18.
- Haack, J. (1997). Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In L. J. Issing & P. Kliemsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 151-166). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Haapsalo, L. & Kadjievich, D. (2000). Two types of mathematical knowledge and their relation. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 21(2), 139-157.
- Haider, G. & Lang, B. (2001). PISA Plus 2000 - Nationaler Bericht. Deskriptive Ergebnisse der österreichischen Zusatzprojekte im OECD/PISA-Programm 2000. Innsbruck: Studien-Verlag.
- Hammann, M. (2007). Das scientific discovery as dual search-Modell. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 187-196). Berlin: Springer.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M. & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of Biological Education*, 42(2), 66-72.
- Hammer, D. (1997). Discovery learning and discovery teaching. *Cognition and Instruction*, 15(4), 485-529.

- Hiebert, J. & Lefevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis. In J. Hiebert (Hrsg.), *Conceptual and procedural knowledge: the case of mathematics*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hmelo, C. E., Holton, D. & Kolodner, J. L. (2000). Designing to learn about complex systems. *Journal of Learning Sciences*, 9, 247-298.
- Horowitz, T. & Massey, G. (Hrsg.). (1991). *Thought experiments in science and philosophy*. Savage, MD: Rowman & Littlefield.
- Jarz, E. M. (1997). *Entwicklung multimedialer Systeme. Planung von Lern- und Masseninformatiessystemen*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Jonassen, D. H., Peck, K. L., Wilson, B. G. & Pfeiffer, W. S. (1998). *Learning with technology: A constructivist perspective*. New York: Prentice Hall.
- Kattmann, U. (Hrsg.). (2006). *Diagramme*. Köln: Aulis.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Kerres, M. (1998). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung*. München: Oldenbourg.
- Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 898-921.
- Kinzie, M. B., Sullivan, H. J. & Berdel, R. L. (1992). Motivational and achievement effects of learner control over content review within CAI. *Journal of Educational Computing Research*, 8(1), 110-114.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klahr, D., Fay, A. L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive psychology*, 25, 111-146.
- Klayman, J. & Ha, Y. (1987). Confirmation, disconfirmation and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- KMK. (2005). Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Bildungsabschluss: Beschluss vom 16.12.2004. München: Wolters Kluwer.
- Knight, T. M., McCoy, M. W., Chase, J. M., Mc Coy, K. A. & Holt, R. D. (2005). Trophic cascades across ecosystems. *Nature*, 437, 880-883.
- Konrad, K. (2009). Selbstgesteuertes Lernen. *Unterrichtswissenschaft*, 37, 55-76.
- Kopp, V., Stark, R. & Fischer, M. R. (2009). Förderung von Diagnosekompetenz durch fallbasiertes Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen: Evaluation einer computerbasierten Lernumgebung. *Unterrichtswissenschaft*, 37, 17-34.
- Korfiatis, K., Papatheodorou, E. & Stamou, G. P. (1999). An investigation of the effectiveness of computer simulation programs as tutorial tools for teaching population ecology at university. *International Journal of Science Education*, 21, 1269-1280.
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory into Practice*, 41(4).
- Kratochwil, A. & Schwabe, A. (2001). *Ökologie der Lebensgemeinschaften*. Stuttgart: Ulmer.
- Krause, U.-M. & Stark, R. (2006). Vorwissen aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.

- Krützer, B. & Blömeke, S. (2003). Lehren und Lernen mit neuen Medien - Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 31(1), 57-82.
- Krützer, B. & Probst, H. (2006). IT-Ausstattung der allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen in Deutschland. Bestandsaufnahme 2006 und Entwicklung 2001 bis 2006. In Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.). Bonn, Berlin.
- Kuhl, J. (2000). A functional-design approach to motivation and self-regulation: The dynamics of personality systems and interactions. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 111-163). London: Academic Press.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674-689.
- Lachmayer, S., Nerdel, C. & Prechtel, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 145-160.
- Land, S. M. (2000). Cognitive requirements for learning with open-ended learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 48(61-78).
- Larkin, J. & Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Lawson, A. E. (2002). Sound and faulty arguments generated by preservice biology teachers when testing hypotheses involving unobservable entities. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 237-252.
- Lepper, M. R. (1988). Motivational considerations in the study of instruction. *Cognition and Instruction*, 5(4), 289-309.
- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and instruction*, 3, 113-132.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen mit Sachtexten. In F. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 162-171). Göttingen: Hogrefe.
- Lewis, E. L., Stern, J. L. & Linn, M. C. (1993). The effect of computer simulations on introductory thermodynamics understanding. *Educational Technology*, 33(1), 45-58.
- Lewis, J. R. (2002). Psychometric Evaluation of the PSSUQ Using Data from Five Years of Usability Studies. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 14(3&4), 463-488.
- Lienert, G. A. & Raatz, V. (1994). *Testaufbau und Testanalyse* (Vol. 5). Weinheim: Beltz.
- Lin, X. & Lehmann, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 837-858.
- Lindström, B., Marton, F. & Ottoson, T. (1993). Computer simulation as a tool for developing intuitive and conceptual understanding in mechanics. *Computers in Human Behavior*, 9, 263-281.
- Linn, M. C. (1990). Perspectives for research in science teaching: Using the computer as laboratory partner. In H. Mandl, E. de Corte, S. N. Bennet & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Learning and Instruction. European research in an international context.* (Vol. 1, S. 443-460). Oxford: Pergamon Press.
- Loyens, S. M. M. & Gijbels, D. (2008). Understanding the effects of constructivist learning environments: introducing a multi-directional approach. *Instructional Science*, 36, 351-357.

- Malone, T. W. & Lepper, M. R. (Hrsg.). (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In R. E. Snow & M. J. Farr (Hrsg.), *Aptitude, learning and instruction. Cognitive and affective process analyses* (S. 223-253). Hillsdale: Erlbaum.
- Mandl, F., Gruber, H. & Renkl, A. (1993). Das träge Wissen. *Psychologie heute*.
- Mandl, H. & Spada, H. (1988). *Wissenspsychologie*. Weinheim: Psychologie-Verlags-Union.
- Manlove, S., Lazonder, A. W. & de Jong, T. (2006). Regulative support for collaborative scientific inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 87-98.
- Manlove, S., Lazonder, W. A. & de Jong, T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition learning*, 2, 141-155.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12, 107-119.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2).
- Mokros, J. R. & Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-383.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2005). Role of guidance, reflection and interactivity in an agent-based multimedia game. *Journal of Educational Psychology*, 97(1), 117-128.
- Narciss, S., Proske, A. & Koerndle, H. (2007). Promoting self-regulated learning in web-based learning environments. *Computers in Human Behavior*, 23, 1126-1144.
- Nerdel, C. & Prechtel, H. (2004). Learning Complex Systems With Simulations In Science Education. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen & R. Joiner (Hrsg.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning. Proceedings of the first joint meeting of the EARLY SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computer*. (S. 160-177). Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Nerdel, C., Prechtel, H. & Bayrhuber, H. (2003). Lernen mit interaktiven Animationen im Biologieunterricht am Beispiel der Fotosynthese. In Bauer et al. (Hrsg.), *Entwicklung von Wissen und Kompetenzen: Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol* (S. 197-200). Kiel: IPN.
- Njoo, M. & de Jong, T. (1991). Learning processes of students working with a computer simulation in mechanical engineering. In M. Carretero, M. Pope, R. Simons & Pozo, J.I. (Hrsg.), *Learning and instruction: European research in an international context* (S. 483-499). Oxford: Pergamon Press.
- Njoo, M. & de Jong, T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 821-844.
- Nückles, M., Hübner, S. & Renkl, A. (2008). Short-terms versus long-term effects of cognitive and metacognitive prompts in writing-to-learn.
- Odum, E. P. (1999). *Ökologie: Grundlagen- Standorte- Anwendung* (Vol. 3). Stuttgart: Thieme.
- OECD (2006). *Haben Schüler das Rüstzeug für eine technologieintensive Welt? Erkenntnisse aus den PISA-Studien*: OECD Publisher.

- Jaenicke, J. & Paul, A. (Hrsg.). (2004). *Biologie heute entdecken III*. Braunschweig: Schroedel.
- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, 3(3), 227-238.
- Peeck, J. (1994). *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.
- Pekrun, R. & Schiefele, U. (1996). Emotions- und motivationspsychologische Bedingungen der Lernleistung. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion. Enzyklopädie der Psychologie, Serie Pädagogische Psychologie* (Vol. 2, S. 152-179). Göttingen: Hogrefe.
- Perels, F., Gürtler, T. & Schmitz, B. (2005). Training of self-regulatory and problem-solving competence. *Learning and Instruction*, 15, 123-139.
- Pfligersdorffer, G. (2006). *Computerprogramme und Internet*. In: H. Gropengießer & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik begründet von Dieter Eschenhagen, Ulrich Kattmann und Dieter Rodi* (S. 377-391). Köln: Aulis.
- Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In: M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 451-502). London: Academic Press.
- Prenzel, M., von Davier, M., Bleschke, M. G., Senkbeil, M. & Urhahne, D. (2000). Didaktisch optimierter Einsatz neuer Medien: Entwicklung von computergestützten Unterrichtskonzepten für die naturwissenschaftlichen Fächer. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung* (S. 113-121). Münster: Waxmann.
- Puthz, V. (1988). Experiment oder Beobachtung? *Unterricht Biologie*, 132, 11-13.
- Reid, D. J., Zhang, J. & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 9-20.
- Reinmann-Rothmeier, G. & Mandl, H. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (Vol. 4, S. 601-646). Weinheim: BeltzPVU.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2004). *Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden*. Göttingen: Hogrefe.
- Reiser, B. J., Tabak, I., Sandoval, W. A., Smith, B. K., Steinmuller, F. & Leone, A. J. (2001). BGuILE: strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. In S. M. Carver & D. Klahr (Hrsg.), *Cognition and instruction: Twenty five years of progress*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Renkl, A. (1996). Vorwissen und Schulleistung. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung* (S. 175-190). Weinheim: BeltzPVU.
- Renkl, A. (2002). Worked-out examples: Instructional explanations support learning by self-explanation. *Learning and Instruction*, 12, 529-556.
- Renkl, A. (2005). The worked-out-example principle in multimedia learning. In R. Mayer (Hrsg.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 229-246). Cambridge, UK: University Press.
- 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.
- Rieber, L. P. (1990). Using computer animated graphics with science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 135-140.

- Rieber, L. P. (2005). Multimedia learning in games, simulations, and microworlds. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 549-567). Cambridge MA: Cambridge University Press.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S. & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics: An iterative process. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 346-362.
- Roth, W. & Roychoudhury, A. (1993). The development of science process skills in authentic contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 127-152.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., Schulze, S. & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 4, 131-166.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The journal of the Learning Sciences*, 1, 201-239.
- Schnotz, W. (Hrsg.). (1993). *Wissenserwerb mit logischen Bildern*. Bern: Hans Huber.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: PVU.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292-318.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen*. Münster: Waxmann.
- Schunk, D. H. (1996). Goal and self-evaluative influences during children's cognitive skill learning. *American Educational Research Journal*, 33, 359-382.
- Schunk, D. H. (2001). Social cognitive theory of self-regulated learning. In B. J. Zimmermann & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives* (S. 125-152). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Schunk, D. H. & Ertmer, P. A. (1999). Self-regulatory processes during computer skill acquisition: Goal and self-evaluative influences. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 251-260.
- Schunk, D. H. & Ertmer, P. A. (Hrsg.). (2000). *Self-regulation and academic learning: Self-efficacy enhancing interventions*. San Diego, CA: Academic Press.
- Seufert, T., Jänen, I. & Brünken, R. (2007). The impact of intrinsic cognitive load on the effectiveness of graphical help for coherence formation. *Computers in Human Behavior*, 23, 1055-1071.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A. & Wiley, E. W. (2005). Windows in the mind. *Higher Education*, 49, 413-430.
- Stark, R., Gruber, H., Renkl, A. & Mandl, H. (2000). Instruktionale Effekte einer kombinierten Lernmethode: Zahlt sich die Kombination von Lösungsbeispielen und Problemlöseaufgaben aus? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(4), 206-218.
- Strack, F. & Deutsch, R. (2004). Reflective and impulsive determinants of social behavior. *Personality and Social Psychology Review*, 8(3), 220-247.
- Strzebkowski, R. (Hrsg.). (1997). *Realisierung von Interaktivität und multimedialen Präsentationstechniken*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Strzebkowski, R. & Kleeberg, N. (2002). Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (S. 229-245). Weinheim: Beltz/PVU.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen*. Göttingen: Hogrefe.
- Süßen, U. W. (Hrsg.). (2001). *Biologie Oberstufe Gesamtband*. Berlin: Cornelsen.
- Swaak, J. & de Jong, T. (1996). Measuring intuitive knowledge in science: The development of the what-if test. *Studies in Educational Evaluation*, 22(4), 341-362.

- Swaak, J. & de Jong, T. (2001). Discovery simulations and the assessment of intuitive knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17, 284-294.
- Swaak, J., de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (2004). The effects of discovery learning and expository instruction on the acquisition of definitional and intuitive knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 225-234.
- Swaak, J., van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1998). Supporting simulation-based learning: the effects of model progression and assignments on definitional and intuitive knowledge. *Learning and Instruction*, 8, 235-253.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P. & Cooper, M. (1990). Cognitive load and selective attention as factors in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology*, 119, 176-192.
- Sweller, J., van Merriënboër, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tajika, H., Nakatsu, N., Nozaki, H., Ewald, N. & Shunichi, M. (2007). Effects of self-explanation as a metacognitive strategy for solving mathematical word problems. *Japanese Psychological Research*, 49(3), 222-233.
- Tennyson, R. D. & Breuer, K. (2002). Improving problem solving and creativity through use of complex-dynamic simulations. *Computers in Human Behavior*, 18, 650-668.
- Thomas, R. & Hooper, E. (1991). Simulations: An opportunity we are missing. *Journal of Research on Computing in Education*, 23(4).
- Townsend, C. R., Harper, J. L. & Begon, M. E. (2003). *Ökologie*. Berlin: Springer.
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385-398.
- Urhahne, D. (2002). *Motivation und Verstehen* (Vol. 32). Münster: Waxmann.
- Urhahne, D. & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. *Unterrichtswissenschaft*, 34, 358-377.
- Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186.
- van den Boom, G., Paas, F., van Merriënboër, J. & van Gog, Y. (2004). Reflection prompts and tutor feedback in a web-based learning environment: Effects on students' self-regulated learning competence. *Computers in Human Behavior*, 20, 551-567.
- van der Meij, J. (2007). *Support for learning with multiple representations: Designing simulation-based learning environments*. Enschede, The Netherlands: University of Twente.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1997). An extended dual search space model of scientific discovery learning. *Instructional Science*, 25(5), 307-346.
- van Joolingen, W. R., de Jong, T. & Dimitrakopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 111-119.
- van Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147-177.
- Veenman, M. V. J., Elshout, J. J. & Busato, V. V. (1994). Metacognitive mediation in learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 10, 93-106.

- Veenman, M. V. J., Elshout, J. J. & Meijer, J. (1997). The generality vs. domain-specificity of metacognitive skills in novice learning across domains. *Learning and Instruction*, 7, 187-209.
- Veermand, K. H., van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (2006). Use of heuristics to facilitate scientific discovery learning in a simulation learning environment in a physics domain. *International Journal of Science Education*, 28(4), 341-361.
- Volman, M. (2005). A variety of roles for a new type of teacher. Educational technology and the teaching profession. *Teaching and Teacher Education*, 21(1), 15-31.
- Vreman-de Olde, C. & de Jong, T. (2006). Scaffolding learners in designing investigation assignments for a computer simulation. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 63-73.
- Wainer, H. (1992). Understanding graphs and tables. *Educational Researcher*, 21, 14-23.
- Weidenmann, B. (1993). Instruktionsmedien. *Gelbe Reihe, Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie, Nr. 27. Universität der Bundeswehr München*, 30-31.
- Weinert, F. E. (1982). Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. *Unterrichtswissenschaft*, 2, 99-110.
- Wessner, M., Schwabe, G. & Haake, J. M. (Hrsg.). (2004). *Konzepte für den Lehrenden*. München: Oldenbourg.
- Westcott, M. R. (1968). *Toward a contemporary psychology of intuition*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- White, B. (1998). Computer microworlds and scientific inquiry: An alternative approach to science education. In B. F. K. Tobin (Hrsg.), *International handbook of science education* (S. 295-315). Dordrecht: Kluwer.
- White, B. & Frederiksen, J. (1990). Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments. *Artificial Intelligence*, 42, 99-157.
- White, B. & Frederiksen, J. (2005). A theoretical framework and approach for fostering metacognitive development. *Educational Psychologist*, 40(4)(4), 211-223.
- White, B. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.
- White, B. & Frederiksen, J. R. (2000). Metacognitive facilitation: An approach to making scientific inquiry accessible to all. In J. v. Z. Minstrell, E. (Hrsg.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (S. 331-370). Washington DC: American association for the advancement of science.
- White, B. Y., Shimoda, T. A. & Frederiksen, J. R. (1999). Enabling students to construct theories of collaborative inquiry and reflective learning: Computer support for metacognitive development. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, 151-182.
- White, R. T. & Gunstone, R. F. (1992). *Probing Understanding*. Great Britain: Falmer Press.
- Winn, W. (2002). Current trends in educational technology research: The study of learning environments. *Educational Psychology Review*, 14(3), 331-351.
- Winne, P. H. & Hadwin, A. F. (Hrsg.). (1998). *Studying as self-regulated learning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. & Klieme, E. (Hrsg.). (2003). *Computernutzung*. Opladen: Leske+Budrich.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In F. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172-184). Göttingen: Hogrefe.

- 
- Wong, R. M. F., Lawson, M. J. & Keeves, J. (2002). The effects of self-explanation training on students' problem solving in high-school mathematics. *Learning and Instruction*, 12, 233-262.
- Zhang, J., Chen, Q., Sun, Y. & Reid, D. J. (2004). Triple scheme of learning support design for scientific discovery learning based on computer simulation: experimental research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 269-282.
- Zimmermann, B. J. (1986). Development of self-regulated learning: Which are the key subprocesses? *Contemporary Educational Psychology*, 16, 307-313.
- Zimmermann, B. J. (1989). Models of self-regulated learning and academic achievement. In B. J. Zimmermann & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement* (S. 1-25). Berlin: Springer.
- Zimmermann, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25, 3-17.
- Zimmermann, B. J. (Hrsg.). (1994). *Dimensions of academic self-regulation: A conceptual framework for education*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Zimmermann, B. J. (2000). Attaining self-regulation. A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 13-39). San Diego, CA: Academic Press.
- Zimmermann, B. J. (Hrsg.). (2001). *Theories of self-regulated learning and academic achievement: An overview and analysis*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Zimmermann, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(172-223).
- Zöfel, P. (2003). *Statistik für Psychologen im Klartext*. München: Pearson Studium.

## 7 Anhang

### 7.1 Lernsoftware „SimBioSee“

Im Folgenden werden die Bildschirmansichten der Lernumgebung „SimBioSee“ in der Abfolge gezeigt, wie sie im Computerprogramm angeordnet sind. Das Programm ist, bis auf die im Programm integrierte instruktionale Maßnahme zur Selbstregulation sowie die instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation, in allen Untersuchungsbedingungen identisch.

Dieser Arbeit ist eine CD mit dem Computerprogramm „SimBioSee“ beigelegt, mit dem die Teilnehmer der Untersuchungsbedingung (6) in der ersten Intervention der Studie lernten.

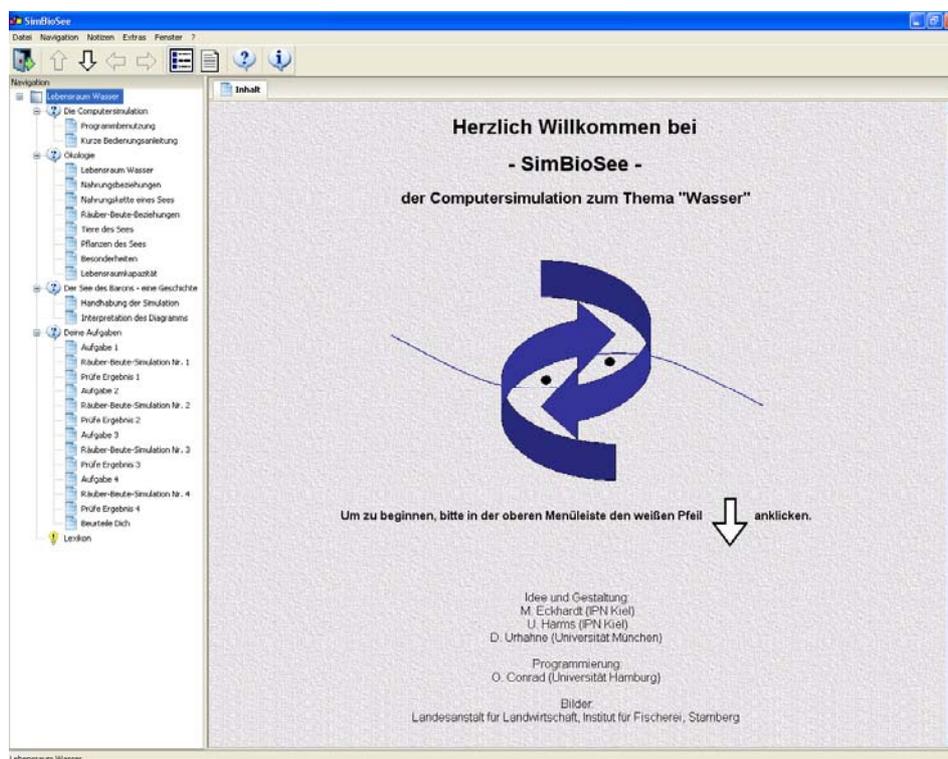


Abbildung 7.1: Bildschirmansicht der Startseite der Lernumgebung „SimBioSee“.

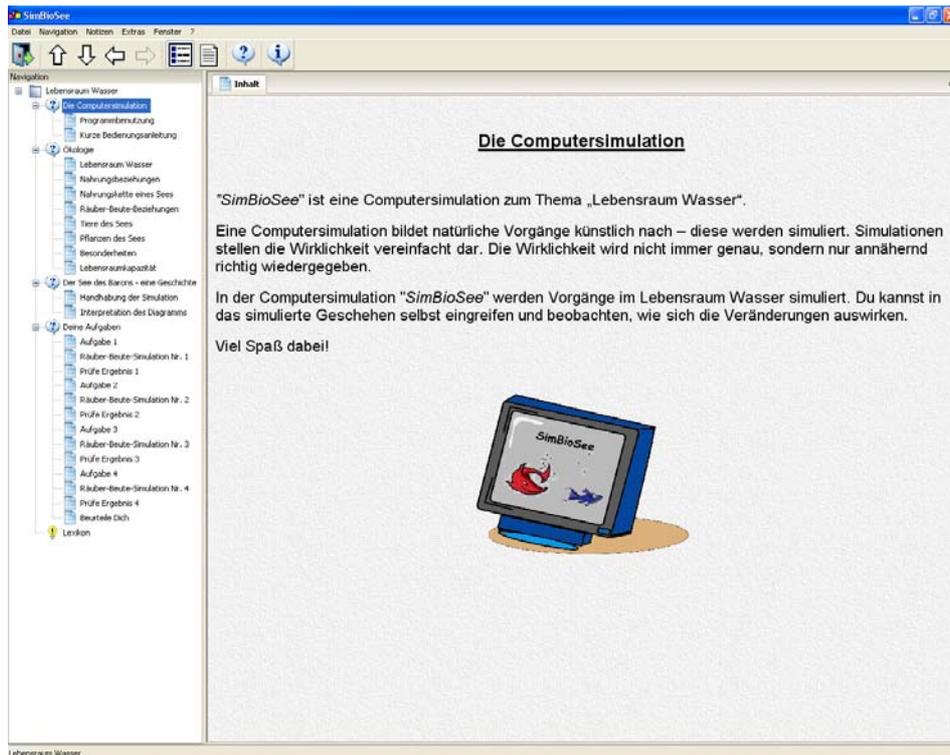


Abbildung 7.2: Bildschirmansicht der Einführungsseite der Lernumgebung „SimBioSee“.

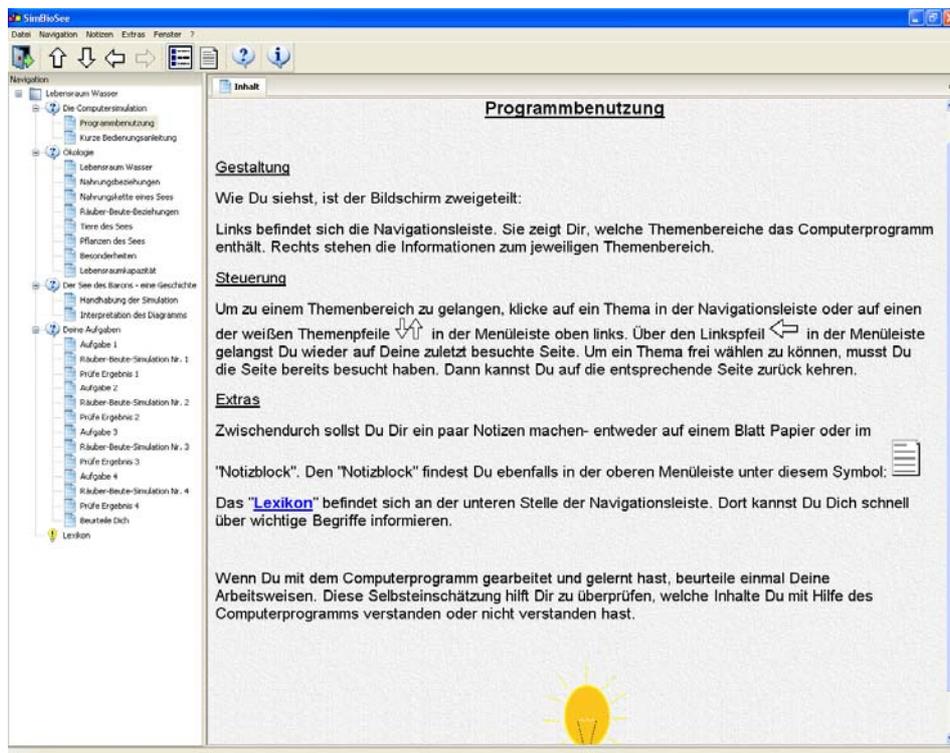


Abbildung 7.3: Bildschirmansicht zur Programmbenutzung.

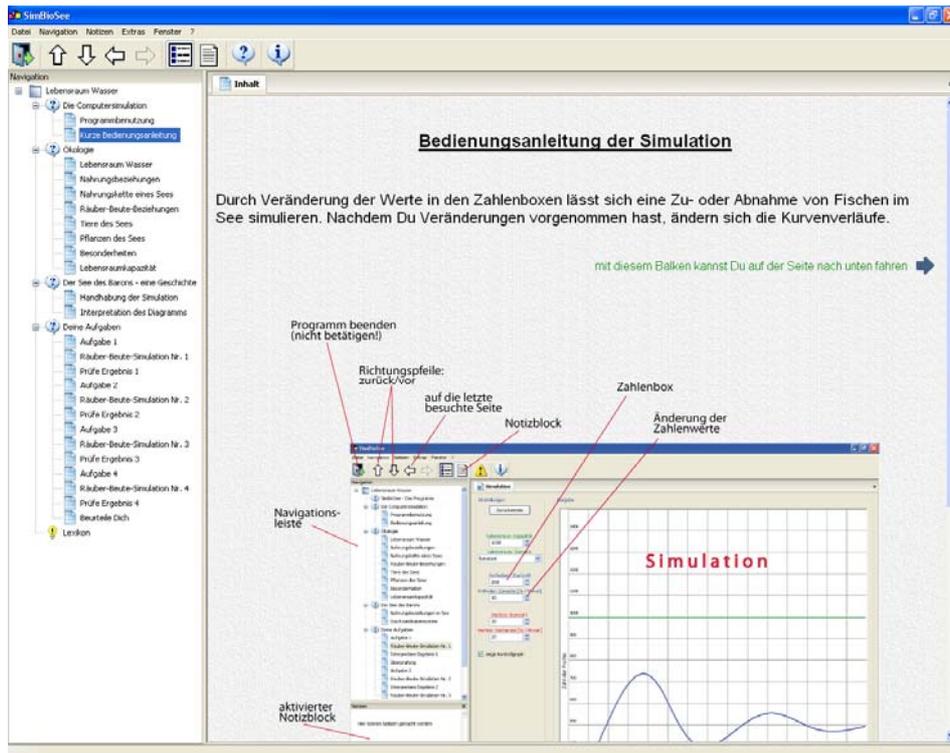


Abbildung 7.4: Bildschirmansicht der Bedienungsanleitung der Computersimulation (oberer Teil).

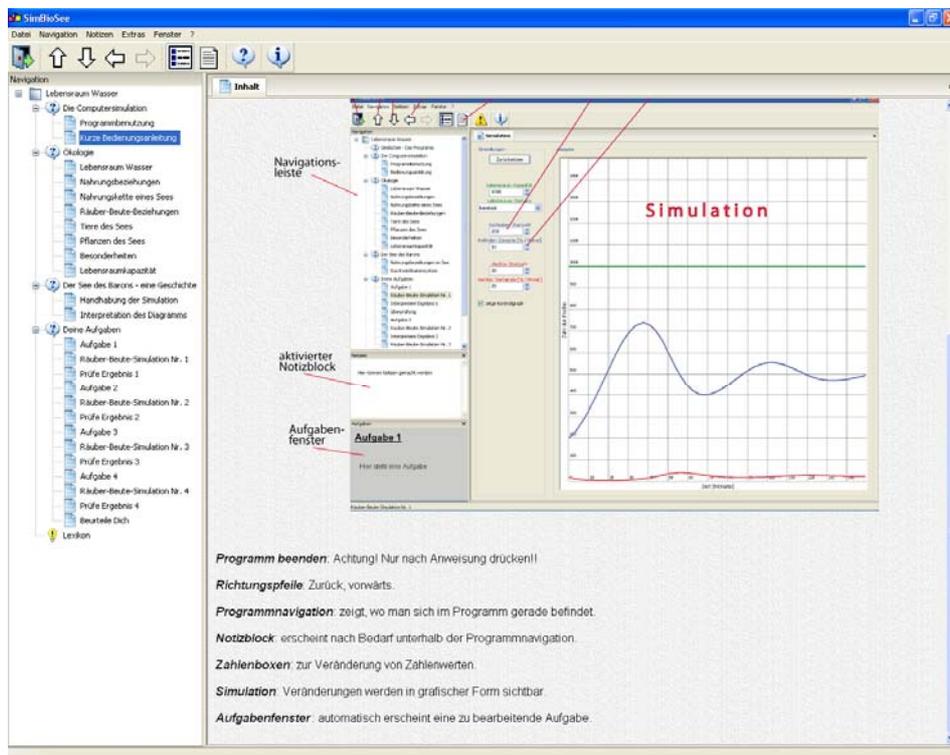


Abbildung 7.5: Bildschirmansicht der Bedienungsanleitung der Computersimulation (unterer Teil).

**Ökologie**

Was braucht ein Fisch zum Überleben? Was benötigt eine Pflanze, um zu wachsen? Mit diesen Fragen befasst sich die Ökologie. Sie ist ein spezielles Teilgebiet der Biologie.

Die Ökologie befasst sich mit den Wechselbeziehungen zwischen *belebter* und *unbelebter* Umwelt.

Zur *belebten Umwelt* gehören alle Lebewesen eines Lebensraumes: Pflanzen, Tiere aber auch Pilze und Bakterien. Diese Lebewesen stehen untereinander auch in Wechselbeziehung.

Die *unbelebte Umwelt* eines Lebensraumes umfasst die Lebensbedingungen der Lebewesen. Dazu zählen z.B. Lichtverhältnisse, Wasserstand, Wassertemperatur, Sauerstoffmenge oder Bodenverhältnisse.

Ein ökologisches Beispiel:

Wo wächst die Seerose?

Die Seerose ist Teil der *belebten Umwelt* eines Sees. Die Pflanze wächst jedoch nicht überall auf dem See. Sie wächst in der Nähe des Ufers.

In der Nähe des Ufers ist das Wasser flacher als in der tieferen Freiwasserzone. Im flachen Bereich des Ufers können sich somit die Wurzeln der Seerose gut im Boden verankern. Für die Seerose ist die geringe Wassertiefe eine wichtige Lebensbedingung der *unbelebten Umwelt*.



Abbildung 7.6: Bildschirmansicht der Einführungsseite zur Ökologie.

**Lebensraum Wasser**

Gewässer wie Meere, Flüsse, Bäche, Tümpel oder Seen sind wichtige Lebensräume für Pflanzen und Tiere.

Das Leben in diesen Gewässern wird von Faktoren wie Temperatur, Licht und Nährstoffen beeinflusst. Ein tiefer und klarer Bergsee beheimatet andere Pflanzen und Tiere als ein flacher und morastiger Tümpel.

Der Nahrungskreislauf innerhalb eines Lebensraumes



Ein Gewässer beinhaltet eine Vielzahl von Lebewesen - große wie Pflanzen und Fische, aber auch winzig kleine wie Algen und Bakterien. In einem Lebensraum wie dem See ernähren sich die Lebewesen voneinander.

Einfache, ernährungsbedingte Abhängigkeiten zwischen Lebewesen bezeichnet man als Nahrungskette. Eine Verflechtung verschiedener Nahrungsketten bezeichnet man als Nahrungsnetz.

Abbildung 7.7: Bildschirmansicht der Einführungsseite zum Lebensraum Wasser.

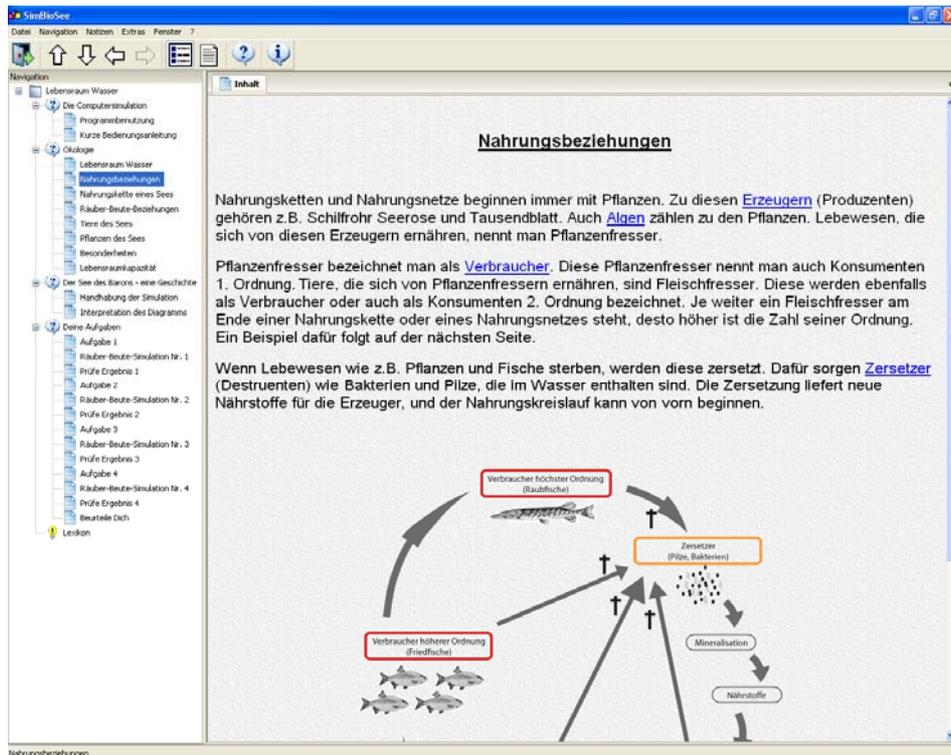


Abbildung 7.8: Bildschirmansicht zu Nahrungsbeziehungen (oberer Teil).

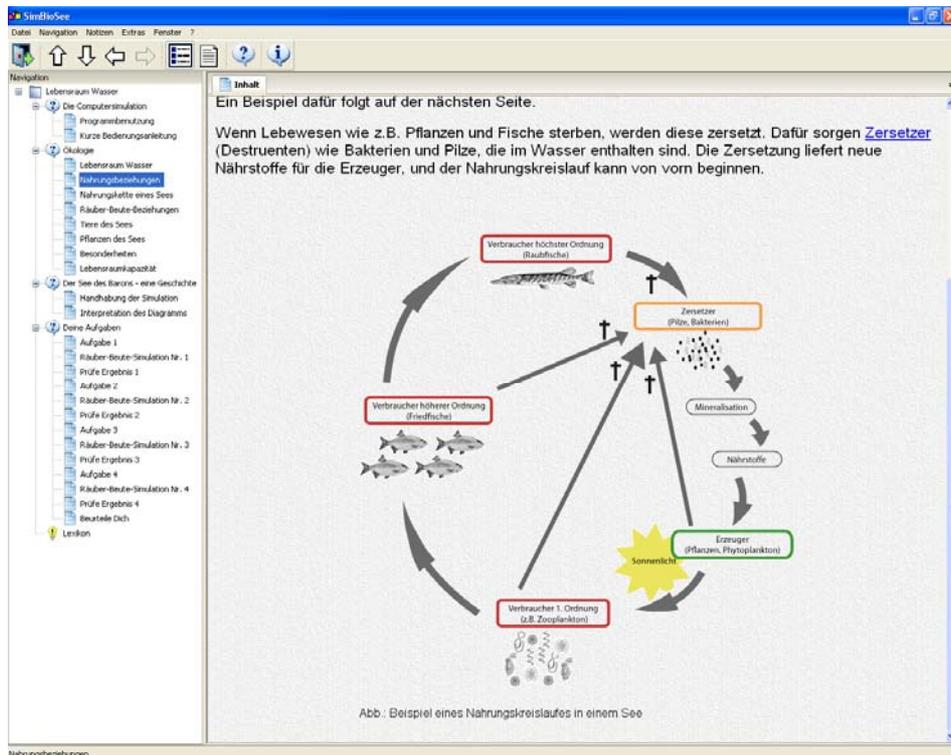


Abbildung 7.9: Bildschirmansicht zu Nahrungsbeziehungen (unterer Teil).

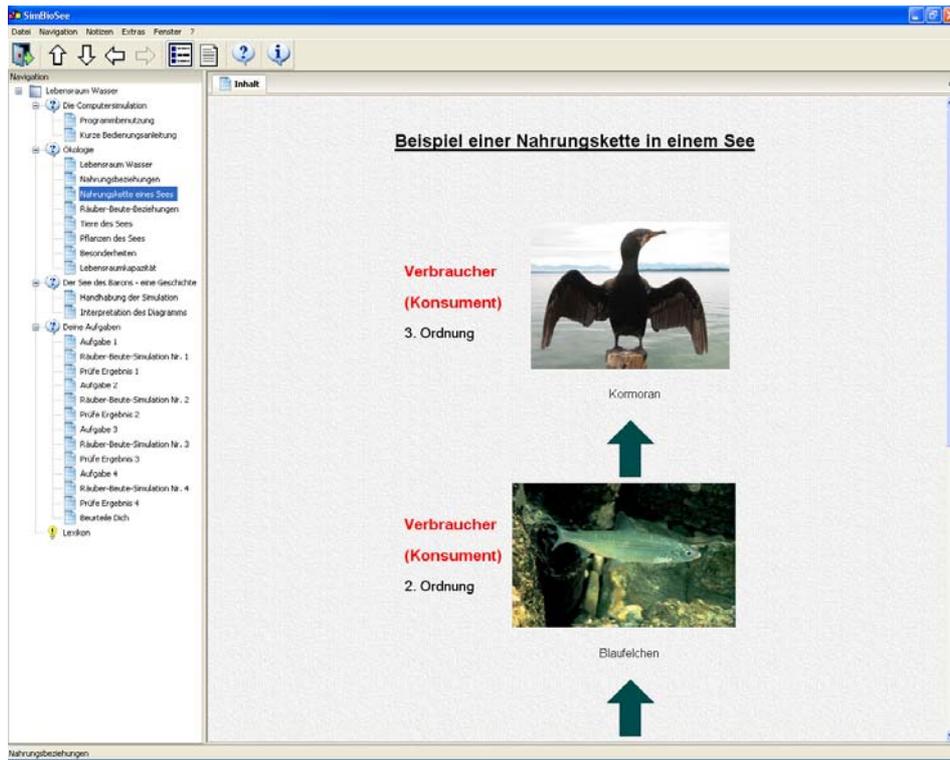


Abbildung 7.10: Bildschirmansicht zu einer exemplarischen Nahrungskette in einem See (oberer Teil).

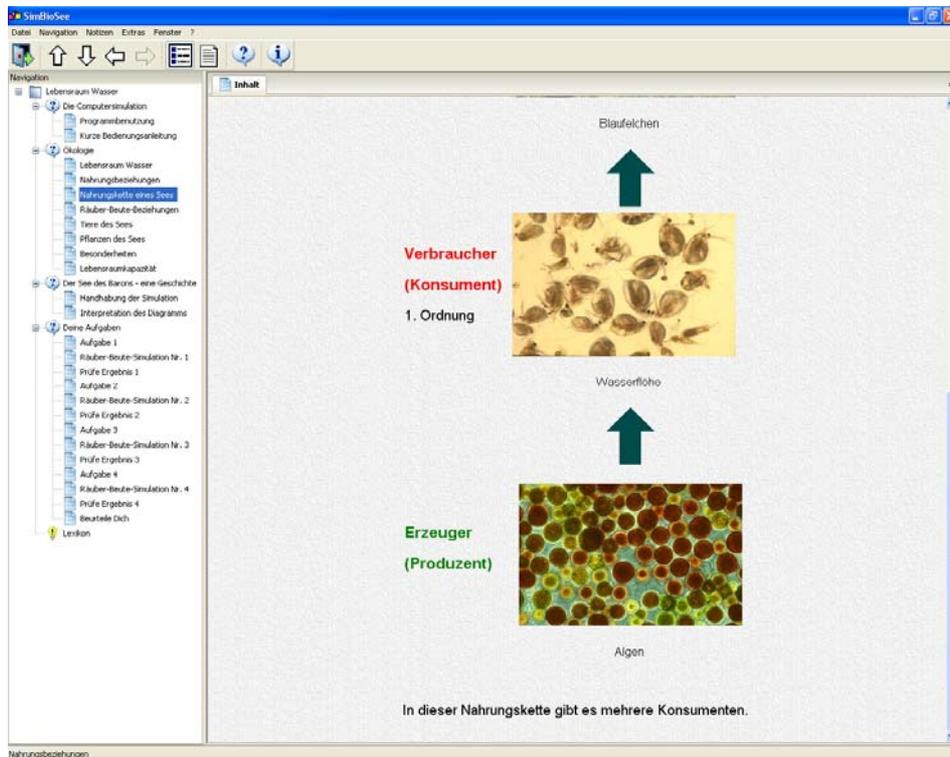


Abbildung 7.11: Bildschirmansicht zu einer exemplarischen Nahrungskette in einem See (unterer Teil).

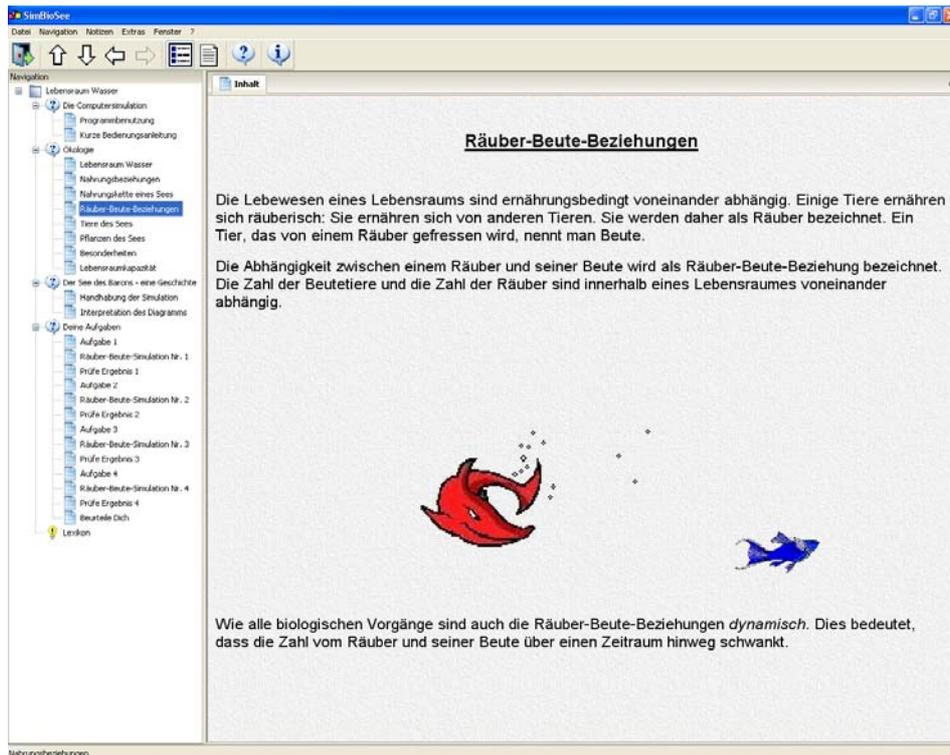


Abbildung 7.12: Bildschirmansicht zur Einführung in Räuber-Beute-Beziehungen.

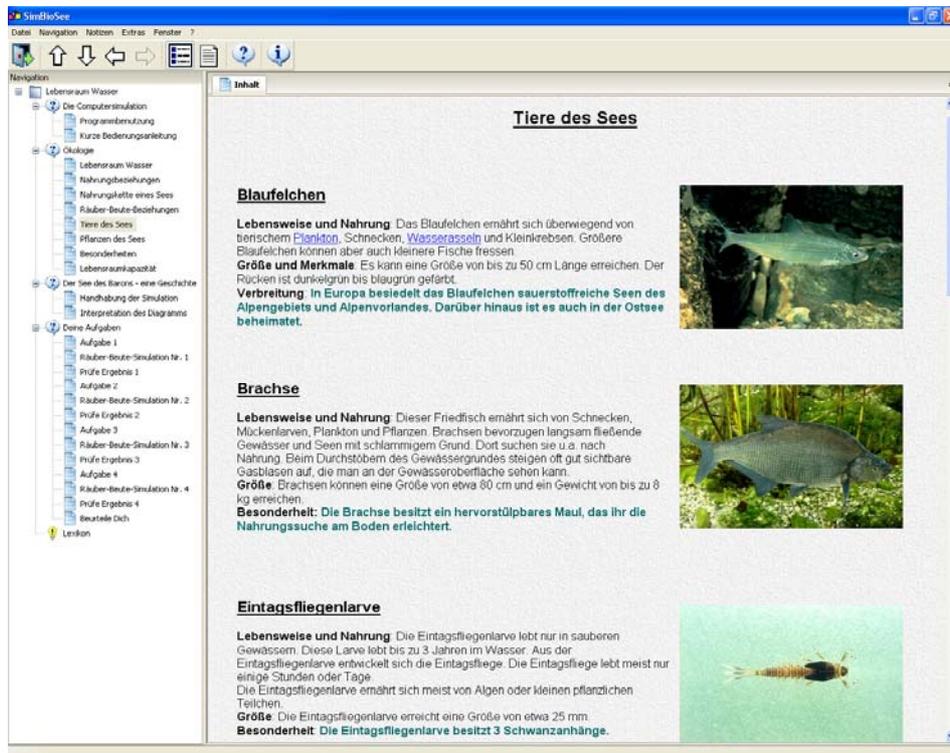


Abbildung 7.13: Bildschirmansicht (Teil 1) „Tiere des Sees“.

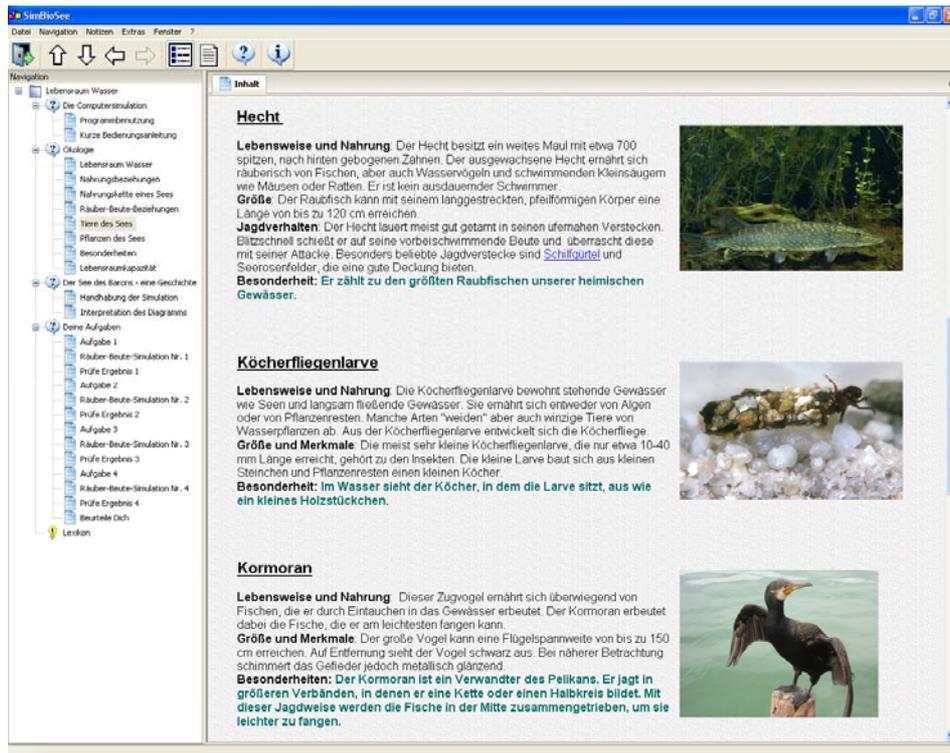


Abbildung 7.14: Bildschirmansicht (Teil 2) „Tiere des Sees“.

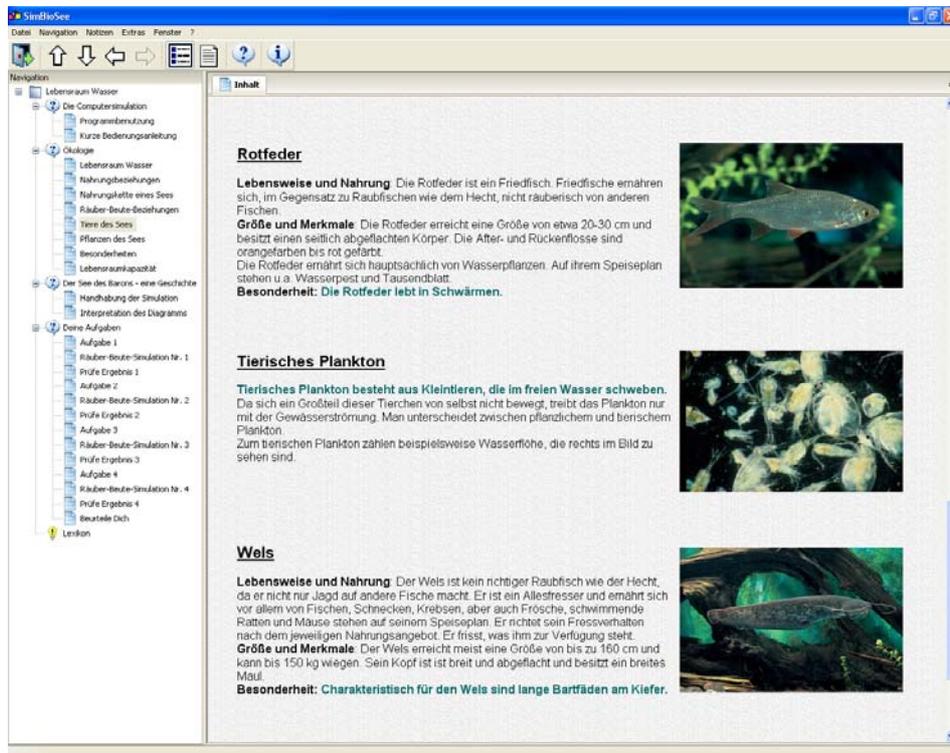


Abbildung 7.15: Bildschirmansicht (Teil 3) „Tiere des Sees“.

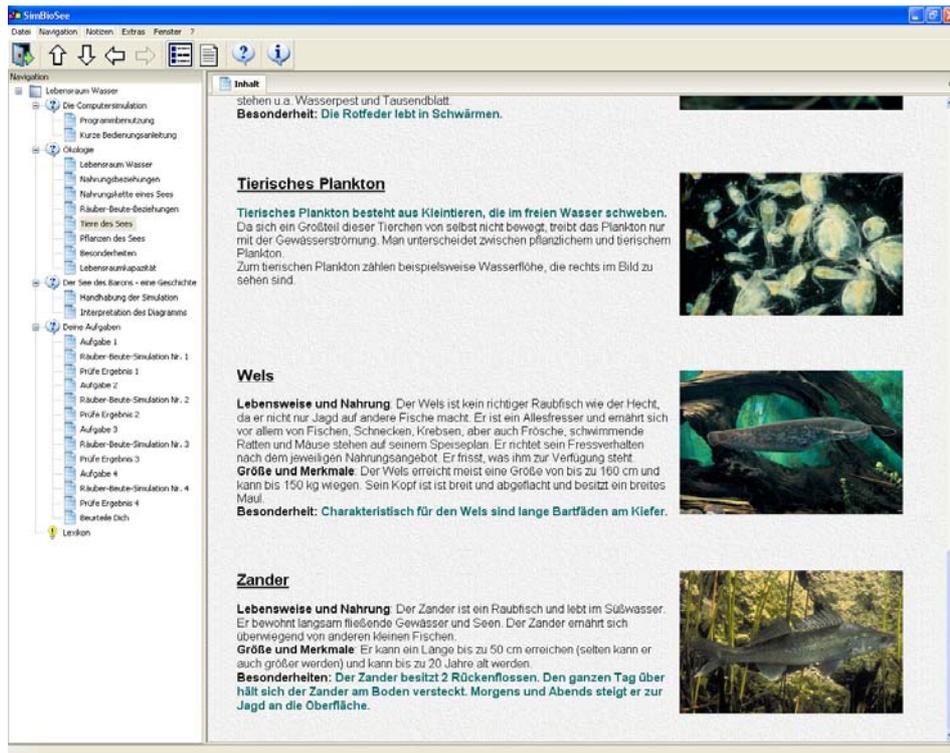


Abbildung 7.16: Bildschirmansicht (Teil 4) „Tiere des Sees“.

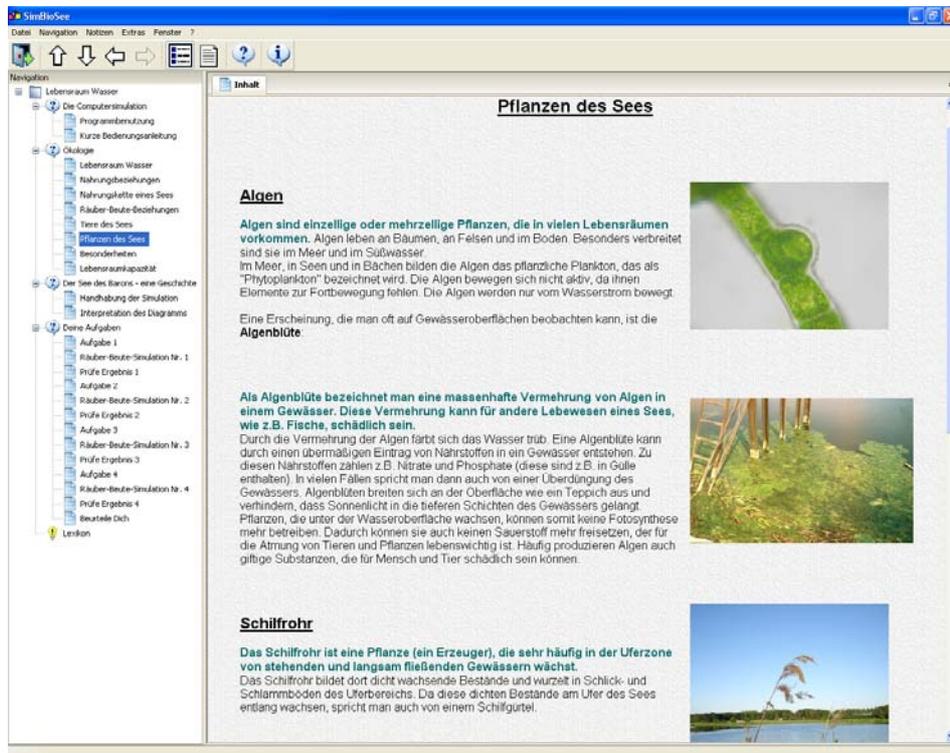


Abbildung 7.17: Bildschirmansicht (Teil 1) „Pflanzen des Sees“.

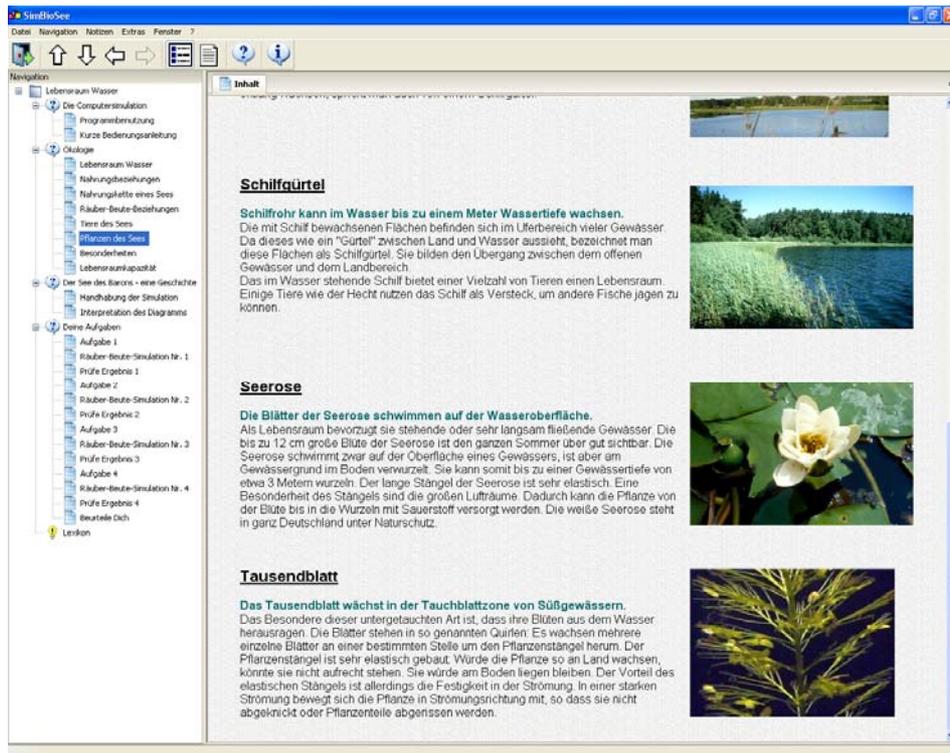


Abbildung 7.18: Bildschirmansicht (Teil 2) „Pflanzen des Sees“.

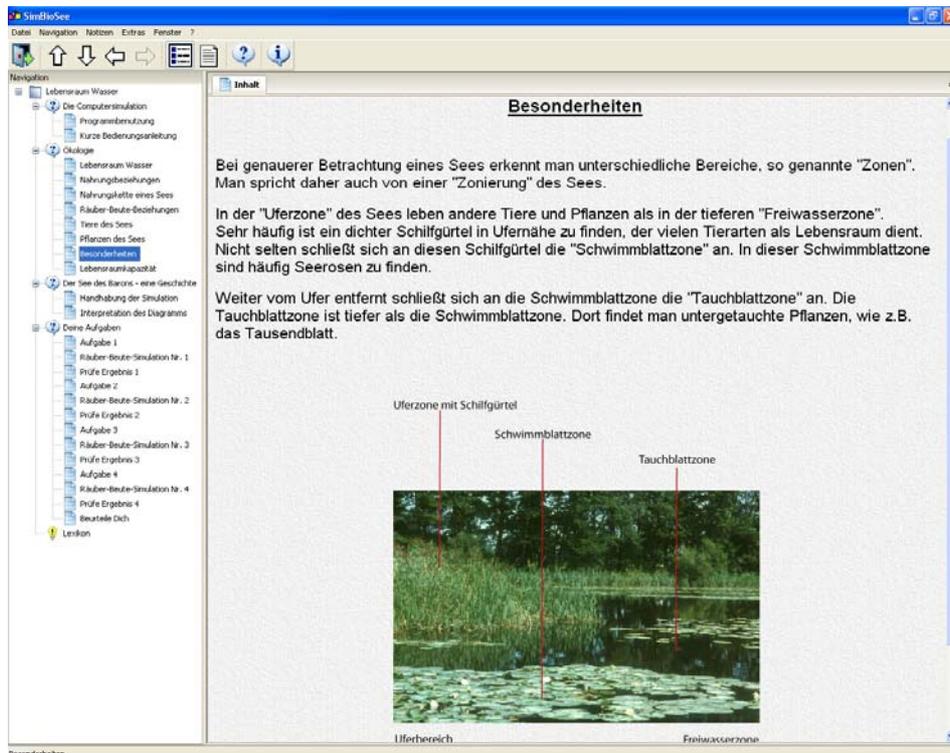


Abbildung 7.19: Bildschirmansicht zu einer Zonierung eines Sees.

**Lebensraumkapazität**

Lebensräume wie ein See werden von einer Vielzahl von Pflanzen und Tieren bewohnt. Jeder Lebensraum hat eine bestimmte Größe: So gibt es z.B. größere und auch kleine Seen.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen Querschnitte durch einen großen und einen kleinen See. Jeder rote Punkt zeigt einen Fisch der gleichen Art - z.B. einen Hecht.

Es können in einem Lebensraum jedoch nicht unendlich viele Tiere oder Pflanzen einer Art leben. Ihre Anzahl ist begrenzt, da keine unbegrenzten Mengen an Nahrung, Platz oder Verstecken zur Verfügung stehen. In einem großen und struktureicheren See können z.B. mehr Fische einer Art leben als in einem kleinen.

Man spricht in diesem Zusammenhang von der Kapazität (einem Fassungsvermögen) des Lebensraums, oder von der **Lebensraumkapazität**. Die Lebensraumkapazität ist begrenzt durch die

Abbildung 7.20: Bildschirmansicht der Seite „Lebensraumkapazität“ (oberer Teil).

Lebensraum hat eine bestimmte Größe: So gibt es z.B. größere und auch kleine Seen.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen Querschnitte durch einen großen und einen kleinen See. Jeder rote Punkt zeigt einen Fisch der gleichen Art - z.B. einen Hecht.

Es können in einem Lebensraum jedoch nicht unendlich viele Tiere oder Pflanzen einer Art leben. Ihre Anzahl ist begrenzt, da keine unbegrenzten Mengen an Nahrung, Platz oder Verstecken zur Verfügung stehen. In einem großen und struktureicheren See können z.B. mehr Fische einer Art leben als in einem kleinen.

Man spricht in diesem Zusammenhang von der Kapazität (einem Fassungsvermögen) des Lebensraums, oder von der **Lebensraumkapazität**. Die Lebensraumkapazität ist begrenzt durch die **Kapazitätsgrenze**: Es können höchstens nur so viele Lebewesen einer Art in einem Lebensraum leben, bis die Kapazitätsgrenze erreicht ist.

Die Lebensraumkapazität ist die maximale Anzahl von Lebewesen, die in einem Lebensraum leben kann.

Abbildung 7.21: Bildschirmansicht der Seite „Lebensraumkapazität“ (unterer Teil).

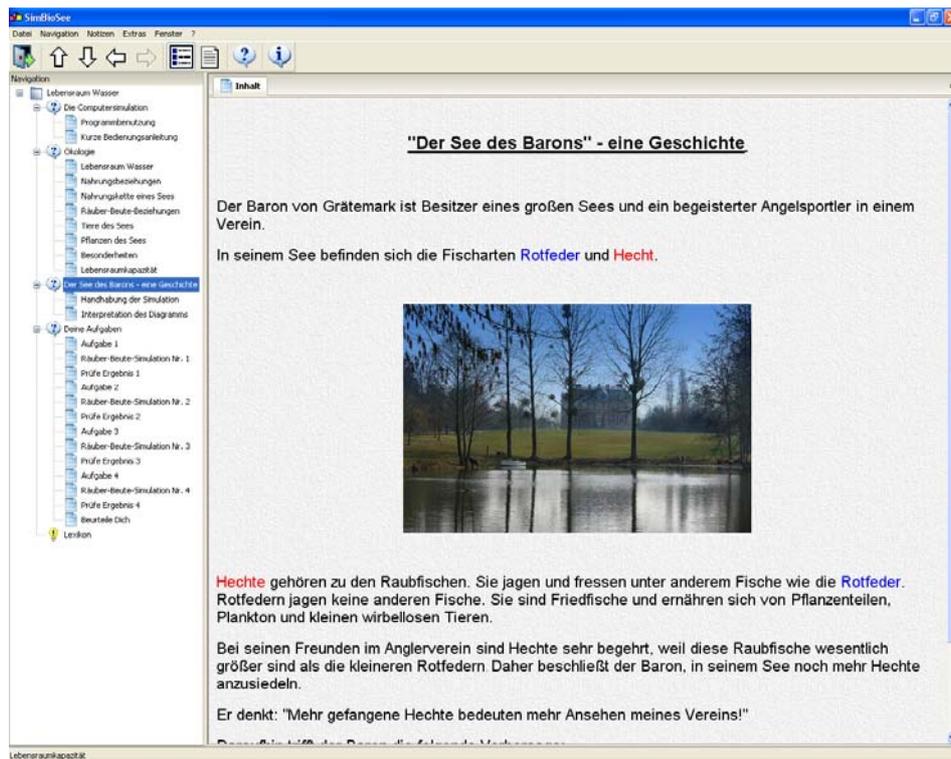


Abbildung 7.22: Bildschirmansicht der Einführungsseite des Lösungsbeispiels (oberer Teil).

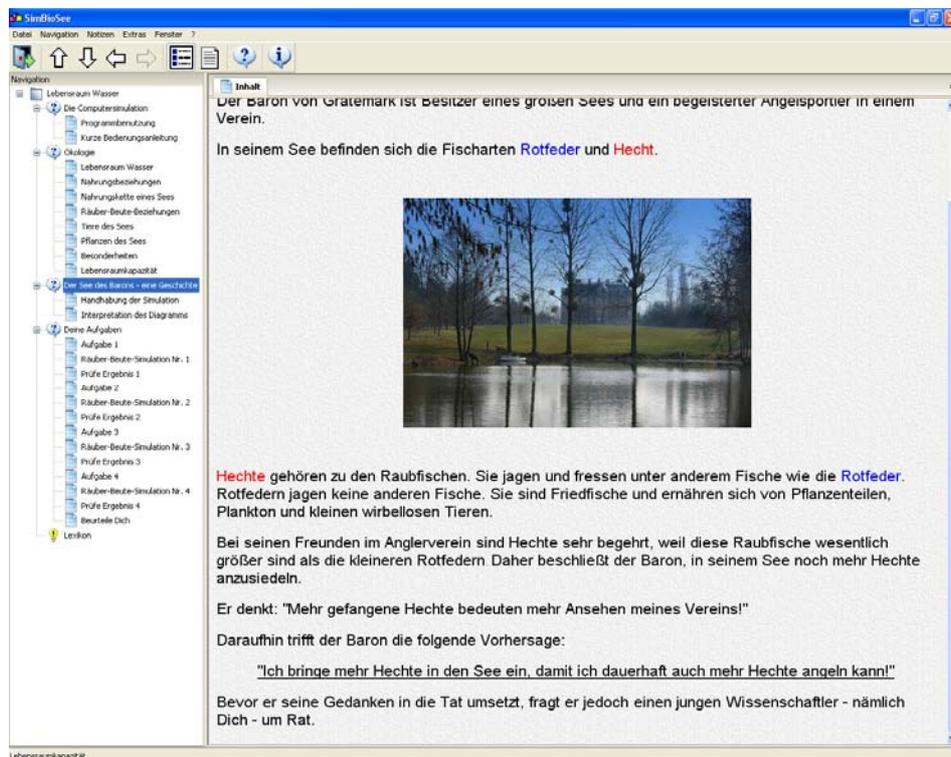


Abbildung 7.23: Bildschirmansicht der Einführungsseite des Lösungsbeispiels (unterer Teil).

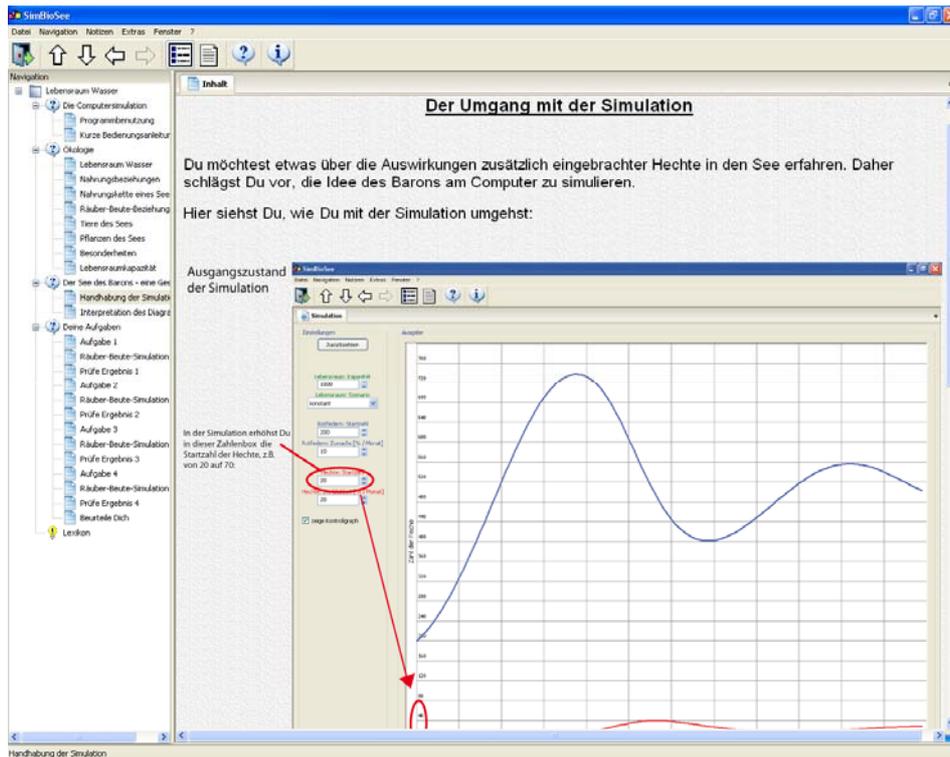


Abbildung 7.24: Bildschirmansicht zur Handhabung der Simulation (oberer Teil).

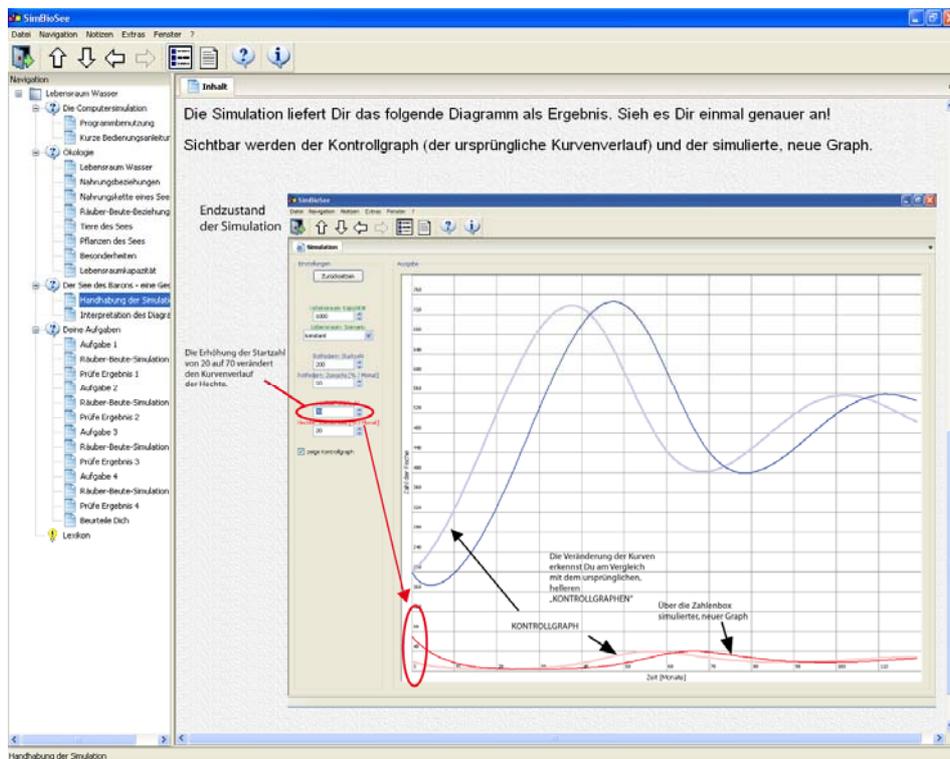


Abbildung 7.25: Bildschirmansicht zur Handhabung der Simulation (unterer Teil).

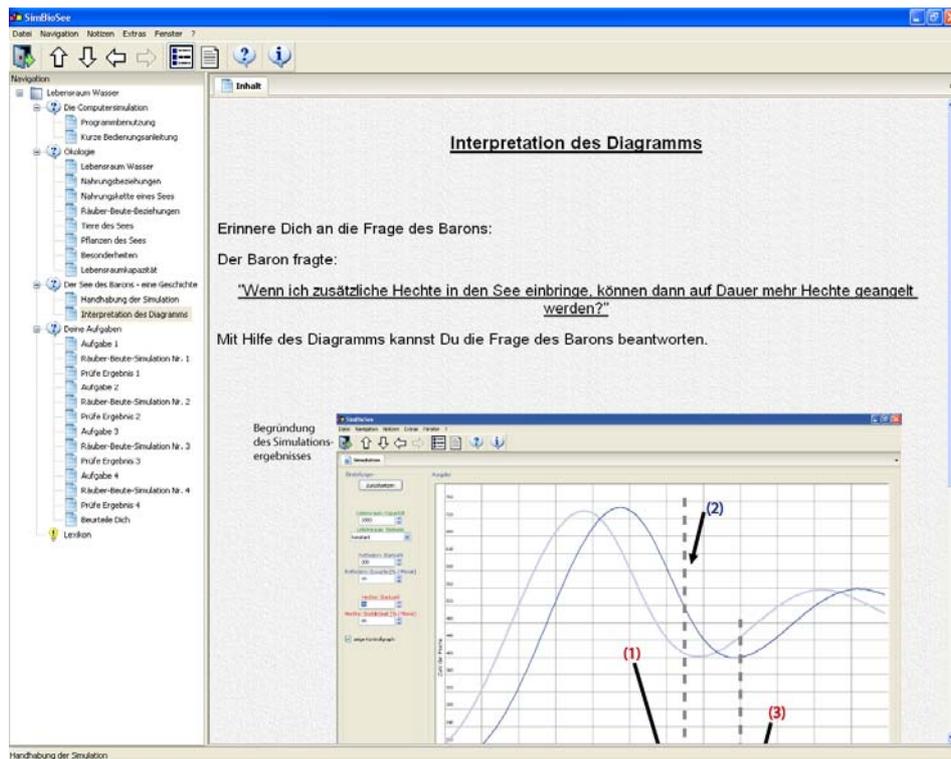


Abbildung 7.26: Bildschirmansicht zur Interpretation des Simulationsergebnisses (oberer Teil).

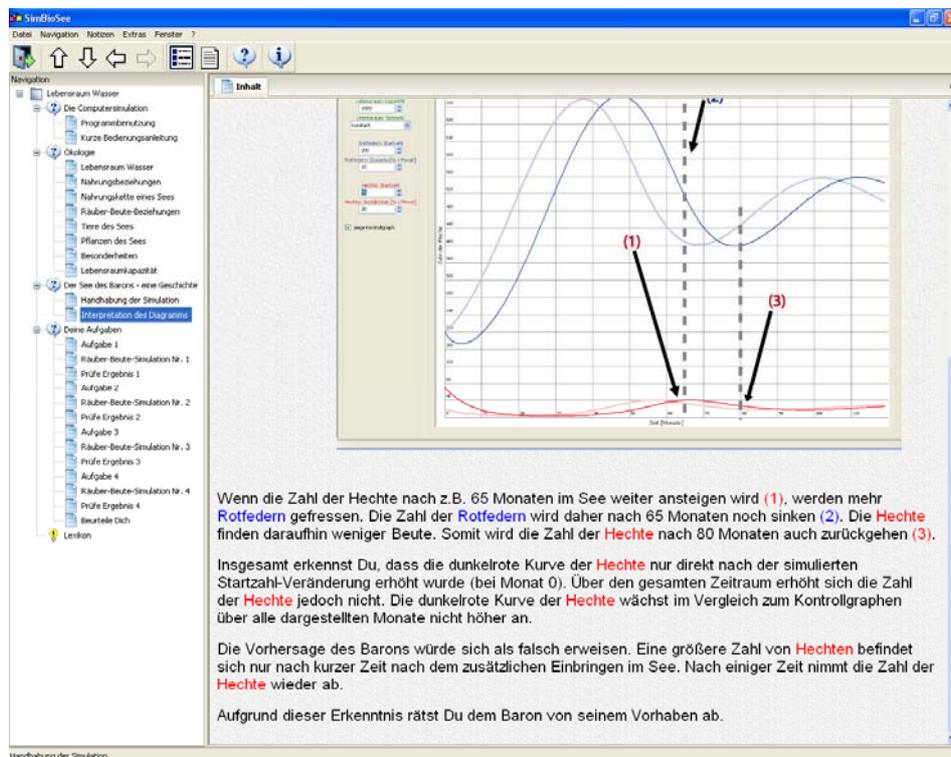


Abbildung 7.27: Bildschirmansicht zur Interpretation des Simulationsergebnisses (unterer Teil).

Exemplarisch werden für die Untersuchungsbedingungen (1) und (2), (3) und (4) sowie (5) und (6) die Bildschirmansicht der Seite, die in den Aufgabenteil einleitet (vgl. Abbildung 7.28) sowie die Seite der ersten von insgesamt acht Aufgaben gezeigt (vgl. Abbildung 7.29). Die Seite mit der Computersimulation, die direkt der Seite einer Aufgabe folgt (vgl. Abbildung 7.30), ist bei allen Untersuchungsbedingungen identisch. Ebenso identisch ist in allen Untersuchungsbedingungen die Seite zur Aufforderung eines Ergebnisvergleichs mit der getroffenen Vorhersage (vgl. Abbildung 7.31).

Untersuchungsbedingungen (1) und (2):

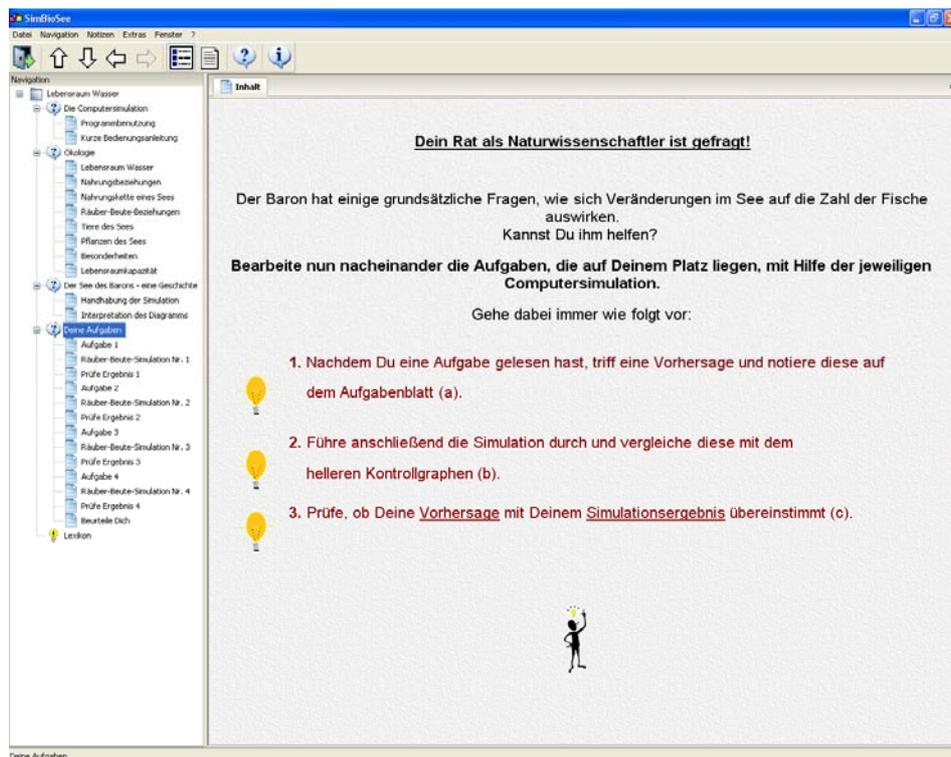


Abbildung 7.28: Bildschirmansicht zur Einführung in den Aufgabenteil.

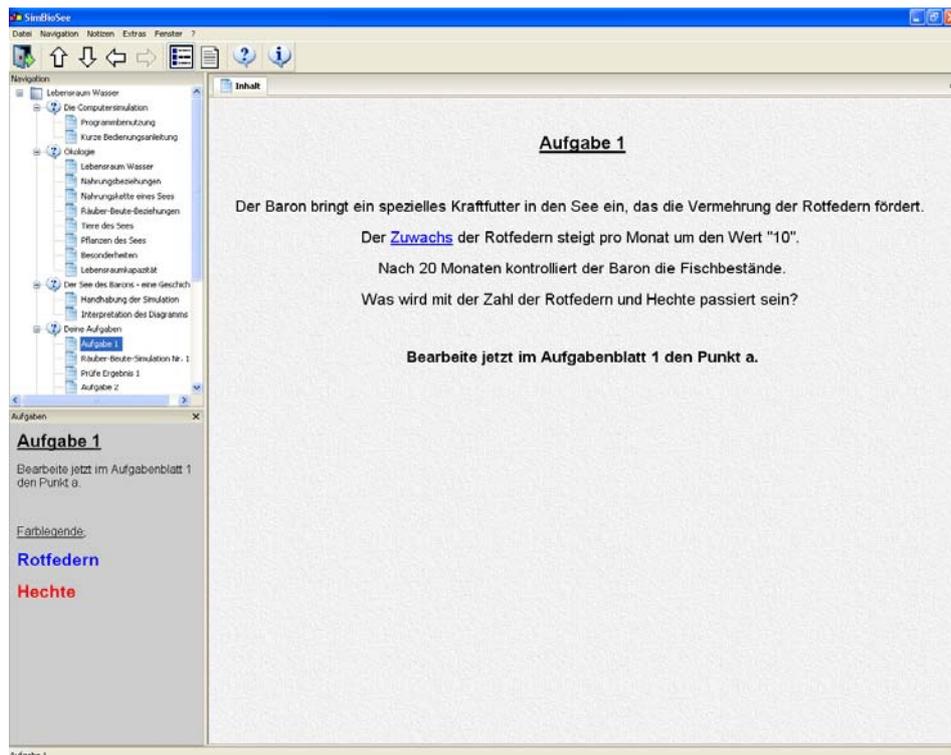


Abbildung 7.29: Bildschirmansicht der Aufgabenstellung 1.

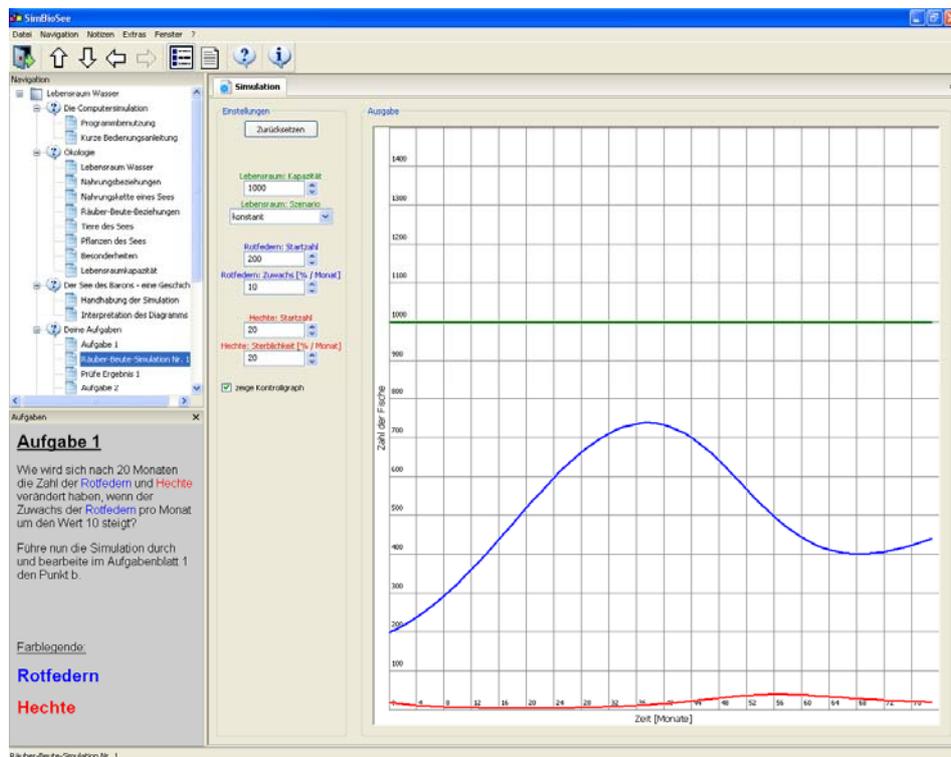


Abbildung 7.30: Bildschirmansicht der Computersimulation.

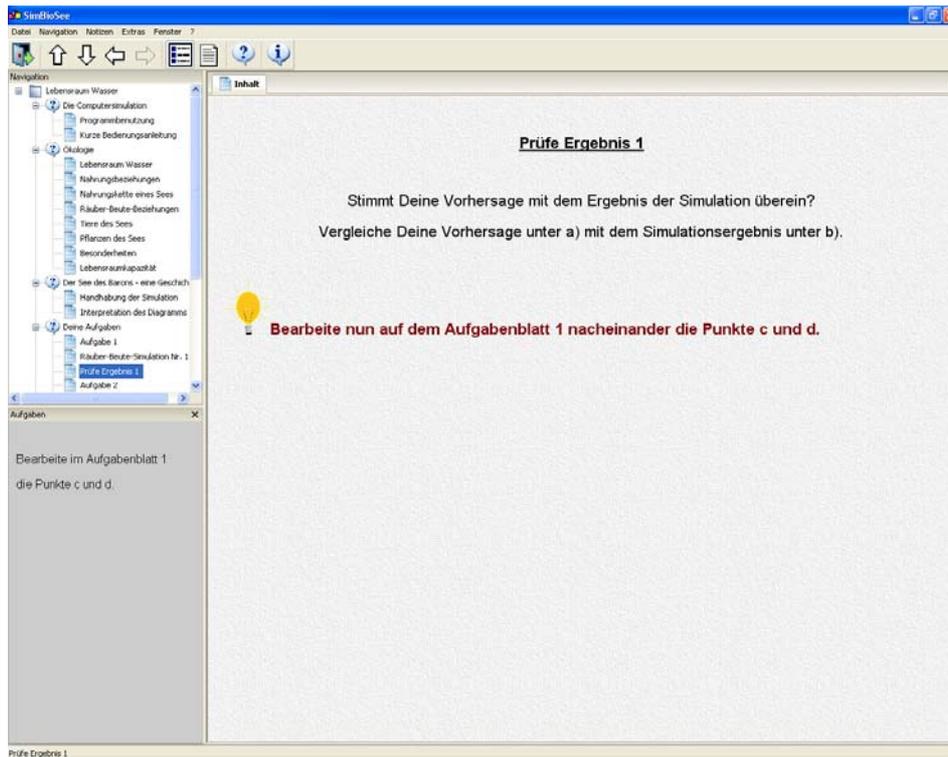


Abbildung 7.31: Bildschirmansicht zur Aufforderung des Ergebnisvergleichs mit der getroffenen Vorhersage.

Untersuchungsbedingungen (3) und (4):

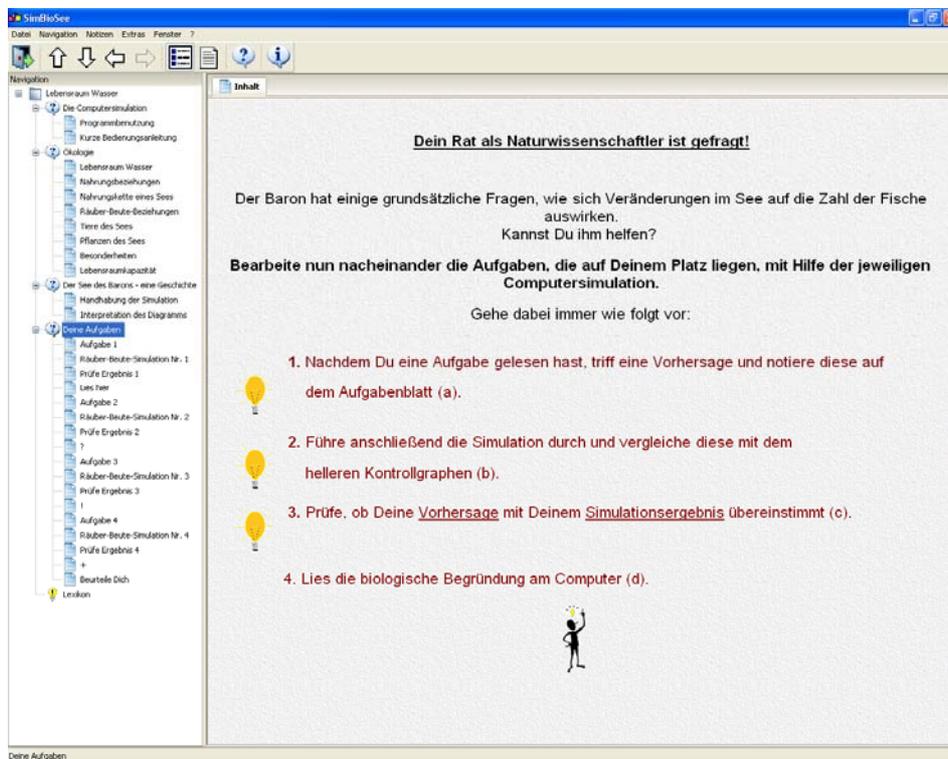


Abbildung 7.32: Bildschirmansicht zur Einführung in den Aufgabenteil (für Untersuchungsbedingungen (3) und (4)).

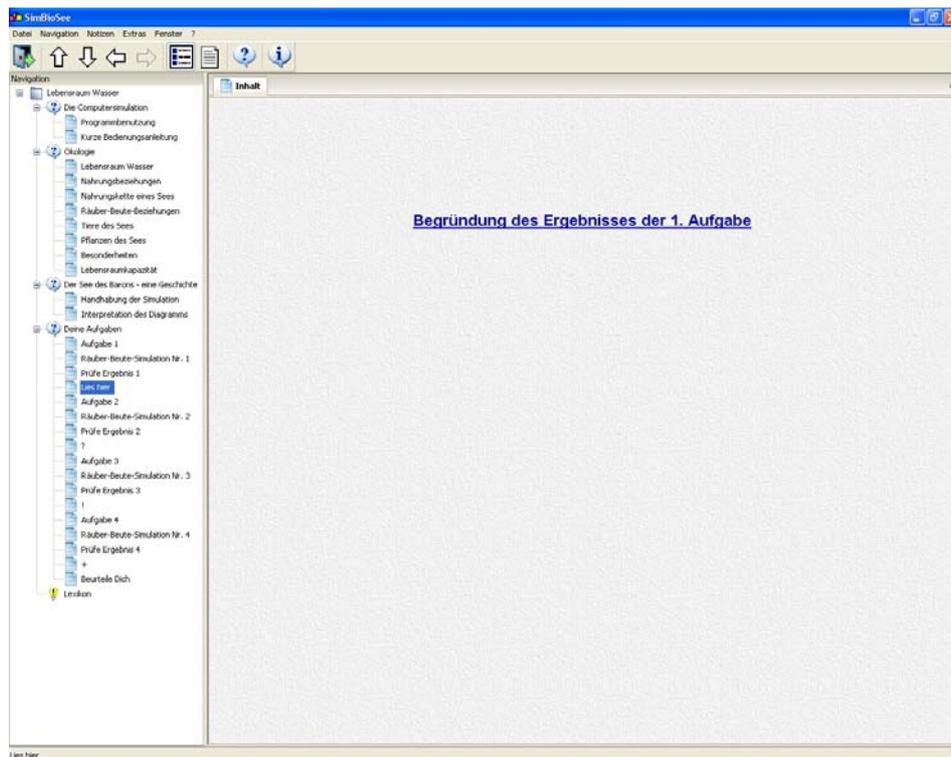


Abbildung 7.33: Bildschirmansicht der Seite, die einen Hyperlink zur Seite mit der Beschreibung und biologischen Interpretation des jeweiligen korrekten Simulationsergebnisses durch das Computerprogramm enthält.

Untersuchungsbedingungen (5) und (6):

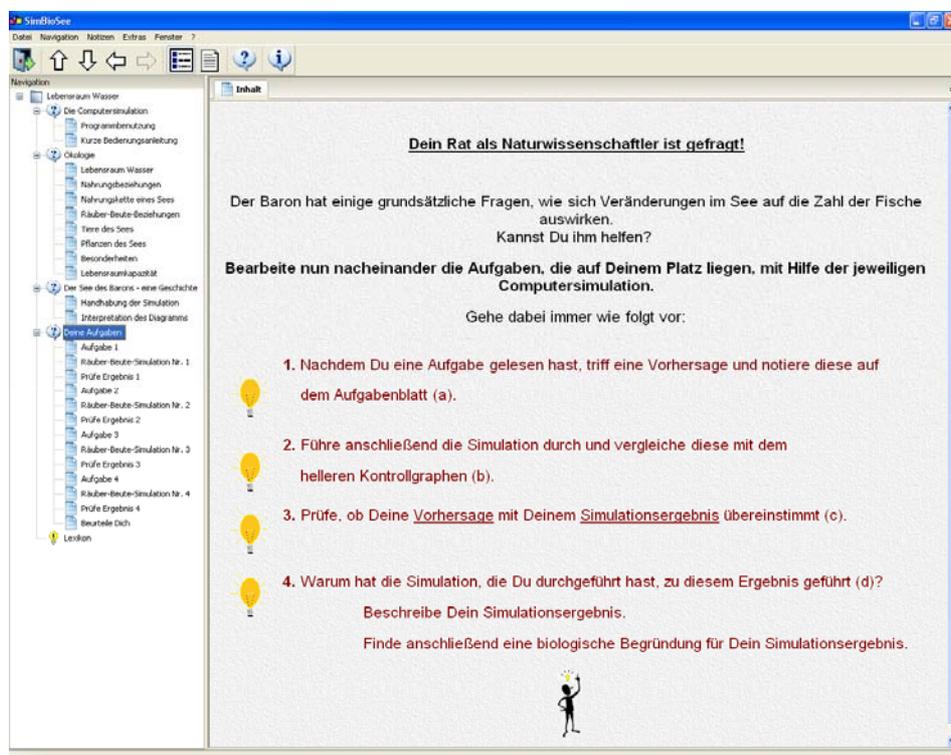


Abbildung 7.34: Bildschirmansicht der Seite zur Einführung in den Aufgabenteil (Untersuchungsbedingungen (5) und (6)).

Teilnehmer der Untersuchungsbedingungen (3) und (4) erhielten als instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation die Beschreibung und Interpretation des Simulationsergebnisses vom Computerprogramm, auf die durch einen Hyperlink zugegriffen werden konnte (vgl. Abbildung 7.33). Die entsprechenden Bildschirmansichten werden im Folgenden für jede der insgesamt acht Aufgaben dargestellt.

### Aufgabe 1:

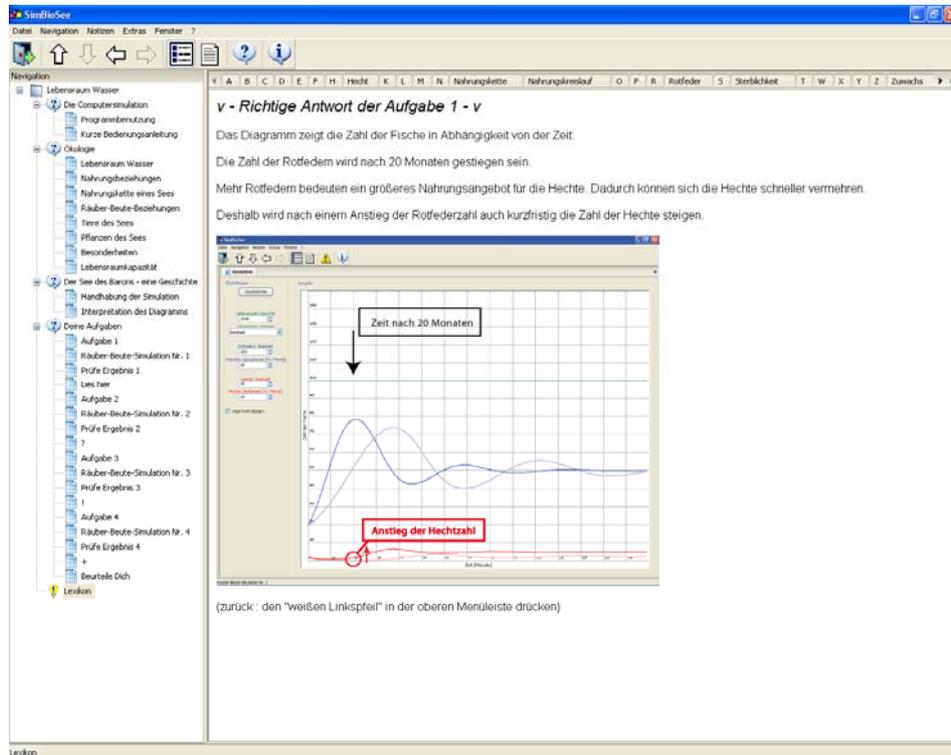


Abbildung 7.35: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 1.

Aufgabe 2:

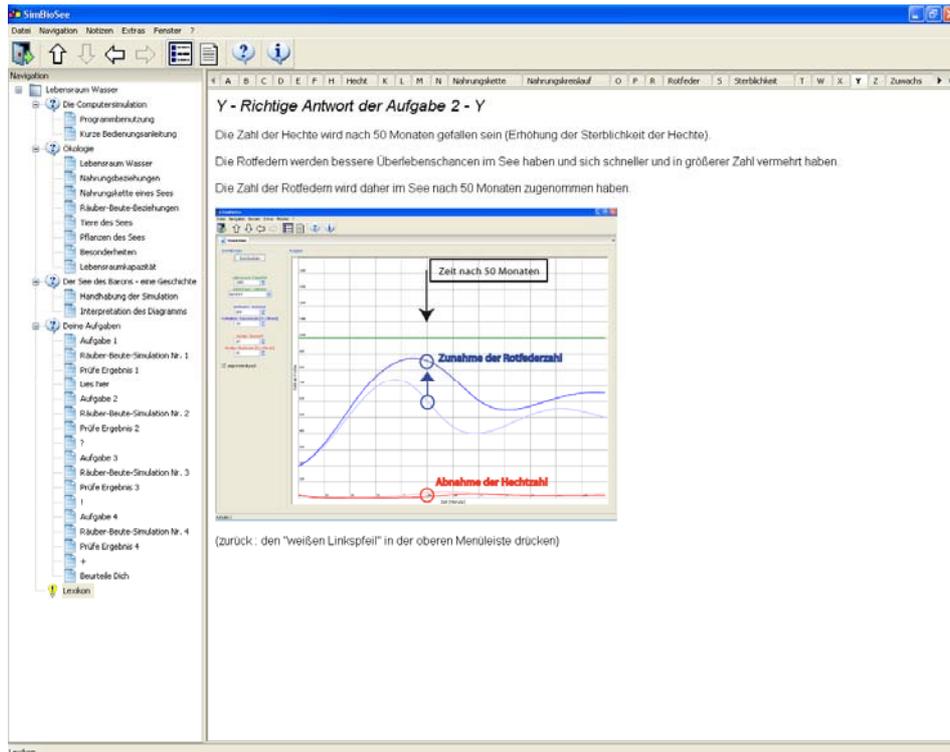


Abbildung 7.36: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 2.

Aufgabe 3:

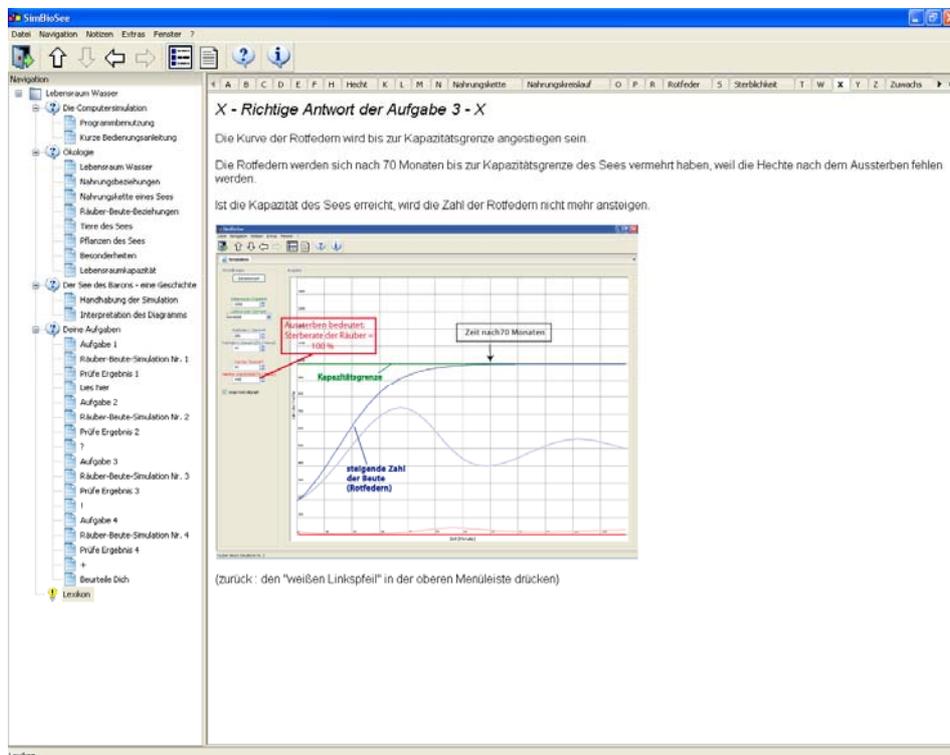


Abbildung 7.37: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 3.

Aufgabe 4:

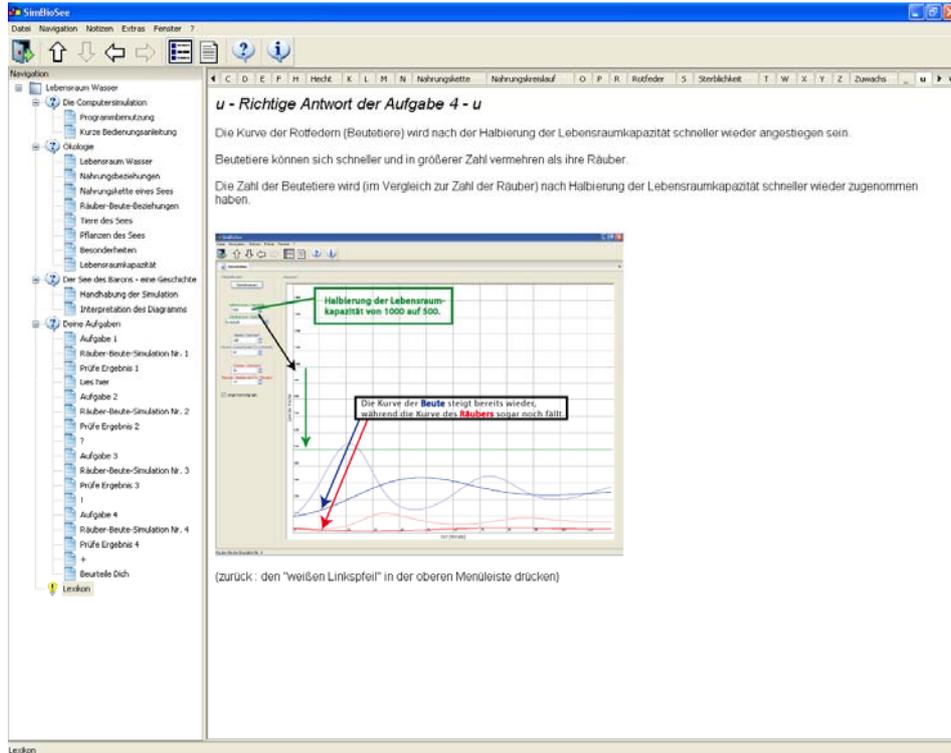


Abbildung 7.38: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 4.

Aufgabe 5:

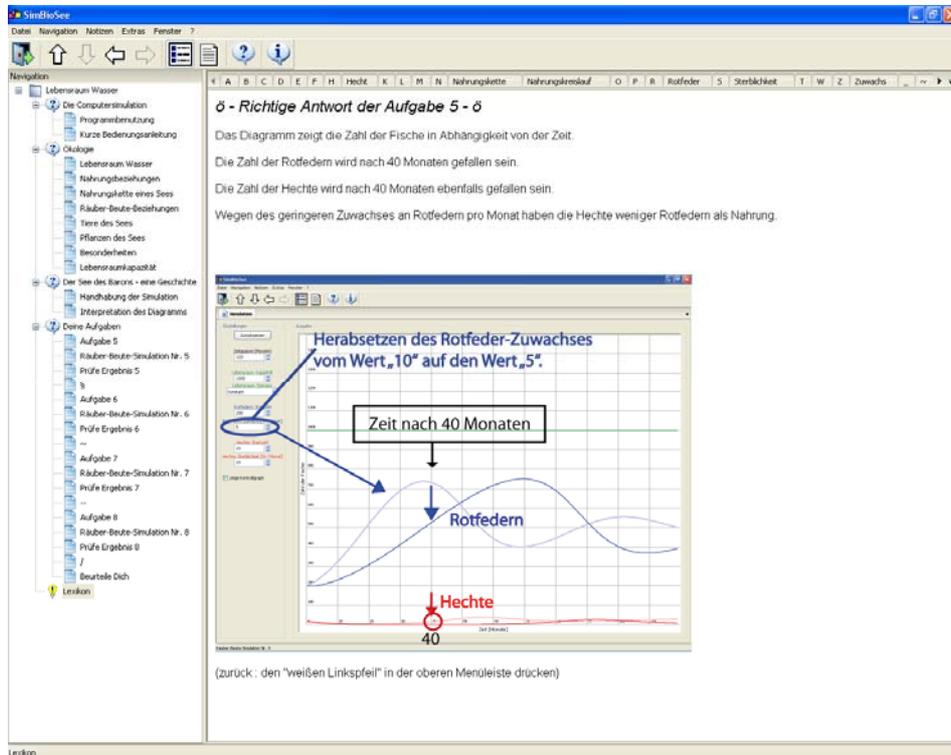


Abbildung 7.39: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 5.

Aufgabe 6:

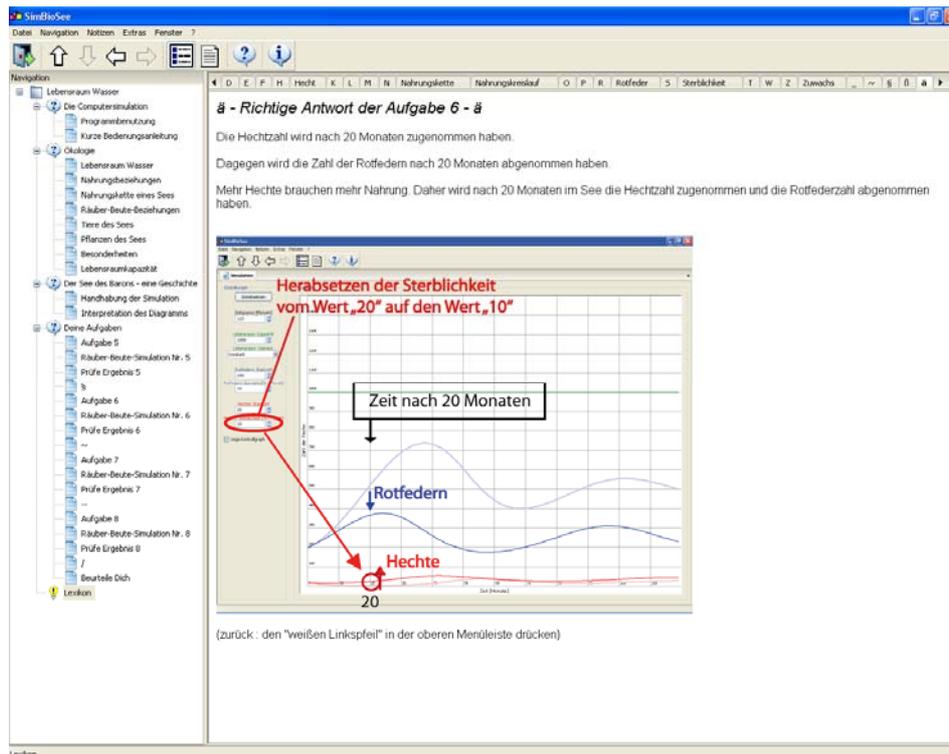


Abbildung 7.40 Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 6.

Aufgabe 7:

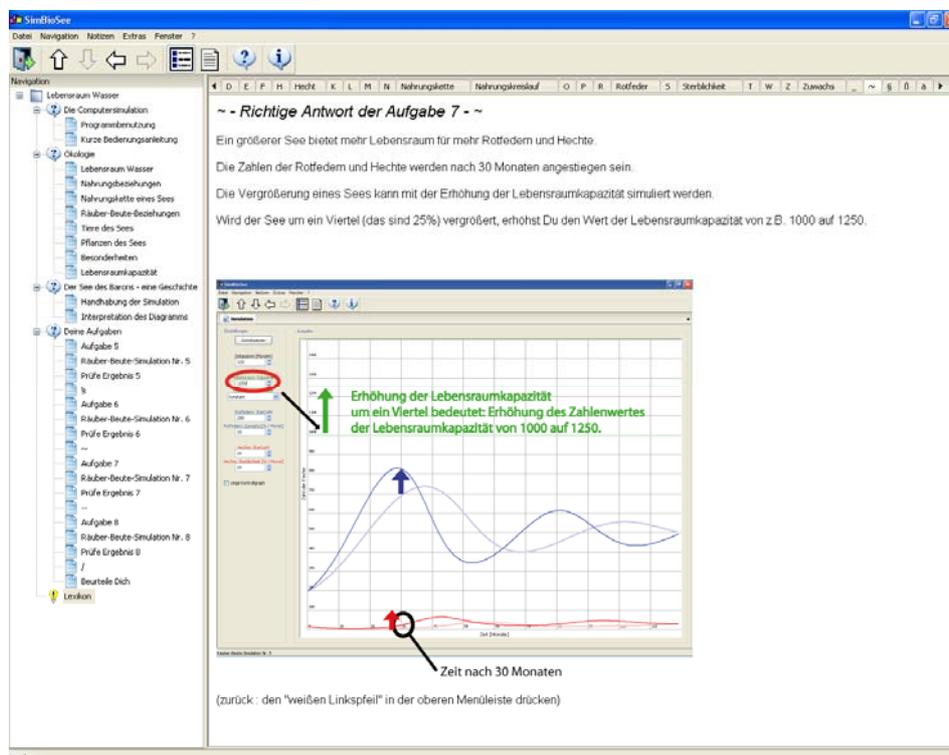


Abbildung 7.41: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 7.

## Aufgabe 8:

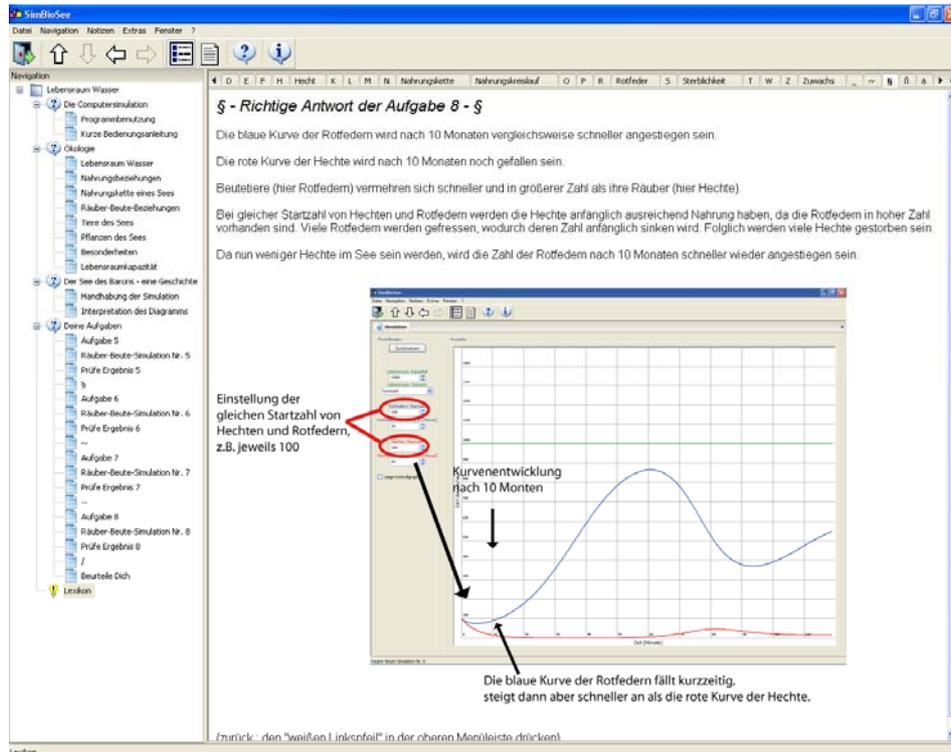


Abbildung 7.42: Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 8.

## Lexikon (Glossar)

Im Folgenden werden die Bildschirmansichten der Seiten des Lexikons dargestellt, auf die der Lernende permanent während des Simulationslernens in den Interventionen zugreifen konnte.

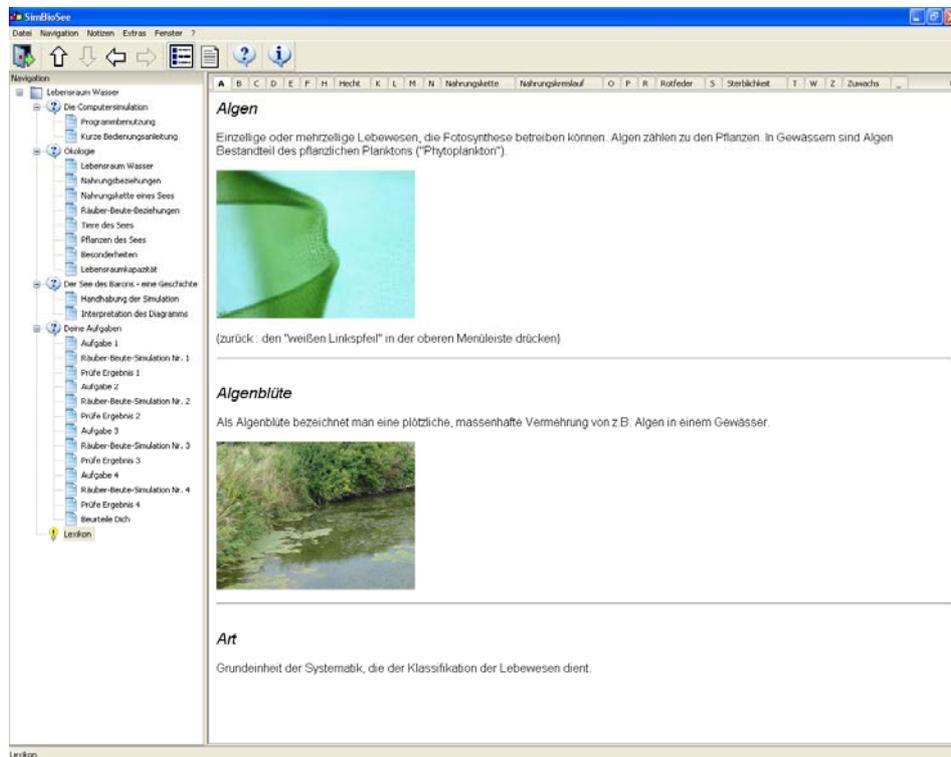


Abbildung 7.43: Bildschirmansicht zum Buchstaben „A“.

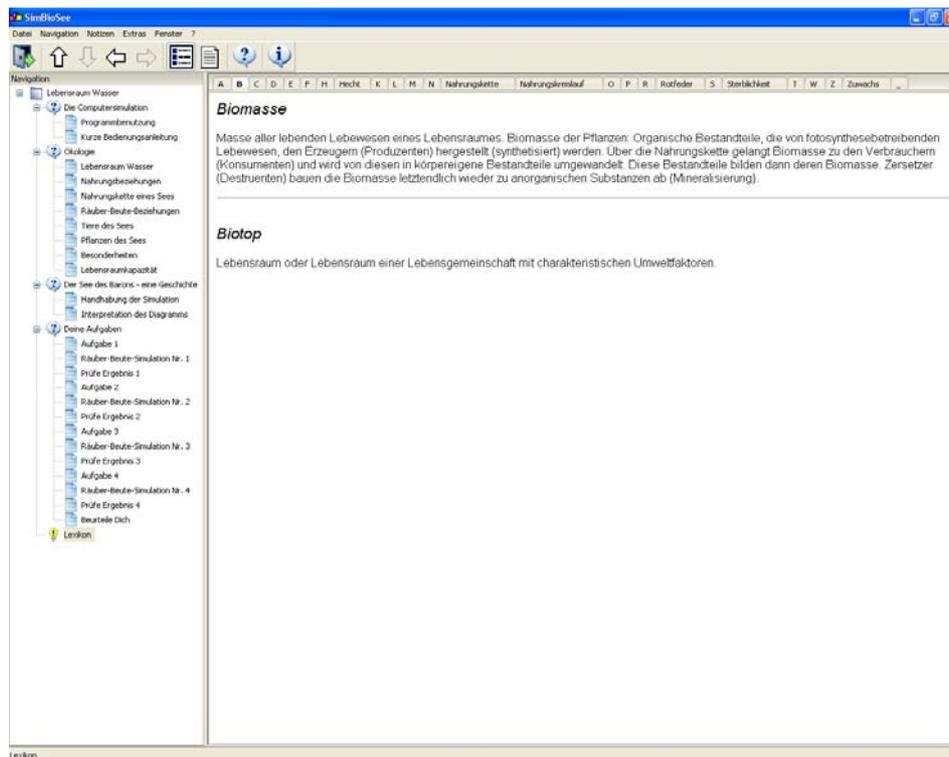


Abbildung 7.44: Bildschirmansicht zum Buchstaben „B“.

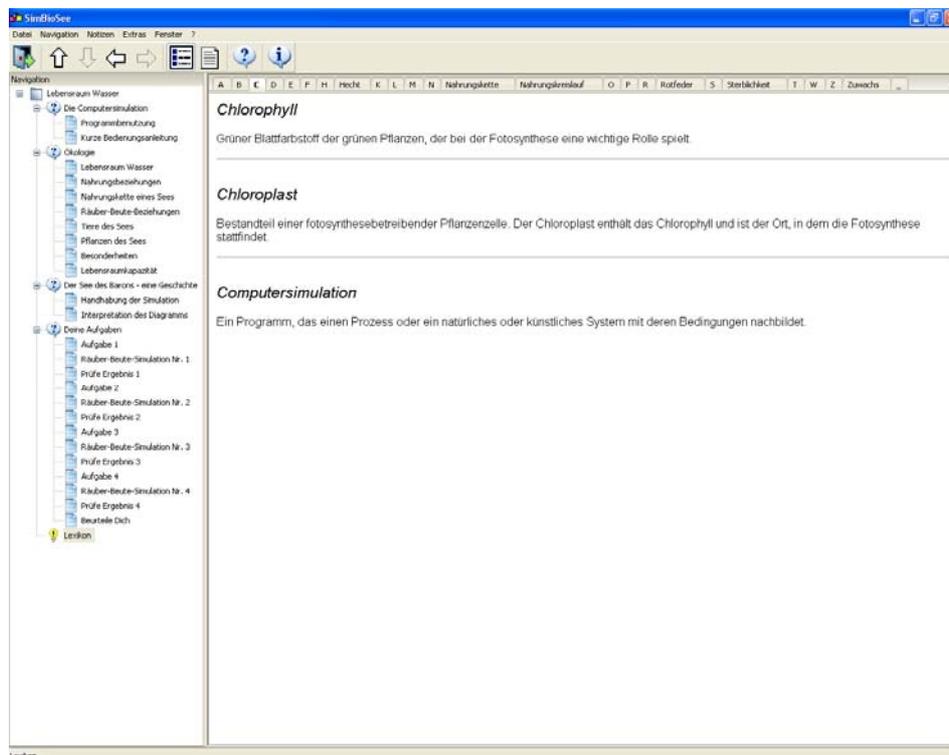


Abbildung 7.45: Bildschirmansicht zum Buchstaben „C“.

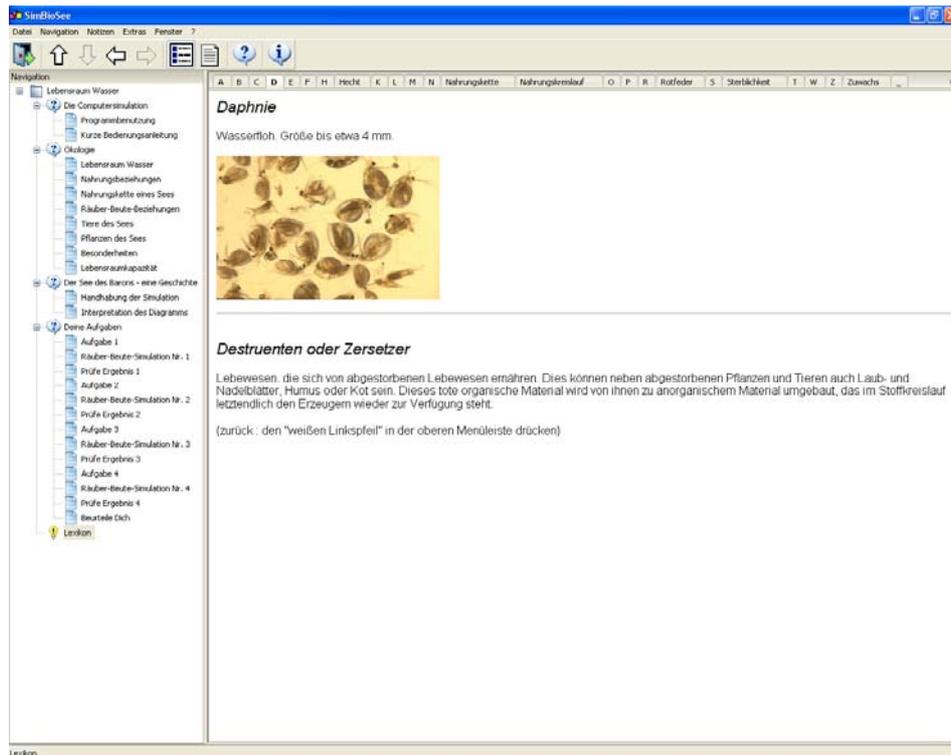


Abbildung 7.46: Bildschirmansicht zum Buchstaben „D“.

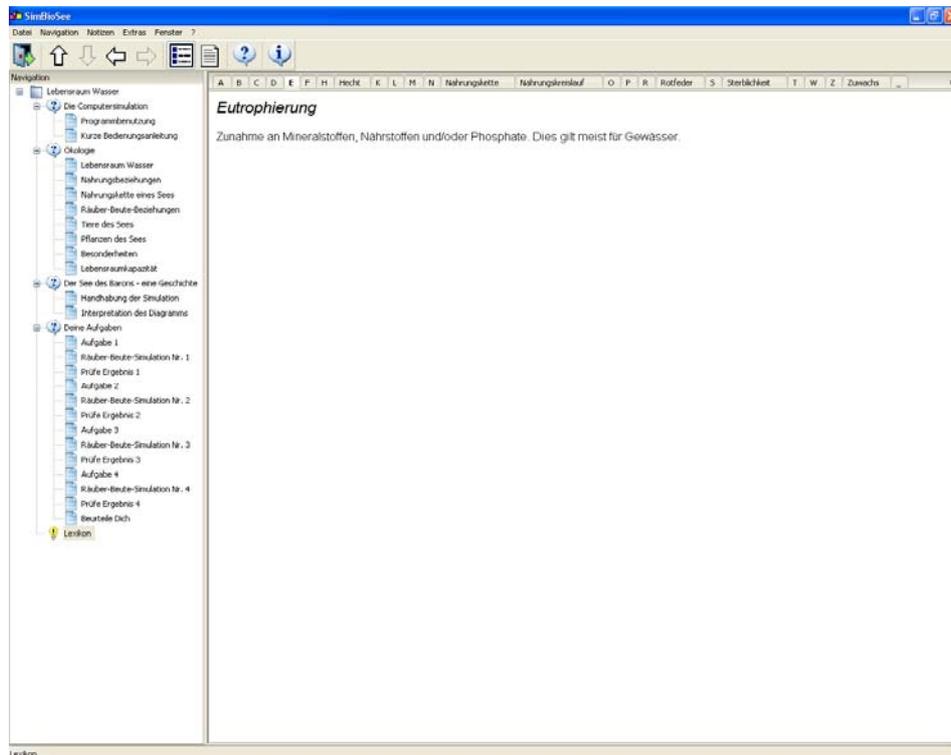


Abbildung 7.47: Bildschirmansicht zum Buchstaben „E“.

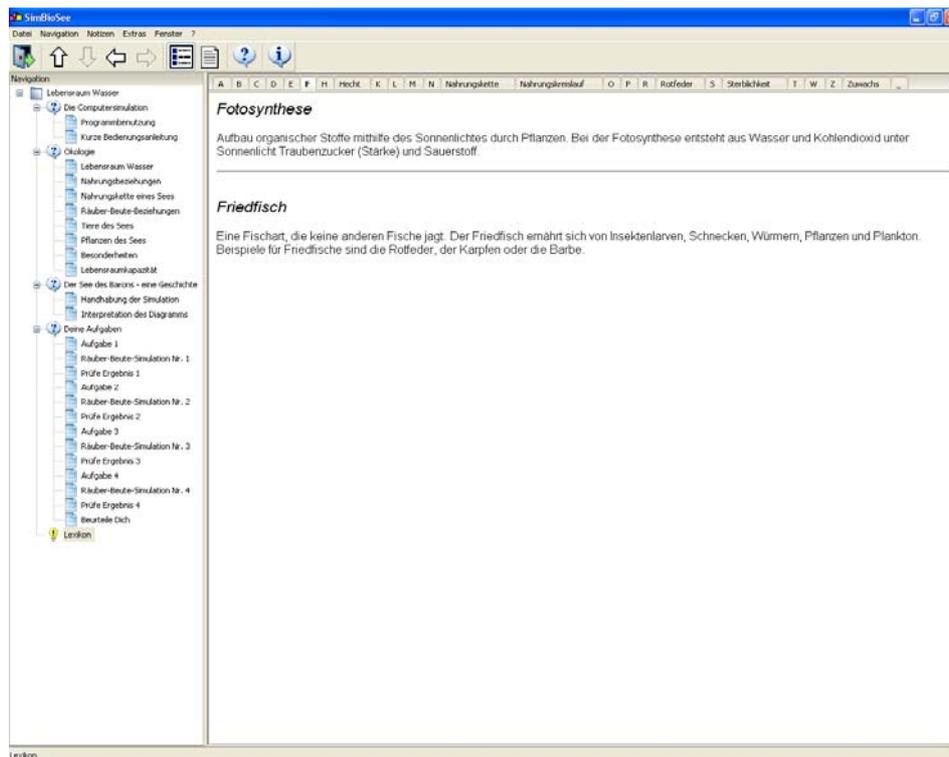


Abbildung 7.48: Bildschirmansicht zum Buchstaben „F“.

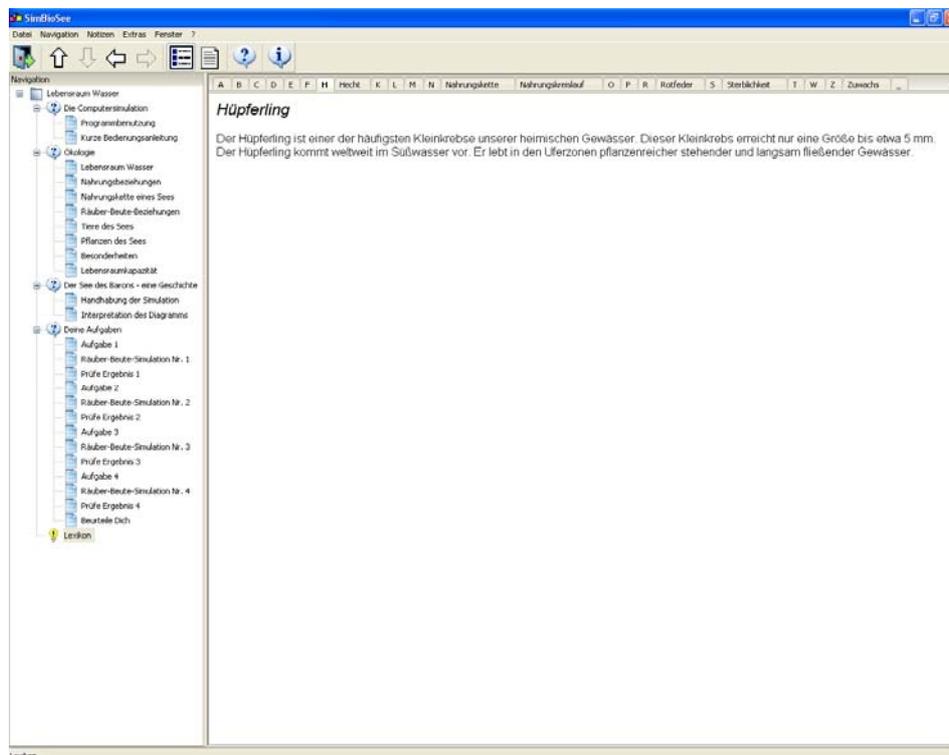


Abbildung 7.49: Bildschirmansicht zum Buchstaben „H“.

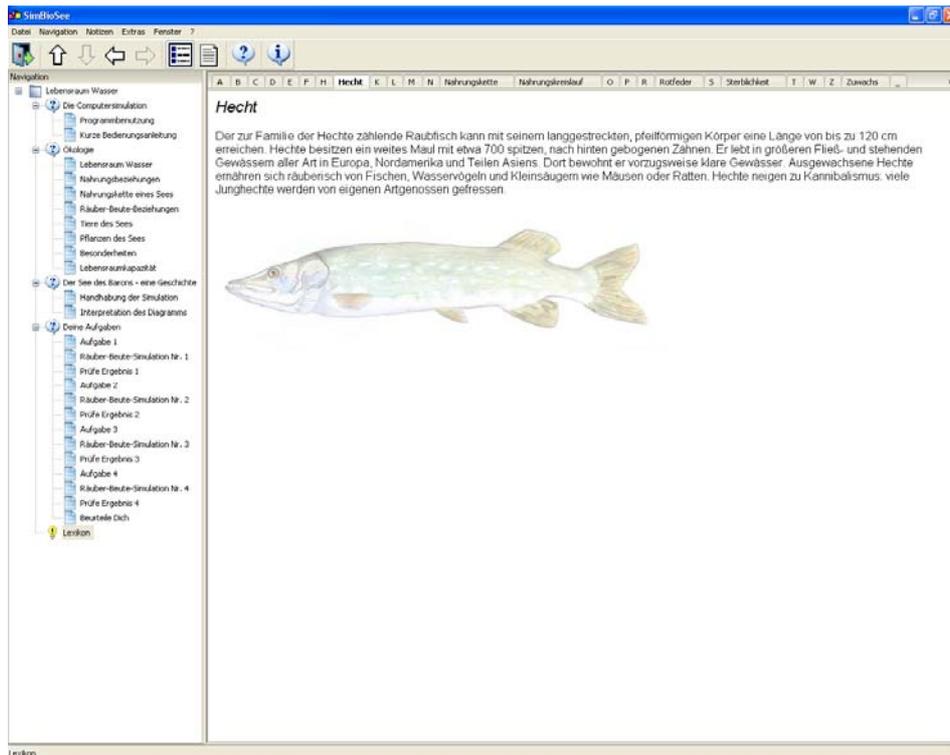


Abbildung 7.50: Bildschirmansicht der Lexikonseite „Hecht“.

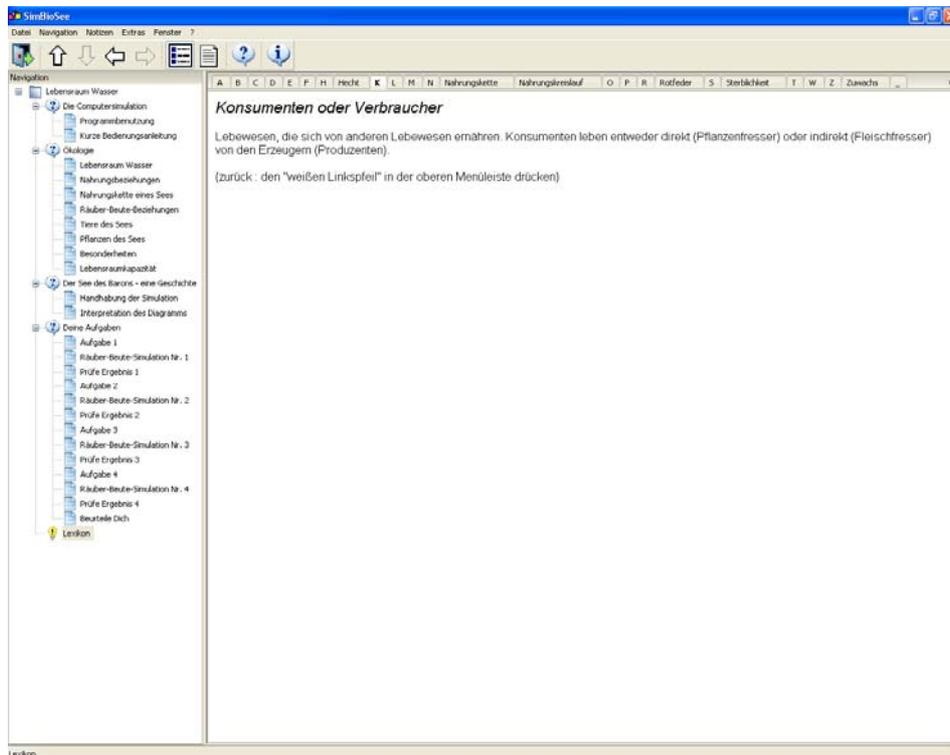


Abbildung 7.51: Bildschirmansicht zum Buchstaben „K“.

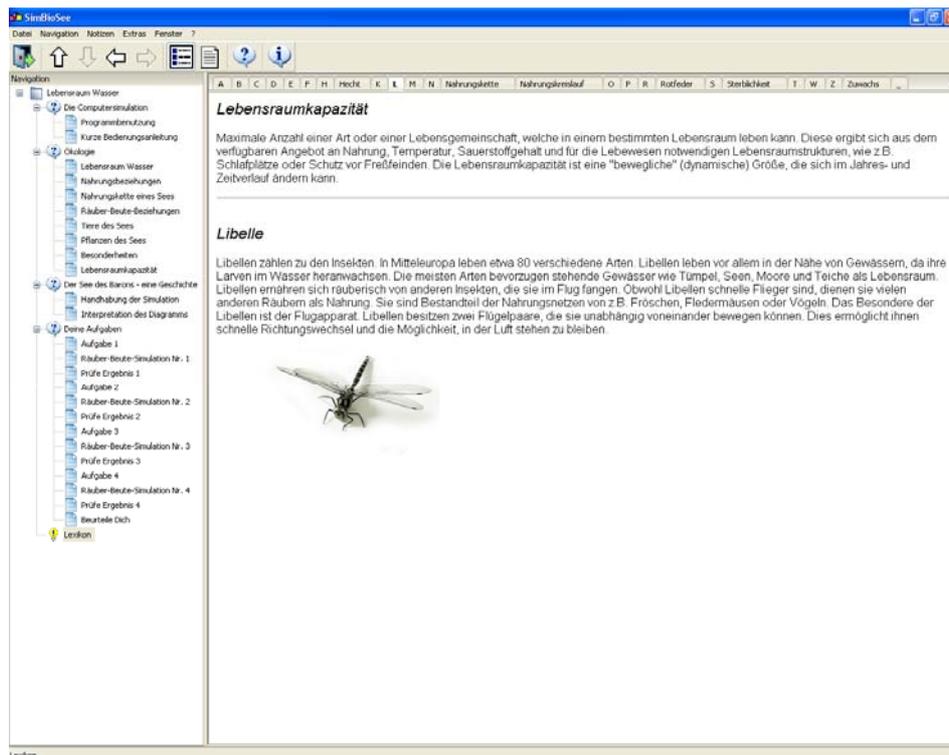


Abbildung 7.52: Bildschirmansicht zum Buchstaben „L“.

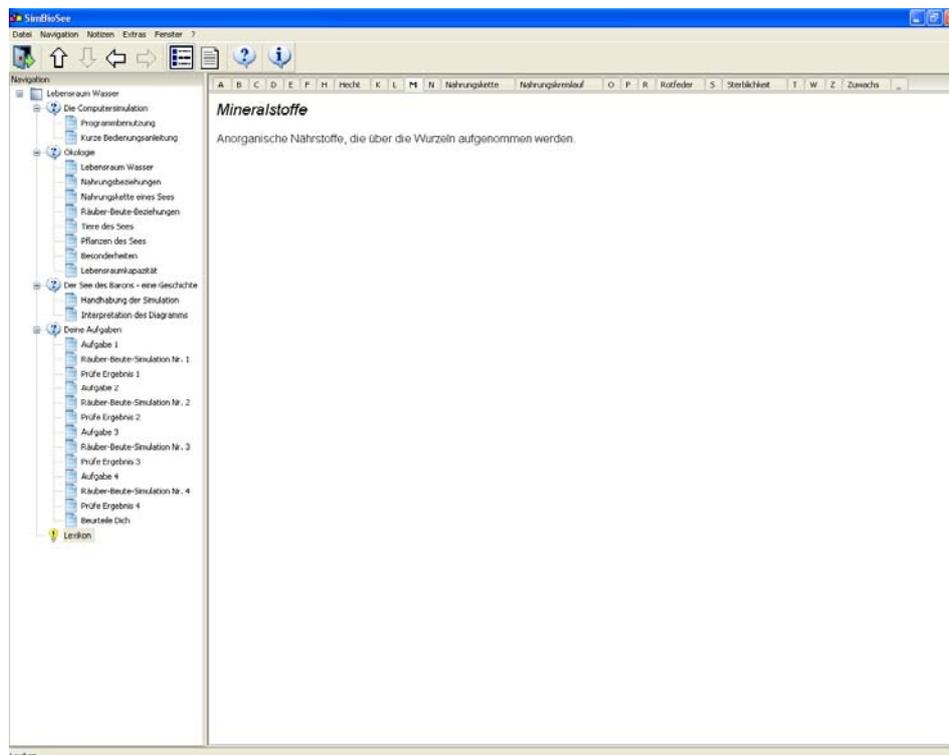


Abbildung 7.53: Bildschirmansicht zum Buchstaben „M“.

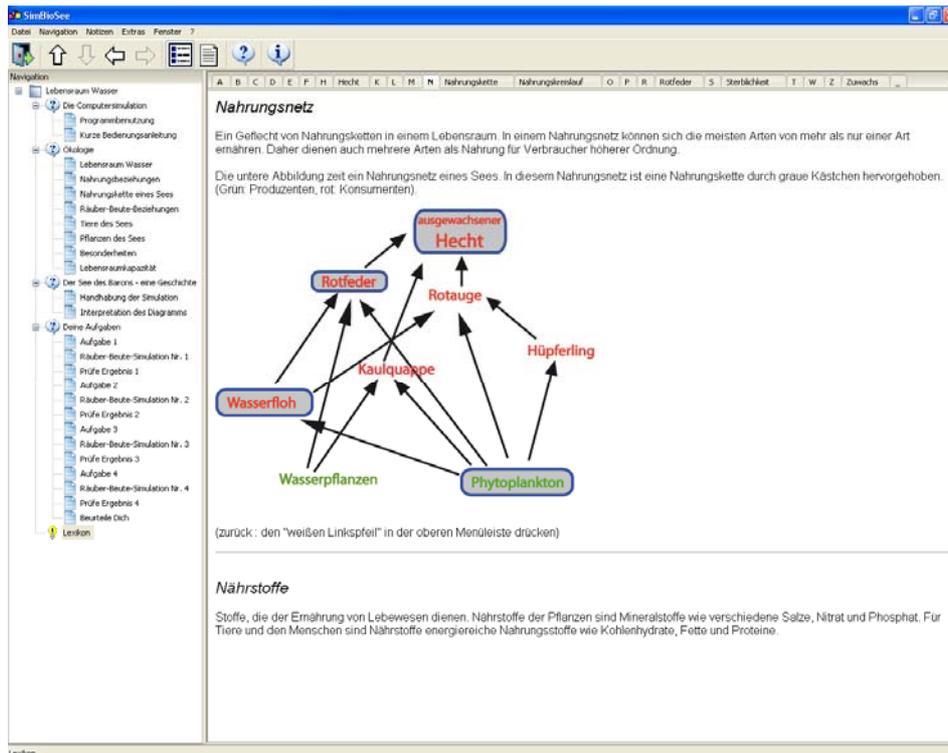


Abbildung 7.54: Bildschirmansicht zum Buchstaben „N“.

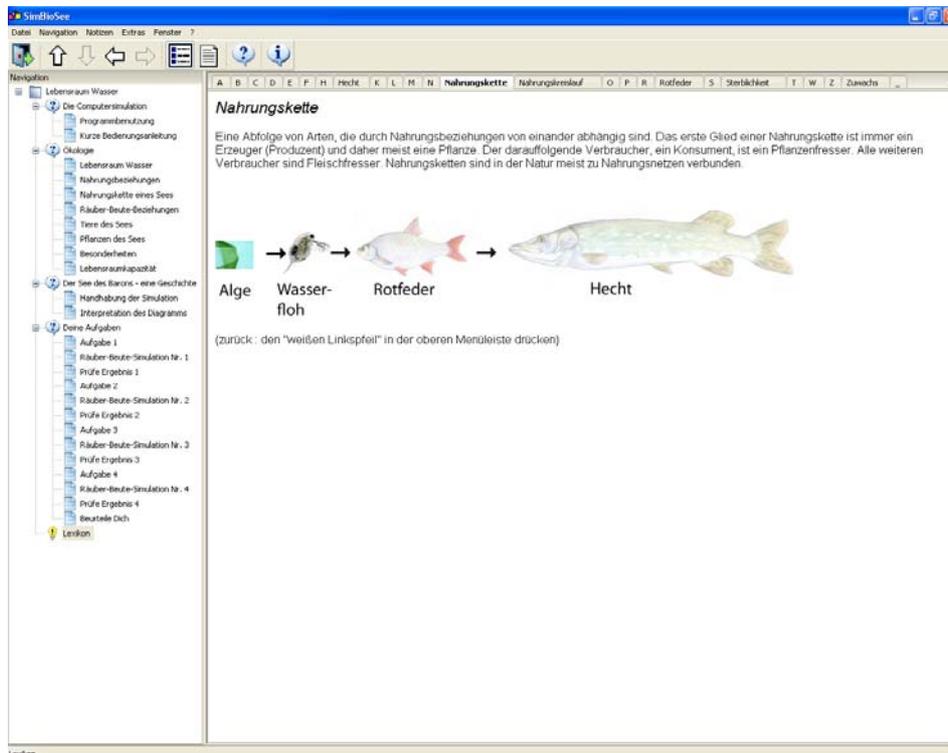


Abbildung 7.55: Bildschirmansicht der Lexikonseite „Nahrungskette“.

**Nahrungskreislauf**

Ein Nahrungskreislauf entsteht, wenn in einer Nahrungskette oder in einem Nahrungsnetz die Destruenten berücksichtigt werden. Die Destruenten zersetzen das organische Material und wandeln es in Nährstoffe um. Die Nährstoffe werden wieder von den grünen Pflanzen genutzt. Der Kreislauf schließt sich.

(zurück: den "weißen Linkspfeil" in der oberen Menüleiste drücken)

Abbildung 7.56: Bildschirmansicht der Lexikonseite „Nahrungskreislauf“.

**Organische Stoffe**

Chemische Substanzen, die aus Kohlenstoffverbindungen bestehen.

Abbildung 7.57: Bildschirmansicht zum Buchstaben „O“.

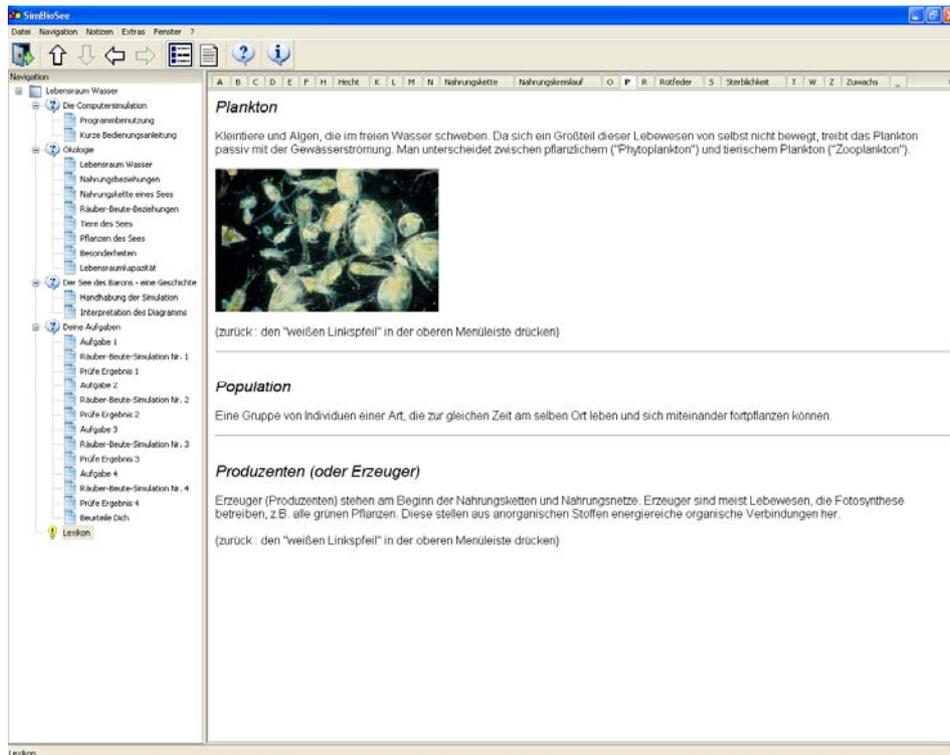


Abbildung 7.58: Bildschirmansicht zum Buchstaben „P“.

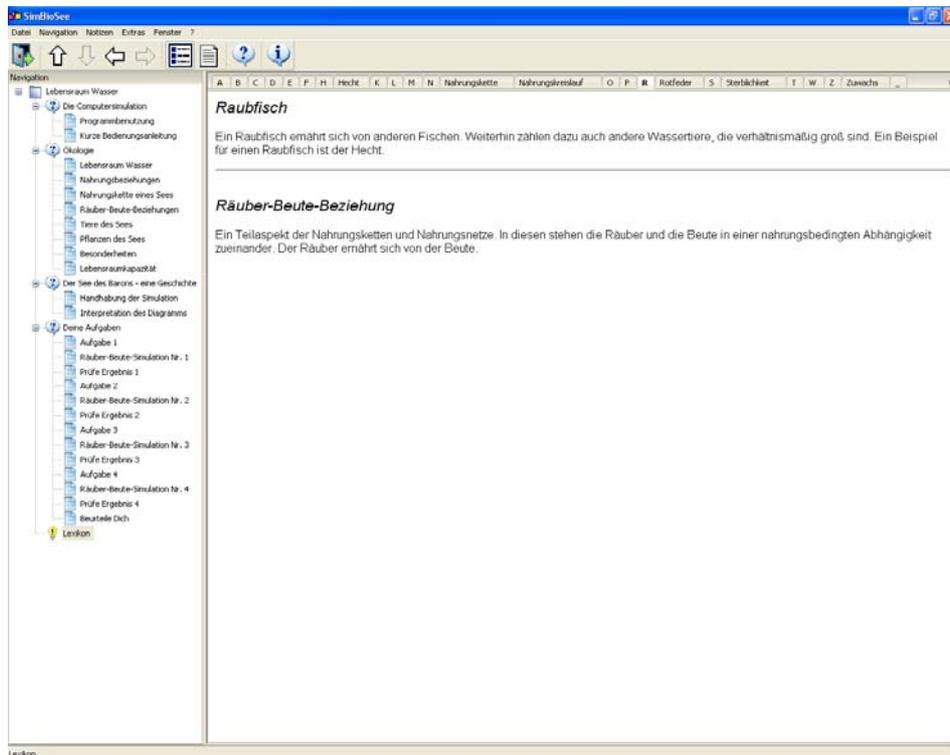


Abbildung 7.59: Bildschirmansicht zum Buchstaben „R“.

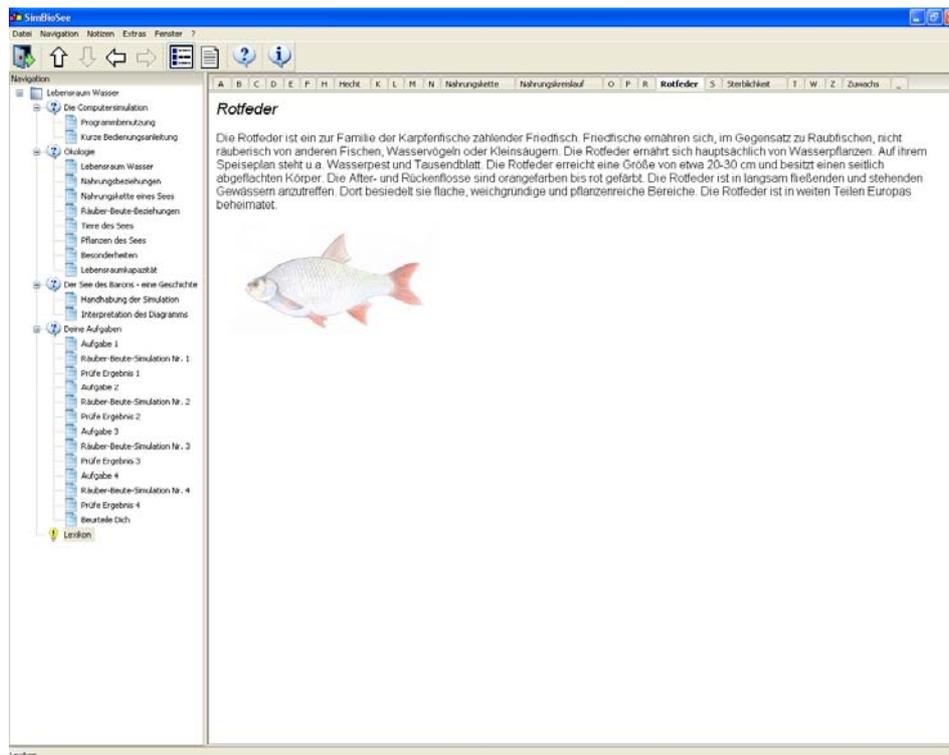


Abbildung 7.60: Bildschirmansicht der Lexikonseite „Rotfeder“.

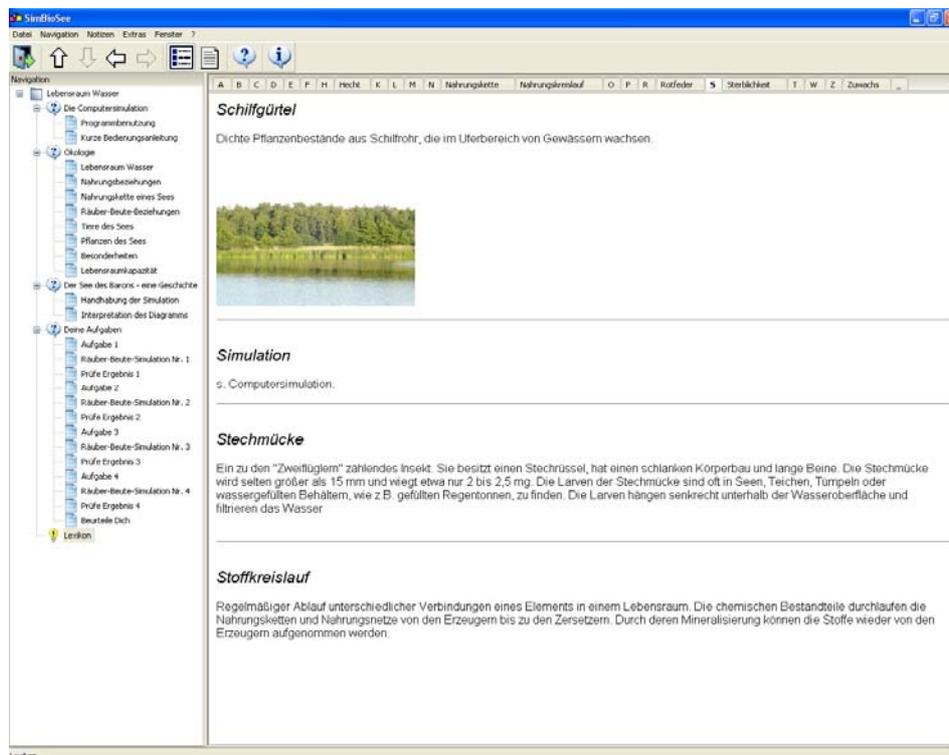


Abbildung 7.61: Bildschirmansicht zum Buchstaben „S“.

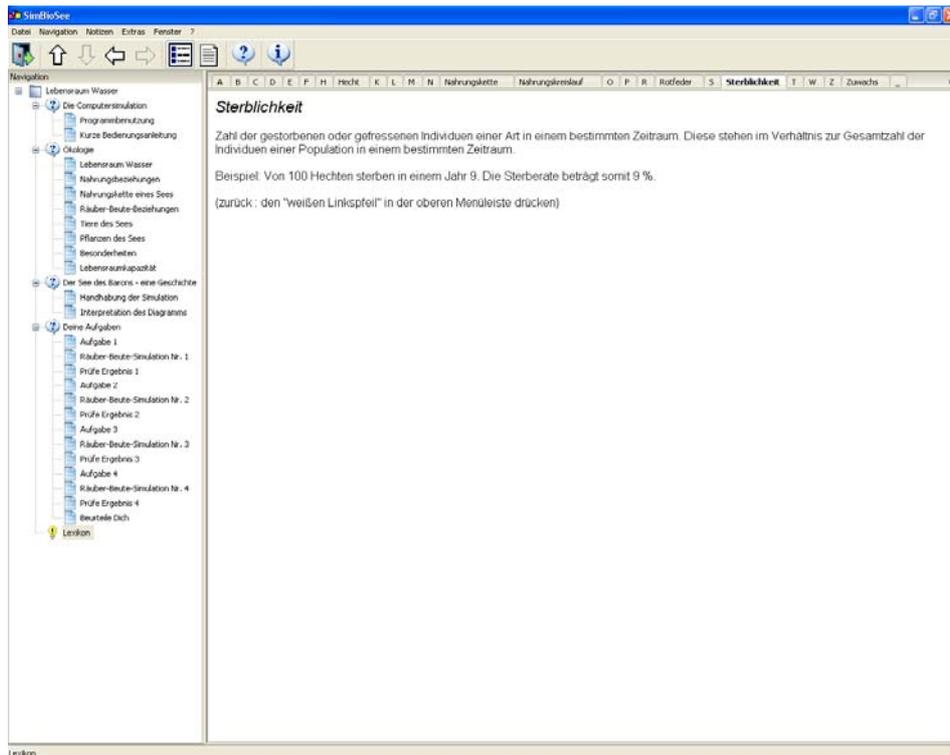


Abbildung 7.62: Bildschirmansicht der Lexikonseite „Sterblichkeit“.

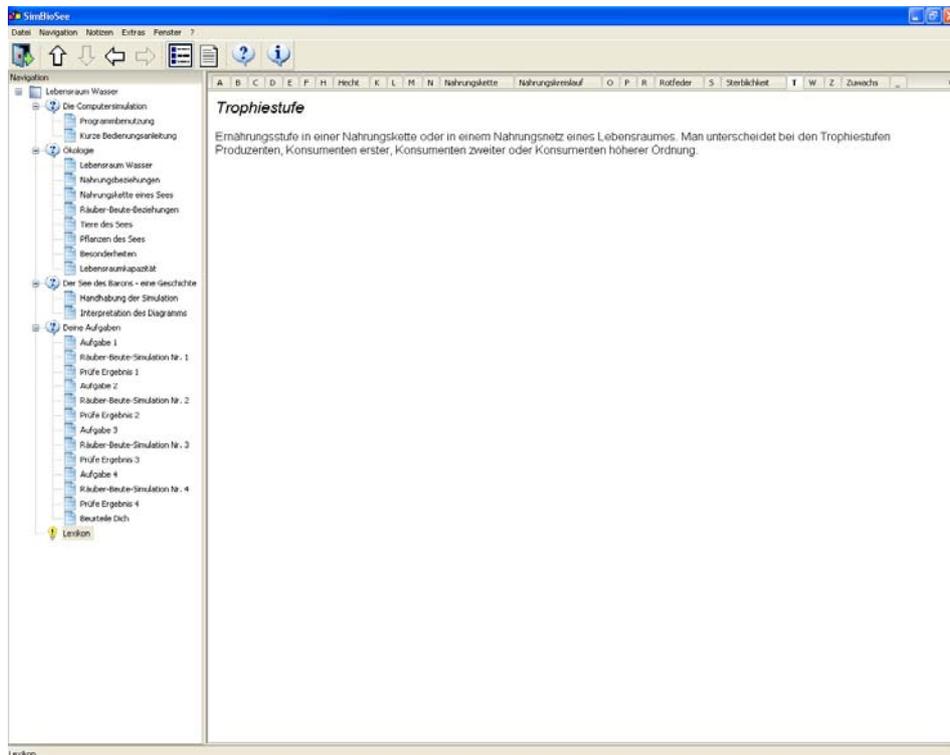


Abbildung 7.63: Bildschirmansicht zum Buchstaben „T“.

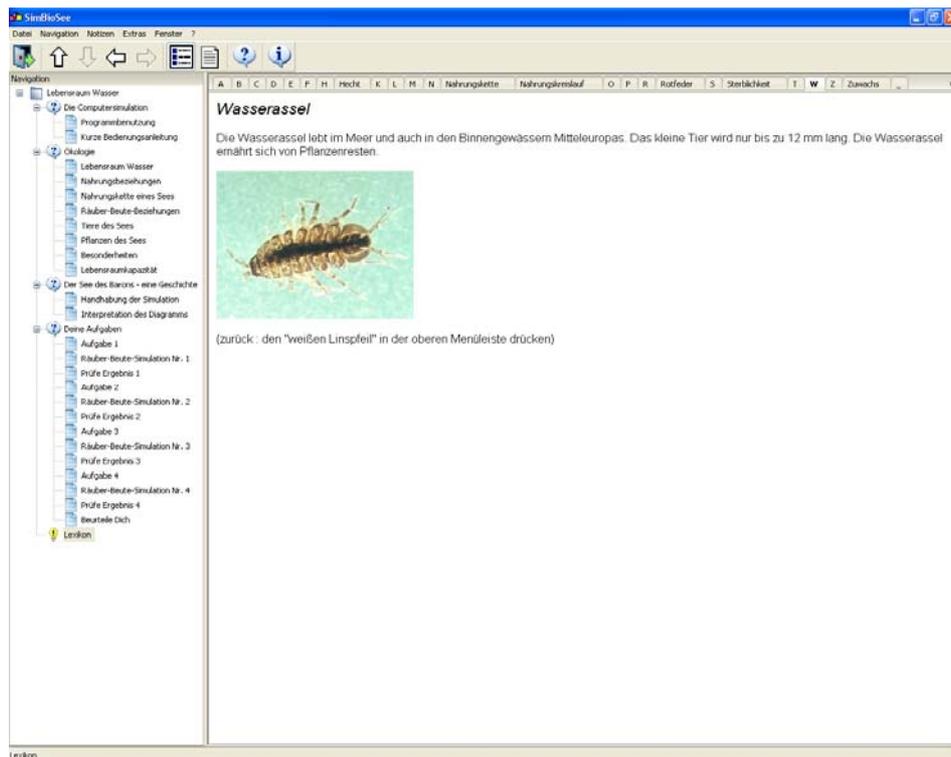


Abbildung 7.64: Bildschirmansicht zum Buchstaben „W“.

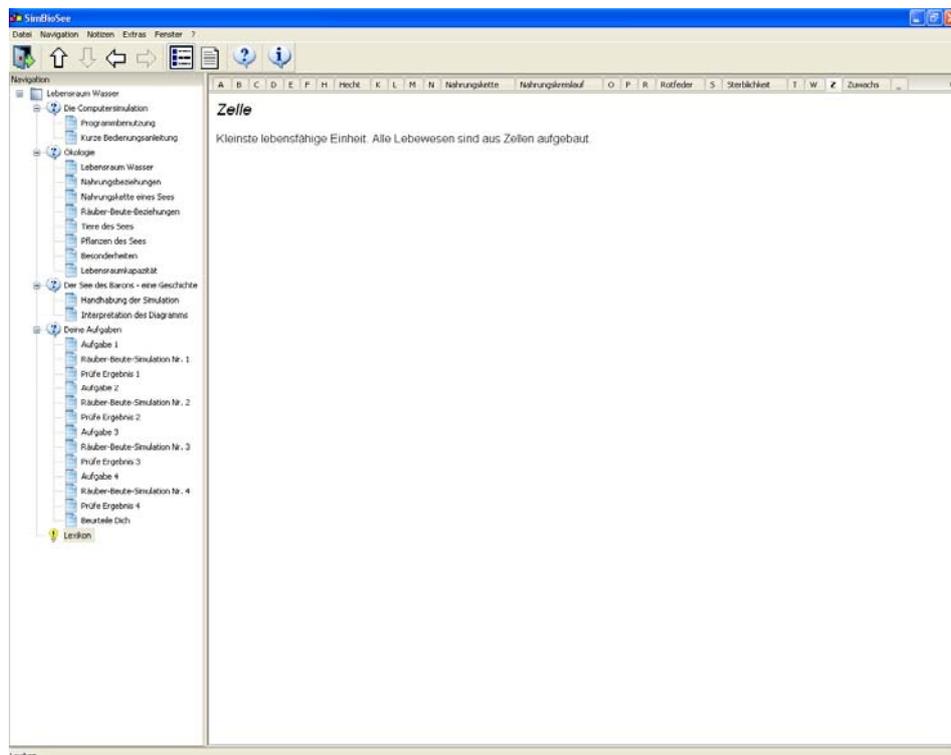


Abbildung 7.65: Bildschirmansicht zum Buchstaben „Z“.

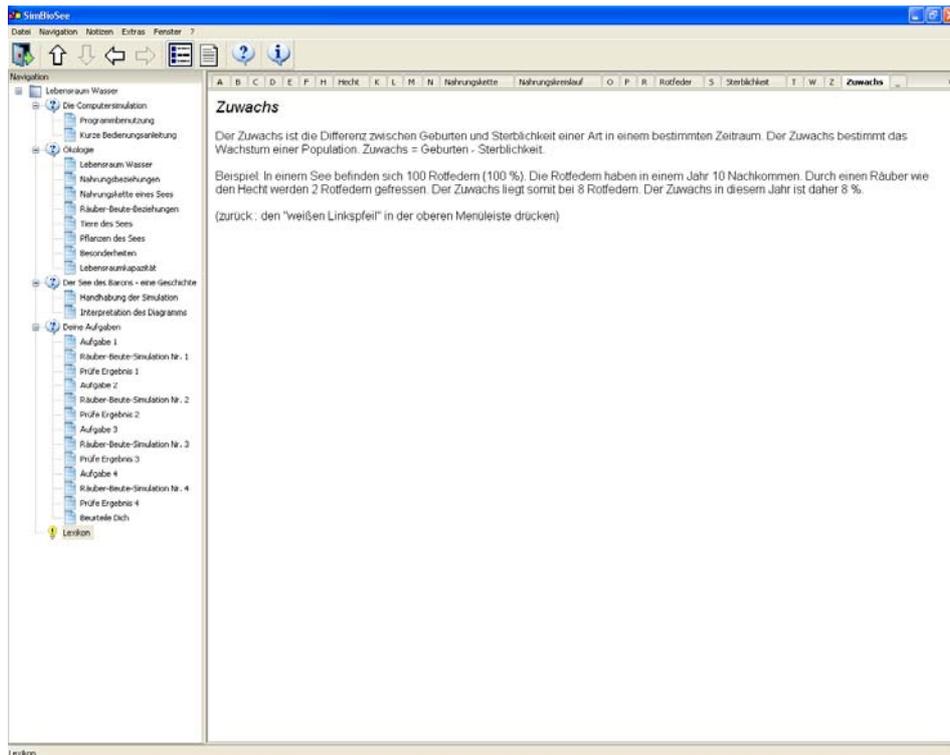


Abbildung 7.66: Bildschirmansicht der Lexikonseite „Zuwachs“.

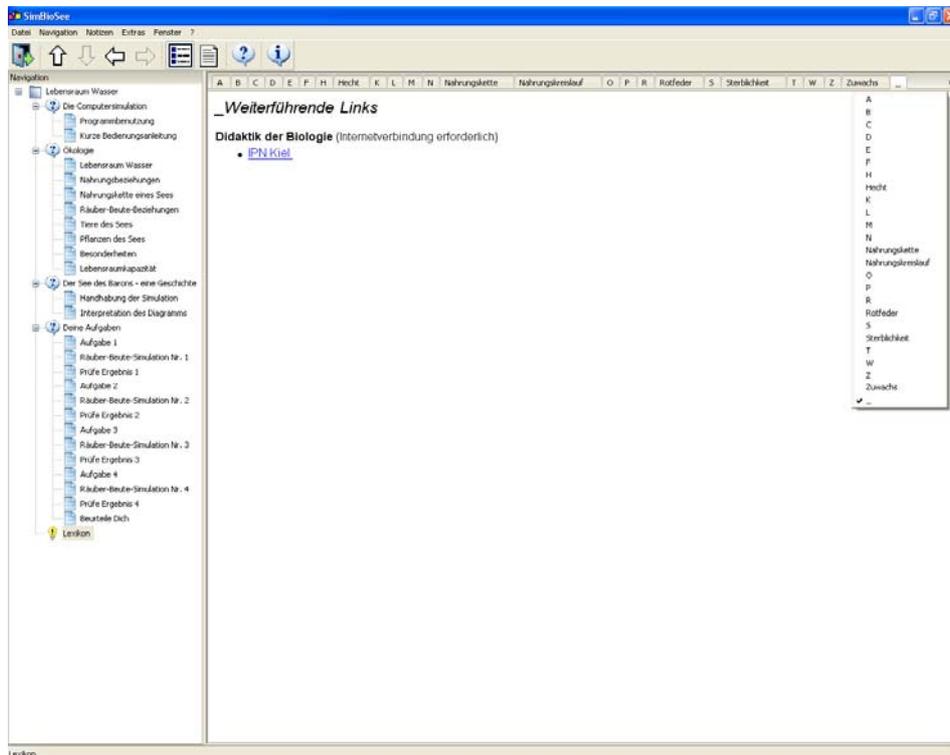


Abbildung 7.67: Bildschirmansicht der Seite zu möglichen, externen Verlinkungen im Internet.

## 7.2 Testinstrumente

### 7.2.1 Papier-und-Bleistift-Wissenstest

# Fragebogen



Datum:

**Kennzeichen:**  -  -

Dein Kennzeichen dient nur einer eindeutigen Zuordnung der Fragebögen zueinander. Dadurch wird gleichzeitig Deine Anonymität bewahrt.

*So erstellst Du Dein Kennzeichen:*

1. In das erste Kästchen trägst Du den **Anfangsbuchstaben** Deines **Vornamens** ein.
2. In das zweite Kästchen trägst Du den **Anfangsbuchstaben des Vornamens Deiner Mutter** ein.
3. In das dritte Kästchen trägst Du den **Geburtstag (TTMM)** Deiner **Mutter** ein.

*Beispiel:*  
Du heißt Petra und Deine Mutter heißt Susanne. Sie hat am 3. Dezember Geburtstag.

Kennzeichen: P - S - 0 3 1 2

Bitte beachte bei der Beantwortung des Fragebogens folgendes:

Die Aussagen sind durch **Ankreuzen in den Kästchen** oder schriftlich zu beantworten. Bitte immer nur **ein Kreuz pro Frage in ein Kästchen**. Bitte kein Kreuz zwischen zwei Kästchen machen. Bitte gib auf jeden Fall eine Antwort pro Frage, auch wenn Du Dir mit der Antwort nicht sicher bist. Hier wird nichts benotet. Für uns ist jede Antwort wertvoll.

Mache bitte erst folgende Angaben für die Auswertung:

Deine Schule: \_\_\_\_\_

Deine Klasse (z.B. 8b): \_\_\_\_\_

Deine letzte Biologie-Zeugnisnote: \_\_\_\_\_

Du bist:  weiblich  männlich

Dein Alter: \_\_\_\_\_

*Viel Spaß bei der Bearbeitung !!*

Fragebogen – SimBioSee – Pretest
1

Abbildung 7.68: Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Deckblatt

<b>1. Wovon ernährt sich ein Hecht?</b>
<input type="checkbox"/> Von Algen
<input type="checkbox"/> Von Wasserflöhen
<input type="checkbox"/> Von Plankton
<input type="checkbox"/> Von Rotfedern
<input type="checkbox"/> Von Wasserpflanzen

<b>2. Welches Lebewesen zählt zu den Zersettern?</b>
<input type="checkbox"/> Alge
<input type="checkbox"/> Wasservogel
<input type="checkbox"/> Pilz
<input type="checkbox"/> Grüne Pflanze
<input type="checkbox"/> Süßwasserfisch

<b>3. Was ist Plankton?</b>
<input type="checkbox"/> Kleintiere und Algen, die auf dem Grund von Gewässern leben
<input type="checkbox"/> Pflanzen, die auf dem Grund von Gewässern wachsen
<input type="checkbox"/> Kleintiere und Algen, die im freien Wasser schweben
<input type="checkbox"/> Pflanzenreste, die im freien Wasser schweben
<input type="checkbox"/> Zersetzte Nährstoffe, die im freien Wasser schweben

<b>4. Welches Lebewesen zählt zu den Erzeugern?</b>
<input type="checkbox"/> Rotfeder
<input type="checkbox"/> Seerose
<input type="checkbox"/> Köcherfliegenlarve
<input type="checkbox"/> Pilz
<input type="checkbox"/> Kleinkrebs

<b>5. Was ist ein Nahrungsnetz?</b>
<input type="checkbox"/> Die Einteilung eines Sees in verschiedene Zonen
<input type="checkbox"/> Ein Gerät zum Fischfang
<input type="checkbox"/> Ein Geflecht von Nahrungsketten
<input type="checkbox"/> Eine nahrungsbedingte Abhängigkeit zwischen 2 Fischarten
<input type="checkbox"/> Eine Nahrungsbeziehung zwischen Konsumenten 1. Ordnung

Fragebogen – SimBioSee – Pretest

2

Abbildung 7.69: Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 2



<p><b>11. Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische kann sich bis zur Kapazitätsgrenze erhöhen.</li><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische kann sich erhöhen und wird anschließend stark fallen.</li><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische wird sich nicht erhöhen.</li><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische kann sich erhöhen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.</li><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutefische wird sich über die Kapazitätsgrenze erhöhen.</li></ul>
<p><b>12. Eine geringere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu...</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> ...einer höheren Zahl von Beutefischen und einer geringeren Zahl von Raubfischen.</li><li><input type="checkbox"/> ...einer geringeren Zahl von Beutefischen und Raubfischen.</li><li><input type="checkbox"/> ...einer geringeren Zahl von Beutefischen und einer höheren Zahl von Raubfischen.</li><li><input type="checkbox"/> ...einer höheren Zahl von Beutefischen und Raubfischen.</li><li><input type="checkbox"/> ...einer veränderten Zahl von Beutefischen, aber nicht zu einer veränderten Zahl von Raubfischen.</li></ul>
<p><b>13. Welche Aussage trifft auf ein Räuber-Beute-Verhältnis zwischen zwei Tierarten zu, die voneinander abhängig sind?</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Räuber und Beutetiere bleibt stets gleich.</li><li><input type="checkbox"/> Es müssen mehr Beutetiere als Räuber vorhanden sein.</li><li><input type="checkbox"/> Es müssen mehr Räuber als Beutetiere vorhanden sein.</li><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Beutetiere hat keinen Einfluss auf die Zahl der Räuber.</li><li><input type="checkbox"/> Die Zahl der Räuber hat keinen Einfluss auf die Zahl der Beutetiere.</li></ul>
<p><b>14. Wie stellt man Veränderungen in einer Simulation fest?</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Man vergleicht das Ergebnis der Simulation mit der getroffenen Vorhersage.</li><li><input type="checkbox"/> Man vergleicht die Einstellungen, die verändert wurden.</li><li><input type="checkbox"/> Man vergleicht das Simulationsergebnis mit dem Ausgangszustand der Simulation.</li><li><input type="checkbox"/> Man vergleicht die Einstellungen vor und nach der Durchführung der Simulation.</li><li><input type="checkbox"/> Man vergleicht den Ausgangszustand der Simulation mit der getroffenen Vorhersage.</li></ul>

Fragebogen – SimBioSee – Pretest

4

Abbildung 7.71: Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 4

**15. Welche Aussage trifft zu?**

- Die Zahlen von Räubern und Beutetieren in einem naturnahen Lebensraum sind über einen längeren Zeitraum immer gleichbleibend.
- Nur die Zahl der Beutetiere schwankt in einem naturnahen Lebensraum über einen längeren Zeitraum. Die Zahl der Räuber bleibt gleich.
- Über einen bestimmten Zeitraum hinweg ist in einem naturnahen Lebensraum die Zahl der Räuber höher als die Zahl der Beutetiere.
- In einem naturnahen Lebensraum schwanken über einen längeren Zeitraum die Zahlen von Räubern und Beutetieren.
- Nur die Zahl der Räuber schwankt in einem naturnahen Lebensraum über einen längeren Zeitraum. Die Zahl der Beutetiere bleibt gleich.

---

**16. Ein Verhältnis zwischen einem Raubfisch und seiner Beute wird durch äußere Umstände gestört (z.B. durch die Verkleinerung eines Sees). Welche dieser beiden Gruppen wird wahrscheinlich schneller wieder anwachsen?**

- Die Gruppe der Räuber
- Die Gruppe der Beute
- Die Gruppen von Räuber und Beute werden gleich schnell anwachsen.
- Die Gruppen von Räuber und Beute werden nicht anwachsen.
- Das Verhältnis zwischen Räuber und Beute kann nicht gestört werden.

---

**17. Kann bei einem Aussterben des Räubers die Zahl der Beutetiere beliebig stark anwachsen?**

- Ja, weil nun der natürliche Räuber als Fressfeind fehlt.
- Nein, weil die Zahl der Beutetiere auch ohne Räuber im See begrenzt ist.
- Ja, weil sich die Beutetiere nun besser vermehren können.
- Nein, weil die Zahl der Beutetiere nur in Anwesenheit eines Räubers anwachsen kann.
- Ja, weil nun ausreichend Nahrung für die Beutetiere im See vorhanden ist.

---

**18. Ein höherer Zuwachs von Beutefischen in einem See führt zu...**

- ...einer geringeren Zahl von Beutefischen.
- ...einer höheren Zahl von Raubfischen.
- ...keiner veränderten Zahl von Raubfischen.
- ...einer geringeren Zahl von Raubfischen.
- ...einer geringeren Zahl von Beutefischen und zu einer geringeren Zahl von Raubfischen.

Fragebogen – SimBioSee – Pretest

5

Abbildung 7.72: Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 5

<p><b>19. Wie viele Variablen (Einstellungen, Parameter) sollte man <u>gleichzeitig</u> bei der Durchführung einer Simulation verändern?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Eine Variable. So kann man das Simulationsergebnis auf den Einfluss dieser einen Variablen zurückführen.</p> <p><input type="checkbox"/> Zwei Variablen. So ist es möglich, den Einfluss dieser zwei Variablen miteinander zu vergleichen.</p> <p><input type="checkbox"/> Alle Variablen gleichzeitig. Eine Simulation bietet diese Möglichkeit. Dieses spart viel Zeit bei der Durchführung.</p> <p><input type="checkbox"/> Alle Variablen, die man untersuchen möchte.</p> <p><input type="checkbox"/> Alle Variablen, die einem die Computersimulation bietet.</p>
<p><b>20. Kreuze an, wie Du sinnvoller Weise mit einer Computersimulation zur Gewinnung neuer Erkenntnisse vorgehst.</b></p> <p><input type="checkbox"/> Simulation durchführen, Vorhersage treffen, Ergebnis feststellen, Schlussfolgerung ziehen</p> <p><input type="checkbox"/> Vorhersage treffen, Schlussfolgerung ziehen, Ergebnis feststellen, Simulation durchführen</p> <p><input type="checkbox"/> Schlussfolgerung ziehen, Simulation durchführen, Vorhersage treffen, Ergebnis feststellen</p> <p><input type="checkbox"/> Vorhersage treffen, Simulation durchführen, Ergebnis feststellen, Schlussfolgerung ziehen</p> <p><input type="checkbox"/> Simulation durchführen, Schlussfolgerung ziehen, Ergebnis feststellen, Vorhersage treffen</p>
<p><b>21. Was unternimmst Du, wenn Dein Simulationsergebnis mit Deiner Vorhersage nicht übereinstimmt?</b></p> <p><input type="checkbox"/> Ich wiederhole die Computersimulation unter gleichen Bedingungen, bis ich das gewünschte Ergebnis erhalte.</p> <p><input type="checkbox"/> Ich prüfe, ob ich die Simulation richtig durchgeführt habe und denke über meine Vorhersage noch einmal nach.</p> <p><input type="checkbox"/> Ich akzeptiere das Ergebnis ohne die Computersimulation zu wiederholen.</p> <p><input type="checkbox"/> Ich verändere die Vorhersage, damit diese mit dem Simulationsergebnis übereinstimmt.</p> <p><input type="checkbox"/> Ich verändere eine andere Einstellung in der Simulation und prüfe, ob das Simulationsergebnis nun annähernd mit der Vorhersage übereinstimmt.</p>
<p>Fragebogen – SimBioSee – Pretest</p> <p>6</p>

Abbildung 7.73: Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 6

## 7.2.2 Schnelltest

Im Folgenden werden die Bildschirmansichten des Computerprogramms „*Schnelltest*“ gezeigt.

Das Computerprogramm „*Schnelltest*“ befindet sich auf der CD, die der Arbeit bebefügt ist.

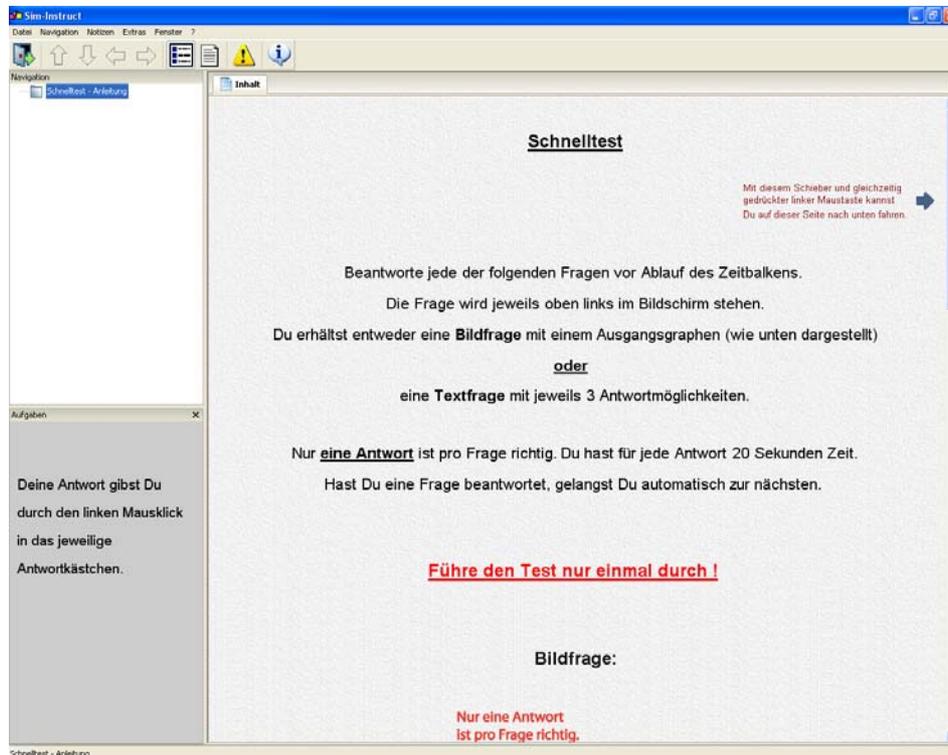


Abbildung 7.74: Bildschirmansicht (Teil 1) der Startseite des „*Schnelltests*“.

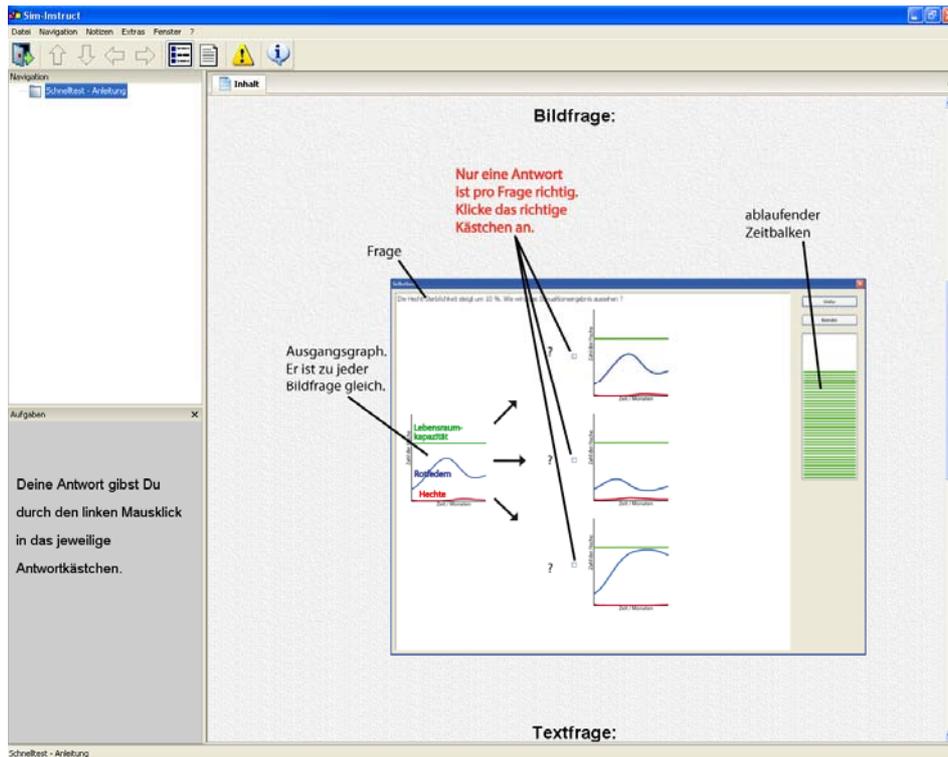


Abbildung 7.75: Bildschirmansicht (Teil 2) der Startseite des „Schnelltests“.

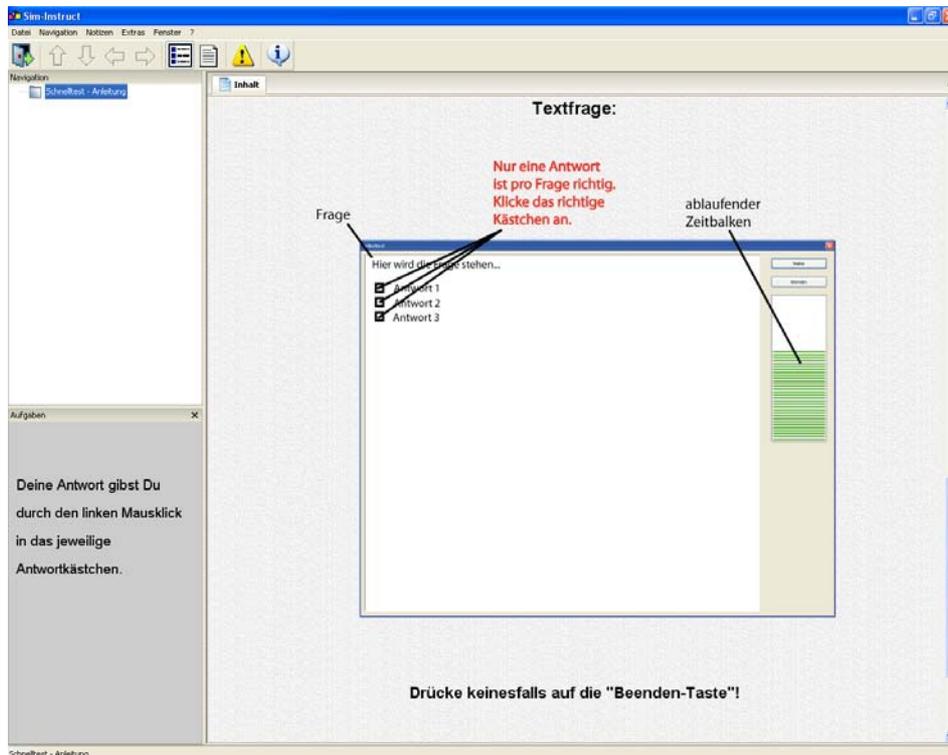


Abbildung 7.76: Bildschirmansicht (Teil 3) der Startseite des „Schnelltests“.

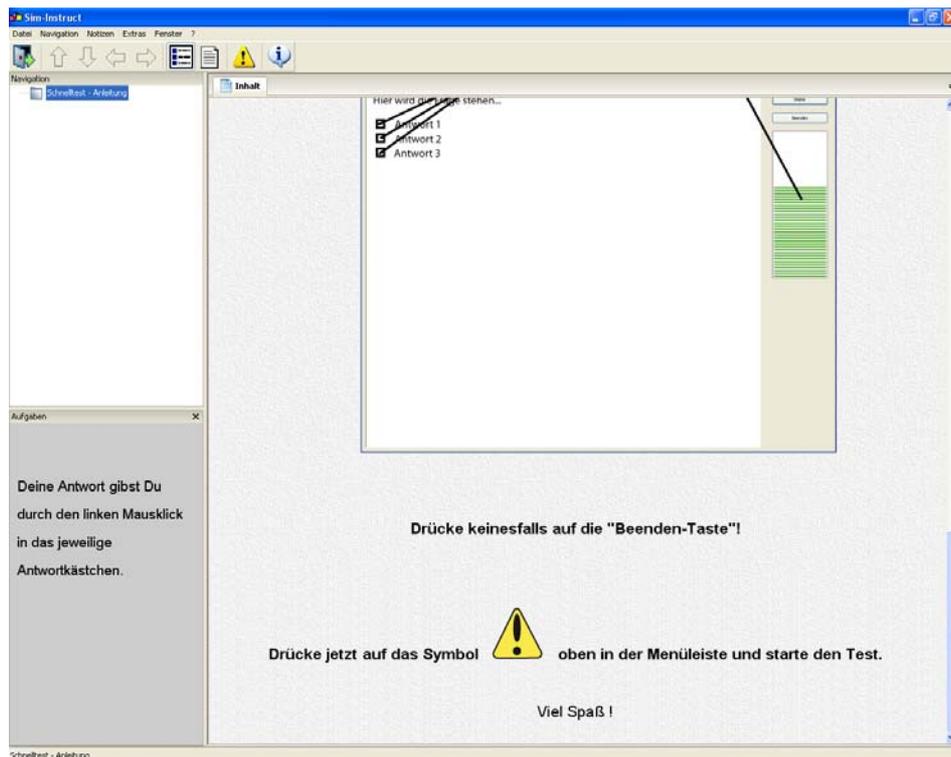


Abbildung 7.77: Bildschirmsicht (Teil 4) der Startseite des „Schnelltests“.

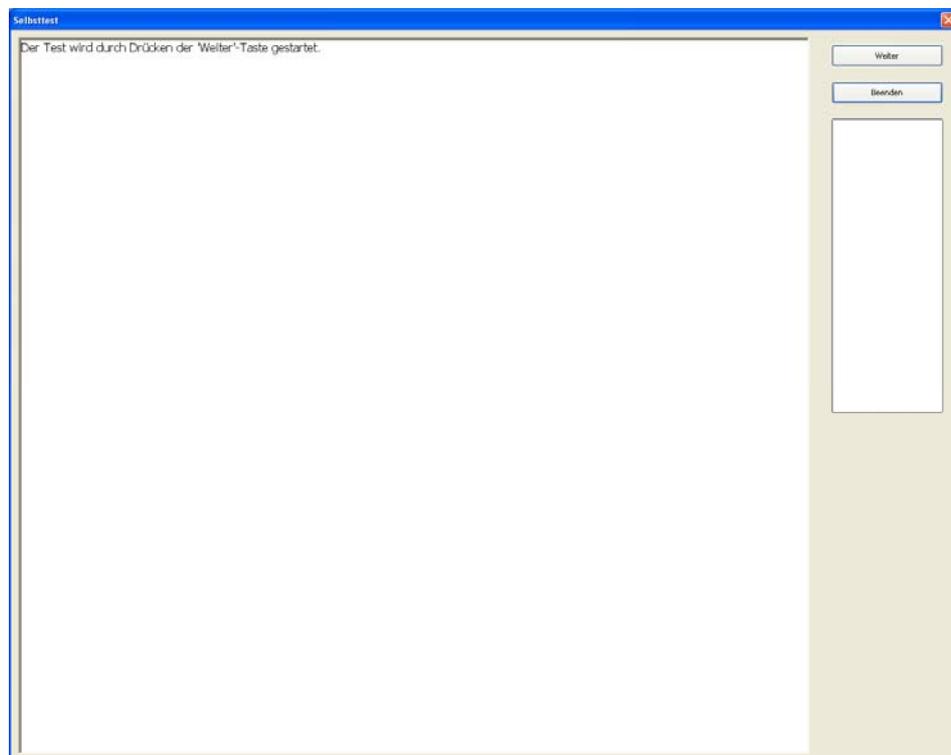


Abbildung 7.78: Bildschirmsicht zur Vorbereitung des Lernenden auf den Start des Tests.

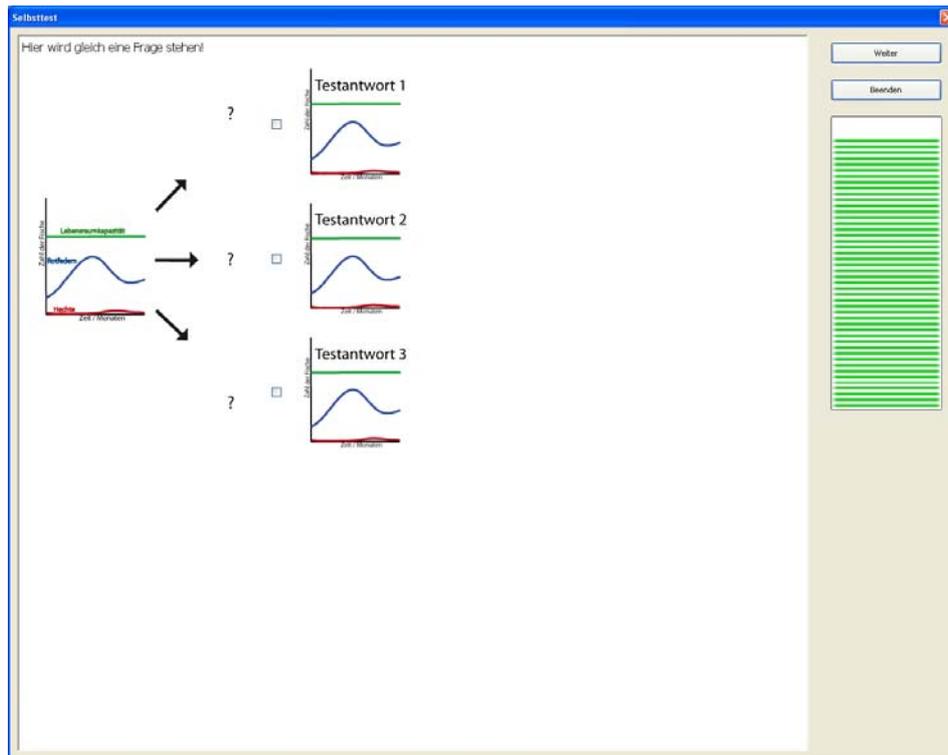


Abbildung 7.79: Bildschirmansicht des ersten Testitems (grafische Darstellung)

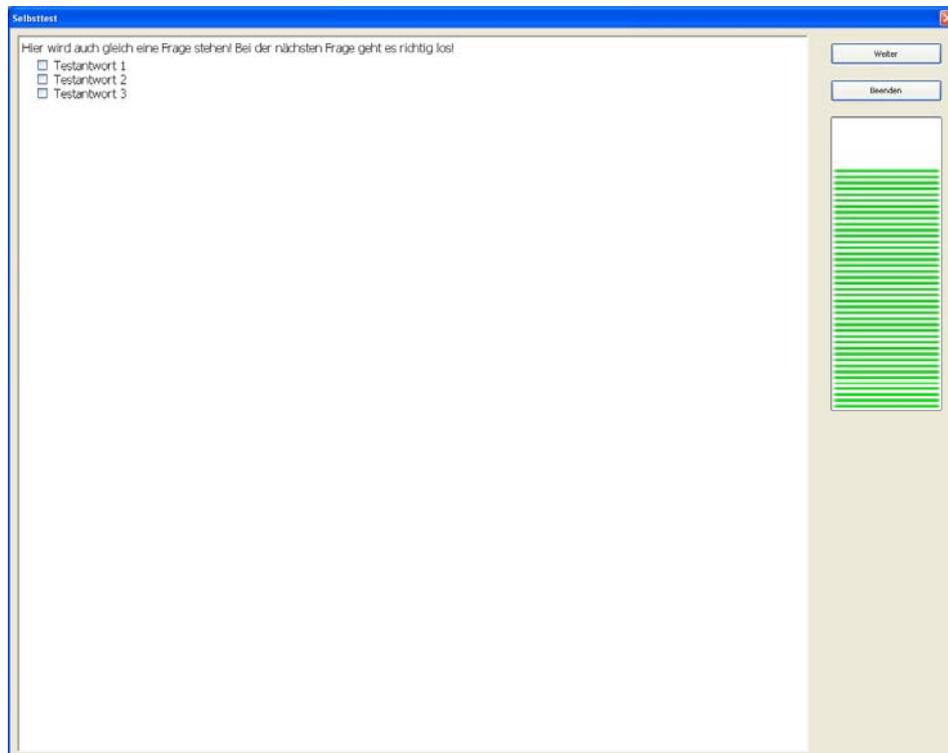


Abbildung 7.80: Bildschirmansicht des zweiten Testitems (textliche Darstellung).

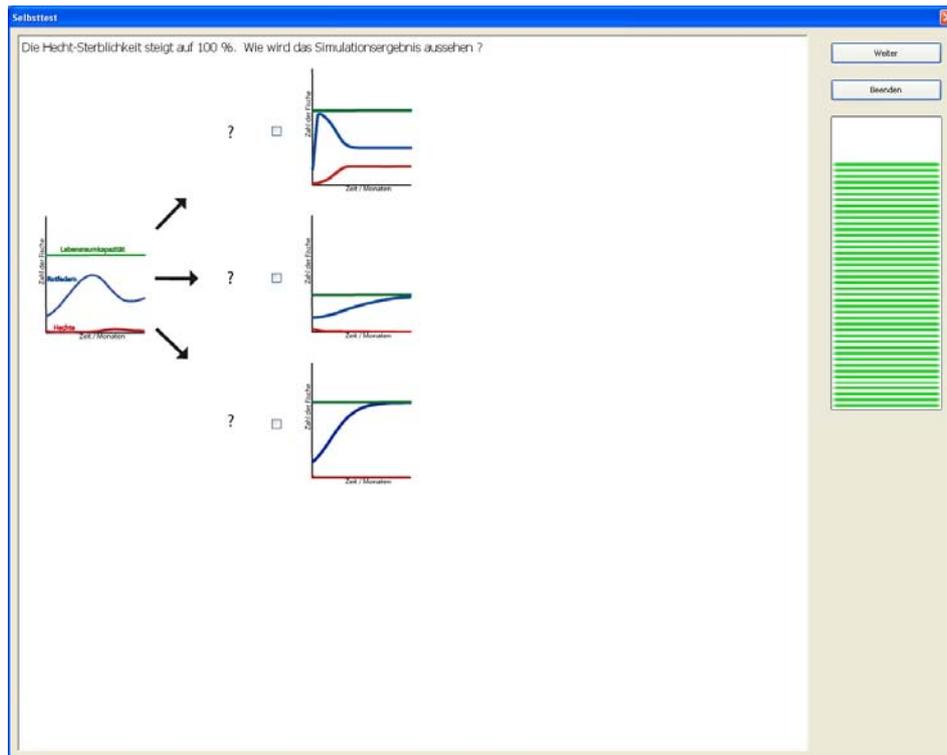


Abbildung 7.81: Bildschirmansicht des Items 1.

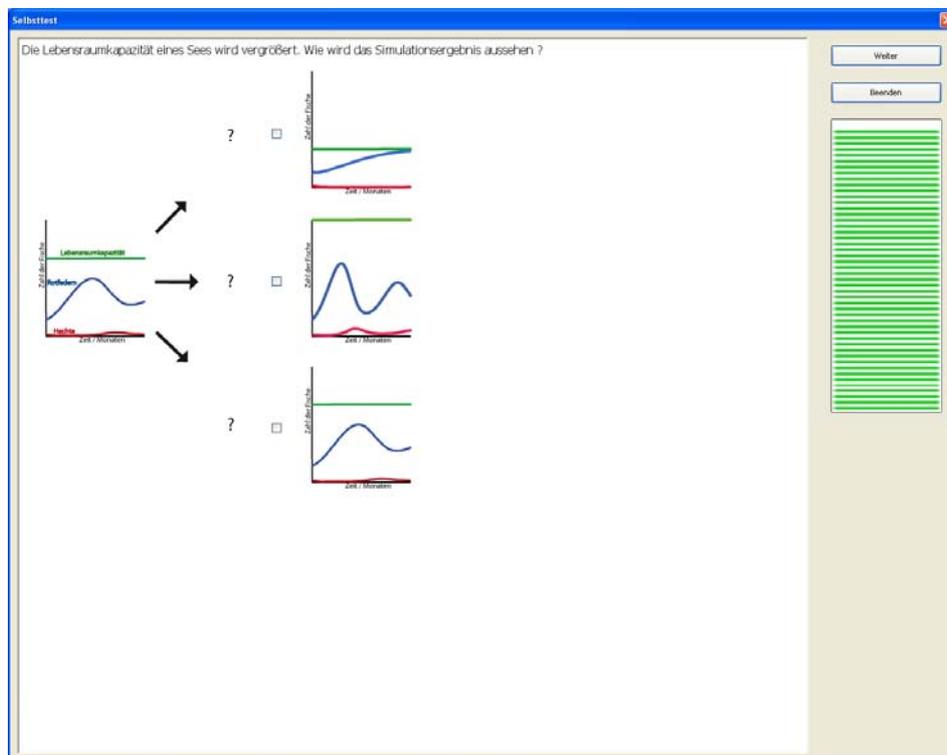


Abbildung 7.82: Bildschirmansicht des Items 2.

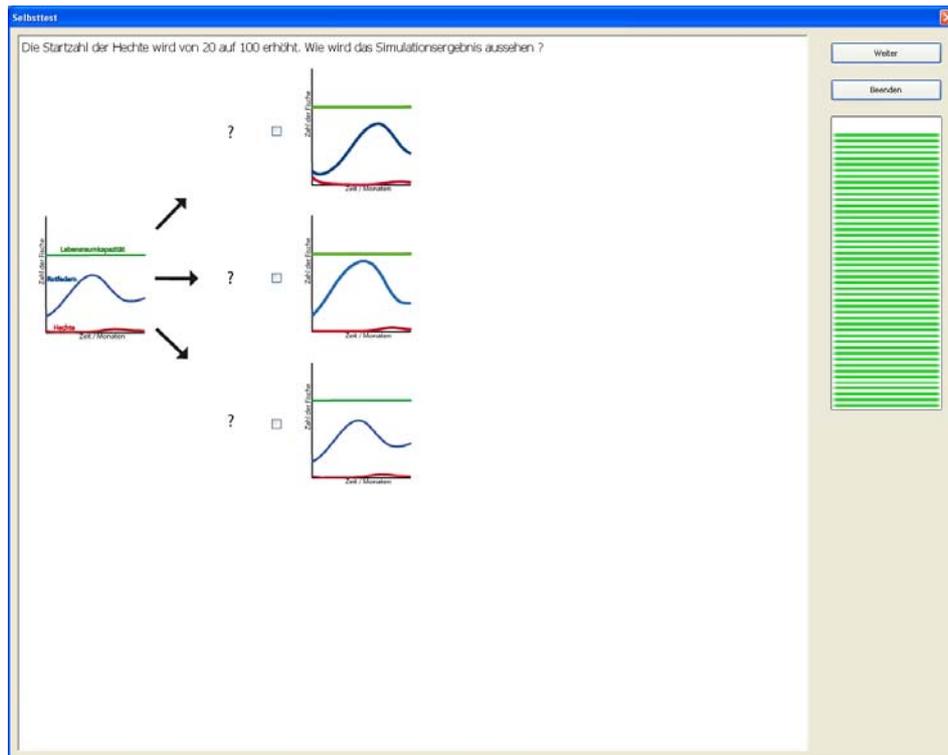


Abbildung 7.83: Bildschirmansicht des Items 3.

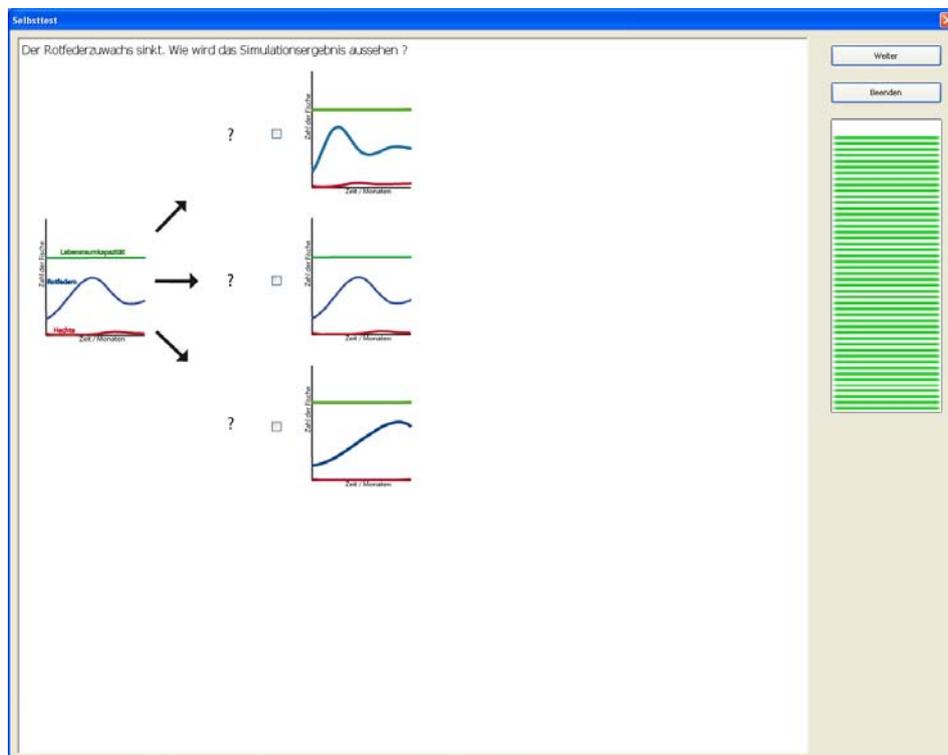


Abbildung 7.84: Bildschirmansicht des Items 4.

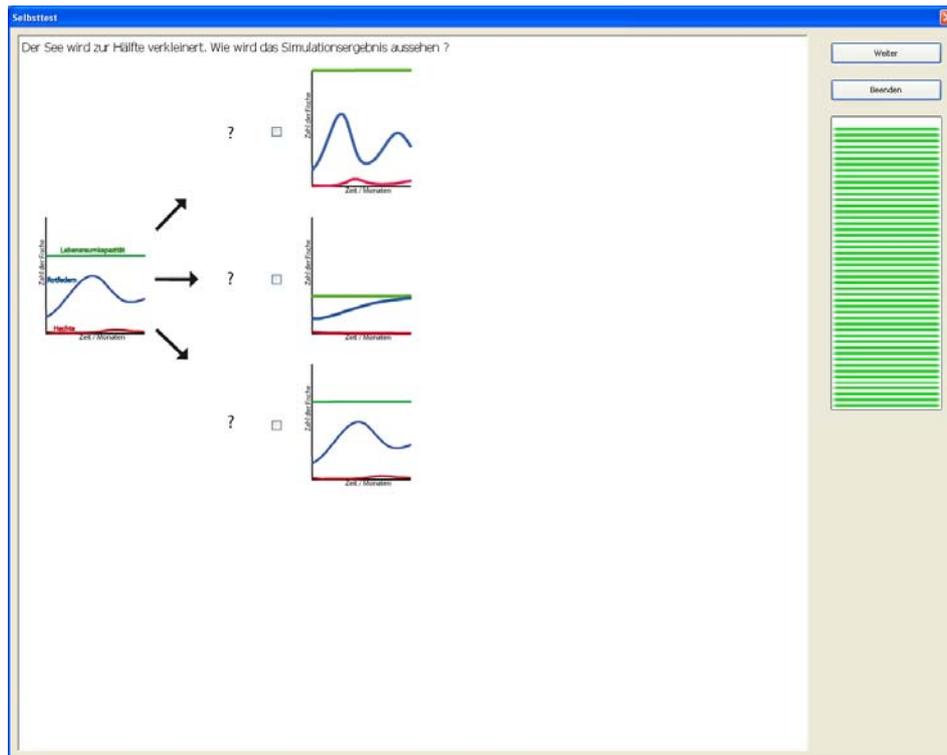


Abbildung 7.85: Bildschirmansicht des Items 5.

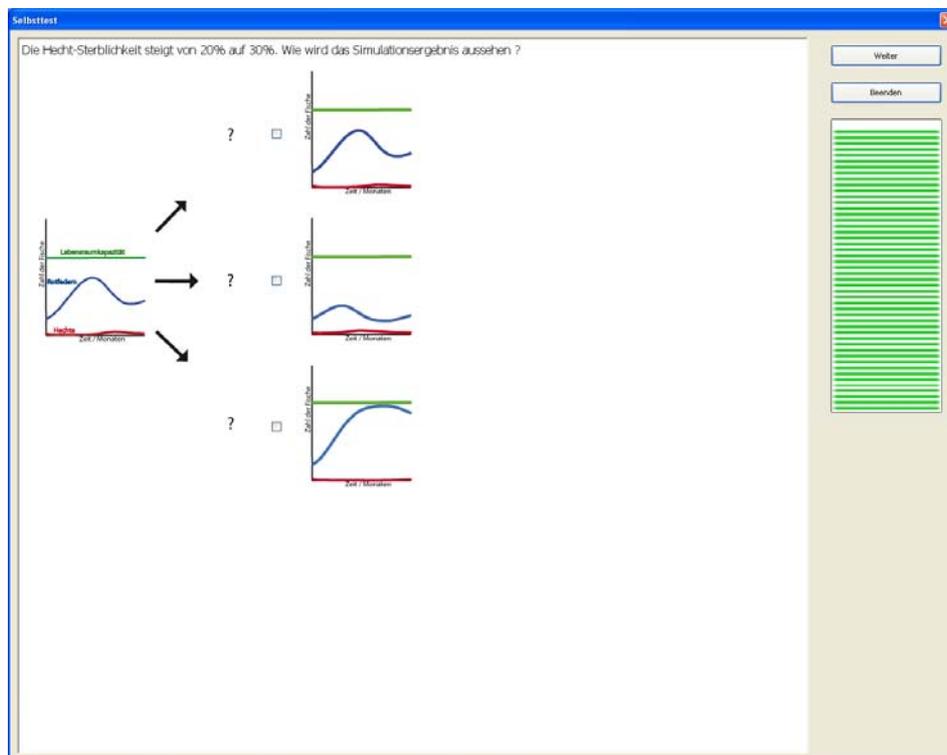


Abbildung 7.86: Bildschirmansicht des Items 6.

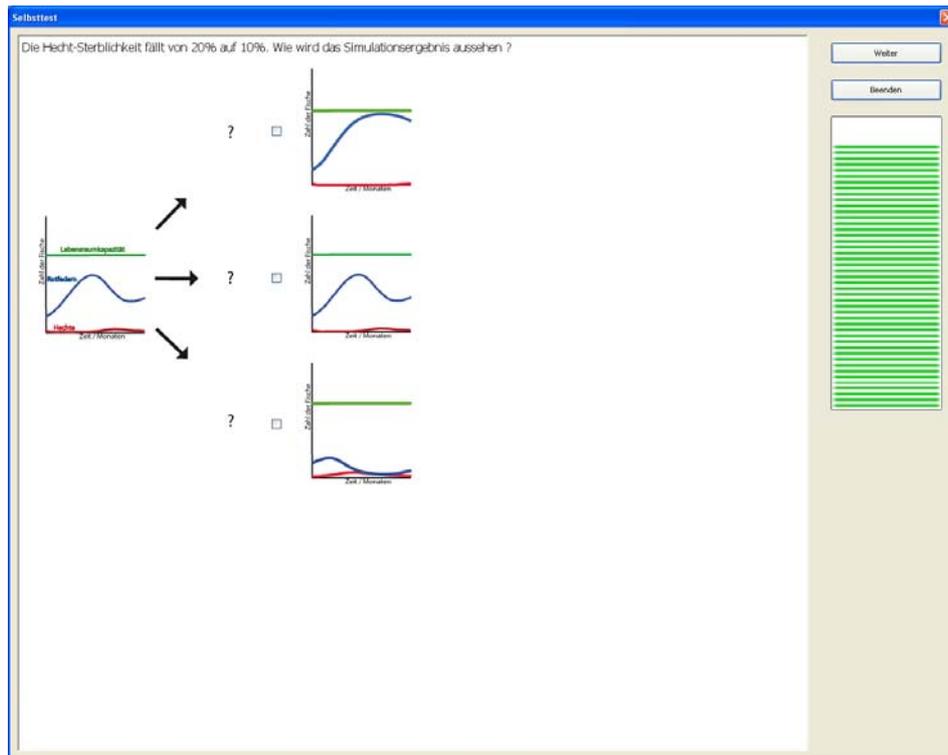


Abbildung 7.87: Bildschirmansicht des Items 7.

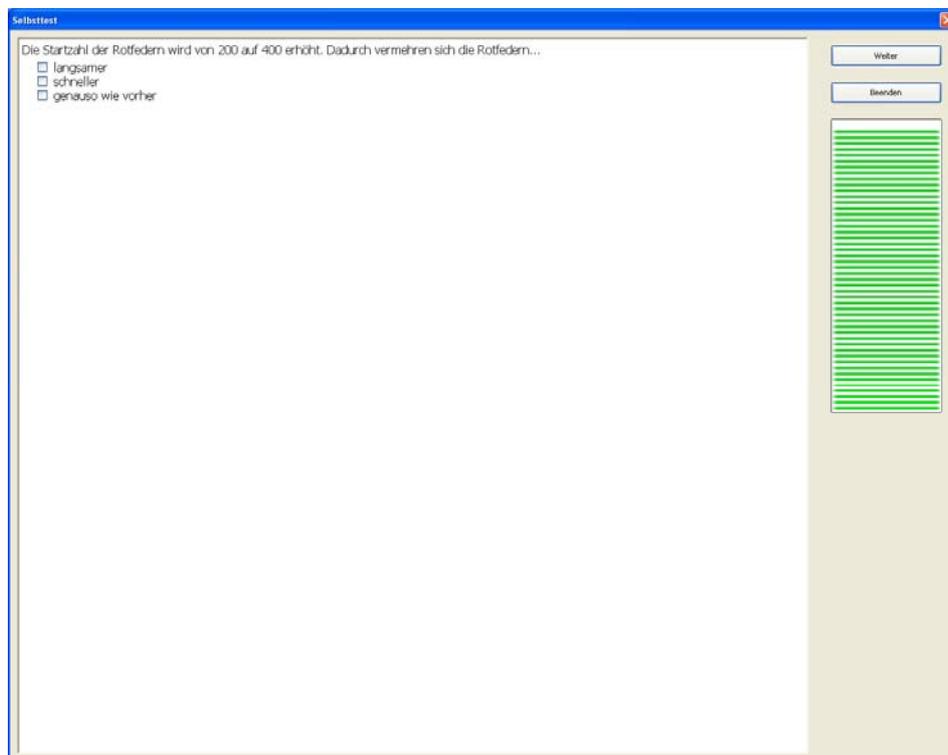


Abbildung 7.88: Bildschirmansicht des Items 8.

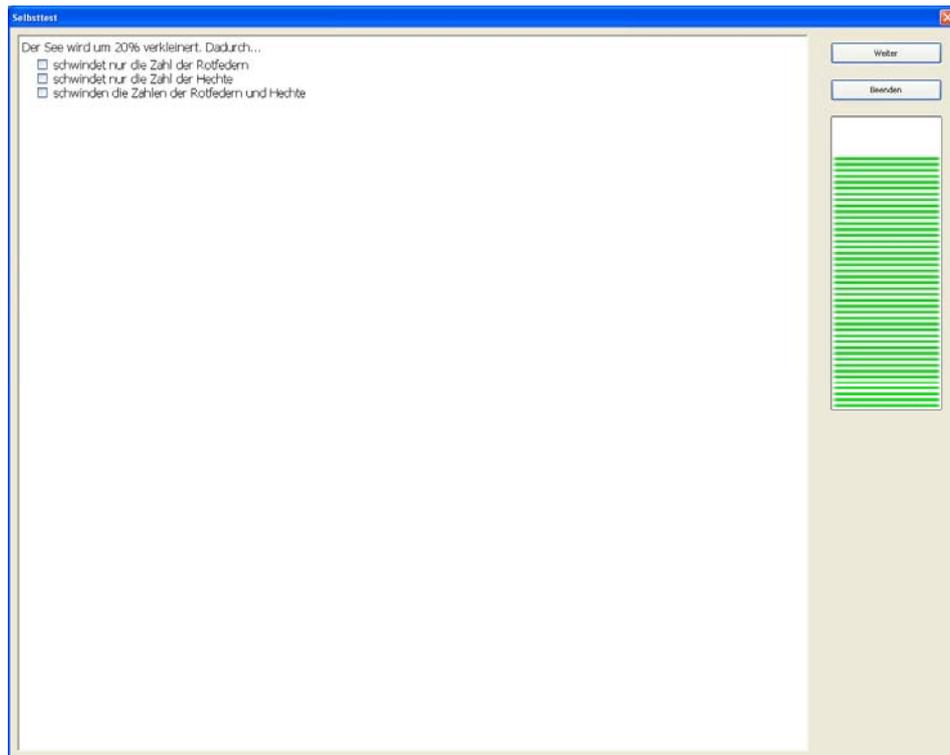


Abbildung 7.89: Bildschirmansicht des Items 9.

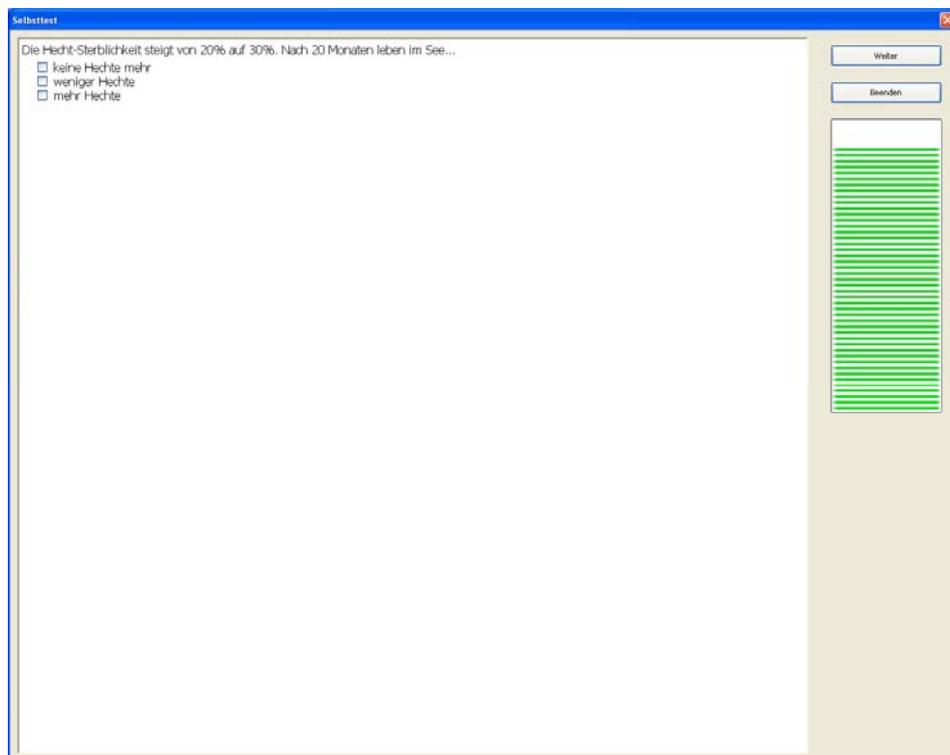


Abbildung 7.90: Bildschirmansicht des Items 10.

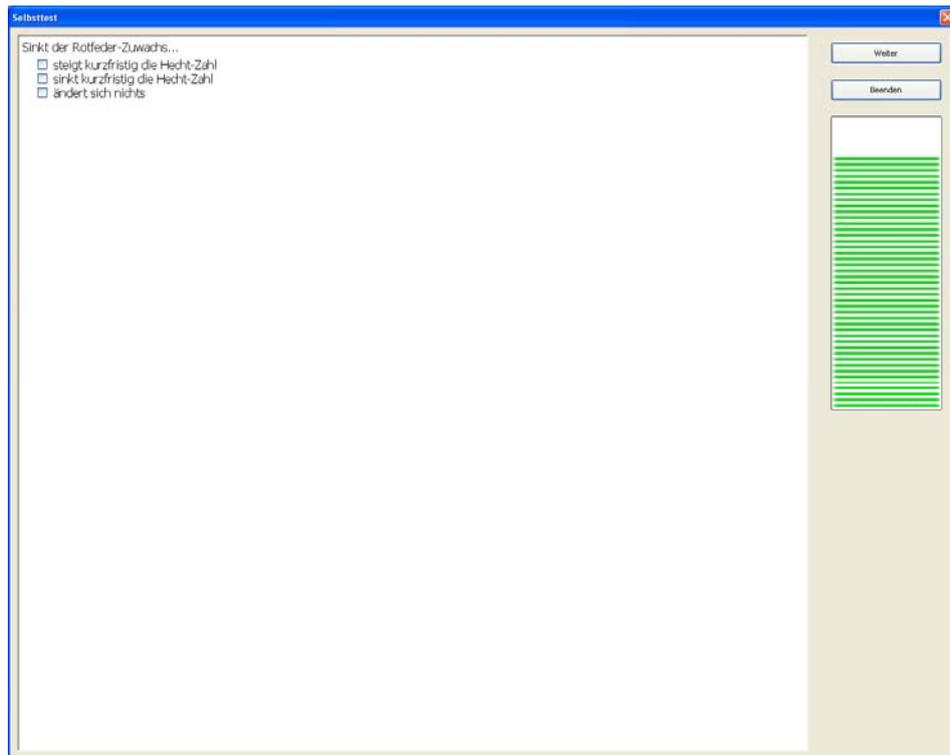


Abbildung 7.91: Bildschirmansicht des Items 11.

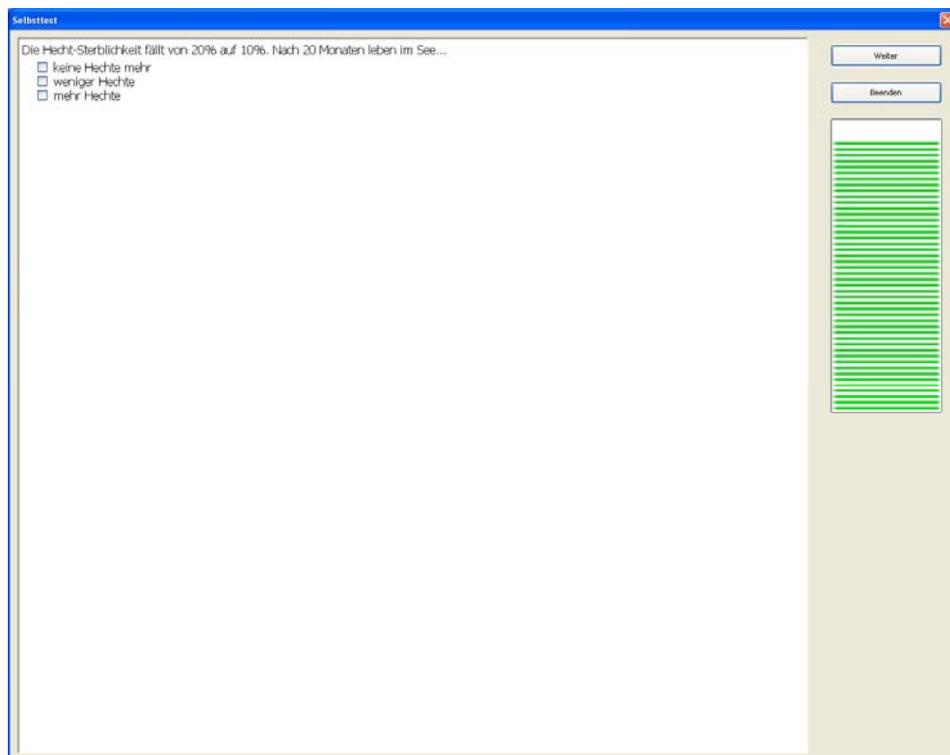


Abbildung 7.92: Bildschirmansicht des Items 12.

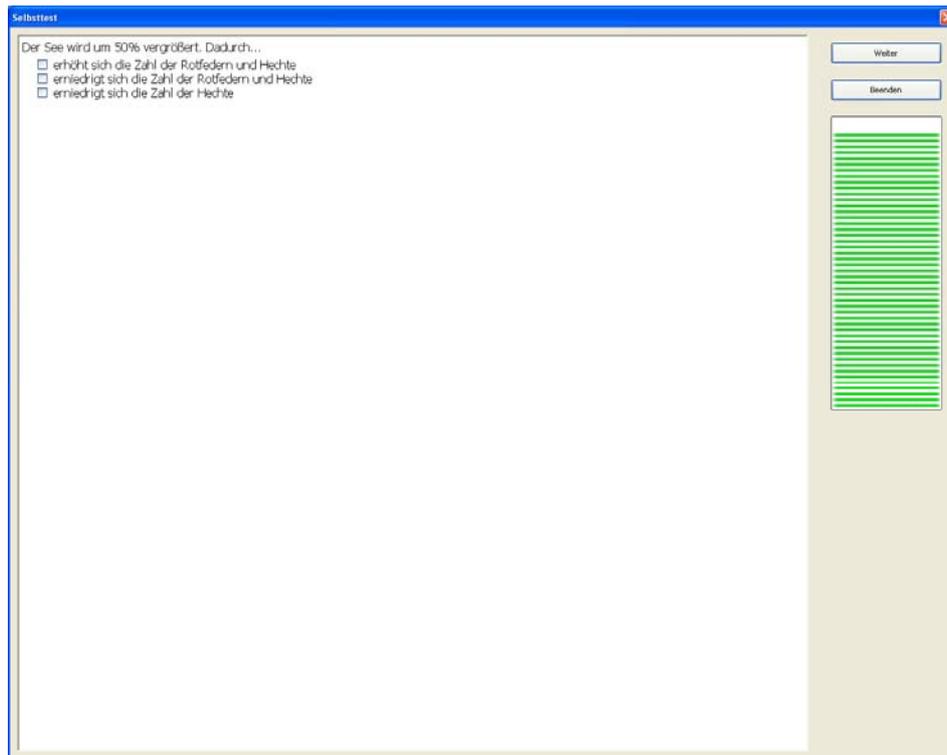


Abbildung 7.93: Bildschirmansicht des Items 13.

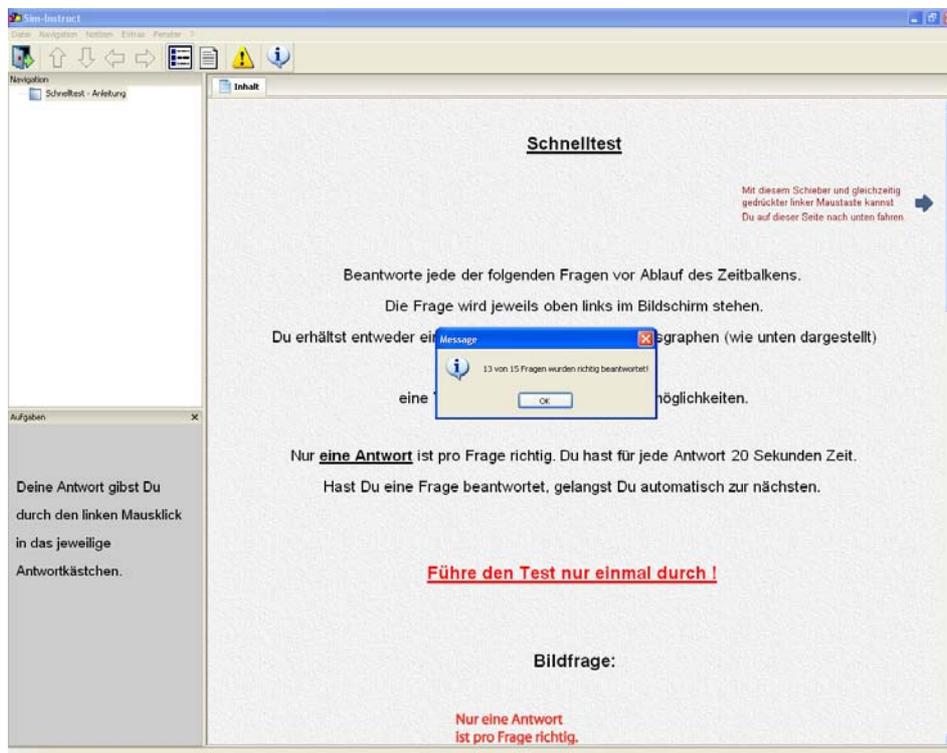


Abbildung 7.94: Bildschirmansicht der Seite, nachdem der „Schnelltest“ durchgeführt wurde. Mittig zu erkennen ist das PopUp-Fenster mit der Angabe der Zahl korrekt gelöster Items.

### 7.2.3 Computerkompetenz und computerbezogene Motivation

Die beiden Testinstrumente wurden in Form eines Fragebogens an die Teilnehmer ausgehändigt. Die subjektiv eingeschätzte Computerkompetenz der Lernenden wurde auf den Seiten drei bis vier; die computerbezogene Motivation wurde auf der Seite fünf erhoben.

**Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,**

Wir möchten gerne erfahren, wie gut Du Dich im Umgang mit Computern einschätzt und ob Dir die Arbeit mit dem Computer Spaß macht. Mit Hilfe dieses Bewertungsfragebogens kannst Du einmal Deine eigenen Computerkenntnisse und die Arbeit mit dem PC einschätzen. Deine Einschätzung wird vertraulich behandelt.

Datum:  Nummer Deines Computers:

**Kennzeichen:**  -  -

Dein Kennzeichen dient nur einer eindeutigen Zuordnung der Fragebögen zueinander. Dadurch wird gleichzeitig Deine Anonymität bewahrt.

**So erstellst Du Dein Kennzeichen:**

1. In das erste Kästchen trägst Du den **Anfangsbuchstaben Deines Vornamens** ein.
2. In das zweite Kästchen trägst Du den **Anfangsbuchstaben des Vornamens Deiner Mutter** ein.
3. In das dritte Kästchen trägst Du den **Geburtsjahr (TTMM) Deiner Mutter** ein.

*Beispiel:*  
Du heißt Petra und Deine Mutter heißt Susanne. Sie hat am 3. Dezember Geburtstag.

Kennzeichen:  -  -

Mache bitte erst folgende Angaben für die Auswertung:

Deine Schule: \_\_\_\_\_

Deine Klasse (z.B. 8b): \_\_\_\_\_

Deine letzte Biologie-Zeugnisnote: \_\_\_\_\_

Du bist :  weiblich     männlich

Dein Alter: \_\_\_\_\_

*Viel Spaß bei der Bearbeitung !!*

1

Abbildung 7.95: Computerkompetenz und computerbezogene Motivation, Deckblatt.

Hier vier einleitende Fragen zur Eingewöhnung...

1. Benutzt Du außerhalb der Schule einen Computer?  
Ja   
Nein

2. Wenn ja, wo benutzt Du außerhalb der Schule einen Computer?  
Zu Hause   
Bei Freundinnen/Freunden   
An einem anderen Ort

3. Besitzt Du zu Hause einen eigenen Computer, oder darfst Du den Computer eines Familienmitglieds mitbenutzen?  
Nein, ich kann zu Hause keinen Computer benutzen.   
Ja, ich besitze zu Hause einen eigenen Computer.   
Ja, ich darf zu Hause einen Computer mitbenutzen (z.B. von den Eltern oder Geschwistern).

4. Wie viel Zeit verbringst Du in etwa pro Woche vor dem Computer?  
Bis zu 1 Stunde   
1 – 5 Stunden   
6 – 10 Stunden   
11 Stunden und mehr



2

Abbildung 7.96: Computerkompetenz, Seite 2.

Bitte beachte jetzt bei der Beantwortung des Fragebogens folgendes:

Die Aussagen sind durch **Ankreuzen in den Kästchen** zu beantworten. Du kannst die Aussagen punktweise von **1 (kann ich gar nicht oder stimme gar nicht zu)** bis **7 (kann ich sehr gut oder stimme völlig zu)** bewerten.

Bitte immer nur **ein Kreuz pro Frage in ein Kästchen**. Bitte kein Kreuz zwischen zwei Kästchen machen. Bitte gib auf jeden Fall eine Antwort pro Frage, auch wenn Du Dir mit der Antwort nicht sicher bist. Hier wird nichts benotet. Für uns ist jede Antwort wertvoll!

Wie gut schätzt Du Dich selbst im Umgang mit Computern (PCs) und dem Internet ein?

		1					7	
	Kenntnisse im Umgang mit Computern	kann ich gar nicht	2	3	4	5	6	kann ich sehr gut
1	Ich kann einen Aufsatz oder Brief mit Textverarbeitung (z.B. mit Word) verfassen.	<input type="checkbox"/>						
2	Ich kann mit einem Grafikprogramm Zeichnungen anfertigen.	<input type="checkbox"/>						
3	Ich kann eine Datenbank (z.B. mit Excel) erstellen.	<input type="checkbox"/>						
4	Ich kann eine Präsentation (z.B. mit Powerpoint) erstellen.	<input type="checkbox"/>						
5	Ich kann in einem Email-Programm (z.B. Outlook) Adressen von Personen speichern.	<input type="checkbox"/>						
6	Ich kann Software (Programme) auf meinem Computer installieren.	<input type="checkbox"/>						
7	Ich kann Hardware (z.B. Drucker oder Scanner) auf meinem Computer einrichten.	<input type="checkbox"/>						
8	Ich kann die Festplatte eines Computers formatieren.	<input type="checkbox"/>						
9	Ich kann ein Betriebssystem (z.B. Windows XP) auf meinem Computer einrichten.	<input type="checkbox"/>						
10	Ich kann einen Virus oder Trojaner in einem Computer finden und beseitigen.	<input type="checkbox"/>						

Abbildung 7.97: Computerkompetenz, Seite 3.

		1					7	
<b>Kenntnisse im Umgang mit dem Internet</b>		kann ich gar nicht	2	3	4	5	6	kann ich sehr gut
11	Ich kann mit einer Internetsuchmaschine (z.B. Google) umgehen.	<input type="checkbox"/>						
12	Ich kann Emails versenden und empfangen.	<input type="checkbox"/>						
13	Ich kann Informationen, die mich interessieren, im Internet finden.	<input type="checkbox"/>						
14	Ich kann für mich interessante Informationen aus dem Internet herunterladen.	<input type="checkbox"/>						
15	Ich kann zum Spaß im Internet herumsurfen.	<input type="checkbox"/>						
16	Ich kann mit anderen online im Internet chatten.	<input type="checkbox"/>						
17	Ich kann Musik oder Radioprogramme über Internet empfangen.	<input type="checkbox"/>						
18	Ich kann günstige Angebote im Internet suchen und vergleichen.	<input type="checkbox"/>						
19	Ich kann Software von einem Internetanbieter auf meinen Computer herunterladen.	<input type="checkbox"/>						

4

Abbildung 7.98: Computerkompetenz, Seite 4.

Hier kannst Du einmal einschätzen, ob Dir die Arbeit mit dem Computer Spaß macht.

		1					7	
	Aussagen zur Arbeit mit Computern	stimme gar nicht zu	2	3	4	5	6	stimme völlig zu
20	Das Umgehen mit dem Computer macht mir großen Spaß.	<input type="checkbox"/>						
21	Ich finde, dass die Zeit bei der Beschäftigung mit Computern schneller vergeht als sonst.	<input type="checkbox"/>						
22	Ich beschäftige mich mit Computern, weil ich auf diesem Gebiet bessere Fähigkeiten habe als auf anderen Gebieten.	<input type="checkbox"/>						
23	Der Computer kann mich so fesseln, dass ich alles um mich herum vergessen kann.	<input type="checkbox"/>						
24	Weil es mir Spaß macht, erledige ich Arbeiten mit dem Computer, die ich auch per Hand machen könnte.	<input type="checkbox"/>						
25	Durch das Benutzen von Programmen kann ich vieles schneller und besser bewerkstelligen als mit der Hand.	<input type="checkbox"/>						
26	Durch die Benutzung des Computers spare ich Arbeit und Zeit.	<input type="checkbox"/>						
27	Mit dem Computer kann ich schulische Aufgaben besser erledigen (z.B. Hausaufgaben, Referate vorbereiten).	<input type="checkbox"/>						
28	Durch das Benutzen des Computers kann ich besser und schneller lernen.	<input type="checkbox"/>						
29	Mit dem Computer kann ich schneller an wichtige Informationen kommen, als es mir sonst möglich wäre (z.B. PC-Lexika wie Wikipedia oder Internet).	<input type="checkbox"/>						

Vielen Dank für Deine Unterstützung !

5

Abbildung 7.99: Motivation im Umgang mit dem Computer, Seite 5.

## 7.2.4 Kognitive Belastung und Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen

Die beiden Testinstrumente wurden in Form eines Fragebogens an die Teilnehmer ausgehändigt. Die subjektiv eingeschätzte kognitive Belastung wurde auf den Seiten zwei und drei; die subjektiv eingeschätzte Fähigkeit zur Selbstregulation wurde auf den Seiten vier und fünf erhoben.

*Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,*

Wir möchten gerne von Dir erfahren, wie schwierig Du den Umgang mit „SimBioSee“ empfunden hast und wie Du mit dem Computer arbeitest.

Datum:  Nummer Deines Computers:

**Kennzeichen:**  -  -

Dein Kennzeichen dient nur einer eindeutigen Zuordnung der Fragebögen zueinander. Dadurch wird gleichzeitig Deine Anonymität bewahrt.

*So erstellst Du Dein Kennzeichen:*

1. In das erste Kästchen trägst Du den Anfangsbuchstaben Deines Vornamens ein.
2. In das zweite Kästchen trägst Du den Anfangsbuchstaben des Vornamens Deiner Mutter ein.
3. In das dritte Kästchen trägst Du den Geburtstag (TTMM) Deiner Mutter ein.

*Beispiel:*  
Du heißt Petra und Deine Mutter heißt Susanne. Sie hat am 3. Dezember Geburtstag.

Kennzeichen:  -  -

Mache bitte erst folgende Angaben für die Auswertung:

Deine Schule: \_\_\_\_\_

Deine Klasse (z.B. 8b): \_\_\_\_\_

Deine letzte Biologie-Zeugnisnote: \_\_\_\_\_

Du bist :  weiblich     männlich

Dein Alter: \_\_\_\_\_

*Viel Spaß bei der Bearbeitung !!*

1

Abbildung 7.100: Kognitive Belastung und Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen, Deckblatt.

**Bitte beachte jetzt bei der Beantwortung des Fragebogens folgendes:**

Die Aussagen sind durch Ankreuzen in den Kästchen zu beantworten. Du kannst die Aussagen punktweise von 1 bis 5 bewerten.  
Bitte immer nur **ein Kreuz pro Frage in ein Kästchen**. Bitte kein Kreuz zwischen zwei Kästchen machen. Bitte gib auf jeden Fall eine Antwort pro Frage, auch wenn Du Dir mit der Antwort nicht sicher bist. Hier wird nichts benotet. Für uns ist jede Antwort wertvoll!

**Wie schwierig hast Du die Arbeit mit „SimBioSee“ empfunden?**

	1				5
	viel zu leicht	2	3	4	viel zu schwer
1	War das Programm „SimBioSee“ für Dich eher zu leicht oder eher zu schwer?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1				5
	gar nicht	2	3	4	extrem
2	Wie stark musstest Du Dich beim Lernen mit „SimBioSee“ geistig anstrengen?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Wie sehr musstest Du Dich bemühen, um die Inhalte des Programms „SimBioSee“ zu verstehen?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2

Abbildung 7.101: Kognitive Belastung, Seite 2.

	1				5
	viel zu einfach	2	3	4	viel zu komplex
4	Waren die Inhalte des Programms „SimBioSee“ Dir eher zu einfach oder eher zu komplex?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1				5
	gar nicht	2	3	4	extrem überlastet
5	Fühltest Du Dich durch die Informationsfülle des Programms „SimBioSee“ geistig überlastet?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Fühltest Du Dich durch die Komplexität (Auswahlmöglichkeiten, komplizierte Inhalte) des Lernprogramms geistig überlastet?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1				5
	gar nicht	2	3	4	extrem häufig
7	Wie häufig hattest Du den Eindruck, dass das Programm „SimBioSee“ Dir zu viele Informationen anbot?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Wie häufig blieben die Informationen des Lernprogramms für Dich unverständlich?				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3

Abbildung 7.102: Kognitive Belastung, Seite 3.

Wir möchten gerne von Dir erfahren, wie Du mit dem Computer arbeitest.

Bitte beachte jetzt bei der Beantwortung des Fragebogens folgendes:

Die Aussagen sind durch Ankreuzen in den Kästchen zu beantworten. Du kannst die Aussagen punktweise von 1 (stimme gar nicht zu) bis 7 (stimme völlig zu) bewerten. Bitte immer nur ein Kreuz pro Frage in ein Kästchen. Bitte kein Kreuz zwischen zwei Kästchen machen. Bitte gib auf jeden Fall eine Antwort pro Frage, auch wenn Du Dir mit der Antwort nicht sicher bist. Hier wird nichts benotet. Für uns ist jede Antwort wertvoll!

	1						7
Aussagen zur Art und Weise des Lernens	stimme gar nicht zu	2	3	4	5	6	stimme völlig zu
1 Ich beginne eine neue Aufgabenstellung mit „SimBioSee“ ohne Probleme.	<input type="checkbox"/>						
2 Ich bearbeite die verschiedenen Aufgaben bis zum Ende, selbst wenn ich andere interessante Dinge machen könnte.	<input type="checkbox"/>						
3 Ich finde eine Möglichkeit, mich beim Lernen am Computer zu konzentrieren, auch wenn mich viele andere Dinge ablenken.	<input type="checkbox"/>						
4 Ich finde Möglichkeiten mich zu motivieren die Aufgaben zu bearbeiten, auch wenn ich wenig Interesse daran habe.	<input type="checkbox"/>						
5 Ich mache mir einen Plan um meine Aufgabe am Computer zu beenden.	<input type="checkbox"/>						
6 Ich erinnere mich an Informationen aus einem Lehrbuch und aus dem Unterricht.	<input type="checkbox"/>						
7 Ich organisiere mir meine Aufgaben.	<input type="checkbox"/>						

Abbildung 7.103: Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen, Seite 4.

		1					7	
Aussagen zur Art und Weise des Lernens		stimme gar nicht zu	2	3	4	5	6	stimme völlig zu
8	Ich suche und benutze geeignete Anleitungen, wenn ich eine mir unbekannte Aufgabe am Computer bewältigen soll.	<input type="checkbox"/>						
9	Ich setze mir bestimmte Ziele beim Umgang mit Computerlernprogrammen.	<input type="checkbox"/>						
10	Ich überprüfe regelmäßig den Fortschritt meiner gesetzten Ziele.	<input type="checkbox"/>						
11	Ich verändere meinen Lösungsansatz, wenn ich merke, dass ich mit meinem ursprünglichen Ansatz nicht weiter komme.	<input type="checkbox"/>						
12	Ich kenne Freunde und Klassenkameraden, die ich um Hilfe fragen kann, wenn ich mir unsicher bei dem bin, was ich mache.	<input type="checkbox"/>						
13	Ich gestalte mir zum Lernen einen Ort ohne Ablenkungen.	<input type="checkbox"/>						
14	Ich finde Freunde oder Klassenkameraden, die mir kritische Rückmeldungen geben zu früheren Stadien meines Lösungsansatzes.	<input type="checkbox"/>						
15	Ich schaffe es, mir meine Zeit gut einzuteilen, wenn ich meine Arbeit zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeben muss.	<input type="checkbox"/>						

5

Abbildung 7.104: Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen, Seite 5.

## 7.3 Arbeitsaufträge

Im Folgenden werden die Arbeitsaufträge dargestellt, welche die Lernenden während den zwei Interventionen mit Hilfe des Computerprogramms bearbeiteten. Die Arbeitsaufträge sind in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen hinsichtlich der jeweils zu bearbeitenden Punkte (a) bis (c) identisch; hinsichtlich der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation unterscheiden sie sich im Punkt (d). Aus Gründen der besseren Übersicht werden nur die acht verschiedenen Arbeitsaufträge mit den Punkten (a) bis (c) dargestellt. Die Ausführungen der instruktionalen Maßnahme zur Dateninterpretation, die sich unter dem Punkt (d) befinden, wurden im Abschnitt 3.6.3 dargestellt.

In der ersten Intervention wurden die Arbeitsaufträge eins bis vier; in der zweiten Intervention wurden die Arbeitsaufträge fünf bis acht in der dargestellten Reihenfolge bearbeitet. Das Deckblatt ist in beiden Interventionen identisch.



Datum:       Nummer Deines Computers:

**Kennzeichen:**       -  -

Dein Kennzeichen dient nur einer eindeutigen Zuordnung der Fragebögen zueinander. Dadurch wird gleichzeitig Deine Anonymität bewahrt.

**So erstellst Du Dein Kennzeichen:**

1. In das erste Kästchen trägst Du den Anfangsbuchstaben Deines Vornamens ein.
2. In das zweite Kästchen trägst Du den Anfangsbuchstaben des Vornamens Deiner Mutter ein.
3. In das dritte Kästchen trägst Du den Geburtstag (TTMM) Deiner Mutter ein.

*Beispiel:*  
Du heißt Petra und Deine Mutter heißt Susanne. Sie hat am 3. Dezember Geburtstag.

Kennzeichen:       -  -

Mache bitte erst folgende Angaben für die Auswertung:

Deine Schule: \_\_\_\_\_

Deine Klasse (z.B. 8b): \_\_\_\_\_

Deine letzte Biologie-Zeugnisnote: \_\_\_\_\_

Du bist :  weiblich       männlich

Dein Alter: \_\_\_\_\_

Abbildung 7.105: Arbeitsaufträge, Deckblatt.

<b>Aufgabenblatt 1</b>	Nummer Deines Computers:
<p>Der Baron bringt ein spezielles Kraftfutter in den See ein, das die Vermehrung der <b>Rotfedern</b> fördert. Der Zuwachs der <b>Rotfedern</b> steigt pro Monat um den Wert "10". Nach 20 Monaten kontrolliert der Baron die Fischbestände. Was wird mit der Zahl der <b>Rotfedern</b> und <b>Hechte</b> passiert sein?</p>	
a) Triff eine Vorhersage.	
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...
<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.
<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.
<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.
b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.	
Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...
<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.
<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.
<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.
c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.	
<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	

Abbildung 7.106: Arbeitsauftrag 1.

<b>Aufgabenblatt 2</b>	Nummer Deines Computers:
<p>Ein Teil der <b>Hechte</b> ist von einer Pilzkrankung befallen. Die Sterblichkeit der <b>Hechte</b> steigt um den Wert 5. Nach 50 Monaten kontrolliert der Baron die Fischbestände. Was wird mit der Zahl der <b>Rotfedern</b> und <b>Hechte</b> passiert sein?</p>	
a) Triff eine Vorhersage.	
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...
<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.
<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.
<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.
b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.	
Nach 50 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 50 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...
<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.
<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.
<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.
c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.	
<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	

Abbildung 7.107: Arbeitsauftrag 2.

<p><b>Aufgabenblatt 3</b></p> <p>Welche Auswirkungen kann laut Computersimulation ein Aussterben der <b>Hechte</b> in einem See auf die Zahl der <b>Rotfedern</b> bei unveränderter Lebensraumkapazität nach 70 Monaten haben?</p> <p>a) Triff eine Vorhersage.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...erhöht sich kaum.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...kann steigen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...kann sich erhöhen und anschließend stark fallen.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...steigt bis zur Kapazitätsgrenze.</td></tr> </table> <p>b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...erhöht sich kaum.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...kann steigen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...kann sich erhöhen und anschließend stark fallen.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...steigt bis zur Kapazitätsgrenze.</td></tr> </table> <p>c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja      <input type="checkbox"/> Nein</p>	Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	<input type="checkbox"/> ...erhöht sich kaum.	<input type="checkbox"/> ...kann steigen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.	<input type="checkbox"/> ...kann sich erhöhen und anschließend stark fallen.	<input type="checkbox"/> ...steigt bis zur Kapazitätsgrenze.	Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	<input type="checkbox"/> ...erhöht sich kaum.	<input type="checkbox"/> ...kann steigen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.	<input type="checkbox"/> ...kann sich erhöhen und anschließend stark fallen.	<input type="checkbox"/> ...steigt bis zur Kapazitätsgrenze.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Nummer Deines Computers:</td></tr> </table>	Nummer Deines Computers:
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...												
<input type="checkbox"/> ...erhöht sich kaum.												
<input type="checkbox"/> ...kann steigen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.												
<input type="checkbox"/> ...kann sich erhöhen und anschließend stark fallen.												
<input type="checkbox"/> ...steigt bis zur Kapazitätsgrenze.												
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...												
<input type="checkbox"/> ...erhöht sich kaum.												
<input type="checkbox"/> ...kann steigen, aber nicht bis zur Kapazitätsgrenze.												
<input type="checkbox"/> ...kann sich erhöhen und anschließend stark fallen.												
<input type="checkbox"/> ...steigt bis zur Kapazitätsgrenze.												
Nummer Deines Computers:												

Abbildung 7.108: Arbeitsauftrag 3.

<p><b>Aufgabenblatt 4</b></p> <p>Durch den Bau einer Straße wird ein See, in dem <b>Hechte</b> und <b>Rotfedern</b> leben, um die Hälfte verkleinert. Welche der Kurven wird nach Halbierung des Sees wahrscheinlich schneller wieder anwachsen? Die Kurve der <b>Hechte</b> oder die Kurve der <b>Rotfedern</b>?</p> <p>a) Triff eine Vorhersage.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> Die Kurve der <b>Hechte</b> wird schneller wieder anwachsen.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> Die Kurve der <b>Rotfedern</b> wird schneller wieder anwachsen.</td></tr> </table> <p>b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Nach Halbierung des Sees ist die Kurve...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...der <b>Hechte</b> schneller wieder angewachsen.</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"><input type="checkbox"/> ...der <b>Rotfedern</b> schneller wieder angewachsen.</td></tr> </table> <p>c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja      <input type="checkbox"/> Nein</p>	<input type="checkbox"/> Die Kurve der <b>Hechte</b> wird schneller wieder anwachsen.	<input type="checkbox"/> Die Kurve der <b>Rotfedern</b> wird schneller wieder anwachsen.	Nach Halbierung des Sees ist die Kurve...	<input type="checkbox"/> ...der <b>Hechte</b> schneller wieder angewachsen.	<input type="checkbox"/> ...der <b>Rotfedern</b> schneller wieder angewachsen.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Nummer Deines Computers:</td></tr> </table>	Nummer Deines Computers:
<input type="checkbox"/> Die Kurve der <b>Hechte</b> wird schneller wieder anwachsen.							
<input type="checkbox"/> Die Kurve der <b>Rotfedern</b> wird schneller wieder anwachsen.							
Nach Halbierung des Sees ist die Kurve...							
<input type="checkbox"/> ...der <b>Hechte</b> schneller wieder angewachsen.							
<input type="checkbox"/> ...der <b>Rotfedern</b> schneller wieder angewachsen.							
Nummer Deines Computers:							

Abbildung 7.109: Arbeitsauftrag 4.

<p><b>Aufgabenblatt 5</b></p> <p>Die Einleitung von verschmutztem Wasser in den See beeinträchtigt den empfindlichen Rotfederzuwachs. Der Zuwachs der <b>Rotfedern</b> fällt pro Monat um den Wert „5“. Nach 40 Monaten kontrolliert der Baron die Fischbestände. Was wird mit der Zahl der <b>Rotfedern</b> und <b>Hechte</b> passiert sein?</p> <p>a) Triff eine Vorhersage.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</th> <th style="width: 50%;">Die Zahl der <b>Hechte</b>...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...fällt.</td> <td><input type="checkbox"/> ...fällt.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.</td> <td><input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...steigt.</td> <td><input type="checkbox"/> ...steigt.</td> </tr> </table> <p>b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Nach 40 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</th> <th style="width: 50%;">Nach 40 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b>...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gefallen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gefallen.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gestiegen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gestiegen.</td> </tr> </table> <p>c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja                      <input type="checkbox"/> Nein</p>	Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...	<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.	Nach 40 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 40 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...	<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">         Nummer Deines Computers:       </div>
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...																
<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.																
<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.																
<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.																
Nach 40 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 40 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...																
<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.																
<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.																
<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.																

Abbildung 7.110: Arbeitsauftrag 5.

<p><b>Aufgabenblatt 6</b></p> <p>Durch klimatische Bedingungen wird das Wachstum der <b>Hechte</b> gefördert. Die Sterblichkeit der <b>Hechte</b> fällt um 10% pro Monat. Nach 20 Monaten kontrolliert der Baron seine Fischbestände. Was wird mit der Zahl der <b>Rotfedern</b> und <b>Hechte</b> passiert sein?</p> <p>a) Triff eine Vorhersage.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</th> <th style="width: 50%;">Die Zahl der <b>Hechte</b>...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...fällt.</td> <td><input type="checkbox"/> ...fällt.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.</td> <td><input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...steigt.</td> <td><input type="checkbox"/> ...steigt.</td> </tr> </table> <p>b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</th> <th style="width: 50%;">Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b>...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gefallen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gefallen.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gestiegen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gestiegen.</td> </tr> </table> <p>c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja                      <input type="checkbox"/> Nein</p>	Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...	<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.	Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...	<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">         Nummer Deines Computers:       </div>
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Die Zahl der <b>Hechte</b> ...																
<input type="checkbox"/> ...fällt.	<input type="checkbox"/> ...fällt.																
<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.	<input type="checkbox"/> ...bleibt gleich.																
<input type="checkbox"/> ...steigt.	<input type="checkbox"/> ...steigt.																
Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 20 Monaten ist die Zahl der <b>Hechte</b> ...																
<input type="checkbox"/> ...gefallen.	<input type="checkbox"/> ...gefallen.																
<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.	<input type="checkbox"/> ...gleich geblieben.																
<input type="checkbox"/> ...gestiegen.	<input type="checkbox"/> ...gestiegen.																

Abbildung 7.111: Arbeitsauftrag 6.

<p><b>Aufgabenblatt 7</b></p> <p>Durch die Vergrößerung eines Naturschutzgebietes wird ein See, in dem <b>Rotfedern</b> und <b>Hechte</b> leben, um ein Viertel vergrößert. Wie wird sich die Vergrößerung des Sees auf die Zahl an <b>Rotfedern</b> und <b>Hechten</b> nach 30 Monaten ausgewirkt haben?</p> <p>a) Triff eine Vorhersage.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Die Zahl der <b>Rotfedern</b> wird nach 30 Monaten...</th> <th style="width: 50%;">Die Zahl der <b>Hechte</b> wird nach 30 Monaten...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...fallen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...fallen.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...steigen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...steigen.</td> </tr> </table> <p>b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und vergleiche mit dem Kontrollgraphen.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Nach 30 Monaten wird die Zahl der <b>Rotfedern</b>...</th> <th style="width: 50%;">Nach 30 Monaten wird die Zahl der <b>Hechte</b>...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...fallen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...fallen.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.</td> <td><input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...steigen.</td> <td><input type="checkbox"/> ...steigen.</td> </tr> </table> <p>c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja      <input type="checkbox"/> Nein</p>	Die Zahl der <b>Rotfedern</b> wird nach 30 Monaten...	Die Zahl der <b>Hechte</b> wird nach 30 Monaten...	<input type="checkbox"/> ...fallen.	<input type="checkbox"/> ...fallen.	<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.	<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.	<input type="checkbox"/> ...steigen.	<input type="checkbox"/> ...steigen.	Nach 30 Monaten wird die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 30 Monaten wird die Zahl der <b>Hechte</b> ...	<input type="checkbox"/> ...fallen.	<input type="checkbox"/> ...fallen.	<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.	<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.	<input type="checkbox"/> ...steigen.	<input type="checkbox"/> ...steigen.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">         Nummer Deines Computers:       </div>
Die Zahl der <b>Rotfedern</b> wird nach 30 Monaten...	Die Zahl der <b>Hechte</b> wird nach 30 Monaten...																
<input type="checkbox"/> ...fallen.	<input type="checkbox"/> ...fallen.																
<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.	<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.																
<input type="checkbox"/> ...steigen.	<input type="checkbox"/> ...steigen.																
Nach 30 Monaten wird die Zahl der <b>Rotfedern</b> ...	Nach 30 Monaten wird die Zahl der <b>Hechte</b> ...																
<input type="checkbox"/> ...fallen.	<input type="checkbox"/> ...fallen.																
<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.	<input type="checkbox"/> ...gleich bleiben.																
<input type="checkbox"/> ...steigen.	<input type="checkbox"/> ...steigen.																

Abbildung 7.112: Arbeitsauftrag 7.

<p><b>Aufgabenblatt 8</b></p> <p>Der Baron möchte seinen See mit Fischen ganz neu besetzen. Dazu bringt er in den See gleich viele <b>Rotfedern</b> wie <b>Hechte</b> ein. Welche der Kurven (die Kurve der <b>Hechte</b> oder die Kurve der <b>Rotfedern</b>) wird nach der Einbringung der beiden Fischarten nach 10 Monaten vergleichsweise schneller ansteigen? Wähle bei der Simulation durchführung Werte zwischen 1 und 100.</p> <p>a) Triff eine Vorhersage.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 100%;">Bei gleicher Startzahl von <b>Hechten</b> und <b>Rotfedern</b> wird nach 10 Monaten...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...die Kurve der <b>Hechte</b> schneller ansteigen.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...die Kurve der <b>Rotfedern</b> schneller ansteigen.</td> </tr> </table> <p>b) Führe die Simulation zur oben gestellten Aufgabe durch und lies Dein Simulationsergebnis ab.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 100%;">Bei gleicher Startzahl von <b>Hechten</b> und <b>Rotfedern</b> ist nach 10 Monaten die Kurve der...</th> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...<b>Hechte</b> schneller wieder angestiegen.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ...<b>Rotfedern</b> schneller wieder angestiegen.</td> </tr> </table> <p>c) Prüfe, ob Deine Vorhersage aus a) mit dem Simulationsergebnis aus b) übereinstimmt.</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja      <input type="checkbox"/> Nein</p>	Bei gleicher Startzahl von <b>Hechten</b> und <b>Rotfedern</b> wird nach 10 Monaten...	<input type="checkbox"/> ...die Kurve der <b>Hechte</b> schneller ansteigen.	<input type="checkbox"/> ...die Kurve der <b>Rotfedern</b> schneller ansteigen.	Bei gleicher Startzahl von <b>Hechten</b> und <b>Rotfedern</b> ist nach 10 Monaten die Kurve der...	<input type="checkbox"/> ... <b>Hechte</b> schneller wieder angestiegen.	<input type="checkbox"/> ... <b>Rotfedern</b> schneller wieder angestiegen.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">         Nummer Deines Computers:       </div>
Bei gleicher Startzahl von <b>Hechten</b> und <b>Rotfedern</b> wird nach 10 Monaten...							
<input type="checkbox"/> ...die Kurve der <b>Hechte</b> schneller ansteigen.							
<input type="checkbox"/> ...die Kurve der <b>Rotfedern</b> schneller ansteigen.							
Bei gleicher Startzahl von <b>Hechten</b> und <b>Rotfedern</b> ist nach 10 Monaten die Kurve der...							
<input type="checkbox"/> ... <b>Hechte</b> schneller wieder angestiegen.							
<input type="checkbox"/> ... <b>Rotfedern</b> schneller wieder angestiegen.							

Abbildung 7.113: Arbeitsauftrag 8.

## 7.4 Skalendokumentation und Itemanalyse

### Skalendokumentation der Evaluation der Lernumgebung

#### *Benutzerfreundlichkeit*

Tabelle 7.1: Skalendokumentation zur Erhebung der Benutzerfreundlichkeit (Faktor 1) des Computerprogramms.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
Benutz1	5.00	1.10	.65	.92	.74
Benutz2	4.69	1.67	.73	.91	.73
Benutz3	5.77	1.39	.72	.91	.73
Benutz4	5.58	1.42	.64	.92	.76
Benutz5	5.46	1.36	.79	.91	.89
Benutz6	5.69	1.29	.83	.90	.63
Benutz7	5.54	1.74	.76	.91	.75
Benutz8	5.81	1.55	.82	.90	.82
Skala	$M = 5.44$		$\alpha = .92$		
			$SD = 1.17$	$N = 26$	Items = 8

#### *Informationsqualität*

Tabelle 7.2: Skalendokumentation zur Erhebung der Informationsqualität (Faktor 2) des Computerprogramms.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
Info1	4.26	2.34	.49	.78	.67
Info2	5.74	1.29	.63	.73	.59
Info3	6.00	1.04	.59	.74	.78
Info4	5.96	1.26	.62	.73	.70
Info5	5.48	1.53	.78	.69	.79
Info6	5.52	1.28	.65	.73	.71
Info7	5.65	1.56	.56	.83	.48
Skala	$M = 5.52$		$\alpha = .78$		
			$SD = 1.00$	$N = 27$	Items = 7

*Schnittstellenqualität*

Tabelle 7.3: Skalendokumentation zur Erhebung der Schnittstellenqualität (Faktor 3) des Computerprogramms.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
Schnitt1	6.15	0.95	.37	.62	.72
Schnitt2	6.07	0.96	.21	.67	.87
Schnitt3	4.96	1.56	.49	.55	.91
Schnitt4	5.52	1.42	.63	.41	.77
Skala	$M = 5.68$		$\alpha = .65$		
			$SD = 0.88$	$N = 27$	Items = 4

### Skalendokumentation der erhobenen intrinsischen Motivation im Umgang mit der Lernumgebung

*Interesse/Vergnügen*

Tabelle 7.4: Skalendokumentation zur Erhebung des Interesses/Vergnügens (Faktor 1) im Umgang mit dem Computerprogramm.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
IntVer1	5.52	1.85	.84	.57	.79
IntVer2	5.32	1.38	.50	.91	.52
IntVer3	5.16	1.91	.75	.68	.73
Skala	$M = 5.33$		$\alpha = .82$		
			$SD = 1.48$	$N = 25$	Items = 3

*Wahrgenommene Kompetenz*

Tabelle 7.5: Skalendokumentation zur Erhebung der wahrgenommenen Kompetenz (Faktor 2) im Umgang mit dem Computerprogramm.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
Komp1	5.41	1.42	.77	.88	.77
Komp2	5.81	1.21	.82	.83	.95
Komp3	5.74	1.29	.80	.84	.76
Skala	$M = 5.65$		$\alpha = .89$		
			$SD = 1.19$	$N = 27$	Items = 3

*Wahrgenommene Wahlfreiheit*

Tabelle 7.6: Skalendokumentation zur Erhebung der wahrgenommenen Wahlfreiheit (Faktor 3) im Umgang mit dem Computerprogramm.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
Wah1	5.00	1.92	.69	.74	.72
Wah2	5.62	1.72	.78	.66	.88
Wah3	5.96	1.93	.57	.86	.88
Skala	$M = 5.19$		$\alpha = .82$		
			$SD = 1.59$	$N = 26$	Items = 3

*Empfundener Druck/ Anspannung*

Tabelle 7.7: Skalendokumentation zur Erhebung des empfundenen Drucks/Anspannung (Faktor 4) im Umgang mit dem Computerprogramm. Das Item Dru1 wird aufgrund der hohen negativen Faktorladung aus der Skala entfernt.  $M$  = Arithmetisches Mittel (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala),  $SD$  = Standardabweichung,  $r$  = Trennschärfe,  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird,  $N$  = Anzahl der Versuchsteilnehmer, Items = Anzahl der Items der Skala.

Item	$M$	$SD$	$r$	$a$	Faktorladung
Dru1	3.81	2.24	.292	.89	.85
Dru2	6.07	1.73	.71	.34	.39
Dru3	6.15	1.81	.57	.51	.07
Skala	$M = 5.35$		$\alpha = .68$		
			$SD = 1.52$	$N = 27$	Items = 2

Im Folgenden werden die Reliabilitäten und die deskriptiven Statistiken der verschiedenen Skalen des ersten und des zweiten Nachtests dargestellt.

### Subskala „Faktenwissen“

Tabelle 7.8: Itemanalyse für die Subskala „Faktenwissen“ des ersten Nachtests mit 7 Items und  $N = 121$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .49$  und des zweiten Nachtests mit 7 Items und  $N = 123$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .45$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird;  $M$  = Itemschwierigkeit (entspricht dem Anteil (Mittelwert) derjenigen Personen, die das Item korrekt lösten).

Faktenwissen							
Item	Nachtest 1			Nachtest 2			
	$r$	$a$	$M$	$r$	$a$	$M$	
Fakt1: Wovon ernährt sich ein Hecht?	.22	.47	.95	.24	.41	.89	
Fakt2: Welches Lebewesen zählt zu den Zersettern?	.34	.40	.42	.25	.39	.48	
Fakt3: Was ist Plankton?	.16	.49	.41	.16	.43	.50	
Fakt4: Welches Lebewesen zählt zu den Erzeugern	.36	.39	.39	.25	.38	.47	
Fakt5: Was ist ein Nahrungsnetz?	.21	.47	.75	.20	.41	.76	
Fakt6: Wo wächst die Seerose?	.16	.49	.45	.24	.39	.53	
Fakt7: Welche Besonderheiten besitzt die Brachse?	.24	.45	.54	.14	.44	.56	
Cronbachs- $\alpha$	.49			.45			

### Subskala „Konzeptuelles Wissen“

Tabelle 7.9: Itemanalyse für die Subskala „**konzeptuelles Wissen**“ des ersten Nachtests mit 7 Items und  $N = 113$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .60$  und des zweiten Nachtests mit  $N = 7$  Items und  $N = 116$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .63$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird;  $M$  = Itemschwierigkeit (entspricht dem Anteil (Mittelwert) derjenigen Personen, die das Item korrekt lösten).

Konzeptuelles Wissen		Nachtest 1			Nachtest 2		
		$r$	$a$	$M$	$r$	$a$	$M$
Konz1:	Eine höhere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu...	.50	.54	.69	.34	.59	.62
Konz2:	Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?	.55	.52	.63	.35	.59	.60
Konz3:	Eine geringere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu... Welche Aussage trifft auf ein Räuber-Beute-	.19	.64	.43	.09	.63	.39
Konz4:	Verhältnis zwischen zwei Tierarten zu. die voneinander abhängig sind?	.35	.59	.62	.34	.59	.69
Konz5:	Welche Aussage trifft zu?	.18	.63	.48	.29	.61	.34
Konz6:	Ein Verhältnis zwischen einem Raubfisch und seiner Beute wird durch äußere Umstände gestört (z.B. durch die Verkleinerung eines Sees). Welche dieser beiden Gruppen wird wahrscheinlich schneller wieder anwachsen?	.35	.59	.73	.44	.56	.67
Konz7:	Kann bei einem Aussterben des Räubers die Zahl der Beutetiere beliebig stark anwachsen?	.20	.64	.40	.26	.62	.39
Konz8:	Ein höherer Zuwachs von Beutefischen in einem See führt zu...	.28	.61	.60	.36	.58	.61
Cronbachs- $\alpha$		.60			.63		

Das Item Konz3 wurde aufgrund der geringen Trennschärfe im zweiten Nachtest von .09 aus der Skala entfernt.

### Subskala „Prozedurales Wissen“

Tabelle 7.10: Itemanalyse für die Subskala „**prozedurales Wissen**“ des ersten Nachtests mit 4 Items und  $N = 113$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .18$  und des zweiten Nachtests mit 4 Items und  $N = 119$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .48$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird;  $M$  = Itemschwierigkeit (entspricht dem Anteil (Mittelwert) derjenigen Personen, die das Item korrekt lösten).

Prozedurales Wissen		Nachtest 1			Nachtest 2		
Item		$r$	$a$	$M$	$r$	$a$	$M$
Proz1:	Nenne die wichtigsten Schritte, um mit Hilfe einer Computersimulation zu neuen biologischen Erkenntnissen zu gelangen.	.11	.86	.21	.00	.31	.40
Proz2:	Warum vergleicht man das Ergebnis einer Simulation mit dem ursprünglichen Zustand der Simulation?	.13	.18	.61	.06	.25	.52
Proz3:	Wie stellt man Veränderungen in einer Simulation fest?	.07	.17	.36	.22	.45	.31
Proz4:	Wie viele Variablen (Einstellungen, Parameter) sollte man gleichzeitig bei der Durchführung einer Simulation verändern?	.14	.05	.38	.23	.44	.29
Proz5:	Kreuze an, wie Du sinnvoller Weise zur Gewinnung neuer Erkenntnisse vorgehst.	.01	.23	.66	.29	.39	.74
Proz6:	Was unternimmst Du, wenn Dein Simulationsergebnis mit Deiner Vorhersage nicht übereinstimmt?	.12	.09	.69	.43	.33	.58
Cronbachs- $\alpha$		.18			.48		

Die Items Proz1 und Proz2 im zweiten Nachtest werden aufgrund zu geringer Trennschärfen aus der Skala entfernt.

### Subskala „Intuitives Wissen“

Tabelle 7.11: Itemanalyse für die Subskala „**intuitives Wissen**“ des ersten Nachttests mit 11 Items und  $N = 121$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .52$  und des zweiten Nachttests mit 11 Items und  $N = 122$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .66$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird;  $M$  = Itemschwierigkeit (entspricht dem Anteil (Mittelwert) derjenigen Personen, die das Item korrekt lösten).

Intuitives Wissen		Nachttest 1			Nachttest 2		
Item		$r$	$a$	$M$	$r$	$a$	$M$
Int1	Hier wird gleich eine Frage stehen!	---	---	---	---	---	---
Int2	Hier wird auch gleich eine Frage stehen! Bei der nächsten Frage geht es richtig los!	---	---	---	---	---	---
Int3	Die Hecht-Sterblichkeit steigt auf 100 %. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.17	.51	.54	.27	.65	.57
Int4	Die Lebensraumkapazität eines Sees wird vergrößert. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.29	.47	.61	.36	.63	.61
Int5	Die Startzahl der Hechte wird von 20 auf 100 erhöht. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.72	.53	.33	.20	.66	.46
Int6	Der Rotfederzuwachs sinkt. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.03	.52	.21	.17	.64	.25
Int7	Der See wird zur Hälfte verkleinert. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.19	.50	.62	.27	.65	.66
Int8	Die Hecht-Sterblichkeit steigt von 20% auf 30%. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.25	.48	.28	.35	.63	.31
Int9	Die Hecht-Sterblichkeit fällt von 20% auf 10%. Wie wird das Simulationsergebnis aussehen?	.27	.48	.41	.20	.66	.40
Int10	Die Startzahl der Rotfedern wird von 200 auf 400 erhöht. Dadurch vermehren sich die Rotfedern...	.10	.50	.69	.06	.61	.62
Int11	Der See wird um 20% verkleinert. Dadurch...	.24	.49	.66	.51	.60	.71
Int12	Die Hecht-Sterblichkeit steigt von 20% auf 30%. Nach 20 Monaten leben im See...	.11	.52	.80	.31	.64	.80
Int13	Sinkt der Rotfeder-Zuwachs...	.19	.50	.69	.35	.63	.71
Int14	Die Hecht-Sterblichkeit fällt von 20% auf 10%. Nach 20 Monaten leben im See...	.31	.46	.45	.33	.64	.52
Int15	Der See wird um 50% vergrößert. Dadurch...	.23	.49	.83	.32	.64	.75
Cronbachs- $\alpha$		.52			.66		

Die Items Int1 und Int2 dienen lediglich als Übungsitems für den Lernenden zum einführenden Umgang mit dem Programm. Diese Items werden für die Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Die Items Int6 und Int10 im zweiten Nachttest werden aufgrund zu geringer Trennschärfen aus der Skala entfernt.

---

**Skala „Wissen“**

Die Darstellung der Skala „Wissen“ erfolgte in zwei aufeinander folgenden Schritten. Aus diesem Grund werden im Folgenden zwei aufeinander folgende Itemanalysen gezeigt, die zur Erstellung der Skala mit 16 Items führt.

Tabelle 7.12: Itemanalyse für die Skala „Wissen“ des ersten Nachttests mit 18 Items und  $N = 106$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .70$  und des zweiten Nachttests mit 18 Items und  $N = 121$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .75$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird;  $M$  = Itemschwierigkeit (entspricht dem Anteil (Mittelwert) derjenigen Personen, die das Item korrekt lösten).

Wissen		Nachttest 1			Nachttest 2		
Item		$r$	$a$	$M$	$r$	$a$	$M$
Fakt1:	Wovon ernährt sich ein Hecht?	.23	.70	.95	.36	.74	.89
Fakt2:	Welches Lebewesen zählt zu den Zersettern?	.35	.68	.42	.33	.74	.48
Fakt3:	Was ist Plankton?	.25	.69	.41	.16	.76	.50
Fakt4:	Welches Lebewesen zählt zu den Erzeugern	.25	.69	.39	.32	.74	.47
Fakt5:	Was ist ein Nahrungsnetz?	.23	.69	.75	.23	.75	.76
Fakt6:	Wo wächst die Seerose?	.27	.69	.45	.35	.74	.53
Fakt7:	Welche Besonderheit besitzt die Brachse?	.25	.69	.54	.18	.75	.56
Konz1:	Eine höhere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu...	.38	.68	.69	.43	.74	.62
Konz2:	Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?	.58	.65	.63	.33	.74	.60
Konz4:	Welche Aussage trifft auf ein Räuber-Beute-Verhältnis zwischen zwei Tierarten zu, die voneinander abhängig sind?	.52	.66	.62	.39	.74	.69
Konz5:	Welche Aussage trifft zu? Ein Verhältnis zwischen einem Raubfisch und seiner Beute wird durch äußere Umstände gestört	.14	.70	.48	.23	.75	.34
Konz6:	(z.B. durch die Verkleinerung eines Sees). Welche dieser beiden Gruppen wird wahrscheinlich schneller wieder anwachsen?	.43	.67	.73	.51	.73	.67
Konz7:	Kann bei einem Aussterben des Räubers die Zahl der Beutetiere beliebig stark anwachsen?	.31	.69	.40	.37	.74	.39
Konz8:	Ein höherer Zuwachs von Beutefischen in einem See führt zu...	.31	.69	.60	.33	.74	.61
Proz3:	Wie stellt man Veränderungen in einer Simulation fest?	.08	.71	.36	.35	.74	.31
Proz4:	Wie viele Variablen (Einstellungen, Parameter) sollte man gleichzeitig bei der Durchführung einer Simulation verändern?	.07	.71	.38	.34	.74	.29
Proz5:	Kreuze an, wie Du sinnvoller Weise zur Gewinnung neuer Erkenntnisse vorgehst.	.33	.68	.66	.41	.74	.74
Proz6:	Was unternimmst Du, wenn Dein Simulationsergebnis mit Deiner Vorhersage nicht übereinstimmt?	.16	.70	.69	.37	.74	.58
Cronbachs- $\alpha$		.70			.75		

---

Aufgrund negativer Trennschärfen wurden die Items Proz1 (*Nenne die wichtigsten Schritte, um mit Hilfe einer Computersimulation zu neuen biologischen Erkenntnissen zu gelangen; -.07*), Proz2 (*Warum vergleicht man das Ergebnis einer Simulation mit dem ursprünglichen Zustand der Simulation? -.10*) und Konz3 (*Eine geringere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu... -.42*) aus der Gesamtskala des ersten Nachtests mit ursprünglich 18 Items und einer Reliabilität von Cronbachs- $\alpha = .39$  entfernt. Nach Entfernung der Items Proz1, Proz2 und Konz3 aus dem zweiten Nachtest erhöht sich die Reliabilität dieser Skala von einem Wert des Cronbachs- $\alpha = .72$  auf Cronbachs- $\alpha$ -Wert von  $.75$ .

Nachdem die Items Fakt3 (*Was ist Plankton?*) und Fakt7 (*Welche Besonderheit besitzt die Brachse?*) nachträglich aus der Skala entfernt wurden, zeigt die Skala „Wissen“ mit insgesamt 16 Items die in Tabelle 7.13 dargestellten Werte.

Tabelle 7.13: Itemanalyse für die Gesamtskala „Wissen“ des ersten Nachtests mit 16 Items und  $N = 106$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .68$  und des zweiten Nachtests mit 16 Items und  $N = 110$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .76$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird;  $M$  = Itemschwierigkeit (entspricht dem Anteil (Mittelwert) derjenigen Personen, die das Item korrekt lösten).

Wissen		Nachtest 1			Nachtest 2		
Item		$r$	$a$	$M$	$r$	$a$	$M$
Fakt1:	Wovon ernährt sich ein Hecht?	.21	.68	.95	.36	.75	.89
Fakt2:	Welches Lebewesen zählt zu den Zersetzen?	.35	.66	.42	.33	.75	.48
Fakt4:	Welches Lebewesen zählt zu den Erzeugern	.21	.68	.39	.33	.75	.47
Fakt5:	Was ist ein Nahrungsnetz?	.25	.67	.75	.22	.76	.76
Fakt6:	Wo wächst die Seerose?	.25	.67	.45	.34	.75	.53
Konz1:	Eine höhere Sterblichkeit von Raubfischen in einem See führt zu...	.40	.65	.69	.42	.74	.62
Konz2:	Welche Folgen kann ein Aussterben der Raubfische in einem See auf die Zahl seiner Beutefische haben?	.58	.63	.63	.35	.75	.60
Konz4:	Welche Aussage trifft auf ein Räuber-Beute-Verhältnis zwischen zwei Tierarten zu, die voneinander abhängig sind?	.50	.64	.62	.38	.75	.69
Konz5:	Welche Aussage trifft zu?	.15	.68	.48	.26	.76	.34
Konz6:	Ein Verhältnis zwischen einem Raubfisch und seiner Beute wird durch äußere Umstände gestört (z.B. durch die Verkleinerung eines Sees). Welche dieser beiden Gruppen wird wahrscheinlich schneller wieder anwachsen?	.44	.65	.73	.50	.74	.67
Konz7:	Kann bei einem Aussterben des Räubers die Zahl der Beutetiere beliebig stark anwachsen?	.28	.67	.40	.35	.75	.39
Konz8:	Ein höherer Zuwachs von Beutefischen in einem See führt zu...	.30	.66	.60	.34	.75	.61
Proz3:	Wie stellt man Veränderungen in einer Simulation fest?	.07	.69	.36	.36	.75	.31
Proz4:	Wie viele Variablen (Einstellungen, Parameter) sollte man gleichzeitig bei der Durchführung einer Simulation verändern?	.07	.69	.38	.34	.75	.29
Proz5:	Kreuze an, wie Du sinnvoller Weise zur Gewinnung neuer Erkenntnisse vorgehst.	.34	.66	.66	.44	.74	.74
Proz6:	Was unternimmst Du, wenn Dein Simulationsergebnis mit Deiner Vorhersage nicht übereinstimmt?	.17	.68	.69	.37	.75	.58
Cronbachs- $\alpha$		.68			.76		

## Einschätzung der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen

Aufgelistet sind hier zunächst die Items des Testinstruments zur subjektiven Einschätzung der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen in den ursprünglichen Formulierungen (Schunk & Ertmer, 1999). Das Item Perf4 wurde nicht übersetzt und in das eingesetzte Testinstrument übernommen.

Tabelle 7.14: Formulierungen der verschiedenen Items in den vier unterschiedlichen Skalen nach (Schunk, 1996). Abkürzungen: Mot: Motivation, Met: Methods, Perf: Performance Outcomes, Soz: Social- Environmental Ressources.

---

Mot1	Start a new computer project (after initial instruction) with no difficulty.
Mot2	Work on lab projects even when there are other interesting things to do.
Mot3	Find a way to concentrate on lab projects even when there are many distractions around me.
Mot4	Find ways to motivate myself to finish a lab project even it holds little interest for me.
Met1	Make a plan to complete my lab assignments.
Met2	Remember information presented in the textbook and in the lab.
Met3	Organize my lab work.
Met4	Locate and use appropriate manuals when I need to accomplish an unfamiliar computer task.
Perf1	Set specific goals for myself in this course.
Perf2	Refer to the goals I set early in the course to gauge the progress I am making.
Perf3	Modify my approach to this class if I find that the one I am using isn't working.
Perf4	Keep an accurate record of the course points I have earned so far.
Soz1	Find peers whom I can ask for help if I'm unsure of what to do.
Soz2	Arrange a place to work without distractions.
Soz3	Find peers who will give critical feedback on early versions of my project.
Soz4	Manage my time efficiently when I have a deadline on a project.

---

### Gesamtfragebogenauswertung

Tabelle 7.15: Deskriptive Statistiken für das gesamte Testinstrument zur Erhebung der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen mit 15 Items. Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $\alpha$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird.

Item		Intervention <u>1</u>		Intervention <u>2</u>	
		$r$	$\alpha$	$r$	$\alpha$
Mot1	Ich beginne eine neue Aufgabenstellung mit „SimBioSee“ ohne Probleme.	.33	.83	.59	.90
Mot2	Ich bearbeite die verschiedenen Aufgaben bis zum Ende, selbst wenn ich andere interessante Dinge machen könnte.	.35	.83	.62	.90
Mot3	Ich finde eine Möglichkeit, mich beim Lernen am Computer zu konzentrieren, auch wenn mich viele andere Dinge ablenken.	.38	.83	.66	.90
Mot4	Ich finde Möglichkeiten mich zu motivieren die Aufgaben zu bearbeiten, auch wenn ich wenig Interesse daran habe.	.46	.82	.66	.90
Met1	Ich mache mir einen Plan um meine Aufgabe am Computer zu beenden.	.41	.83	.52	.91
Met2	Ich erinnere mich an Informationen aus einem Lehrbuch und aus dem Unterricht.	.38	.83	.61	.90
Met3	Ich organisiere mir meine Aufgaben.	.49	.82	.59	.90
Met4	Ich suche und benutze geeignete Anleitungen, wenn ich eine mir unbekannt Aufgabe am Computer bewältigen soll.	.65	.81	.73	.90
Perf1	Ich setze mir bestimmte Ziele beim Umgang mit Computerlernprogrammen.	.69	.81	.68	.90
Perf2	Ich überprüfe regelmäßig den Fortschritt meiner gesetzten Ziele.	.47	.82	.67	.90
Perf3	Ich verändere meinen Lösungsansatz, wenn ich merke, dass ich mit meinem ursprünglichen Ansatz nicht weiter komme.	.52	.82	.68	.90
Soz1	Ich kenne Freunde und Klassenkameraden, die ich um Hilfe fragen kann, wenn ich mir unsicher bei dem bin, was ich mache.	.42	.83	.48	.91
Soz2	Ich gestalte mir zum Lernen einen Ort ohne Ablenkungen.	.42	.83	.52	.91
Soz3	Ich finde Freunde oder Klassenkameraden, die mir kritische Rückmeldungen geben zu früheren Stadien meines Lösungsansatzes.	.41	.83	.46	.91
Soz4	Ich schaffe es, mir meine Zeit gut einzuteilen, wenn ich meine Arbeit zu einem bestimmten Zeitpunkt abgeben muss.	.45	.82	.61	.90
Cronbachs- $\alpha$		.83		.91	

## Kognitive Belastung

Tabelle 7.16: Deskriptive Statistiken für die Skala „kognitive Belastung“ des ersten Nachtests mit 8 Items und  $N = 122$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .86$  und des zweiten Nachtests mit 8 Items und  $N = 125$  Teilnehmern, Cronbachs- $\alpha = .86$ . Abkürzungen:  $r$  = Trennschärfe;  $a$  = Cronbachs- $\alpha$  für den Faktor, wenn das Item entfernt wird. Abkürzungen: Kplx: Komplexität des Lernprogramms, Anstr: Anstrengung, Ausl: Geistige Belastung, Verst: Inhaltliches Verständnis.

Item		Intervention		Intervention	
		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>2</u>
Kog1 (Kplx)	War das Programm "SimBioSee" für Dich eher zu leicht oder eher zu schwer?	.65	.84	.60	.85
Kog2 (Anstr)	Wie stark musstest Du Dich beim Lernen mit "SimBioSee" geistig anstrengen?	.56	.85	.58	.85
Kog3 (Anstr)	Wie sehr musstest Du Dich bemühen, um die Inhalte des Programms "SimBioSee" zu verstehen?	.66	.84	.69	.83
Kog4 (Kplx)	Waren die Inhalte des Programms "SimBioSee" Dir eher zu einfach oder eher zu schwer?	.60	.85	.64	.84
Kog5 (Ausl)	Fühltest Du Dich durch die Informationsfülle des Programms "SimBioSee" geistig überlastet?	.68	.84	.65	.84
Kog6 (Ausl)	Fühltest Du Dich durch die Komplexität (Auswahlmöglichkeiten, komplizierte Inhalte) des Lernprogramms geistig überlastet?	.71	.83	.64	.84
Kog7 (Verst)	Wie häufig hattest Du den Eindruck, dass das Programm "SimBioSee" Dir zu viele Informationen anbot?	.44	.87	.48	.86
Kog8 (Verst)	Wie häufig blieben die Informationen des Lernprogramms für Dich unverständlich?	.63	.84	.60	.84
Cronbachs- $\alpha$		.86		.86	

## 7.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Schema zu Energieflüssen und Stoffkreisläufen in Ökosystemen .....	6
Abbildung 2.2:	Zwei-Partner-System .....	7
Abbildung 2.3:	Das Räuber-Beute-Modell nach Lotka-Volterra .....	8
Abbildung 2.4:	Darstellung einer Zonierung eines mitteleuropäischen Sees .....	11
Abbildung 2.5:	Bildschirmansicht der Computersimulation .....	16
Abbildung 2.6:	Schema des <i>Inquiry Cycle</i> .....	25
Abbildung 2.7:	Liniendiagramm zur Populationsentwicklung (Rotfedern und Hechte)....	32
Abbildung 3.1:	3x2-faktorielles Forschungsdesign der Studie .....	48
Abbildung 3.2:	Erhebung des intuitiven Wissens .....	50
Abbildung 3.3:	Standbild der Startseite der Lernumgebung .....	53
Abbildung 3.4:	Menüleiste des Computerprogramms .....	53
Abbildung 3.5:	Bildschirmansicht der Softwareeinleitung .....	54
Abbildung 3.6:	Bildschirmansicht der Bedienungsanleitung der Computersimulation. ....	55
Abbildung 3.7:	Einführung in den gewässerökologischen Teil der Lernumgebung .....	55
Abbildung 3.8:	Darstellung der Nahrungsbeziehungen in einem See .....	56
Abbildung 3.9:	Bildschirmansicht des Unterkapitels „Tiere des Sees“ .....	57
Abbildung 3.10:	Handhabung der Simulation .....	58
Abbildung 3.11:	Bildschirmansicht der Computersimulation .....	61
Abbildung 3.12:	Veränderbare Parameter in der Computersimulation .....	61
Abbildung 3.13:	Beispiel einer Glossarseite .....	62
Abbildung 3.14:	Beispiel eines Arbeitsauftrags .....	64
Abbildung 3.15:	Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation .....	65
Abbildung 3.16:	Instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation .....	65
Abbildung 3.17:	Bildschirmansicht der vorgegebenen Beschreibung und biologischen Interpretation eines Simulationsergebnisses .....	66
Abbildung 3.18:	Ausbleibende instruktionale Maßnahme zur Dateninterpretation .....	66
Abbildung 3.19:	Anweisung zum Erreichen der Reflexionshilfe .....	67
Abbildung 3.20:	Bildschirmansicht der separaten Seite der Reflexionshilfe .....	68
Abbildung 3.21:	Beispielitem aus dem Papier-und-Bleistift-Wissenstest .....	69
Abbildung 3.22:	Bildschirmansicht des „Schnelltests“ nach Programmstart .....	71
Abbildung 3.23:	Menüleiste des "Schnelltests" .....	71
Abbildung 3.24:	Aufforderung zum manuellen "Schnelltest"-Start .....	72
Abbildung 3.25:	Bildschirmansicht eines Beispielitems des "Schnelltests" .....	74
Abbildung 3.26:	PopUp-Fenster .....	74
Abbildung 3.27:	Darstellung des 3x2-faktoriellen Forschungsdesigns .....	83
Abbildung 3.28:	Box-Whisker-Plot (Boxplot) mit Quartilen und Median .....	85
Abbildung 4.1:	Boxplots der drei Skalen „Nutzerfreundlichkeit“, Informationsqualität“ und „Schnittstellenqualität“ .....	101
Abbildung 4.2:	Boxplots der vier Skalen zur Motivation „Interesse/Vergnügen“, „wahrgenommene Kompetenz“, „wahrgenommene Wahlfreiheit“ und „empfundener Druck/Anspannung“ .....	103

---

Abbildung 4.3:	Verteilungen der Häufigkeiten zu den verschiedenen Messzeitpunkten.	105
Abbildung 4.4:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen Wissens.....	106
Abbildung 4.5:	Verteilungen der Häufigkeiten zu den verschiedenen Messzeitpunkten.	108
Abbildung 4.6:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen Faktenwissens....	110
Abbildung 4.7:	Verteilungen der Häufigkeiten zu den verschiedenen Messzeitpunkten.	111
Abbildung 4.8:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen konzept. Wissens	113
Abbildung 4.9:	Verteilungen der Häufigkeiten zu den verschiedenen Messzeitpunkten.	114
Abbildung 4.10:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen prozed. Wissens.	116
Abbildung 4.11:	Verteilungen der Häufigkeiten zu den verschiedenen Messzeitpunkten.	118
Abbildung 4.12:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des erhobenen intuit. Wissens ...	120
Abbildung 4.13:	Grafische Darstellung der erhobenen Latenzzeiten.....	122
Abbildung 4.14:	Boxplot der wahrgenommenen kognitiven Belastung.....	123
Abbildung 4.15:	Profildiagramm der Mittelwerte der kognitiven Belastung nach der ersten Intervention.....	125
Abbildung 4.16:	Profildiagramm der Mittelwerte der kognitiven Belastung nach der zweiten Intervention.....	125
Abbildung 4.17:	Darstellung der Mittelwerte der kognitiven Belastung nach der ersten Intervention.....	126
Abbildung 4.18:	Darstellung der Mittelwerte der kognitiven Belastung nach der zweiten Intervention.....	127
Abbildung 4.19:	Boxplot der zwei Subskalen „Nützlichkeit“ und „Spaß/Interesse“ zur Motivation im Umgang mit dem Computer. ....	129
Abbildung 4.20:	Boxplot der Fähigkeit zur Selbstregulation nach beiden Interventionen.	130
Abbildung 4.21:	Grafische Darstellung der Mittelwerte in den erhobenen Wissensarten des Papier-und-Bleistift-Vor- und Nachtests der Untersuchungsbed. (7) .....	136
Abbildung 4.22:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des Faktenwissens im ersten Nachtest in den sieben Untersuchungsbedingungen .....	138
Abbildung 4.23:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des konzeptuellen Wissens im ersten Nachtest in den sieben Untersuchungsbedingungen.....	139
Abbildung 4.24:	Grafische Darstellung der Mittelwerte des prozeduralen Wissens im ersten Nachtest in den sieben Untersuchungsbedingungen .....	140
Abbildung 4.25:	Dauer der Besuchszeiten auf der Computersimulationsseite .....	142
Abbildung 4.26:	Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „Wissen“.....	144
Abbildung 4.27:	Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „Wissen“.....	146
Abbildung 4.28:	Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „Wissen“ .....	148
Abbildung 4.29:	Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „Faktenwissen“.....	149
Abbildung 4.30:	Profildiagramm zu den im Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „Faktenwissen“.....	151
Abbildung 4.31:	Profildiagramm zu den im Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „Faktenwissen“.....	153

Abbildung 4.32:	Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „konzeptuelles Wissen“ .....	155
Abbildung 4.33:	Profildiagramm zu den im Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „konzeptuelles Wissen“ .....	157
Abbildung 4.34:	Profildiagramm zu den im Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „konzeptuelles Wissen“ .....	159
Abbildung 4.35:	Profildiagramm zu den über die drei Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „prozedurales Wissen“ .....	160
Abbildung 4.36:	Profildiagramm zu den im Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „prozedurales Wissen“ .....	162
Abbildung 4.37:	Profildiagramm zu den im Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „prozedurales Wissen“ .....	164
Abbildung 4.38:	Profildiagramm zu den über die vier Messzeitpunkte gemittelten Summenscores „intuitives Wissen“ .....	166
Abbildung 4.39:	Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und erstem Nachtest gemittelten Summenscores „intuitives Wissen“ .....	167
Abbildung 4.40:	Profildiagramm zu den zwischen erstem Vortest und zweitem Nachtest gemittelten Summenscores „intuitives Wissen“ .....	170
Abbildung 4.41:	Profildiagramm zu den über die vier Messzeitpunkte gemittelten Summenscores der erhobenen Latenzzeiten.....	171
Abbildung 4.42:	Profildiagramm zu den mittleren Latenzzeiten im ersten Nachtest.....	172
Abbildung 4.43:	Profildiagramm zu den mittleren Latenzzeiten im zweiten Nachtest.....	174
Abbildung 4.44:	Wissenszuwächse bei einmaligem Einsatz der instrukt. Maßnahmen ....	176
Abbildung 4.45:	Wissenszuwächse bei mehrmaligem Einsatz der instrukt. Maßnahmen .	177
Abbildung 4.46:	Profildiagramm zum konzeptuellen Wissenszuwachs .....	180
Abbildung 4.47:	Profildiagramm zum Interaktionseffekt (prozed. Wissenszuwachs).....	182
Abbildung 4.48:	Wissenszuwächse im ersten Nachtest.....	183
Abbildung 4.49:	Wissenszuwächse im zweiten Nachtest.....	184
Abbildung 4.50:	Erreichte Summenscores in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests von Teilnehmern mit geringer Computerkompetenz.....	185
Abbildung 4.51:	Wissenszuwachs bei den Teilnehmern in den verschiedenen Untersuchungsbed. (Lernermerkmal Computerkompetenz) .....	186
Abbildung 4.52:	Wissenszuwachs bei den Teilnehmern in den verschiedenen Untersuchungsbed. (Lernermerkmal Fähigkeit zur Selbstregulation).....	187
Abbildung 7.1:	Bildschirmansicht der Startseite der Lernumgebung „ <i>SimBioSee</i> “ .....	222
Abbildung 7.2:	Bildschirmansicht der Einführungsseite der Lernumgebung .....	223
Abbildung 7.3:	Bildschirmansicht zur Programmbenutzung .....	223
Abbildung 7.4:	Bildschirmansicht der Bedienungsanleitung der Computersimulation (oberer Teil).....	224
Abbildung 7.5:	Bildschirmansicht der Bedienungsanleitung der Computersimulation (unterer Teil).....	224
Abbildung 7.6:	Bildschirmansicht der Einführungsseite zur Ökologie.....	225
Abbildung 7.7:	Bildschirmansicht der Einführungsseite zum Lebensraum Wasser .....	225
Abbildung 7.8:	Bildschirmansicht zu Nahrungsbeziehungen (oberer Teil) .....	226

---

Abbildung 7.9:	Bildschirmansicht zu Nahrungsbeziehungen (unterer Teil).....	226
Abbildung 7.10:	Bildschirmansicht zu einer exemplarischen Nahrungskette in einem See (oberer Teil).....	227
Abbildung 7.11:	Bildschirmansicht zu einer exemplarischen Nahrungskette in einem See (unterer Teil).....	227
Abbildung 7.12:	Bildschirmansicht zur Einführung in Räuber-Beute-Beziehungen.....	228
Abbildung 7.13:	Bildschirmansicht (Teil 1) „Tiere des Sees“.....	228
Abbildung 7.14:	Bildschirmansicht (Teil 2) „Tiere des Sees“.....	229
Abbildung 7.15:	Bildschirmansicht (Teil 3) „Tiere des Sees“.....	229
Abbildung 7.16:	Bildschirmansicht (Teil 4) „Tiere des Sees“.....	230
Abbildung 7.17:	Bildschirmansicht (Teil 1) „Pflanzen des Sees“.....	230
Abbildung 7.18:	Bildschirmansicht (Teil 2) „Pflanzen des Sees“.....	231
Abbildung 7.19:	Bildschirmansicht zu einer Zonierung eines Sees.....	231
Abbildung 7.20:	Bildschirmansicht der Seite „Lebensraumkapazität“ (oberer Teil).....	232
Abbildung 7.21:	Bildschirmansicht der Seite „Lebensraumkapazität“ (unterer Teil).....	232
Abbildung 7.22:	Bildschirmansicht der Einführungsseite des Lösungsbsp. (oberer Teil).....	233
Abbildung 7.23:	Bildschirmansicht der Einführungsseite des Lösungsbsp. (unterer Teil).....	233
Abbildung 7.24:	Bildschirmansicht zur Handhabung der Simulation (oberer Teil).....	234
Abbildung 7.25:	Bildschirmansicht zur Handhabung der Simulation (unterer Teil).....	234
Abbildung 7.26:	Bildschirmansicht zur Interpretation des Simulationsergebnisses (oberer Teil).....	235
Abbildung 7.27:	Bildschirmansicht zur Interpretation des Simulationsergebnisses (unterer Teil).....	235
Abbildung 7.28:	Bildschirmansicht zur Einführung in den Aufgabenteil.....	236
Abbildung 7.29:	Bildschirmansicht der Aufgabenstellung 1.....	237
Abbildung 7.30:	Bildschirmansicht der Computersimulation zur Aufgabe 1.....	237
Abbildung 7.31:	Bildschirmansicht zur Aufforderung des Ergebnisvergleichs mit der getroffenen Vorhersage.....	238
Abbildung 7.32:	Bildschirmansicht zur Einführung in den Aufgabenteil (für Untersuchungsbedingungen (3) und (4)).....	238
Abbildung 7.33:	Bildschirmansicht der Seite, die einen Hyperlink zur Seite der Beschreibung und biologischen Interpretation des Ergebnisses enthält.....	239
Abbildung 7.34:	Bildschirmansicht der Seite zur Einführung in den Aufgabenteil (Untersuchungsbedingungen (5) und (6)).....	239
Abbildung 7.35:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 1.....	240
Abbildung 7.36:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 2.....	241
Abbildung 7.37:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 3.....	241
Abbildung 7.38:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 4.....	242
Abbildung 7.39:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 5.....	242

Abbildung 7.40	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 6.....	243
Abbildung 7.41:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 7.....	243
Abbildung 7.42:	Korrekte Beschreibung und biologische Interpretation des Simulationsergebnisses der Aufgabe 8.....	244
Abbildung 7.43:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „A“ .....	245
Abbildung 7.44:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „B“ .....	246
Abbildung 7.45:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „C“ .....	246
Abbildung 7.46:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „D“ .....	247
Abbildung 7.47:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „E“ .....	247
Abbildung 7.48:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „F“ .....	248
Abbildung 7.49:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „H“ .....	248
Abbildung 7.50:	Bildschirmansicht der Lexikonseite „Hecht“ .....	249
Abbildung 7.51:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „K“ .....	249
Abbildung 7.52:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „L“ .....	250
Abbildung 7.53:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „M“ .....	250
Abbildung 7.54:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „N“ .....	251
Abbildung 7.55:	Bildschirmansicht der Lexikonseite „Nahrungskette“ .....	251
Abbildung 7.56:	Bildschirmansicht der Lexikonseite „Nahrungskreislauf“ .....	252
Abbildung 7.57:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „O“ .....	252
Abbildung 7.58:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „P“ .....	253
Abbildung 7.59:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „R“ .....	253
Abbildung 7.60:	Bildschirmansicht der Lexikonseite „Rotfeder“ .....	254
Abbildung 7.61:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „S“ .....	254
Abbildung 7.62:	Bildschirmansicht der Lexikonseite „Sterblichkeit“ .....	255
Abbildung 7.63:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „T“ .....	255
Abbildung 7.64:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „W“ .....	256
Abbildung 7.65:	Bildschirmansicht zum Buchstaben „Z“ .....	256
Abbildung 7.66:	Bildschirmansicht der Lexikonseite „Zuwachs“ .....	257
Abbildung 7.67:	Bildschirmansicht der Seite zu externen Verlinkungen im Internet.....	257
Abbildung 7.68:	Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 1, Deckblatt.....	258
Abbildung 7.69:	Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 2 .....	259
Abbildung 7.70:	Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 3 .....	260
Abbildung 7.71:	Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 4 .....	261
Abbildung 7.72:	Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 5 .....	262
Abbildung 7.73:	Papier-und-Bleistift-Wissenstest, Seite 6 .....	263
Abbildung 7.74:	Bildschirmansicht (Teil 1) der Startseite des „Schnelltests“ .....	264
Abbildung 7.75:	Bildschirmansicht (Teil 2) der Startseite des „Schnelltests“ .....	265
Abbildung 7.76:	Bildschirmansicht (Teil 3) der Startseite des „Schnelltests“ .....	265
Abbildung 7.77:	Bildschirmansicht (Teil 4) der Startseite des „Schnelltests“ .....	266
Abbildung 7.78:	Bildschirmansicht zur Vorbereitung auf den Start des Tests .....	266
Abbildung 7.79:	Bildschirmansicht des ersten Testitems (grafische Darstellung).....	267
Abbildung 7.80:	Bildschirmansicht des zweiten Testitems (textliche Darstellung).....	267

---

Abbildung 7.81:	Bildschirmansicht des Items 1 .....	268
Abbildung 7.82:	Bildschirmansicht des Items 2 .....	268
Abbildung 7.83:	Bildschirmansicht des Items 3 .....	269
Abbildung 7.84:	Bildschirmansicht des Items 4 .....	269
Abbildung 7.85:	Bildschirmansicht des Items 5 .....	270
Abbildung 7.86:	Bildschirmansicht des Items 6 .....	270
Abbildung 7.87:	Bildschirmansicht des Items 7 .....	271
Abbildung 7.88:	Bildschirmansicht des Items 8 .....	271
Abbildung 7.89:	Bildschirmansicht des Items 9 .....	272
Abbildung 7.90:	Bildschirmansicht des Items 10 .....	272
Abbildung 7.91:	Bildschirmansicht des Items 11 .....	273
Abbildung 7.92:	Bildschirmansicht des Items 12 .....	273
Abbildung 7.93:	Bildschirmansicht des Items 13 .....	274
Abbildung 7.94:	Bildschirmansicht, nachdem der „Schnelltest“ durchgeführt wurde .....	274
Abbildung 7.95:	Deckblatt „Computerkompetenz und computerbezogene Motivation“ ..	275
Abbildung 7.96:	Computerkompetenz, Seite 2 .....	276
Abbildung 7.97:	Computerkompetenz, Seite 3 .....	277
Abbildung 7.98:	Computerkompetenz, Seite 4 .....	278
Abbildung 7.99:	Motivation im Umgang mit dem Computer, Seite 5 .....	279
Abbildung 7.100:	Deckblatt „Kognitive Belastung und Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen“ .....	280
Abbildung 7.101:	Kognitive Belastung, Seite 2 .....	281
Abbildung 7.102:	Kognitive Belastung, Seite 3 .....	282
Abbildung 7.103:	Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen, Seite 4 .....	283
Abbildung 7.104:	Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen, Seite 5 .....	284
Abbildung 7.105:	Deckblatt „Arbeitsaufträge“, Seite 1 .....	285
Abbildung 7.106:	Arbeitsauftrag 1. ....	286
Abbildung 7.107:	Arbeitsauftrag 2. ....	286
Abbildung 7.108:	Arbeitsauftrag 3. ....	287
Abbildung 7.109:	Arbeitsauftrag 4. ....	287
Abbildung 7.110:	Arbeitsauftrag 5 .....	288
Abbildung 7.111:	Arbeitsauftrag 6. ....	288
Abbildung 7.112:	Arbeitsauftrag 7 .....	289
Abbildung 7.113:	Arbeitsauftrag 8. ....	289

## 7.6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Bezeichnungen in den Formeln des Räuber-Beute-Modells .....	9
Tabelle 3.1:	Erläuterung der Termini der Definition des intuitiven Wissens.....	70
Tabelle 3.2:	Subskala zur Erfassung von computerbezogenen Fähigkeiten.....	76
Tabelle 3.3:	Subskala zur Erfassung von internetbezogenen Fähigkeiten .....	76
Tabelle 3.4:	Subskala zur Erfassung des Computernutzungsmotivs Spaß/Interesse.....	77
Tabelle 3.5:	Subskala zur Erfassung des Computernutzungsmotivs Nützlichkeit. ....	77
Tabelle 3.6:	Subskala zur Erfassung der Beweggründe (Motive).....	78
Tabelle 3.7:	Subskala zur Erfassung der Methoden .....	78
Tabelle 3.8:	Subskala zur Erfassung der Performanzresultate .....	79
Tabelle 3.9:	Subskala zur Erfassung der sozial- umgebungsbedingten Ressourcen .....	79
Tabelle 3.10:	Skala zur Erfassung der kognitiven Belastung in beiden Interventionen. .	80
Tabelle 3.11:	Die sechs Untersuchungsbed. im Hinblick auf die instrukt. Maßnahmen.	82
Tabelle 3.12:	Irrtumswahrscheinlichkeit .....	86
Tabelle 3.13:	Rotierte Komponentenmatrix zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im ersten Nachtest. ....	89
Tabelle 3.14:	Rotierte Komponentenmatrix (konfirmatorische Faktorenanalyse) zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im ersten Nachtest .....	90
Tabelle 3.15:	Rotierte Komponentenmatrix zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im zweiten Nachtest .....	91
Tabelle 3.16:	Rotierte Komponentenmatrix (konfirmatorische Faktorenanalyse) zur Erfassung der verschiedenen Wissensarten im zweiten Nachtest .....	92
Tabelle 3.17:	Subskala zur Erfassung des Faktenwissens im ersten Nachtest .....	93
Tabelle 3.18:	Subskala zur Erfassung des konzept. Wissens im zweiten Nachtest.....	93
Tabelle 3.19:	Subskala zur Erfassung des prozed. Wissens im zweiten Nachtest .....	94
Tabelle 3.20:	Subskala zur Erfassung des intuit. Wissens im zweiten Nachtest. ....	95
Tabelle 3.21:	Skala zur Erfassung des Wissens im zweiten Nachtest. ....	96
Tabelle 4.1:	Die sechs Untersuchungsbed. im Hinblick auf die instrukt. Maßn. ....	97
Tabelle 4.2:	Erreichte Mittelwerte in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests zu den drei Messzeitpunkten in den verschiedenen Untersuchungsbed. (18 Items)....	98
Tabelle 4.3:	T-Werte und Signifikanzen zu den Mittelwerten zwischen dem Vortest und den Nachtests in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen .....	98
Tabelle 4.4:	Erreichte Summenscores im Vortest zur Erhebung der verschiedenen Wissensarten in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen .....	99
Tabelle 4.5:	Skala "Nutzerfreundlichkeit des Computerprogramms" .....	100
Tabelle 4.6:	Skala "Informationsqualität des Computerprogramms" .....	100
Tabelle 4.7:	Skala "Schnittstellenqualität des Computerprogramms".....	101
Tabelle 4.8:	Skala "Interesses/Vergnügen" im Umgang mit dem Programm .....	102
Tabelle 4.9:	Skala "wahrgenommene Kompetenz" im Umg. mit dem Programm.....	102
Tabelle 4.10:	Skala "wahrgenommene Wahlfreiheit" im Umg. mit dem Programm ....	102
Tabelle 4.11:	Skala "wahrgenommener Druck/Ansp." im Umg. mit dem Programm ..	102
Tabelle 4.12:	Deskriptive Stat. für die Skala „Wissen“ der Vor- und Nachtests .....	105

---

Tabelle 4.13:	Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des Wissenszuwachses.....	106
Tabelle 4.14:	Erreichte Mittelwerte in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests zu den drei Messzeitpunkten in den verschiedenen Untersuchungsbed. (16 Items)..	106
Tabelle 4.15:	T-Werte und Signifikanzen zu den Mittelwerten zwischen Vortest und Nachtests in den verschiedenen Untersuchungsbedingungen .....	107
Tabelle 4.16:	Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbed. ....	107
Tabelle 4.17:	Deskriptive Statistiken für die Skala „Faktenwissen“ der Vor- und Nachtests.....	109
Tabelle 4.18:	Deskriptive Stat. für die Ergebnisse des Faktenwissenszuwachses .....	109
Tabelle 4.19:	Summenscores des Faktenwissens des Vor- und der Nachtests.....	109
Tabelle 4.20:	Faktenwissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbed. ..	110
Tabelle 4.21:	Deskriptive Statistiken. für die Skala „konzeptuelles Wissen“ der Vor- und Nachtests.....	112
Tabelle 4.22:	Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des konzeptuellen Wissenszuwachses.....	112
Tabelle 4.23:	Summenscores des konzept. Wissens des Vor- und der Nachtests .....	112
Tabelle 4.24:	Konzeptuelle Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen .....	113
Tabelle 4.25:	Deskriptive Statistiken. für die Skala „prozedurales Wissen“ der Vor- und Nachtests.....	115
Tabelle 4.26:	Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des prozeduralen Wissenszuwachses.....	115
Tabelle 4.27:	Summenscores des erhobenen prozeduralen Wissens des Vor- und der Nachtests.....	115
Tabelle 4.28:	Prozedurale Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen .....	116
Tabelle 4.29:	Deskriptive Statistiken für die Summenscores für die Skala „intuitives Wissen“ der Vor- und Nachtests .....	117
Tabelle 4.30:	Deskriptive Statistiken für die Ergebnisse des intuitiven Wissenszuwachses.....	119
Tabelle 4.31:	Summenscores des erhobenen intuitiven Wissens der Vor- und der Nachtests.....	119
Tabelle 4.32:	T-Werte und Signifikanzen zwischen den verschiedenen Tests in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen .....	120
Tabelle 4.33:	Intuitive Wissenszuwächse in den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen .....	120
Tabelle 4.34:	Durchschnittlich gemessene Latenzzeiten in den verschiedenen Tests...	121
Tabelle 4.35:	Summenscores der erhobenen Latenzzt. der Vor- und der Nachtests .....	121
Tabelle 4.36:	T-Werte und Signifikanzen zu den Latenzzeiten zwischen den verschiedenen Tests in den unterschiedlichen Untersuchungsbed.....	122
Tabelle 4.37:	Deskriptive Statistiken für die wahrgenommene kognitive Belastung nach beiden Interventionen .....	123
Tabelle 4.38:	Deskriptive Statistiken für die kognitive Belastung nach beiden Interventionen.....	124

Tabelle 4.39:	Deskriptive Statistiken für die eingeschätzte Computerkompetenz.....	129
Tabelle 4.40:	Deskriptive Statistiken für die mittlere eingeschätzte Computerkompetenz in den sechs Untersuchungsbedingungen.....	129
Tabelle 4.41:	Deskriptive Statistiken für die mittlere eingeschätzte computerbezogene Motivation (Gesamtskala) in den sechs Untersuchungsbedingungen.....	130
Tabelle 4.42:	Deskriptive Statistiken für die durchschnittlich wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstreg. aller Versuchsteilnehmer nach beiden Interventionen.....	130
Tabelle 4.43:	Deskriptive Statistiken für die wahrgenommene Fähigkeit zur Selbstregulation der Versuchsteilnehmer nach beiden Interventionen....	131
Tabelle 4.44:	Deskriptive Statistiken für die vier verschiedenen, theoriegeleiteten Skalen zur Einschätzung der Fähigkeit zur Selbstregulation.....	131
Tabelle 4.45:	Korrelationen nach Pearson zwischen den Summenscores im Vortest und den beiden Nachtests in den verschiedenen Wissenskategorien.....	132
Tabelle 4.46:	Korrelationen nach Pearson zwischen der Anzahl korrekt beantworteter Items und der Latenzzeit des entsprechenden Tests.....	133
Tabelle 4.47:	Korrelationen zwischen den Skalen der Wissensarten und der kognitiven Belastung während der zwei Interventionen.....	134
Tabelle 4.48:	Erreichte Mittelwerte in den Papier-und-Bleistift-Wissenstests zu den zwei Messzeitpunkten ohne dazwischenliegende Intervention.....	135
Tabelle 4.49:	Mittelwertdifferenzenvergleich der Wissenszuwächse in den versch. Wissensarten zwischen der Bedingung (7) und den Bed. (1)-(6).....	136
Tabelle 4.50:	Mittelwerte und Standardabweichungen des Zuwachses an Faktenwissen im ersten Nachtest.....	138
Tabelle 4.51:	Mittelwerte und Standardabweichungen des Zuwachses an konzeptuellem Wissen im ersten Nachtest.....	139
Tabelle 4.52:	Mittelwerte und Standardabweichungen des Zuwachses an prozeduralem Wissen im ersten Nachtest.....	140
Tabelle 4.53:	Korrelationen nach Pearson zwischen den Mittelwerten im Vortest und im Nachtest in den verschiedenen Wissenskategorien.....	141
Tabelle 4.54:	Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in der Computersimulation zu jeder der Aufgabe während jeder der zwei Interventionen.....	142
Tabelle 4.55:	Wissenszuwachs nach einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen in den unterschiedlichen Wissensarten.....	175
Tabelle 4.56:	Wissenszuwachs nach mehrmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen in den unterschiedlichen Wissensarten.....	177
Tabelle 4.57:	Konzeptueller Wissenszuwachs nach einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zur Dateninterpretation.....	179
Tabelle 4.58:	Prozeduraler Wissenszuwachs nach einmaligem Einsatz der instruktionalen Maßnahmen zur Selbstregulation.....	181
Tabelle 4.59:	Wissenszuwachs in den durch Mediansplit geteilten Gruppen nach Einsatz der instruktionalen Maßnahmen.....	183
Tabelle 4.60:	Wissenszuwachs zwischen Vortest und zweitem Nachtest in den durch Mediansplit geteilten Gruppen nach Einsatz der instrukt. Maßnahmen..	183
Tabelle 7.1:	Skalendokumentation zur Erhebung der Benutzerfreundlichkeit.....	290

---

Tabelle 7.2:	Skalendokumentation zur Erhebung der Informationsqualität.....	290
Tabelle 7.3:	Skalendokumentation zur Erhebung der Schnittstellenqualität.....	291
Tabelle 7.4:	Skalendokumentation zur Erhebung des Interesses/Vergnügens.....	291
Tabelle 7.5:	Skalendokumentation zur Erhebung der wahrgen. Kompetenz.....	291
Tabelle 7.6:	Skalendokumentation zur Erhebung der wahrgen. Wahlfreiheit.....	292
Tabelle 7.7:	Skalendoku. zur Erhebung des empfundenen Drucks/Anspannung.....	292
Tabelle 7.8:	Itemanalyse für die Skala „Faktenwissen“ des ersten Nachttests.....	293
Tabelle 7.9:	Itemanalyse für die Skala „konzept. Wissen“ des ersten Nachttests.....	294
Tabelle 7.10:	Itemanalyse für die Skala „prozed. Wissen“ des ersten Nachttests.....	295
Tabelle 7.11:	Itemanalyse für die Skala „intuitives Wissen“ des ersten Nachttests.....	296
Tabelle 7.12:	Itemanalyse für die Gesamtskala „Wissen“ des ersten Nachttests.....	298
Tabelle 7.13:	Itemanalyse für die Gesamtskala „Wissen“ des ersten Nachttests.....	300
Tabelle 7.14:	Formulierungen der verschiedenen Items in den vier unterschiedlichen Skalen.....	301
Tabelle 7.15:	Deskriptive Statistiken für das gesamte Testinstrument zur Erhebung der Fähigkeit zum selbstregulierten Lernen.....	302
Tabelle 7.16:	Deskriptive Statistiken für die Skala „kognitive Belastung“ des ersten Nachttests.....	303

---

## Teile dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht unter:

- Eckhardt, M. & Harms, U. (2010). Entdeckendes Lernen mit Computersimulationen. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik - Handbuch für die Sek I und II* (S. 58-62). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Eckhardt, M. & Harms, U. (2010). Computersimulationen als Modelle. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik - Handbuch für die Sek I und II* (S. 106-110). Berlin: Cornelsen-Scriptor.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2009). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie. In U. Harms, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengießer, D. Krüger, J. Mayer, B. Neuhaus, H. Prechtel, A. Sandmann & A. Upmeier zu Belzen (Hrsg.), *Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO (FDdB) (S. 230-232). Kiel: IPN.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2009). Is instructional support for learning with computer simulations always helpful? In European Association for Research on Learning Instruction (Hrsg.), *Fostering Communities of Learners. Book of Abstracts – EARLI 2009*. Amsterdam: EARLI.  
Verfügbar unter: [http://www.earli2009.org/nqcontent.cfm?a\\_id=487](http://www.earli2009.org/nqcontent.cfm?a_id=487) [22.03.2010].
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2008). Instructional support for learning with computer simulations about the “ecosystem water“. In M. Hammann, G. Carvalho, M. Hagman, M. Reiss, P. Schneeberger, A. Yarden & V. Zogza (Hrsg.), *ERIDOB Conference 2008. Conference Programme*. Utrecht: ERIDOB, Universität Utrecht.  
Verfügbar unter: <http://www.science.uu.nl/eridob/acceptedproposals/areasynopsis.aspx?g=1863022c-f726-4463-93ea-1b72d7530057> [22.03.2010].
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2008). Förderung von Kompetenzen beim Experimentieren durch instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. In M. Prenzel, B. Drechsel, B. Brouër, T. Ehmke, J. Möller & M. Senkbeil (Hrsg.), *Kompetenz: Modellierung, Diagnostik, Entwicklung, Förderung. 71. Tagung der AEPF in Kiel* (S. 121). Kiel: IPN.
- Eckhardt, M. & Harms, U. (2008). Lernen mit Computersimulationen. *IPN Blätter*, 25(1), 4.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Ostersehl, D., Ahlers, M., Conrad, O. & Harms, U. (2007). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen zum Thema "Lebensraum Wasser". In H. Bayrhuber, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengießer, M. Hammann, U. Harms, C. Hörsch, C. Hößle, D. Krüger, A. Lude, B. Neuhaus, S. Mogge, H. Prechtel, A. Sandmann, K. Schlüter, C. Sommer, U. Unterbruner, A. Upmeier zu Belzen, H. Vogt, J. Wadouh & H.-P. Ziemek (Hrsg.), *Ausbildung und Professionalisierung von Lehrkräften* (S. 264). Kassel: Universität Kassel.

---

## Vorträge und Posterbeiträge

- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2009). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie. Vortrag auf der Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBiO, Kiel.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2009). Is instructional support for learning with computer simulations always helpful? Vortrag auf der 13th Biennial Conference of European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), Amsterdam, Niederlande.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2009). Instructional support for learning with computer simulations about the ecosystem water. Vortrag auf der 82nd Annual International Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Garden Grove, USA.
- Eckhardt, M. (2009). Computergestützte Lernumgebungen und instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie. Eingeladener Fachvortrag in der Abteilung Biologiedidaktik der Universität Bremen, Bremen, 09.06.2009.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2008). Instructional support for learning with computersimulations about the ecosystem water. Posterbeitrag auf der 7th Conference of European Researchers in Didactics of Biologie (ERIDOB), Utrecht, Niederlande.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2008). Förderung von Kompetenzen beim Experimentieren durch instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen. Vortrag auf der 71. Tagung der Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung (AEPF), Kiel.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Conrad, O. & Harms, U. (2008). Instructional support for learning with computersimulations about the ecosystem water. Posterbeitrag auf der 11th conference of junior researchers of EARLI, Leuven, Belgien.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Ostersehl, D., Ahlers, M. & Harms, U. (2007). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen zum Thema "Lebensraum Wasser". Posterbeitrag auf der Neunten Frühjahrsschule der Sektion Biologiedidaktik im VDBiol, Universität Bielefeld.
- Eckhardt, M., Urhahne, D., Ostersehl, D., Ahlers, M., Conrad, O. & Harms, U. (2007). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen zum Thema "Lebensraum Wasser". Posterbeitrag auf der Internationalen Tagung der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO, Universität Duisburg-Essen.



---

Die beigefügte CD enthält folgende Computerprogramme:

- „*SimBioSee*“
- „*Schnelltest*“



---

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Laufe meiner Promotion in vielfältiger Weise unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Ute Harms für die gute Betreuung dieser Arbeit, die freundliche Unterstützung und vertrauensvolle Zusammenarbeit. Sie ermöglichte es mir, unter optimalen Arbeitsbedingungen meine Promotion abzuschließen.

Herrn Prof. Dr. Detlef Urhahne danke ich ebenfalls für die gute und vertrauensvolle Unterstützung, die ständige Hilfsbereitschaft, die wertvollen und kritischen Anmerkungen. Die zahlreichen interessanten Diskussionen waren für die vorliegende Arbeit von großem Wert.

Herrn Dr. Olaf Conrad danke ich für die Programmierarbeiten an dem Computerprogramm und die stets verlässliche und rasche Umsetzung der Ideen.

Herrn Prof. Dr. Helmut Pechtl danke ich für die Übernahme des Korreferats, die hilfreichen Hinweise und kritischen Anmerkungen.

Herrn Dr. Markus Lücken und Frau Dr. Ingrid Glowinski gebührt mein herzlicher Dank für die selbstlose Unterstützung, die zahlreichen und wertvollen Ratschläge zur statistischen Auswertung und Methodik sowie die konstruktive Kritik, Hilfen und Anmerkungen, die mir sehr weitergeholfen haben.

Frau Carolin Enzingmüller, Frau Dr. Ingrid Glowinski, Frau Daniela Hinrichsen, Frau Elke Kauten, Herr Dr. Markus Lücken, Frau Kerstin Münchhoff und Frau Sandra Nitz haben diese Arbeit Korrektur gelesen. Dafür möchte ich mich ganz herzlich bedanken.

Ich bedanke mich bei allen Kolleginnen und Kollegen der Abteilung der Didaktik der Biologie am IPN für das herzliche Miteinander, die freundliche Arbeitsatmosphäre, die gute Zusammenarbeit und die vielfältige Unterstützung.

Bedanken möchte ich mich bei Frau Jana Thomas für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Studien und für die Eingabe der Daten.

Danken möchte ich auch allen Lehrkräften sowie Schülerinnen und Schülern, die sich freiwillig dazu bereit erklärt haben, an dieser Studie mitzuwirken.

Dem Institut für Fischerei in Starnberg danke ich für die Bereitstellung zahlreicher Fotos für das Computerprogramm.

Von ganzem Herzen möchte ich meinen Eltern und meinem Bruder für ihre Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Geduld bedanken. Sie motivierten und förderten mich und waren immer für mich da, trotz der räumlichen Distanz.



### **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Dissertation, abgesehen von der Beratung durch meine Betreuerin, Frau Prof. Dr. Ute Harms, nach Inhalt und Form mein eigenes Werk ist. Bei ihrer Anfertigung habe ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet. Des Weiteren erkläre ich, dass die vorliegende Dissertation unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden ist.

Ferner erkläre ich, dass ich zuvor noch keinen Promotionsversuch unternommen habe und dass insbesondere diese Arbeit weder vollständig noch in Teilen an anderer Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht worden ist.

Kiel, 23.04.2010

Marc Eckhardt



---

# Marc Eckhardt

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Geburtsdatum: 29.05.1975  
Geburtsort: Kassel  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

### Derzeitige Tätigkeit

seit 05.2007      Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Didaktik der Biologie  
am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und  
Mathematik (IPN) an der Christian-Albrechts-Universität Kiel  
12.2006-04.2007      Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Biologiedidaktik an der  
Universität Bremen

### Tätigkeiten

2003-2005      Wissenschaftliche Hilfskraft am Albrecht-von-Haller-Institut für  
Pflanzenwissenschaften an der Universität Göttingen

### Hochschulausbildung

02.2003      Diplom in Biologie  
04.1999-09.2003      Studium der Biologie an der Universität Göttingen (Botanik,  
Mikrobiologie)  
10.1996-03.1999      Grundstudium der Biologie an der Universität Kassel

### Schulbildung

1994      Abitur  
1985-1994      Wilhelmsgymnasium Kassel  
1981-1985      Grundschule Baunatal/Rengershausen

Kiel, 23. April 2010

Marc Eckhardt