



# **Wirkungsanalyse eines kognitiven Lernwerkzeuges**

Forschungsarbeit zur Erlangung des  
akademischen Grades eines Diplom-Psychologen

Institut für Psychologie, Humboldt-Universität zu Berlin  
Lehrstuhl für Arbeitspsychologie  
Prof. Dr. R. Schindler

Sebastian Kunert

Berlin, den 21.12.2006



# Inhalt

<b>INHALT</b> .....	<b>III</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2. THEORIE</b> .....	<b>4</b>
2.1. Lernen aus Texten.....	4
2.2. Mentale Modelle technischer Systeme.....	6
2.3. Determinanten verstehenden Lernens aus Texten .....	8
2.4. Lernen mit Multimedia.....	9
2.5. Computergestützte kognitive Lernwerkzeuge .....	11
2.6. Förderung verstehenden Lernens durch computergestützte kognitive Lernwerkzeuge.....	13
<b>3. FRAGESTELLUNGEN UND FORSCHUNGSHYPOTHESEN</b> .....	<b>16</b>
<b>4. METHODIK</b> .....	<b>18</b>
4.1. Experimentelle Variation .....	18
4.2. Versuchsmaterialien & Versuchsablauf.....	18
4.3. Stichprobe & Versuchsplan.....	22
4.4. Operationale Hypothesen .....	22
4.5. Statistische Verfahren und Kennwerte.....	25
4.6. Verwendung gerichteter Hypothesen .....	28
4.7. Die Vergleichs-Forschungsreihe .....	28
<b>5. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE</b> .....	<b>30</b>
5.1. Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen .....	30
5.2. Werkzeugnutzung .....	31
5.3. Analyse der Hypothesen.....	32
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG &amp; INTERPRETATION DER ERGEBNISSE</b> .....	<b>37</b>

6.1. Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen	37
6.2. Beantwortung der Forschungsfragen	37
6.3. Generalisierbarkeit der Ergebnisse	39
<b>7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE</b>	<b>40</b>
7.1. Bedeutung der Ergebnisse	40
7.2. Diskussion der Methoden	40
7.3. Ausblick	44
7.4. Fazit	45
<b>8. LITERATUR</b>	<b>47</b>
<b>9. ANHANG - VERSUCHSMATERIALIEN</b>	<b>56</b>
9.1. Anhang A1: Screen-Shots	57
9.2. Anhang A2: Items des Motivationsfragebogens FAM	66
9.3. Anhang A3: Textseiten der Informationsbasis	67
9.4. Anhang A4: Fragen des Multiple-Choice- Tests	71
9.5. Anhang A5: Aufgabenstellungen der Produktionsaufgaben	79
9.6. Anhang A6: Operatoren der Produktionsaufgabe	80

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Wirkweise computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge. Bedingt durch die steigende Bedeutung des Faktors Wissen in der heutigen Arbeitswelt, hat das individuelle, kontinuierliche Lernen eine sehr große Bedeutung erfahren (KEG, 2001). Kognitive Lernwerkzeuge am Computer können hier einen wichtigen Beitrag leisten (Mayer, 2005).

Sie sind definiert als *instruments that support or perform cognitive processes for learners in order to support learning* (Joolingen, 1999) und sind weitestgehend inhaltsleer sowie frei von Instruktionen. Als Tutor eingesetzt haben computergestützte kognitive Lernwerkzeuge laut Jonassen (1992) ein vielfältiges Potential, verstehendes Lernen zu unterstützen. Bislang ist jedoch die psychologische Wirkweise nur für analoge Techniken ausreichend belegt. Im Bereich des multimedialen Lernens ergeben sich große Schwierigkeiten, diese Erkenntnisse zu übertragen (Mayer, 2005). Dies gilt auch für die Einordnung des Gebrauchs eines computergestützten Lernwerkzeuges in die generativen Aktivitäten nach Wittrock (1990).

In dieser experimentellen Studie wird geprüft, ob (1) die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeuges Lernende in zusätzliche bedeutungsgenerierende Aktivitäten verwickelt und (2) ob dies einen Einfluss auf die Bildung eines mentalen Modells hat. Zusätzlich soll durch einen Vergleich mit einer parallelen Forschungsreihe (3) die Inhaltsunabhängigkeit der Befunde belegt werden. In einem experimentellen Testdesign wurde als Variation der Lernbedingung die Simulation einer komplexen technischen Anlage verwendet. An der Untersuchung nahmen 53 Probanden teil. Als Informationsquelle diente ein zehneitiger Text.

Im Ergebnis konnten alle genannten Ziele nachgewiesen werden und sind eindeutig auf den Toolgebrauch attribuierbar. Als bemerkenswert stellte sich heraus, dass die Testpersonen Aktionen am Tool forschungsreihenübergreifend nicht auf Kosten anderer Aktivitäten im Lernprozess durchführten. Kritisch muss die Konfundierung der Ergebnisse mit weiteren Wirkfaktoren sowie die Messung des Handlungswissens betrachtet werden. Als Hinweis für die weitere Forschung wird der Fokus auf den Nachweis des psychologischen Wirkgefüges solcher Lernwerkzeuge empfohlen.

## **Abstract**

The presented paper investigates the psychological effect of multimedia-based cognitive tools. Used as a tutorial system (Jonassen, 1992) they have a high potential to facilitate meaningful learning (Mayer, 2005). However, the underlying psychological effects are insufficiently proofed, specifically, whether actions on a tool can be classified as generative activity (Wittrock, 1990). That's why (1) the generative operations initiated by the tool and (2) the resulting mental models of higher quality (Kieras, 1988, Kintsch & van Dijk, 1983) were tested in an experimental setup. Furthermore, it was examined (3) whether the outcomes are independent from learned contents. That was realised by contrasting the findings with a parallel test series. A simulation tool was used as variation of the learning environment. In result, all mentioned points could be verified. Moreover, the probands used the tool additionally to other learning activities and not in substitution. In the End it must be stated, that it is not clear, if other effects of the tool also had impact on the mental model. For future research we suggest to put more effort in examining the psychological causation of computer-based cognitive tools on meaningful learning.

# 1. Einleitung

Wie sieht die Arbeitswelt der Zukunft aus? Glaubt man John Naisbitt (1995), dann lassen sich Prognosen für morgen am besten aus einer Betrachtung des Heute ableiten. Er postuliert als s. g. Megatrends *Fortschreitende Globalisierung, demographische Entwicklung* sowie *Technologischen Fortschritt* und betont besonders einen Faktor: *Wissen*.

Schon heute werden in wissensintensiven Berufsfeldern, besonders im Dienstleistungssektor, mehr Menschen beschäftigt als im klassisch produzierenden Gewerbe (IAB, 1999). Dieser Trend wird sich auch in Zukunft fortsetzen. In den Projektionen des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (1999) werden allein bis zum Jahr 2010 in Deutschland ca. 32% aller Beschäftigten in hoch qualifizierten Positionen arbeiten. Zu diesem Zeitpunkt wird sich das Verhältnis zu produktionsorientierten Tätigkeiten umgekehrt haben (Abb. 1). Darüber hinaus zeigen sich wissensintensive Berufe erstaunlich resistent gegenüber allgemeinen Beschäftigungstrends (IAB, 1999), d. h. Bildung verringert das Risiko von Arbeitslosigkeit.

Der allgemeine Bildungsstand der bundesdeutschen Bevölkerung folgt diesem Trend. Während z. B. 1975 nur 7% aller Berufstätigen in Westdeutschland einen Universitäts- oder Fachhochschul-Abschluss besaßen, waren es 2002 bereits 17% (IAB, 2003). Was die Mitarbeiter des IAB mit Zahlen belegen, kommentiert der britische Ökonom und Zukunftsforscher Charles Leadbeater (1999) mit den Worten: „*In old capitalism, the critical assets were raw materials, land, labour and machinery. In the new capitalism, the raw materials are know-how, creativity, ingenuity and imagination.*” (zitiert nach [www.charlesleadbeater.net](http://www.charlesleadbeater.net))

Diese Entwicklung zur Wissensabhängigkeit hiesiger Tätigkeiten wird durch die anderen Megatrends noch forciert: Um die Hochqualifizierten aus den geburtenstarken Jahrgängen langfristig zu ersetzen, müssen allein aus demographischen Gründen staatlich gelenkt mehr Akademiker ausgebildet und individuell mehr in die eigene Weiterbildung investiert werden (IAB, 2003). Gleichzeitig steigt durch den beschleunigten technischen, wirtschaftlichen und sozialen Wandel aber auch der Bildungsdruck für jeden Einzelnen. So liegt beispielsweise die Halbwertszeit beruflichen Fachwissens laut Hitzges (1994) bei nur noch sechs Jahren, Tendenz abnehmend. Zu guter Letzt stehen Unternehmer wie Angestellte und Arbeiter in internationaler Konkurrenz: Es gibt im Prinzip kein Produkt und kaum eine Dienstleistung, die nicht auch an einem anderen Ort der Erde realisiert werden können (Friedmann, 2006). Angelehnt an den Werbespruch eines deutschen Autoherstellers könnte

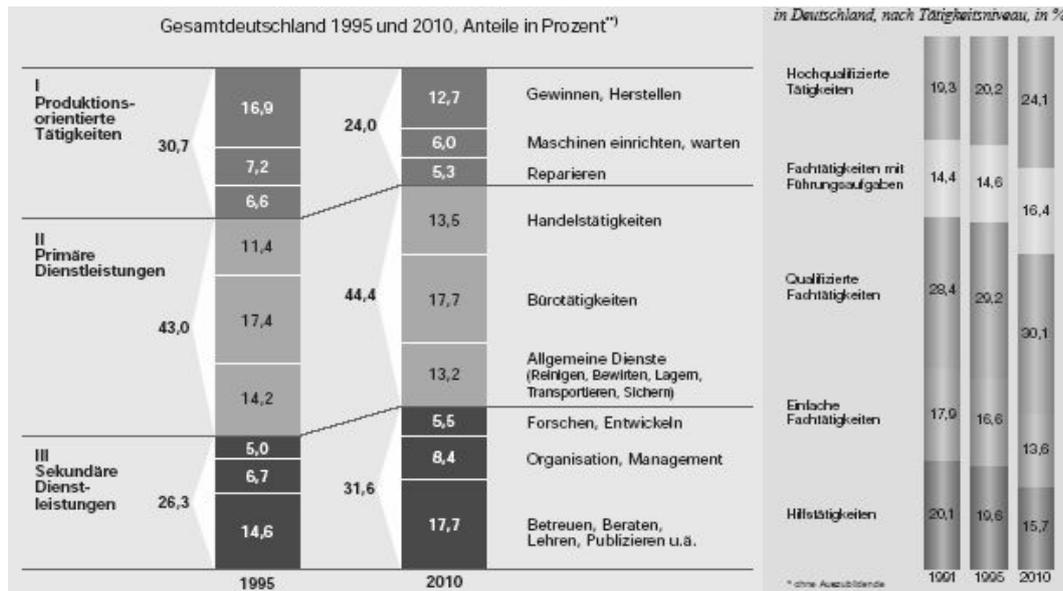


Abb. 1: Erwerbstätige nach Tätigkeitsgruppen und -niveau. Quelle: IAB

der Leitspruch für die Zukunft der Arbeit *Vorsprung durch Wissen* lauten. Im Umkehrschluss bedeutet dies kontinuierliches Fortbilden oder auch *lebenslanges Lernen* (KEG, 2001).

Aus diesem Trend heraus ergibt sich mehr denn je die Frage, wie man das individuelle Lernen wirksam unterstützen kann. Eine Art, dies zu ermöglichen, ist der breite Einsatz multimedialer Lernwerkzeuge. Sie haben das Potential, speziell das verstehende Lernen zu fördern (Mayer, 2005, siehe Kapitel 2). Die Möglichkeiten durch eine solche Computertechnologie scheinen sich immer mehr zu erweitern (Jonassen et al., 1998). Trotz dessen warnt Euler (2002, in Bartos, 2004) davor, innovativer Technik mit „steinzeitlicher“ Didaktik anzuwenden. Bartos (2004) erkennt in diesem Zusammenhang, auf die multimediale Lehre rückblickend, eine Beschränkung auf den bloßen Einsatz neuer Medien zum althergebrachten Transport eines Lernstoffes. Er warnt, dass neu gestaltetes Lernen nach alten Rezepten keinen zusätzlichen Erfolg verspricht und plädiert für eine kombinierte Weiterentwicklung didaktischer und medialer Methoden nach konstruktivistischen Prinzipien (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995).

Computergestützte Lernwerkzeuge bieten hier eine Lösung. Sie sind durch ihre vielen Möglichkeiten der Modulierung in der Lage, den Lernstoff und die didaktische Methode an den Lerner anzupassen und so die Wissensvermittlung zu optimieren (vgl. Jonassen, 1996, Mandl et al., 1997, Mayes, 1992). Auf welchem Wege sie dies leisten können, soll in dieser Untersuchung näher beleuchtet werden. Im Folgenden wird zunächst der theoretische Hintergrund zum verstehenden Lernen mit Multimedia dargestellt. Anschließend werden bestehende Wissenslücken im Bereich des verstehenden Lernens mit Computerunterstützung aufgezeigt, woraus sich die Forschungsfragen dieser Untersuchung ableiten. Im darauf

folgenden Kapitel wird eine geeignete Versuchsanordnung zur Klärung dieser Fragen vorgestellt und die Forschungsfragen in konkrete Hypothesen überführt. Direkt im Anschluss werden die Ergebnisse der Untersuchung dargelegt. Am Ende werden diese bewertet und in Bezug auf ihre Aussagekraft kritisch diskutiert.

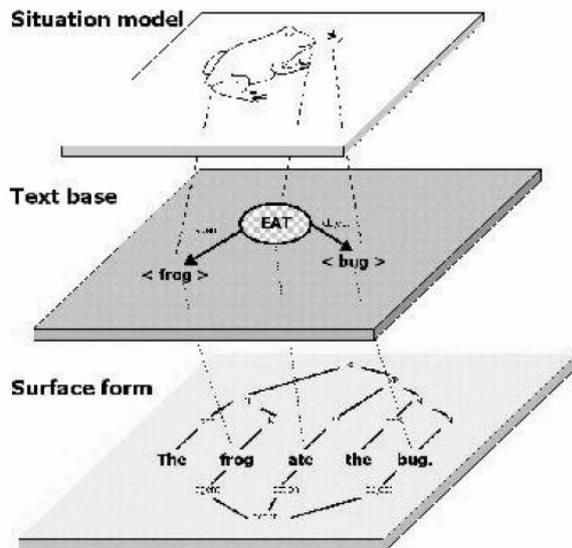
## 2. Theorie

Wie funktioniert verstehendes Lernen aus Texten und wie können diese Prozesse unterstützt werden? Um diese, für die vorliegende Arbeit zentrale, Frage zunächst aus der Literatur so weit es geht zu beantworten, sollen im Folgenden bereits bestehende Modelle zu diesem Thema erläutert werden. Der folgende Abschnitt widmet sich der Frage, wie das Lernen speziell aus Texten grundsätzlich von statten geht. Anschließend erfolgt die Übertragung dieser Modelle auf multimediale Lernumgebungen. Abschließend wird die Rolle computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge erörtert.

### 2.1. Lernen aus Texten

Walter Kintsch entwickelte seit 1978 zusammen mit T. A. van Dijk ein umfassendes Modell zum Textverstehen. In ihrer *Theorie der zyklischen Verarbeitung* versuchen die beiden Autoren, die grundlegenden Prozesse bei der Sprachverarbeitung als eine Abfolge von Schritten zu beschreiben (Abb. 2). Am Anfang wird eine mentale Repräsentation der *Textoberfläche*, die den Wortlaut des Textes abbildet, erstellt. Durch sinnvolle Verknüpfung der einzelnen Informationen erfolgt in einem zweiten Schritt die Bildung von *Propositionen*, die den Inhalt eines Textes in seinen kleinsten Sinneinheiten abbilden. Propositionen sind definiert als Prädikat-Argument-Strukturen (Schnotz, 1994), die wahr oder falsch sein können (Anderson, 1988). Auf Basis von Heuristiken wie Argumentüberlappung und Inklusionsbeziehung werden diese diskreten Sinneinheiten nun wiederum mit einander verknüpft. Sind im Text Informationen enthalten, die sich nicht zuordnen lassen, werden Inhalte aus dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 1986) aktiviert und durch Inferenzbildung eine Brücke zwischen Vorwissen und neuen Informationen geschlagen (Clark, 1977).

Bedingt durch die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1986) kann ein Leser immer nur einen Teil der im Text enthaltenen Information aufnehmen und verarbeiten. Dadurch verläuft dieser Prozess wiederholt ab. Im Zuge dessen wird ein Netz an Propositionen gebildet, das die Mikrostruktur des Textes darstellt. Abschließend werden die so aufbereiteten, aber immer noch sehr textnahen Informationen durch Selektion und Generalisierung (van Dijk, 1977) zusammengefasst und in das Vorwissen des Lesers eingebettet. Dadurch entsteht eine übergeordnete *Superstruktur*, später zum *Situationsmodell* ausformuliert (Kintsch & van Dijk, 1983), des im Text beschriebenen Sachverhalts. Während propositionale Repräsentationen den Sachverhalt nur beschreiben, wird er durch ein solches Modell direkt dargestellt (Glenberg, Meyer & Lindem, 1987). Es erleichtert durch seine



**Abb. 2: Ebenen des Textverstehens nach Kintsch & van Dijk (1983)**

Unabhängigkeit von der sensorischen Vermittlung und durch seine Nähe zum Inhalt des Textes das Verstehen des Gelernten und dessen Anwendung.

Dieser letzte Schritt beim verstehenden Lernen aus Texten ist jedoch kein vorprogrammierter Prozess. Er hängt in hohem Maße vom Vorwissen, den Zielen und dem Kontext des Lernens sowie von der Anstrengungsbereitschaft des Lesers ab (van Dijk, 1977, Wittrock, 1974).

Das Konzept einer hierarchischen Ordnung in der Informationsverarbeitung und verschiedener Repräsentationsformate zeigt deutliche Parallelen mit anderen Prozesstheorien der Informationsverarbeitung (vgl. Craik & Lockhart, 1972). Der praktische Nutzen einer solchen Rangordnung liegt in der längerfristigen Behaltensleistung. Sie entsteht bei der Bildung eines Situationsmodells durch eine engere Verknüpfung der neuen Information mit dem Vorwissen (vgl. Ballstaedt & Mandl, 1982). Experimentell konnte nachgewiesen werden, dass hierarchisch höhere Propositionen über längere Zeit hinweg besser behalten werden als hierarchisch niedere (Kintsch & Keenan, 1973, Meyer, 1975).

Das Resultat verstehenden Lernens aus Texten ist ein mentales Modell (vgl. Johnson-Laird, 1983, Stachowiak, 1973). Es wird als integrative mentale Repräsentationen angesehen, die nicht zwangsläufig physikalische Abbildungen des realen Sachverhaltes sein muss. Wesentliche ist die Funktionsanalogie, d. h. das mentale Modell muss lediglich bzgl. einiger Abbildungsmerkmale wie z. B. der „Bedienbarkeit“ mit dem Original übereinstimmen (Marks, 1990). Um dies zu erreichen, muss selbst das Kriterium der Vollständigkeit nicht zwangsläufig erfüllt sein (Ringelband, Misiak & Kluwe, 1990). Am Beispiel einer technischen Anlage würde dies bedeuten, dass der Leser die Struktur des Systems größtenteils

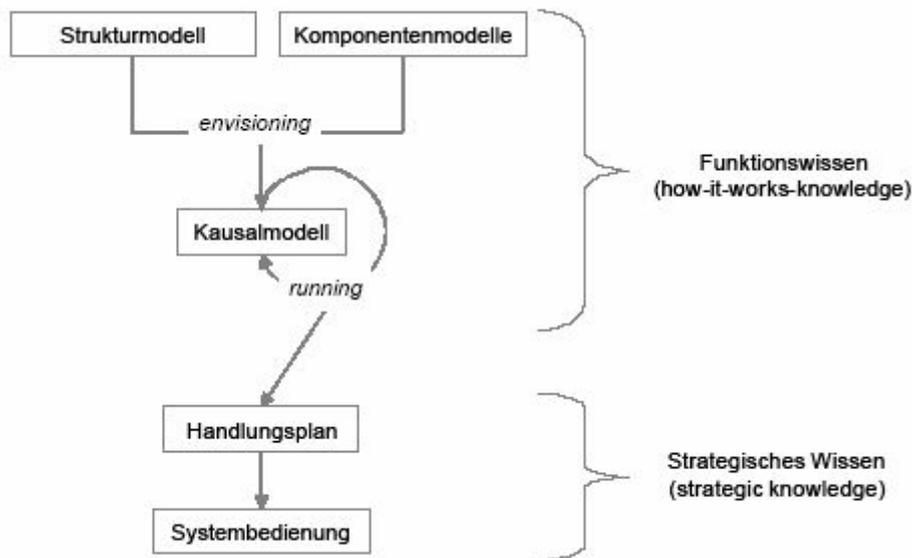
versteht, Schlussfolgerungen darüber ziehen kann und im Stande ist, Vorhersagen über das Systemverhalten zu treffen (Borgmann, 1986).

Zwei Vorgänge sind beim Textverstehen von zentraler Bedeutung. Im Laufe der mentalen Modellbildung müssen einzelne Informationen bereits auf Propositions-ebene miteinander verknüpft werden, um sie in einen gemeinsamen Sinnzusammenhang zu stellen. Wird dieses Vorgehen wiederum auf das gesamte propositionale Netzwerk angewendet und werden die Informationen zusätzlich in eine hierarchische Ordnung gebracht, erkennt der Leser im Laufe der Zeit die innere Struktur eines Textes, den „roten Faden“. Diese *Kohärenzbildung* (van Dijk, 1977) verläuft in enger Verbindung mit der *Inferenzbildung*, bei der Informationen, die nicht explizit im Text enthalten sind, mit Hilfe des Vorwissens erschlossen werden (Clark, 1977).

Inferenz-, Kohärenz- und mentale Modellbildung bedingen dabei einander. Zum Einen entsteht im Zuge des Lesens ein mentales Modell erst durch das Inferieren von nicht erwähnten Informationen sowie durch das Erkennen der inhaltlichen Gesamtstruktur des Textes (Craik, 1977, Kintsch & van Dijk, 1983), zum Anderen hilft ein mentales Modell beim Ziehen der richtigen Schlüsse und dem Erkennen eines roten Fadens (Halasz & Moran, 1983, Kieras & Bovair, 1984), z. B. wenn einem Leser bereits mit sehr umfangreichen Vorwissen ein Text in der selben Domäne vorgelegt wird. Diese wechselseitigen Prozesse beschreiben Ballstaedt et al. (Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan, 1981) als auf- und absteigende Verarbeitung. Erstere wird auch datengetrieben genannt, da sie vom Textverstehen zum mentalen Modell verlaufen, letztere werden auch als schemagetrieben bezeichnet, wenn der Einfluss des mentalen Modells auf das Textverstehen beschrieben wird.

## **2.2. Mentale Modelle technischer Systeme**

De Kleer & Brown (1983) entwarfen einen eigenen Ansatz mentaler Modelle, der speziell auf technische Systeme bezogen ist (Abb. 3) und von Kieras (1988) weiterentwickelt wurde. Er beschreibt den Übergang von der Propositionsebene zur Ebene des mentalen Modells detaillierter. Dabei werden zwei separate Prozesse der Modellbildung angenommen: Im ersten Schritt erschließt sich ein Leser Wissen über die topologische Struktur des Systems, über jede seiner Komponenten sowie deren Bedienung. Durch das anschließende *envisioning* (bildhaftes Vorstellen) wird im zweiten Schritt aus diesem Faktenwissen ein Kausalmodell gebildet, in dem die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Systembestandteilen



**Abb. 3: Schematische Abbildung der mentalen Modellbildung über technische Systeme nach de Kleer & Brown (1983) und Kieras (1988) (aus Wipperfurth, 2004, S.12).**

beinhaltet sind. Dadurch kann die Funktionsweise der Anlage mental simuliert und geprüft werden (*running*). In diese Prüfung fließen Kriterien der Konsistenz (Widerspruchsfreiheit), der Korrespondenz (Abbildungstreue) und der Robustheit (Kontextunabhängigkeit) ein. Aufgrund der von de Kleer & Brown verwendeten sehr einfachen technischen Systeme mit nur einem Operator (Türsummer) hatte die Bedienung der Anlage für sie keine Bedeutung bei der mentalen Modellbildung.

Diesen Punkt greift Kieras (1988) auf, in dem er die Theorie von de Kleer & Brown (1983) auf komplexere technische Anlagen mit mehreren Operatoren überträgt. Er erweitert das Modell um Steuerungswissen, in dem ein Lerner aus seinem deklarativen Wissen Prozeduren zur Systembedienung inferentiell ableitet (Handlungsplan) und anwendet (Systembedienung). Das so aufgebaute *strategische Wissen* wird von Kieras als eine weitere Qualitätsstufe des mentalen Modells postuliert. Diese Art von Verständnis einer Anlage ermöglicht es dem Leser, sämtliche Systemzustände des Systems nachzuvollziehen, es zu bedienen sowie Fehler und Funktionsstörungen zu identifizieren.

Dadurch erhält ein solch elaboriertes mentales Modell letztlich seine Funktion zur Handlungsplanung (Bandura, 1986, Craik & Lockheart, 1972). Im Umkehrschluss sind die Handlungsmöglichkeiten davon abhängig, wie richtig und elaboriert das mentale Modell der Anlage ist. Kluwe & Haider (1990) argumentieren genau gegenteilig, dass der Detaillierungsgrad des mentalen Modells von der wahrgenommenen Kontroll- und Steueraufgabe (bspw. in einem Lernziel formuliert) abhängt. In der Konsequenz ergibt sich aus diesen beiden Aussagen ein Wechselspiel zwischen dem Mittel (mentales Modell) und

seinem Zweck (Befähigung zum Handeln): Ein Lerner wird sich nur so viel Wissen aneignen, wie er zur Bewältigung einer Aufgabe braucht und er wird die Anforderung nur so gut erfüllen, wie elaboriert seine interne Repräsentation des Systems ist.

### **2.3. Determinanten verstehenden Lernens aus Texten**

Wie bereits erwähnt, verläuft der Übergang von der Propositionsebene zu der eines mentalen Modells nicht automatisch, sondern muss von einem Lernenden aktiv geleistet werden. Eine der Theorien, die sich mit den Prozessen und Bedingungen dieses Handelns beschäftigt, ist das Modell des generativen Lernens, das Merlin C. Wittrock 1974 erstmals vorstellte. Auf einen konstruktivistischen Ansatz aufbauend postuliert der Autor darin die These, dass verstehendes Lernen, moderiert durch motivationale und attentive Faktoren sowie dem Vorwissen, durch bedeutungs-generierende Prozesse vermittelt wird. Ein mentales Modell entsteht, wenn neu hinzugewonnene Informationen in das Netzwerk bestehenden Wissens eingebettet werden (Wittrock, 1990). Er unterscheidet dabei zwischen *coding generative activities*, die Verknüpfungen zwischen den Textinhalten (und somit Kohärenz) herstellen, und *integrative generative activities*, die die Verbindungen zum Vorwissen bilden.

Als Beispiele für erst genannte Aktivitäten nennt Wittrock das Erstellen von Überschriften, Zusammenfassungen, Diagrammen, Tabellen und Kerngedanken, die Formulierung von Fragen und das Aufstellen von Lernzielen; für letztgenannte zählt er die Durchführung von Demonstrationen, das Bilden von Metaphern, Analogien, Paraphrasen und Beispielen, die Anwendung von Inhalten, das Herstellen von Interpretationen und Inferenzen auf. Das Anfertigen von Notizen lässt sich beiden Arten von generativen Lernaktivitäten zuordnen und zählt deshalb für Wittrock im besonderen Maße zu den generativen Lernaktivitäten. Der Nachweis einer lernförderlichen Wirkung speziell für das Generieren solcher Mitschriften (Peper & Mayer 1986), aber auch für Zeichnungen (Dean & Kulhavy, 1981) konnte in der Vergangenheit erbracht werden. Diese Befunde ließen u. a. Engelkamp (1990) und Mayes (1992) zu der Erkenntnis kommen, dass Lernen letztlich ein Nebenprodukt der Prozesse kognitiver Verarbeitung darstellt.

Die Textgestaltung selbst hat ebenfalls einen Einfluss auf die Tiefe der Informationsverarbeitung und damit den Lernerfolg. Kintsch & Kintsch wiesen 1995 darauf hin, dass sehr gut strukturierte Texte bei Lesern das Phänomen der Wissensillusion auslösen können, indem sie durch die suggerierte Leichtigkeit des Textes zu voreilig glauben, den Inhalt verstanden und behalten zu haben (vgl. McNamara et al., 1996). Shapiro (1998) konnte einen solchen Effekt insbesondere für Lerner mit wenig Vorwissen nachweisen. In der

Konsequenz plädieren Kintsch & Kintsch (1995) für eine kontrollierte Erschwerung des Verstehensprozesses. Dabei muss beachtet werden, dass die Leser die Fähigkeit und nötige Wissen haben müssen, Hindernisse zu bewältigen und dass diese ein Verhalten auslösen, welches tatsächlich zu einer tieferen Verarbeitung führt. Eine solche absichtliche Behinderung des Leseflusses kann z. B. durch das bewusste Weglassen von Hinweisen auf Hierarchieebenen, Überschriften oder ein- bzw. überleitenden Sätzen realisiert werden.

## **2.4. Lernen mit Multimedia**

Richard E. Mayer und Kollegen von der University of California entwickelten im Laufe von über 15 Jahren eine integrative Theorie des multimedialen Lernens. Die aktuellste Version heißt *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2002) und vereint die bislang gängigsten Ansätze im Forschungsfeld des multimedialen Lernens miteinander. In der Tradition einer konstruktivistischen Sichtweise auf menschliches Lernverhalten versucht Mayer, Verfahrensprinzipien für multimediales Lernen zu postulieren, wie sie bereits im vorangegangenen Abschnitt beispielhaft angeführt wurden.

Wie Mayer in der Erläuterung seines Ansatzes selber darstellt, bezieht er sich in dem von ihm vorgestellten Lern-Modell auf

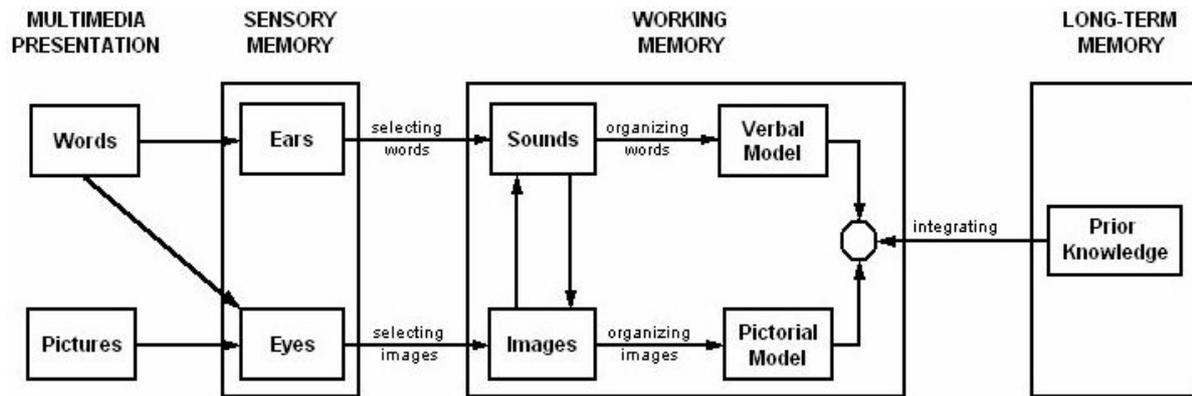
- die *dual-coding-theory* von Paivio (1986), in der er von zwei getrennten, verschied kognitiv verarbeiteten Präsentationsformaten für textliche und pikturale Informationen ausgeht
- das *Mehrspeichermodell* von Atkinson & Shiffrin (1968), nach dem ein Informationsfluss beim Menschen verschiedene Stationen der Informationsverarbeitung und -speicherung durchläuft
- Baddeleys *Arbeitsspeichermodell* (1986) mit seiner begrenzten kognitiven Verarbeitungskapazität und der separaten Verarbeitung visueller und auditiver Informationen
- das Zusammenführen audio - textlich und pictoral - visuell präsentierter Inhalte aus dem *integrativen Modell des Text- und Bildverstehens* von Schnotz & Bannert (2002)
- die verschiedenen Repräsentationsformate und ihre gegenseitiges Zusammenwirken aus Swellers *cognitive load theorie* von 1999
- die generativen Lernaktivitäten aus der gleichnamigen Theorie von Wittrock (1990)

Im Wesentlichen verläuft nach diesem Modell die Informationsverarbeitung (Abb. 4) in folgender Weise: Inhalte werden als Worte bzw. Bilder (multimedial) präsentiert und in Form eines exakten Abbildes in einem sensorischen Speicher kurz festgehalten. Aus diesem

werden einer begrenzten Kapazität geschuldet einzelne Informationselemente entnommen und im Arbeitsgedächtnis weiterverarbeitet. An dieser Stelle findet ein Abgleich und die Zusammenführung der inhaltlichen Teilmengen statt. In einem letzten Schritt wird mit Hilfe des Langzeitgedächtnisses ein mentales Modell des beschriebenen Sachverhalts erstellt. Dieser gesamte Prozess ist willentlich gesteuert und erfordert kognitive Anstrengungen.

Aus seiner Theorie des multimedialen Lernens leitet Mayer (2002) vier zentrale Gestaltungsprinzipien für computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ab, die den Lernenden vor Überforderungen (Sweller, 1999) schützen und somit die Aufnahme der Information erleichtern sollen: (1) Kontiguität (gleichzeitige Darbietung von Information und Animation), (2) Kohärenz (Sparsame Verwendung von Text und Animation), (3) Modalität (die Kombination aus akustischer und visueller Darbietung) und (4) Redundanz (der Verzicht auf eine zusätzliche Darbietung der Information durch einen schriftlichen Text, wenn bereits eine Erzählung und eine Animation verwendet wird).

Mayer hat mit diesem integrativen Ansatz einen sehr konsequenten Versuch unternommen, das Gros des bestehenden Wissens über verstehendes Lernen mit kombinierten Medien in einem Modell zu vereinigen und praktische Anwendungsprinzipien abzuleiten. Ob die von ihm vorgestellte Theorie als allgemeingültige Basis im Bereich des multimedialen Lernens taugt, kann durchaus kritisch gesehen werden. Integrative Modellansätze sind grundsätzlich zu begrüßen, da sie den Fokus auf mehrere Aspekte eines Forschungsansatzes legen. Jedoch gehört mehr dazu als das bloße Verknüpfen verschiedener Theorien. So versucht der Autor z. B. die widersprüchlichen Annahmen über den Verarbeitungsweg geschriebener Texte (bei Baddeley sind sie abhängig vom Präsentationsformat verbal-auditiv, bei Schnotz & Bannert sind sie abhängig vom Repräsentationsformat textlich-visuell) miteinander zu vereinen, ohne eine akzeptable Lösung gefunden zu haben. Vielmehr verweist er auf die nicht näher beschriebene Fähigkeit zur Konvertierung in verschiedene Repräsentationsformate sowie auf den Bedarf weiterer Forschung in diesem Gebiet. So entspricht in der Abbildung 4 der linke Teil des Arbeitsspeichers den Annahmen aus dem Arbeitsspeichermodell von Baddeley, der rechte denen des Modells zum Text- und Bildverstehen von Schnotz & Bannert, ohne eine konzeptuelle Brücke zwischen diesen beiden Teilen zu schlagen.



**Abb. 4: Informationsverarbeitungs-System nach Mayer (2002). Der Pfeil von *Words* zu *Eyes* ist der Verarbeitung von Textinformationen gewidmet.**

Darüber hinaus stellen die Forschungsergebnisse von Schindler (in print) einige der angeführten Gestaltungsprinzipien in Frage. So erzielten beispielsweise Probanden, denen Textinformationen und unterstützende Animation gleichzeitig dargeboten wurden (vgl. Korrespondenz-Prinzip) weit geringere Lernergebnisse als die Probanden einer Vergleichsstichprobe, denen diese Elemente separat gezeigt wurden (Römer 2005, Schulz, 2004).

Zusammenfassend lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass die Erkenntnisse aus dem (analogen) verstehenden Lernen aus Texten nicht ohne weiteres auf multimediale Kontexte übertragbar sind. Hier zeigt sich der große Bedarf an grundlegender psychologischer Forschung.

## 2.5. Computergestützte kognitive Lernwerkzeuge

Computergestützte kognitive Lernwerkzeuge definiert Joolingen (1999, S. 1) als *instruments that support or perform cognitive processes for learners in order to support learning*. Lernen kann in diesem Falle als ein weit gefasster Begriff angesehen werden. Für Liyoshi et al. (2005) können solche Tools sowohl die Informationssuche und Informationsdarstellung, als auch die Wissensorganisation, Wissensintegration und Wissenserzeugung unterstützen (zur Unterscheidung von Information und Wissen siehe Aamodt & Nygard, 1995).

Betrachtet man Eigenschaften und didaktische Funktionalität computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge, trifft man auf ein sehr heterogenes Feld. Solche auch *mind tools* genannten Werkzeuge fordern sehr verschiedene Aktivitäten vom Lerner und können so auf vielfältige Art das Lernen unterstützen. Jonassen (vgl. auch Hammond, 1993) hat bereits 1992 ein dreidimensionales Würfelmodell zur Klassifikation von Eigenschaften der

Systemgestaltung computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge vorgestellt (Abb. 5). Darin symbolisiert die erste Dimension *Engagement* das Ausmaß an Einbeziehung bzw. Aktivierung des Lerners durch das Tool. Die zweite Dimension *Generativity* beschreibt, in wie fern das Lernmaterial nur präsentiert wird (ähnlich einem Buch) oder selbst generieren werden kann (wenn z.B. Informationen aus verschiedenen Texten inferiert werden sollen). Die dritte Dimension *Control* bildet die Stärke der Lernerkontrolle über den Lernprozess ab (z. B. die Wahl der geeigneten Lern-strategie oder die Abfolge der Informationsdarbietung).

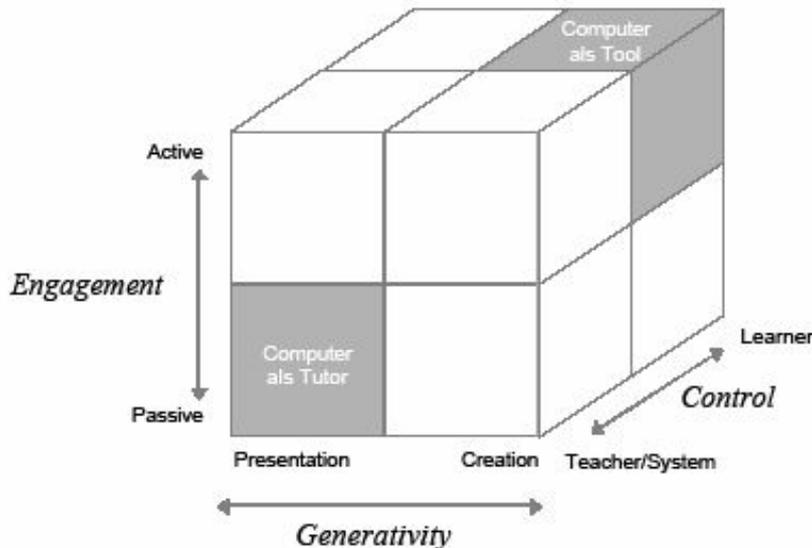
Vergleicht man die beiden Extreme auf den drei Dimensionen ergeben sich zwei Prototypen computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge. Programme, in denen der Computer als *Tutor* fungiert, versetzen den Lerner in eine rundum passive Rolle, in der er Informationen durch das System gesteuert nur dargeboten bekommt. Durch simple Frage-Antwort-Technik wird der Wissenszustand des Anwenders ermittelt und bestimmt fortan den weiteren Verlauf des Lernvorganges. Es folgt damit einem behavioristischen Modell, bei dem ähnlich einem Trichter der Lernstoff einfach übermittelt wird und sich strukturgleich im Kopf des Lerners verankern soll (Duffy & Jonassen, 1992, Knuth & Cunningham, 1991).

Wird der Computer dagegen als *Werkzeug*<sup>1</sup> genutzt, gewinnt der Nutzer eine aktive Rolle, in der er die Kontrolle über den Lernprozess zurückerhält und das Tool nicht als bloße digitale Präsentation von Information verwendet, sondern um Wissen zu externalisieren und aufzubereiten. Diese konstruktivistische Sicht auf Lernen als ein aktiver, generativer Prozess der Informationsgewinnung genügt auch der Auslegung eines Werkzeuges besser sowie der eingangs aufgeführten Definition von Joolingen (1999). Ein Werkzeug ist allgemein definiert als ein für bestimmte Zwecke geformtes Mittel zur Erweiterung der (beschränkten) Möglichkeiten eines Individuums, mit dem etwas bearbeitet oder hergestellt wird (Wikipedia), also eine externe Erweiterung seiner Person (Mandl et al. 1997) bzw. seines Verstandes (Lajoie & Derry, 1993).

Computergestützte kognitive Lernwerkzeuge im Sinne eines Tools (Jonassen, 1992) sind auf Grund der Ansprüche an ihre Funktionalität in einigen ihrer Konstruktionsprinzipien alle gleich. Abgesehen von den bereits erwähnten Grundsätzen der aktiven, generativen und kontrollierenden Rolle des Lerners enthalten sie keine expliziten Instruktionen, die ihren Gebrauch bzw. das Lernen im Allgemeinen betreffen. Des Weiteren sind sie weitestgehend inhaltsleer, d. h. sie geben keine bedeutungshaltigen Symbole oder Abbildungen vor, sondern bieten Raum für die Wissensrepräsentation durch den Lerner. Die konsequenteste Form eines

---

<sup>1</sup> Im fortlaufenden Text werden die Bezeichnungen *computergestütztes kognitives Lernwerkzeug*, *Lernwerkzeug* und *Tool* synonym verwendet und beziehen sich auf die Funktion als Tool (Jonassen, 1992).



**Abb. 5: Würfelmodell der Eigenschaftsdimensionen zur Klassifikation kognitiver Lernsysteme nach Jonassen (1992, S.4).**

solchen Werkzeuges (in analoger Form) stellen ein weißes Blatt Papier und Bleistift dar.

## **2.6. Förderung verstehenden Lernens durch computergestützte kognitive Lernwerkzeuge**

Dass kognitive Lernwerkzeuge am Computer das verstehende Lernen fördern, ist seit längerem belegt (Mayer, 1997). Die hinter dieser lernunterstützenden Wirkung stehenden Prozesse sind dagegen weitgehend ungeklärt. Wenn gleich ein geschlossenes Theoriegebilde an dieser Stelle fehlt, lassen sich aus der Literatur einige Wirkfaktoren erschließen. An erster Stelle steht die Ermöglichung und Initiierung lernförderlicher kognitiver Aktivitäten (vgl. Definition von Joolingen, s. o.). Schon durch ihren Gebrauch sollen solche Tools den Lerner durch spezifische Aufgaben in bestimmte Lernanstrengungen verwickeln, ohne sie ausdrücklich einzufordern (Mayes, 1992). Auf diese Weise stellen Operationen an solchen Werkzeugen eine generative Aktivität im Sinne Wittrocks (1990) dar, die ohne das Tool von den betreffenden Personen nicht gezeigt würden (Jonassen, 1996, McKoon & Ratcliff, 1992).

Darüber hinaus haben Lernwerkzeuge die Funktion eines externen Speichers, in dem zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses Informationen vorübergehend abgelegt und bearbeitet werden können. Damit erweitern sie die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung (Kozma, 1987, 1992, Salomon, 1988) und erleichtern das meta-kognitive Reflektieren über die eigene Lernstrategie (Brown, 1978). Zur weiteren Reduzierung der kognitiven Belastung geben Lernwerkzeuge Hinweise darauf, welche Aspekte eines Textes zu seinem Verständnis wichtig sind und welche vernachlässigbar. Damit

entsprechen sie dem Konzept der Orientierungsaufgabe von Hyde & Jenkins (1969), das besagt, dass eine konkrete Aufgabe zu besseren Behaltensleistungen führt als die bloße Aufforderung zu lernen, da sie die Informationsverarbeitung auf bestimmte Ziele lenkt.

In diesem Zusammenhang stellt die grafische Darstellung von Lerninhalten in Form von Bildern eine weitere Funktion von Lernwerkzeugen dar. Wenn durch das Tool eine grafische Darstellung des zu lernenden (gegenständlichen) Sachverhaltes vorgegeben wird bzw. im Laufe seines Gebrauches entsteht, entlastet es das Arbeitsgedächtnis, da bestimmte repräsentationale Elemente direkt zur Verfügung stehen (vgl. Weidenmann, 1994). Dies gilt insbesondere, wenn die Testung des Lernzustandes mit einer solchen Darstellung realisiert wird (Brünken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001).

Als letzter lernfördernder Faktor sei noch der *enactment effect* von Cohen (1981) angeführt, dem zu Folge die Behaltensleistung über einen Sachverhalt größer ist, wenn mit ihm eine Handlung ausgeführt wird.

Es ist anzunehmen, dass all die genannten Aspekte der Lernförderlichkeit kognitiver Lernwerkzeuge nicht unabhängig von einander sind. So ließe sich beispielsweise schlussfolgern, dass das Anwenden solcher Tools eine generative Lernaktivität darstellt, die gleichzeitig den *enactment effect* ausnutzt. Durch ein solches Handeln wird automatisch auf die dafür notwendigen Teile des in einem Text beschriebenen Sachverhaltes konzentriert sowie durch eine externale Manipulation von Informationen ein externer Speicher angelegt.

Damit Lernwerkzeuge ihre Wirkung entfalten können, müssen sie überhaupt angewendet werden. Dies ist nicht selbstverständlich. Zum einen sprechen explizite Instruktionen zur Nutzung des Tools gegen die Konstruktionsprinzipien (Jonassen, 1992), zum anderen konnten Schulz (2003) und Kahl (2006) zeigen, dass durch solche Aufforderungen zwar die Nutzungshäufigkeit steigt, nicht jedoch die Qualität der Anwendung und in der Folge auch nicht der Lernerfolg. Damit entsprechen diese Befunde der Annahme von Wittrock (1990), laut der sich (zusätzliche) lernförderliche generative Aktivitäten nur dann zeigen, wenn der Lerner sie nicht schon von allein realisiert bzw. nur dann, wenn er überhaupt in der Lage ist, sie zeigen zu können.

Hinter der Entscheidung, ein angebotenes Lernwerkzeug zu nutzen, steckt darüber hinaus auch eine interne Kosten-Nutzen-Abwägung. Lockwood, (1992, vgl. Pollock et al., 2002, Sweller 1999) weist darauf hin, dass der Gebrauch eines Werkzeuges auch immer kognitive und zeitliche Ressourcen zu seiner Bedienung bindet. Diese fallen besonders hoch aus, wenn das Tool neu und der Lerner noch ungeübt in seinem Gebrauch ist. Nur wenn der Zusatznutzen für den Lernerfolg, also weniger Aufwand bei gleichem Ergebnis bzw. größerer

Lernerfolg bei gleicher Anstrengung, erwartet wird, findet das Lernwerkzeug seine Anwendung.

Eine solche Effizienz-Abwägung beeinflusst nicht nur die Entscheidung des Nutzers sondern auch desjenigen, der das Tool bereitstellt. Ob ein Lernwerkzeug überhaupt zum Einsatz kommt, hängt zu einem Großteil von seiner Wirtschaftlichkeit ab (Bartos, 2004, Gertz, 1996, Hundt, 1997). Sie bieten den Vorteil einer zeit-, orts- und personenunabhängigen Anwendung. Darüber hinaus lassen sie sich bei genügend Flexibilität an den Nutzer und seinen Lernstil anpassen.

Alles in allem haben computergestützte kognitive Lernwerkzeuge ein großes Potential, verstehendes Lernen positiv zu beeinflussen. Indes, die angeführten Punkte sind bislang noch spekulativ, da ein umfassender Nachweis dieser lernförderlichen Wirkungen nach wie vor aussteht. In diesem Feld bewegt sich die vorliegende Arbeit. Mit ihr soll zum Einen die Unterstützung verstehenden Lernens durch ein computergestütztes kognitives Lernwerkzeug nachgewiesen und zum Anderen ein Wirkmechanismus für diesen Effekt näher beleuchtet werden.

### 3. Fragestellungen und Forschungshypothesen

In seinem aktuellen *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* gibt Mayer (2005) einen Überblick über die aktuellen Forschungsschwerpunkte im Bereich computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge. Demnach liegt der Fokus

- auf explorierendem Verhalten, s. g. *scientific discovery learning* (ähnlich den Lösungsstrategien im einfachen Problemlösen, Klix, 1971)
- auf Einflüsse der Usability und Nutzer-Wahrnehmung
- auf den Interaktionseffekten zwischen einem Text und einem Lernwerkzeug für den Lernzuwachs
- auf der Passung von Tool und Art des zu vermittelnden Wissens bzw. der zu erlernenden Fähigkeit.

Lloyd P. Rieber von der University of Georgia berichtet in seinem Beitrag zu Mayers Handbuch (2005) von einer Testreihe, in der in einer Nachtestung die Lernleistung stark gesteigert werden konnte, indem eine Kombination von expositorischem Text (vgl. Kapitel 4) und einem Simulationswerkzeug verwendet wurde. Er spekuliert über die Ursachen dieses Effekts und begründet ihn nach der Auswertung eines halbstandardisierten Fragebogens mit der Speicherfunktion solcher Tools. Dieses Beispiel ist prototypisch für die psychologische Forschung auf diesem Gebiet: Es wird viel darauf verwandt, pc-gestützte Lernwerkzeuge so zu konstruieren, dass sie maximal lernförderlich sind (Mandl et al., 1997, Mayer, 2005). Auf welchem Wege sie das tun, bleibt völlig im Dunkeln bzw. beschränkt sich wie bei Rieber (2005) auf Befragungen nach der Testung. Letztere werden von dem Autor sogar explizit empfohlen.

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, lernförderliche Wirkfaktoren computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge empirisch zu erforschen. Es soll der Nachweis erbracht werden, dass solche Tools eine generative Aktivität im Sinne Wittrocks (1990) darstellen, die durch ihren Gebrauch den Lerner in kognitive Prozesse verwickeln, die in der Konsequenz zu verstehendem Lernen in Form eines mentalen Modells (de Kleer & Brown, 1983, Kieras, 1988, Kintsch & van Dijk, 1983) führen. Da diese Annahme bislang nur für „analoge“ Hilfsmittel gilt, ist die Übertragbarkeit auf multimediale Lernumgebungen bislang weitestgehend offen. Um dieses Ziel zu erreichen, werden folgende zwei Forschungsfragen formuliert:

**Forschungsfrage 1:**

*Bewirkt die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeugs eine höhere Lernleistung?*

Mit der Forschungsfrage 1 soll eingangs geklärt werden, ob ein hier eingesetztes kognitives Werkzeug zur Bildung eines ausdifferenzierten Mentalen Modells beiträgt. Dies stellt den Ausgangspunkt für die Forschungsfrage 2 dar.

**Forschungsfrage 2:**

*Bewirkt die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeugs veränderte Lernaktivitäten?*

Anhand der Forschungsfrage 2 wird untersucht, ob das verwendete Tool allein durch seine Anwendung die Probanden in generative Lernaktivitäten verwickelt, die sie sonst von sich aus nicht zeigen würden. Wie schon in Kapitel 1 aufgeführt, erfolgt der Übergang von der propositionalen Ebene zu der eines kognitiven Modells nicht automatisch, sondern erfordert zusätzliche Lernaktivitäten (Wittrock, 1990). In der Konsequenz soll ein Zusammenhang zwischen der Güte und Menge generativer Aktivitäten, die allein durch ein Tool initiiert wurden, und der Qualität des entstandenen mentalen Modells nachweisbar sein.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, den Bewährungsgrad der Annahmen über die Wirkung kognitiver Lernwerkzeuge zu beurteilen (Bortz, 1999). Dazu werden die Ergebnisse der beiden Forschungsfragen mit den Ergebnissen der Studie von Baartz (2001) verglichen. Sollten bei dieser Gegenüberstellung der beiden Reihen ähnlich hohe Ausprägungen der Toolwirkung festgestellt werden, gelangt man zu dem Schluss, dass die Befunde unabhängig von dem verwendeten Lerngegenstand zu Stande gekommen sind. Dies trägt dazu bei, den Ergebnissen dieser Studie einen Status als allgemeine psychologische Gesetzmäßigkeit zu verleihen (Bortz & Döring, 2002).

Die Variation der Lernumgebung besteht in der vorliegenden Untersuchung in der Verwendung eines Simulationstools. Mit diesem Werkzeug haben die Probanden die Möglichkeit, die in einer Informationsbasis beschriebene technische Anlage in virtueller Form anzuschauen und sogar zu bedienen. Das verwendete kognitive Lernwerkzeug vereint dabei in sich die Funktion einer graphischen Darstellung der Struktur der technischen Anlage als auch die einer Steuerungsoberfläche zur Bedienung der Maschine.

## 4. Methodik

Bevor im folgenden Kapitel die oben angeführten Forschungsfragen in konkrete Hypothesen überführt werden, soll zunächst die experimentelle Variation, die verwendeten Versuchsmaterialien sowie die angefallene Stichprobe kurz beschrieben werden. Anschließend erfolgt eine Auflistung der zur Prüfung herangezogenen Variablen und der zum Einsatz gekommenen inferenz- statistischen Testverfahren. Abschließend findet für die spätere Prüfung der Inhaltsunabhängigkeit ein Vergleich der aktuellen Forschungsreihe mit einer zweiten statt.

### 4.1. Experimentelle Variation

Die experimentelle Variation innerhalb dieser Untersuchung besteht in der Bereitstellung eines Simulationswerkzeuges (Abb. A1.6 im Anhang). Dieses vereint die Eigenschaften einer Simulation und einer Visualisierung im Sinne Jonassens (1992): Einerseits lassen sich darin Funktionsparameter einstellen, die den simulierten Prozess zum Teil determinieren, andererseits stellt es ein stilisiertes Abbild der Anlage dar, wodurch sich Kausalketten innerhalb der Maschine nachvollziehen lassen. Auf diese Weise kann der Aufbau und die Funktionsweise der im Lernmaterial umschriebenen technischen Anlage erlernt werden.

In der Versuchsdurchführung unterscheiden sich die Experimental- und Kontrollgruppe einzig darin, dass letzterer das Simulationswerkzeug nicht zur Verfügung stand und sie nur die Möglichkeit hatten, sich das nötige Wissen aus einem mehrseitigen Text anzueignen. Die Teilnehmer der Experimentalgruppe dagegen konnten zusätzlich das Simulationswerkzeug benutzen, mussten es aber nicht, um den Versuch erfolgreich zu beenden.

### 4.2. Versuchsmaterialien & Versuchsaufbau

Um die oben genannten Fragestellungen hinreichend untersuchen zu können, wurde eine computergestützte, teilautomatisierte Lern- und Testumgebung konstruiert. Als thematischer Inhalt wurde ein einfaches, simuliertes technisches System zur Seifenherstellung verwendet, genannt Seifenlaugenmaschine. Diese Anlage orientiert sich an der industriellen Fettsäure- Verseifung (beispielhaft veranschaulicht in [http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/S+WM/Gewinnung/Index\\_Herst.htm](http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/S+WM/Gewinnung/Index_Herst.htm)). Hier sollten die

Versuchspersonen lernen, drei Rohstoffe virtuell so aufzubereiten, dass am Ende Seife hergestellt wird. Die Untersuchung bestand aus sieben Teilen, deren Abfolge sich in vier Phasen einteilen lässt (siehe Tab. 1). Im Folgenden werden alle Untersuchungsinstrumente erläutert:

### Fragebogen zur Person

Der Fragebogen zur Person enthält neben demographischen Angaben drei Fragen zur Vorerfahrung in der Computernutzung und mit Lernprogrammen (Abb. A1.1 im Anhang).

### Instruktion zum Lernprogramm

In dieser vollautomatisierten Einführung wurden die Probanden mit dem Aufbau des Lernprogramms vertraut gemacht und hatten die Möglichkeit, sich in der Navigation zu üben. Hier gab es für die Probanden der Experimentalgruppe an der Stelle des Simulationswerkzeuges einen Platzhalter (Abb. A1.2 im Anhang), um unerwünschte Lerneffekte durch die Instruktion zu vermeiden.

### Lernen mit Hilfe des Lernprogramms

Als vierten Schritt in der Versuchsdurchführung gelangten die Versuchspersonen in die Lernphase, in der ihnen ein mit Delphi<sup>®</sup> 2006 programmiertes Lernprogramm zur Verfügung stand. Dieses Computerprogramm bestand im Wesentlichen aus vier Teilen:

(1) Zur Orientierung beim Lernen wurde den Testteilnehmern ein *Lernziel* formuliert, das bereits ausdrücklich die Anforderungen in der Testphase - die Bedienung des Systems - impliziert (Abb. A1.3 im Anhang). Die Lernanstrengung sollte so auf ein für alle Teilnehmer gleiches Ziel ausgerichtet werden, um Leistungsunterschiede zu vermeiden.

(2) Im Menüpunkt *Seitenauswahl* gelangten die Probanden in die Textbasis des Lernprogramms. Hier konnten sie sich ähnlich einem Inhaltsverzeichnis anhand von überschriebenen Buttons einen Überblick über die zufällig angeordneten Textseiten verschaffen (Abb. A1.4 im Anhang).

(3) Die Informationsbasis des Lernprogramms besteht aus 10 *Textseiten* mit insgesamt 1199 Wörtern. In ihnen wurde erläutert, wie die Rohstoffaufbereitung prinzipiell funktioniert, aus welchen Bauelementen die Anlage besteht, welche Merkmale und Funktionen diese aufweisen, wie sie miteinander verbunden sind, welche Stoffe sie enthalten bzw. transportieren oder transformieren können, welche vorgegebenen Sollwerte während der Produktion eingehalten werden müssen und welche Folgen diesbezügliche Abweichungen haben (Abb. A1.5 im Anhang).

**Tab. 1:** Phasen der Untersuchung und eingesetzte Untersuchungswerkzeuge.

Untersuchungsphase		Untersuchungswerkzeug
Phase 1	Vorbereitung	Fragebogen zur Person Instruktion zum Lernprogramm
Phase 2	Lernen	Lernen mit Hilfe eines Lernprogramms
Phase 3	Messung der Lernleistung	Multiple-Choice- Test Produktionsaufgabe
Phase 4	Nachbereitung	Fragebogen zum Lernprogramm

Die Texte waren expositorisch und nicht durch Hyperlinks miteinander verknüpft, d. h. sie beschreiben unabhängig von den jeweils anderen Seiten nur einen einzelnen Sachverhalt (Einecke, 2006). Dadurch kann die Bildung von Kohärenzen (seitenübergreifende Integration von Informationen) und Inferenzen (Schlussfolgerungen aus den verfügbaren Informationen) als Hinweis der Bildung eines Mentalen Modells von SELMA nachgewiesen werden (Ballstaed, 1981). So musste z. B. im Gegensatz zum Aufbau und zur Funktionsweise des Systems die Steuerung rein inferenziell ermittelt werden, da sie nicht explizit dargestellt wird. Die Inhalte aller Textseiten sind im Anhang aufgelistet.

(4) Allen Probanden stand darüber hinaus Papier und Bleistift zur Verfügung, mit deren Hilfe Notizen und Zeichnungen zeitunabhängig angefertigt werden konnten (vgl. Peper & Mayer 1986, Dean & Kulhavy, 1981). Diese durften in der späteren Testphase jedoch nicht mehr verwendet werden.

(5) Über den Button *Probieren* gelangten die Teilnehmer der Experimentalgruppe zum Simulationswerkzeug (Abb. A1.6 im Anhang). Damit war es möglich, den Prozessablauf der Seifenherstellung probeweise durchzuführen. Das Lernwerkzeug konnte während des Lernens jederzeit aufgerufen und wieder verlassen werden, wobei der jeweils letzte Zustand erhalten blieb und beim nächsten Aufruf wieder zur Verfügung stand. Zusätzlich konnten alle eingestellten Werte und Veränderungen per Mausklick zurückgesetzt werden.

Die Navigation durch die Lernumgebung erfolgte per Mausklick auf Schaltflächen in einer am unteren Bildschirmrand angelegten Symbolleiste. Für das Lesen der Textseiten standen den Versuchspersonen 15 Minuten zur Verfügung. Die Lernzeit wurde begrenzt, um die Stichprobe dies bezüglich zu homogenisieren. Für alle anderen Lernaktivitäten wurde keine Zeitbegrenzung festgelegt.

### Multiple-Choice-Test

An das Lernen schloss sich direkt der Multiple-Choice-Test an. Er bestand aus 54 Aussagen mit je 4 Antwortmöglichkeiten, von denen minimal eine bis maximal drei richtig waren. Die Aussagen repräsentieren die gesamte Informationsbasis. Die Qualität der Antwortgüte im MC-Test bildet somit speziell die Güte des *deklarativen* Wissens ab.

Einige der Aussagen werden zu zwei Klassen aggregiert. Die erste Klasse ist das Ausmaß an Kohärenz. Es handelt sich hierbei um acht seitenübergreifende Aussagen, bei denen Informationen mehrerer Textseiten zusammengeführt werden müssen, um zur richtigen Lösung zu gelangen. Mit Hilfe dieser Klasse wird geprüft, ob sich die Versuchspersonen einen allgemeinen Überblick über den in den Textseiten beschriebenen Sachverhalt geschaffen haben. In der Klasse der Inferenzen werden 13 Aussagen getroffen, für deren Bewertung, ob sie richtig oder falsch sind, Informationen von der Testperson erschlossen werden müssen, da sie nicht in der Textbasis enthalten sind.

Im Anhang ist neben einem Screen-Shot (Abb. A1.7) auch der gesamte MC-Test aufgeführt (Anhang A4).

### Produktionsaufgabe

Im letzten Abschnitt der Testphase sollten die Probanden in der Aufgabe 1 einen und in der Aufgabe 2 zwei vollständige Verseifungsprozesse durchführen, indem sie Rohstoffe zur Produktion einer bestimmten Menge Seife aufbereiten (Abb. A1.8 im Anhang). Um diese Aufgabe vollständig zu bewältigen, mussten neun (Aufgabe 1) bzw. 19 (Aufgabe 2) Teilziele mit insgesamt 24 bzw. 44 Handlungsschritten realisiert werden (Anhang A6). Dazu brauchten die Versuchsteilnehmer das Wissen über die topologische Struktur der Anlage, die Komponenteneigenschaften sowie die Gesamtfunktionsweise. Die Lösungsgüte - abgebildet als Verhältniszahl aus dem besten der beiden vorliegenden Prozessabläufe im Vergleich zum Idealablauf - bildet somit die Güte des *prozessualen* Wissens ab. Beide Aufgaben sind im Anhang aufgelistet (Anhang A5).

### Fragebogen zum Lernprogramm

Am Ende der Untersuchung sollten die Versuchspersonen ein abschließendes Urteil über die Testung und das eingesetzte Lernprogramm abgeben. Dazu lagen ihnen drei Aussagen zur Bewertung auf einer 7-stufigen Skala vor sowie ein frei editierbares Textfeld, in das individuelle Kommentare eingetragen werden konnten (Abb. A1.9 im Anhang).

### **4.3. Stichprobe & Versuchsplan**

Die experimentelle Studie wurde im Rahmen einer Forschungsreihe zur Wirkungsanalyse computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge am Lehrstuhl für Arbeitspsychologie des Instituts für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. R. Schindler durchgeführt. Sie fügt sich thematisch und methodisch in den Standard dieser Reihe ein und ermöglicht so den studienübergreifenden Vergleich mehrerer Lernwerkzeuge (Schindler, in print, Wipper, 2004). An der Untersuchung nahmen 53 Personen teil, davon 25 Frauen (47%) und 28 Männer (53%). Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 25,7 Jahre (18 – 56 Jahre, SD = 5,91). Die überwiegende Mehrheit der Probanden (96%) verfügt mindestens über das Abitur.

Die Versuchspersonen wurden quasizufällig anhand anfallender Stichproben auf eine Kontrollgruppe (N = 24) sowie eine Experimentalgruppe (N = 29) aufgeteilt. Während der Kontrollgruppe nur Papier und Bleistift als Hilfsmittel zum Lernen zur Verfügung standen, konnten die Probanden der Experimentalgruppe zusätzlich das oben beschriebene Simulationswerkzeug verwenden. Art und Umfang der Toolnutzung stand den Versuchspersonen frei.

Die Probanden bearbeiteten das gesamte Experiment im Einzelversuch an einem Computer. Die Untersuchung dauerte ca. 1½ Stunden. Während der gesamten Zeit war der Versuchsleiter im Raum anwesend und stand für eventuelle Rückfragen zur Verfügung. Alle Untersuchungswerkzeuge wurden zu Beginn ihres Einsatzes akustisch-visuell vollstandardisiert erläutert. Die gesamten Aktionen der Versuchsteilnehmer wurden in einem Log-File auf Windows® Access® -Basis protokolliert.

### **4.4. Operationale Hypothesen**

Gegenstand der eingangs aufgestellten Forschungsfragen ist ein Vergleich der Variablenausprägungen einer Kontrollgruppe (KG) ohne die Unterstützung eines kognitiven Lernwerkzeuges mit den Ausprägungen einer Experimentalgruppe (EG), der ein Simulationstool zur Verfügung stand (vgl. Abschnitt 4.1).

#### **Forschungsfrage 1:**

*Bewirkt die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeugs eine höhere Lernleistung?*

#### **Hypothese H 1:**

*Die Probanden der EG besitzen durch die Verwendung eines Simulationstools ein elaborierteres mentales Modell als die Probanden der KG.*

In Anlehnung an die von Ballstaedt (1981, vgl. Kieras, 1988) postulierte enge Verknüpfung von mentalem Modell mit Inferenzen (V1), Kohärenzen (V2) sowie dem prozeduralem Wissen (V3) soll der Lernzuwachs durch diese drei Wissensbereiche geprüft werden. Rein auswendig gelerntes, textnahes Wissen reicht also nicht aus, um die Tests erfolgreich bestehen zu können. Darüber hinaus sollte in einer subjektiven Beurteilung der Testanforderung (V4) ein elaboriertes mentales Modell zu einer leichteren Bewältigung führen.

## **Variablen zur Testung der H 1**

### V1 Lösungsqualität der MC-Test-Fragen mit Inferenzcharakter:

Der Durchschnitt richtiger Lösungen in Multiple-Choice-Fragen, in denen die Lösung erschlossen werden muss, im Verhältnis zur Maximalanzahl richtiger Lösungen. Dabei ist entscheidend, dass alle richtigen Antwortmöglichkeiten von der VP angeklickt wurden. Nur zum Teil richtige Lösungen wurden als falsch beantwortet gewertet.

### V2 Lösungsqualität der MC-Test-Fragen mit Kohärenzcharakter:

Der Durchschnitt richtiger Lösungen in Multiple-Choice-Fragen, in denen zur Lösung Informationen mehrerer Textseiten zusammengeführt werden müssen, im Verhältnis zur Maximalanzahl richtiger Lösungen.

### V3 Lösungsgüte der Produktionsaufgabe:

Die Auswertung der beiden Produktionsaufgaben erfolgte in 4 Schritten. Als erstes wurde, unabhängig von der Reihenfolge ihrer Ausführung, das Vorhandensein von Operatoren zur Erfüllung einzelner Handlungsschritte geprüft, wobei für jeden identifizierten Operator ein Punkt vergeben wurde. Des Weiteren durfte jeder Operator nur einmal ausgeführt werden. Geschah dies nicht, wurde ein weiterer Punkt durch die Anzahl der Mehrfachaktionen geteilt; dementsprechend verringerte sich der Gesamtpunktwert. In einem dritten Schritt wurde kontrolliert, inwieweit die Reihenfolge der Operatoren innerhalb einer Ziel-Aktions-Einheit zur Erreichung eines Teilziels korrekt war. Auch hier wurde für jede richtige Abfolge ein Punkt vergeben. Zum Abschluss erfolgte die Prüfung der Reihenfolge aller Ziel-Aktions-Einheiten und eine Punktvergabe entsprechend der Prozesslogik. Aus dem Quotienten der gesamten und der maximal erreichbaren Punktzahl ermittelte sich die Lösungsqualität. Den Probanden wurden 2 Produktionsaufgaben vorgelegt. Bei der ersten sollte ein Verseifungsvorgang durchgeführt werden, bei der zweiten Aufgabe mussten 2 Durchläufe realisiert werden. Für die Berechnung der Variable *Qualität der Produktionsaufgabe* wurde das bessere der beiden Ergebnisse verwendet.

### V4 Bewertung der Schwierigkeit:

Wert zur Aussage „Insgesamt fiel mir die Bewältigung der Anforderungen ...“ auf einer fünfstufigen Rating-Skala von „0 = sehr leicht“ bis „4 = sehr schwer“.

Während das Konstrukt *Grad der Elaboriertheit des mentalen Modells* durch die Hypothese H1 operationalisiert wurde, soll anschließend der Aspekt einer veränderter Lernaktivitäten getestet werden.

### **Forschungsfrage 2:**

*Bewirkt die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeuges veränderte Lernaktivitäten?*

### **Hypothese H 2:**

*Die Probanden der EG zeigen durch die Verwendung eines Simulationstools mehr generative Aktivitäten in der Lernphase als die Probanden der KG.*

Hinter der Hypothese H 2 steht die implizite Annahme, dass sich Lernen durch mentales Bearbeiten von (Text-) Informationen ergibt, eine Lernleistung also das Nebenprodukt kognitiver Verarbeitung darstellt (siehe Kapitel 1). Unter diesem Gesichtspunkt ist die Lerngüte also abhängig von Aktivitäten kognitiver Verarbeitung, den so genannten generativen Aktivitäten. Als Generative Aktivitäten können in der verwendeten Versuchsanordnung sämtliche Denkprozesse außerhalb des Lesens von Textseiten, also dem Rezipieren von Information, angesehen werden (vgl. Schindler, in print). Als Variable, die alle generativen Aktivitäten zeitlich zusammenfasst, wird die *Gesamtlernzeit ohne Text* (V5) verwendet.

In die Berechnung dieser Variable fließt auch die Zeit mit dem Lernwerkzeug ein, die von den Probanden der EG im Vergleich zu denen der KG zusätzlich getätigt wird. Trotz dessen, dass diese Möglichkeit den Teilnehmern der KG von vorn herein nicht zur Verfügung stand, ist der Vergleich der Ausprägungen der beiden VG auf dieser Variable keineswegs trivial: Zum einen geschieht die Verwendung des Tools freiwillig und zum anderen kann die hierfür aufgewendete Zeit durchaus an anderer Stelle eingespart werden. Dadurch ergibt sich die Frage, ob die Versuchspersonen der EG durch das Werkzeug zusätzliche Zeit in das Lernen investieren oder ob sie möglicherweise bei gleicher Gesamt-Lerndauer ihre zeitlichen Ressourcen anders unter den verschiedenen generativen Aktivitäten aufteilen werden, in dem sie beispielsweise das Tool auf Kosten der Notizen und Zeichnungen anwenden.

Als weiterer beobachtbarer Indikator generativer Aktivität werden die Artefakte solcher Denkprozesse, spezifisch die Qualität der aufgezeichneten *Notizen* (V6) und *Zeichnungen* (V7), zur Beantwortung der H 2 herangezogen. Nach McArthur (1989) werden diese durch Lernwerkzeuge gefördert, da in beiden Fällen die gleichen mentalen Strukturen und Prozesse der Wissensgenerierung angesprochen werden.

## Variablen zur Testung der H 2

### V5 Gesamtlernzeit ohne Text:

Summe aller Zeiten, die außerhalb von Textseiten ausgeführt wurden. Dazu zählen das Aufrufen des Lernzieles, der Seitenauswahl, das Anfertigen von Notizen außerhalb der Textseiten sowie die Nutzung des Simulationstools.

### V6 Qualität der Notizen:

Quotient aus angefertigten Notizen und Gesamtzahl aller notierbaren Informationen aus den Textseiten. Hierbei wurde jeweils ein Punkt pro eindeutig erkennbarer Propositionseinheit vergeben.

### V7 Qualität der Zeichnungen:

Als Zeichnung gilt eine graphische Darstellung dann, wenn mindestens drei Bauelemente vorliegen, die durch mindestens zwei Verbindungen (Relationen) miteinander verknüpft sind. Der Qualitätsquotient ergibt sich aus dem Verhältnis der angefertigten Zeichnungen zur Gesamtdarstellung von SELMA.

## **4.5. Statistische Verfahren und Kennwerte**

Die zur statistischen Testung der Hypothesen eingesetzten Verfahren richten sich nach der Anzahl und den Datenniveaus der unabhängigen und abhängigen Variablen (metrisch, ordinal, nominal) sowie nach der Art der Fragestellung (Unterschiedshypothese, Zusammenhangshypothese). Die verwendeten Verfahren werden in Tabelle 2 dargestellt und im Folgenden kurz beschrieben.

T-Test: Dieses parametrische Verfahren prüft, ob sich die Mittelwerte zweier metrischer Verteilungen signifikant von einander unterscheiden (Marascuilo & Serlin, 1988, Wilcox, 1989). Voraussetzung zur Verwendung des T-Tests ist metrisches Datenniveau, Varianzhomogenität und Normalverteilung. Da der T-Test bei gleichen Stichprobenumfängen auf Verletzungen seiner Anforderungen sehr robust reagiert, wird dieses Verfahren auch dann angewendet, wenn metrisch skalierte Daten nicht normalverteilt oder varianzhomogen sind (Bortz, 1999).

Mann-Whitney-U-Test: Dieses parameterfreie Verfahren prüft, ob sich die mittleren Rangplätze zweier ordinaler Verteilungen signifikant von einander unterscheiden (Bortz, Lienert & Boehnke, 1990, Marascuilo & Serlin, 1988). Voraussetzung ist lediglich die Gleichverteilung der beiden Stichproben.

**Tab. 2:** Zur Anwendung kommende statistische Testverfahren in Abhängigkeit von der Fragestellung und dem Datenniveau.

		Metrisch	Ordinal	Nominal
Unterschiedshypothese	1UV / 1AV	T-Test	Mann & Whitney- U-Test	Chi- Quadrat-Test
	nUV / 1AV	ANOVA	/	/
Zusammenhangshypothese		Produkt-Moment-Korrelation	/	Punkt- biseriale Korrelation

Chi-Quadrat-Test: Dieses Verfahren prüft, ob sich die Häufigkeiten von Klassenbesetzungen (nominales Datenniveau) signifikant von einander unterscheiden (Bortz, Lienert & Boehnke, 1990).

Univariate Varianzanalyse ANOVA: Dieses parametrische Verfahren prüft, ob sich die Mittelwerte einer metrischen Variable auf Grund eines oder mehrerer Gruppenfaktoren signifikant von einander unterscheiden (Marascuilo & Serlin, 1988, Maxwell & Delaney, 1990). Auch hier stellt Bortz (1999) fest, dass Abweichungen von der Normalverteilung und von homogenen Varianzen vernachlässigbar sind, solange die Stichprobenumfänge in etwa gleich sind. Dieses Verfahren ermöglicht es, Interaktionseffekte zwischen Faktoren auszuweisen. Um die Gefahr eines falschen Schlusses bei Verletzung der Voraussetzungen zu reduzieren, wird hier das  $\alpha$ -Niveau (s. u.) auf 1% gesetzt. Stellt sich ein solcher Zusammenhang zwischen Versuchsgruppe und Forschungsreihe als bedeutend heraus, bedeutet dies, dass die Zugehörigkeit zur aktuellen bzw. zur Vergleichsreihe einen Einfluss auf den Leistungsunterschied zwischen Kontrollgruppe und Experimentalgruppe hat. Auf diese Weise wird die Verschiedenheit der Ergebnisse in den Forschungsreihen quantifiziert und gegebenenfalls als signifikant bewertet.

Levene-Test: Dieses parameterfreie Verfahren prüft die Varianzen zweier metrischer Variablen auf ihre Homogenität. Sollte dieser Test signifikant werden, wird die Verteilung der Variable auf Normalverteilung getestet (Bortz, 1999).

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest: Dieses parameterfreie Verfahren prüft, ob eine metrische Verteilung aus einer normalverteilten Grundgesamtheit stammt (Bortz, Lienert & Boehnke, 1990, Marascuilo & McSweeney, 1977, Siegel & Castellan, 1988). Wird die Nullhypothese (Annahme der Normalverteilung) abgelehnt, kann nicht von einer normalverteilten Stichprobe ausgegangen werden. Nach Labovitz (1970) kann dieses Verfahren auch dazu verwendet werden, um ordinale Daten auf Hyperordinalität zu prüfen.

Ist eine solche Eigenschaft festgestellt, können auch Daten auf ordinalem Niveau mit metrischen Testverfahren geprüft werden, wodurch sich die höhere Teststärke solcher Verfahren nutzen lässt.

Kolmogorov-Smirnov-Zweistichprobentest: Dieses parameterfreie Verfahren prüft, ob zwei Verteilungen aus derselben Grundgesamtheit stammen (Bortz, 1999).

Produkt-Moment-Korrelation: Dieses Verfahren nach Person prüft den Zusammenhang zweier metrischer Variablen, in dem die gemeinsame Varianz zweier Variablen ins Verhältnis zum Produkt der Einzelvarianzen gesetzt und auf Signifikanz geprüft wird (Bortz, 1999, Marascuilo & Serlin, 1988). Voraussetzung ist ein angenommener linearer Zusammenhang. Da die Prüfgröße zur Signifikanzbestimmung t-verteilt ist, kommend des Weiteren die Aussagen zur Voraussetzungsabhängigkeit des T-Tests (s. o.) zur Anwendung.

Punkt-biseriale Korrelation: Dieses Verfahren prüft den Zusammenhang zwischen einer metrischen und einer nominalen Variable (Bortz, 1999). Dieses Verfahren entspricht in seiner Herangehensweise dem T-Test für unabhängige Stichproben.

Die Hypothesentestung erfolgt auf einem a priori festgelegten Signifikanzniveau von 0,05 (ausgenommen die Ergebnisse der ANOVA), d.h. das Risiko, die Nullhypothese (ein Unterschied ist nicht vorhanden) irrtümlich abzulehnen, beträgt maximal 5%. Unterschreitet ein Unterschied in den Testwerten das 1%-Niveau, so wird dies gesondert kenntlich gemacht. Über die Testgrößen und die exakten Wahrscheinlichkeiten hinaus werden die jeweiligen Effektgrößen für alle parametrischen Verfahren angegeben. Weiterhin finden sich im Anhang die entsprechenden Voraussetzungstests, Teststärken sowie eine Angabe der 95%-Konfidenzintervalle.

Alle statistischen Analysen werden mit dem Statistikpaket SPSS für Windows<sup>®</sup>, Version 11.5.1 durchgeführt. Die Berechnung der Effektgrößen und Teststärken erfolgt mit dem Programm GPOWER<sup>®</sup>, Version 2.0 (Faul & Erdfelder, 1992), wobei als Standardabweichung bei den T-Tests die gepoolte Standardabweichung<sup>2</sup>, bei einer univariaten Varianzanalyse (ANOVA) die Wurzel aus dem Mittel der Fehlerquadratrate (root mean square error) verwendet wird.

## 4.6. Verwendung gerichteter Hypothesen

Im Abschnitt 2.3 wurden in Bezug auf die aktuelle Forschungsreihe einzig gerichtete Hypothesen formuliert. Pospeschill (2006) (vgl. Leonhart, 2004, Sachs, 2000) begründet ein solches Vorgehen damit, dass einseitige Tests dann eingesetzt werden sollten, wenn (1) a priori bereits genügend Informationen für eine gerichtete Hypothese vorhanden sind und (2) keine zwei konkurrierende Theorien mit gegensätzlicher Ausrichtung existieren. Diese Informationen können aus einer abgesicherten Theorie oder aus vorherigen Studien stammen. Demnach vermitteln einseitige Tests den Eindruck besonderer Präzision, da der Hypothesentest nicht einfach einen generellen, sondern einen Effekt mit spezifischer Ausrichtung voraussagt.

Die Ergebnisse von Untersuchungen, die ähnlich zu der vorliegenden Arbeit die Verwendung eines computergestützten Simulationstools (Römer, 2005, Baartz, 2001) untersuchen, stützen die oben angeführten Annahmen empirisch. Darüber hinaus lassen sich im Feld der Wirkungsanalyse kognitiver Lernwerkzeuge keine zwei Theorien finden, die gegensätzliche Prädiktionen treffen. Vielmehr können die Theorien zur Erklärung verstehenden Lernens dahingehend interpretiert werden, dass die Verwendung eines solchen Tools grundsätzlich zu einer höheren Lernleistung führt, wenn durch sie Aktivitäten angeregt werden, die in der Konsequenz zu hohen Lernleistungen führen. Ein solcher Zusammenhang wurde von Wipper (2004) nachgewiesen.

## 4.7. Die Vergleichs-Forschungsreihe

T. Baartz (2001) schildert in seiner Diplomarbeit die Ergebnisse einer experimentellen Studie, in der ein gleiches kognitives Lernwerkzeug (ein Simulationstool) verwendet wurde. Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurden alle Testinstrumente übernommen und an das veränderte Lernmaterial angepasst (Parallelisierung). Dadurch werden die Anforderungen an eine Replikationsstudie erfüllt. Um dennoch die Inhaltsunabhängigkeit festzustellen, werden in den textbasierten Informationsbasen, die in Umfang und Schwierigkeit etwa gleich blieben, verschiedene technische Anlagen beschrieben. So handelt es sich in der aktuellen Forschungsreihe um eine Anlage zur Seifenherstellung und in der Vergleichsreihe um eine

---

<sup>2</sup> Formel für die Berechnung der gepoolten Standardabweichung: 
$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Alkoholmaschine. Darüber hinaus wird zur Simulation eine andere Abbildung verwendet, deren Bedienung aber gleichartige Operatoren erfordert.

## 5. Darstellung der Ergebnisse

Zu Beginn dieses Kapitels sollen die beiden Teilstichproben auf ihre Vergleichbarkeit geprüft werden. Anschließend erfolgt die inferenz-statistische Prüfung der Hypothesen. Die Ergebnisse der Voraussetzungstests, die Konfidenzintervalle und Teststärken finden sich im Anhang. Darüber hinaus sind dort die entsprechenden Angaben zur vergleichenden Forschungsreihe von Baartz (2001) aufgeführt.

### 5.1. Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen

Die in Tabelle 3 dargestellten Unterschiede in der Geschlechterverteilung erweisen sich im Chi-Quadrat-Signifikanztest als nicht bedeutend,  $Chi\text{-}Quadrat = 1,65$ ,  $p = 0.2$ .

**Tab. 3:** Geschlecht – Häufigkeit (N = 53)

		<i>KG</i>	<i>EG</i>	$\Sigma$
<b>Geschlecht</b>	<b>N (weiblich)</b>	9	16	25
	<b>N (männlich)</b>	15	13	28
	$\Sigma$	24	29	53

Die Probanden der KG waren im Mittel 25,3 Jahre alt ( $SD = 4,59$ ), der EG 26,1 Jahre ( $SD = 1,28$ ). Die Unterschiede in der Altersverteilung sind ebenfalls nicht signifikant,  $T(51) = -0,45$ ,  $p = 0,66$ .

Um die weitere Vergleichbarkeit der beiden Teilstichproben zu bestimmen, wurde die Vorerfahrung im Umgang mit Computern und mit computergestützten Lernprogrammen erfasst. Insgesamt gibt es ein ausgeglichenes Spektrum an Computerkenntnissen. Die Mehrheit der Probanden gab an, fünf oder mehr Stunden pro Woche den PC zu verwenden. Die Mehrheit der Versuchspersonen schätzt seine Erfahrungen mit Lernprogrammen als gering ein bzw. gab an, keine zu besitzen. In diesen drei Punkten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (Tab. 4).

**Tab. 4:** Items zur Vorerfahrung - Mittlere Ränge, Rangsummen und Mann-Whitney-U-Test auf Signifikanz der Unterschiede (N = 53).

		<i>Mittlerer Rang</i>	<i>Rangsumme</i>	<i>U</i>	<i>p</i>
<b>Computerkenntnisse</b>	<b>KG</b>	28,27	678,5	317,5	0,57
	<b>EG</b>	25,95	752,5		
<b>Zeit am Computer</b>	<b>KG</b>	26,98	647,5	347,5	0,99
	<b>EG</b>	27,02	783,5		
<b>Erfahrung mit Lernprogrammen</b>	<b>KG</b>	30,42	730,0	266,0	0,1
	<b>EG</b>	24,17	701,0		

Anmerkung:

*U* = Wert der Prüfgröße im Rangsummenvergleich zwischen den Versuchsgruppen

Die Prüfung der Hypothesen setzt eine Nutzung des Lernwerkzeuges voraus. In der aktuellen Probandenpopulation nutzten alle Probanden das Simulationswerkzeug, denen es zur Verfügung stand. Unter den Teilnehmern der Versuchsgruppe aus der Forschungsreihe von Baartz (2001) nutzten 18 von 20 Personen (90%) das Tool. Zur weiteren Auswertung wurden die beiden Nicht-Nutzer aus der Hypothesenprüfung ausgeschlossen.

## 5.2. Werkzeugnutzung

Da der Einfluss des Tools sich nur als Folge seiner Anwendung zeigen kann, ist die Werkzeugnutzung von entscheidender Bedeutung. Als die beiden entscheidenden Indikatoren dienen die Qualität<sup>3</sup> und die Dauer<sup>4</sup> der Toolnutzung. In der Tabelle 7 ist in beiden Variablen eine große Bandbreite zwischen kleinsten und größten Werten zu erkennen, was sich auch in einer relativ großen Streuung widerspiegelt. Die Daten der Baartz-Reihe vermitteln ein ähnliches Bild (Baartz, 2001), wenn auch insgesamt auf einem niedrigeren Niveau.

**Tab. 5:** Qualität (Quotient) und Quantität (Zeit in Minuten) der Toolnutzung – Häufigkeiten (N = 29).

	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
<b>Toolnutzungsqualität</b>	0,00	1,00	0,61	0,43
<b>Toolnutzungsdauer</b>	0,48	43,06	13,4	9,09

### Variablen zur Testung der Werkzeugnutzung

#### V8 Toolnutzungsqualität:

Quotient aus dem besten Versuch eines Verseifungsvorganges und dem vollständigen Durchlauf. Die Berechnung erfolgt analog zur Lösungsgüte der Produktionsaufgabe (V3). Die Extrempole dieser Dimension entsprechen somit zum Einen der Nutzung des Tools als Bild (Quotient = 0) und zum Anderen einem vollständigem, simuliertem Verseifungsvorgang (Quotient = 1). Toolaktionen darüber hinaus fanden keine Berücksichtigung in der Bewertung.

V9 Toolnutzungsdauer:

Zeit in Minuten auf dem Lernwerkzeug

**5.3. Analyse der Hypothesen**

Im Folgenden werden die Hypothesen, wie sie in Kapitel 2 bereits erläutert wurden, im Einzelnen noch einmal genannt und die betreffenden Ergebnisse der inferenz-statistischen Analysen in Form von Tabellen, unterstützt durch graphische Abbildungen, dargestellt. Darin enthalten sind die deskriptiven Angaben zur Häufigkeit, die Prüfung auf Signifikanz der Unterschiede innerhalb der aktuellen Forschungsreihe (mittels T-Test) sowie zwischen den Forschungsreihen (F-Test der ANOVA). Die entsprechenden deskriptiv- und inferenz-statistischen Angaben zur Vergleichsreihe von Baartz (2001) finden sich im Anhang.

**Hypothese H1:**

*Die Probanden der EG besitzen durch die Verwendung eines Simulationstools ein elaborierteres mentales Modell als die Probanden der KG.*

Die Probanden der Experimentalgruppe weisen in den Inferenz-Aussagen des Multiple-Choice-Tests als Teil des deklarativen Wissens signifikant höhere Werte gegenüber der Kontrollgruppe auf. Die Befunde in der Bewertung von Kohärenzaussagen zeigen eine deutliche Tendenz, die den in der Hypothese vorhergesagten Trend bestätigt (Tab. 6).

**Tab. 6:** MC-Test- Ergebnisse aggregiert nach Kohärenz und Inferenz (Quotient) – Häufigkeiten, T-Test und F-Test auf Signifikanz der Unterschiede ( $N_T = 53$ ,  $N_F = 91$ , T df = 51, F df = 1).

		<i>M</i>	<i>Mdn</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>T</i>	$p_T$	<i>F</i>	$p_F$
	<b>KG</b>	0,68	0,04	0,21					
<b>MC: Kohärenz</b>					-0,07	-1,29	0,1	1,03	0,31
	<b>EG</b>	0,75	0,03	0,16					
	<b>KG</b>	0,67	0,04	0,2					
<b>MC: Inferenz</b>					-0,03	-1,57	0,06	0,13	0,72
	<b>EG</b>	0,75	0,03	0,16					

Anmerkung:

\* = auf 5%- Niveau signifikant

*F* = Wert der F-verteiltten Prüfgröße im Mittelwertsvergleich zwischen den Forschungsreihen von Kunert (2006) und Baartz (2001)

$p_F$  = Signifikanzniveau der Prüfgröße im Mittelwertsvergleich zwischen den Forschungsreihen von Kunert (2006) und Baartz (2001)

Der oben beschriebene Effekt eines Leistungsunterschiedes zwischen den Versuchsgruppen lässt sich auch im prozeduralen Wissen (Lösungsgüte der Produktionsaufgabe) nachweisen. Hier ist die Differenz zwischen EG und KG auf dem 0,03%-Niveau signifikant (Tab 9).

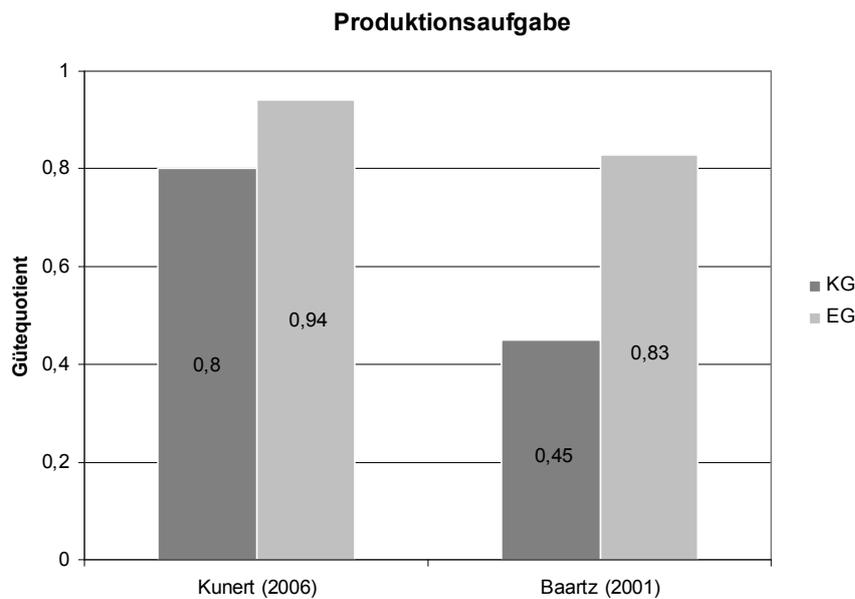
**Tab. 7:** Qualität der Lösung der Produktionsaufgabe (Quotient) – Häufigkeiten, T-Test und F-Test auf Signifikanz der Unterschiede ( $N_T = 53$ ,  $N_F = 91$ , T df = 51, F df = 1).

		<i>M</i>	<i>Mdn</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>T</i>	$p_T$	<i>F</i>	$p_F$
	<b>KG</b>	0,8	0,06	0,31					
<b>Produktionsaufgabe</b>					-0,13	-2*	0,03	4,77	0,03
	<b>EG</b>	0,94	0,02	0,94					

Anmerkung:

\* = auf 5%- Niveau signifikant

Betrachtet man die Werte des F-Tests, so stellt man in den Variablen *Kohärenz* und *Inferenz* keine bedeutenden Unterschiede fest, d.h. die hier gefundenen Ergebnisse werden durch die Forschungsreihe von Baartz (2001) bestätigt. Dagegen weist die Variable *Produktionsaufgabe* einen sehr hohen Unterschied zwischen der aktuellen und der zum Vergleich herangezogenen Forschungsreihe auf. Dieser Befund erklärt sich, wenn man die Mittelwerte beider Reihen heranzieht. Abbildung 7 verdeutlicht den großen Leistungsunterschied zwischen KG und EG in der Forschungsreihe von Baartz (2001), der das Niveau der aktuellen Reihe weit übersteigt. Da jedoch beide Ergebnisse demselben Trend folgen und jeder für sich auch signifikant ist, stellt der hohe F-Wert keinen Hinweis auf einen Mittelwertsunterschied dar, der verschiedenen Trends folgt oder sich in einer der beiden Reihen als nicht bedeutend erweist (s. Kapitel 4).



**Abb. 6:** Graphische Darstellung der Gruppenunterschiede in der Lösungsgüte der Produktionsaufgabe für beide Forschungsreihen.

Die Testung der Unterschiede in der Beantwortung des Items *Bewältigung* aus dem Fragebogen zum Lernprogramm (FzL) ergab einen signifikanten Effekt (Tab 10). Den Probanden der EG fiel es bedeutend leichter, die an sie gestellten Lernanforderungen zu bewältigen. Dieser Befund gilt nicht für die andere Forschungsreihe, in welcher der hypothesenkonforme Trend das Signifikanzniveau verfehlt (Baartz, 2001). Eine inferenzstatistische Quantifizierung dieses Unterschiedes in den Forschungsreihen kann auf Grund des ordinalen Datenniveaus nicht erfolgen.

**Tab. 8:** Item zur Bewältigung - Mittlere Ränge, Rangsummen und Mann-Whitney- U-Test auf Signifikanz der Unterschiede (N = 53).

		<i>Mittlerer Rang</i>	<i>Rang summe</i>	<i>U</i>	<i>p</i>
	KG	32,0	768,0		
<b>FzL: Bewältigung</b>				228,0**	0,01
	EG	22,86	663,0		

Anmerkung:

\*\* = auf 1%-Niveau signifikant

Insgesamt betrachtet verlaufen die Mittelwertsunterschiede aller Variablen, die zur Testung der Hypothese 1 verwendet werden, in die darin postulierte Richtung.

**Hypothese H 2:**

*Die Probanden der EG zeigen durch die Verwendung eines Simulationstools mehr generative Aktivitäten in der Lernphase als die Probanden der KG.*

Die Gesamtlernzeit ohne (die Zeit auf den) Textseiten zeigt einen deutlichen Unterschied in der Ausprägung zwischen den Versuchsgruppen, der auf dem 1%-Niveau signifikant ist (Tab. 11) und von der Baartz-Reihe bestätigt wird.

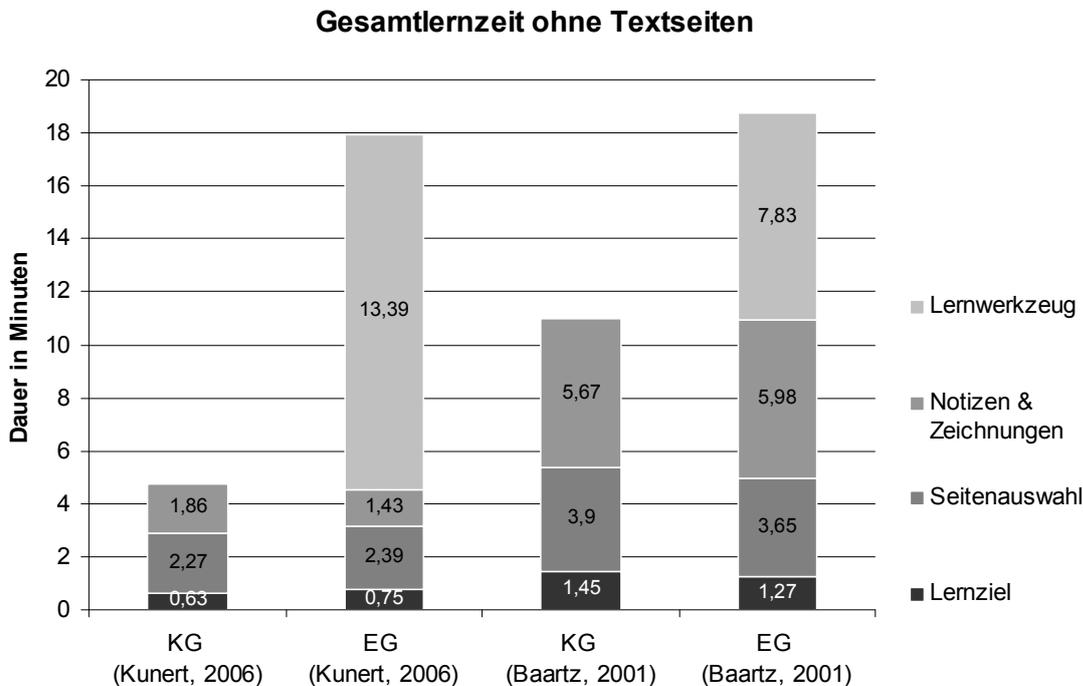
Die Abbildung 8 verdeutlicht den Unterschied nochmals graphisch und legt die Zusammensetzung der Lernzeit offen. Klar zu erkennen ist, dass der signifikante Zuwachs an Lernzeit in beiden Forschungsreihen fast ausschließlich auf die Nutzung des Lernwerkzeuges zurückzuführen ist.

**Abb. 7: Gesamtlernzeit ohne Textseiten (Zeit in Minuten) - Häufigkeiten und T-Test auf Signifikanz der Unterschiede (N = 53, T df = 51, F df = 1).**

	KG	M	Mdn	SD	MD	T	p <sub>T</sub>	F	p <sub>F</sub>
Gesamtlernzeit ohne Text		4,76	0,93	4,54	-13,19	-5,74**	< 0,01	1,86	0,17
	EG	17,95	2,1	11,32					

Anmerkung:

\*\* = auf 1%-Niveau signifikant



**Abb. 8: Zusammensetzung und Dauer der Gesamtlernzeit ohne Textseiten.**

Die Unterschiede in der Dauer der anderen Zeiten generativer Aktivität sind nicht signifikant. In der Vergleichsreihe findet sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied in der Gesamtlernzeit ohne Text, wenn auch nicht in gleich großem Umfang. Des Weiteren fällt der Anteil, den die Verwendung des Tools an der Gesamtlernzeit ausmacht, auf. Dieser beträgt in der aktuellen FR 75%, in der Vergleichsreihe von Baartz (2001) 42%.

Die beiden anderen Variablen zur Messung der generativen Lernaktivitäten, die *Qualität der Notizen* und *der Zeichnungen*, ergeben etwa gleiche Werte für die EG und KG; die Unterschiede sind marginal (Tab. 12). Dieser Befund wird durch die Forschungsreihe von Baartz (2001) bestätigt.

**Tab. 9:** Qualität der Notizen und Zeichnungen (Quotient) - Häufigkeiten und T-Test auf Signifikanz der Unterschiede (N = 53, T df = 51, F df = 1).

		<i>M</i>	<i>Mdn</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>T</i>	<i>p<sub>T</sub></i>	<i>F</i>	<i>p<sub>F</sub></i>
	KG	0,15	0,02	0,11					
Qualität d. Notizen					0,00	-0,15	0,44	1,29	0,26
	EG	0,16	0,02	0,1					
	KG	0,38	0,08	0,39					
Qualität d. Zeichnungen					0,03	0,25	0,4	0,28	0,6
	EG	0,35	0,07	0,39					

Im Fazit wirkt sich der Gebrauch des Tools zwar auf die Gesamtlernzeit aus, nicht jedoch auf die anderen beiden generativen Aktivitäten Notizen und Zeichnungen, was die Hypothese 2 nur zum Teil bestätigt.

## 6. Zusammenfassung & Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden werden die oben angeführten Ergebnisse zusammengefasst und in ihrer Gesamtheit bewertet. Die Reihenfolge orientiert sich an der Darstellung im vorangegangenen Kapitel.

### 6.1. Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen

Sowohl in der Alters- als auch in der Geschlechtsverteilung ergaben sich nur geringfügige Unterschiede. Die Werte im Vorwissen bzgl. der PC-Nutzung und über Lernprogramme lassen ebenfalls nicht auf unterschiedliche Voraussetzungen schließen. Ein Effekt auf die Lernleistung dieser Variablen kann zwar nicht ausgeschlossen werden. Da jedoch die KG und EG homogen sind in ihrer Verteilung, wird diese Varianzquelle kontrolliert. Somit bleibt ein Einfluss auf die Prüfung der Hypothesen aus.

### 6.2. Beantwortung der Forschungsfragen

#### **Forschungsfrage 1:**

*Bewirkt die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeugs eine höhere Lernleistung?*

Die Forschungsfrage 1 kann für das verwendete Simulationswerkzeug eindeutig bejaht werden. Für die MC-Test-Aussagen der Inferenz und in der Lösungsgüte der Produktionsaufgabe ergab sich ein signifikant größerer Lernzuwachs der EG im Vergleich zur KG. Die Ergebnisse des MC-Tests zu Kohärenz-Aussagen zeigen einen sehr deutlichen hypothesenkonformen Trend. Die Ergebnisse der Forschungsreihe von Baartz (2001) bestätigen diesen Befund. Diese Resultate unterstützen die Annahme, dass das Simulationstool die Bildung Mentaler Modelle und damit verstehendes Lernen positiv beeinflusst.

Eine ex-post-facto durchgeführte Korrelationsanalyse der Nutzungsqualität und –quantität des Tools mit den Lernzustandsvariablen (siehe Tab. 10) verdeutlicht die enge Beziehung zwischen dem Gebrauch des Werkzeuges und der Lernleistung. Zu erkennen ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Dauer der Werkzeugnutzung und der Lernleistung. Betrachtet man die Qualität der Toolnutzung, ist die Enge des Zusammenhanges mit der Lösungsgüte der Produktionsaufgabe ebenfalls auf dem 1%-Niveau signifikant. Für die MC-Test-Aussagen ergibt sich ein deutlicher Trend.

**Tab. 10:** Korrelationsmatrix mit Variablen zur Lernzustandsmessung & Toolnutzung (N = 53).

	<i>MC-Test Kohärenz</i>	<i>MC-Test Inferenz</i>	<i>Produktionsaufgabe</i>
<b>Toolnutzungszeit</b>	0.36*	0.4*	0.5**
<b>Toolnutzungsqualität</b>	0.21	0.28	0.49**

Anmerkung:

\* = auf 5%- Niveau signifikant

\*\* = auf 1%- Niveau signifikant

Unterlegt wird dieser Befund durch die Tatsache, dass es den Probanden, denen das Tool zur Verfügung stand, bedeutend (aktuelle FR) bzw. tendenziell (Baartz, 2001) leichter fiel, die an sie gestellte Aufgabe zu bewältigen. Verbindet man die Ergebnisse an dieser Stelle miteinander, so ergibt sich ein sehr homogenes Bild der lernförderlichen Wirkung eines Simulationswerkzeuges.

### **Forschungsfrage 2:**

*Bewirkt die Verwendung eines kognitiven Lernwerkzeuges veränderte Lernaktivitäten?*

Die Forschungsfrage 2 kann für das verwendete Simulationswerkzeug ebenfalls bejaht werden. So fertigen die Teilnehmer beider Versuchsgruppen in etwa gleich viele *Notizen* und *Zeichnungen* an. Gleichzeitig investieren die Probanden der EG signifikant mehr Zeit in das Lernen durch eine längere Beschäftigung mit generativen Aktivitäten. Wie die Aufgliederung der *Lernzeit ohne Textseiten* zeigte, geht deren Zuwachs in dieser Versuchsgruppe fast ausschließlich auf die Toolanwendung zurück. Da neben der Zeit mit anderen generativen Aktivitäten auch die Qualität der Notizen und Zeichnungen im Vergleich zur KG in etwa gleich blieb, nutzen die Probanden der EG das Lernwerkzeug zusätzlich zu allen anderen Aktivitäten. Dies bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass ein solches Tool klassische Paper-Pencil-Handlungen<sup>5</sup> nicht verdrängt sondern sie in ihrer Wirkung unterstützt. Die Ergebnisse der Baartz-Reihe bestätigen diesen Befund.

Eine Folge dieser Nutzungscharakteristik ist der vermehrte Zeitaufwand: Trotz dessen, dass die Menge, Einteilung und Verwendung der Zeit außerhalb der Textseiten in keiner Weise restringiert und die Entlohnung der Teilnahme unabhängig von der Dauer des Experiments festgelegt war, investierten die Versuchspersonen der EG aus der aktuellen Forschungsreihe im Vergleich fast vier mal soviel Zeit mit generativen Aktivitäten.

Dadurch dauert deren Lernphase durchschnittlich ca. 60% länger als die der KG. Innerhalb der Baartz-Reihe beträgt der Anstieg 30%. Dieser Befund lässt auf eine höhere Investitionsbereitschaft in das Lernen schließen.

Fasst man die Ergebnisse zu den beiden Forschungsfragen zusammen, kann das eingangs formulierte Ziel dieser Untersuchung - die Verwendung eines Lernwerkzeuges verwickelt die Nutzer in generative Lernaktivitäten, aus denen höhere Lernleistung resultiert – als erreicht gelten

### **6.3. *Generalisierbarkeit der Ergebnisse***

Die Ergebnisse des Vergleichs der aktuellen Forschungsreihe mit der von Baartz (2001) ergeben ein eindeutiges Bild: Während sich die Variation der Versuchsumgebung (Verwendung eines Simulationstools) als bedeutend bzw. als starker Trend für die Lernleistung herausstellt, verursacht der verwendete Inhalt (ausgedrückt in den verschiedenen Forschungsreihen) keine Unterschiede, weder in Bezug auf die Bildung eines Mentalen Modells noch auf die generativen Lernaktivitäten. Das zweite Ziel dieser Untersuchung, die psychologische Wirkung eines Simulationswerkzeuges auf das verstehende Lernen als generalisierbar auszuweisen, ist somit ebenfalls erreicht.

## 7. Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit ist es gelungen, die lernförderliche Wirkung eines Simulationswerkzeuges durch die Verwicklung des Toolnutzers in zusätzliche Lernaktivitäten nachzuweisen. Probanden, die das Tool in der Lernphase verwendeten, zeigten in Abhängigkeit von der Häufigkeit und der Güte seines Gebrauchs bessere Ergebnisse sowohl im deklarativen als auch im prozeduralen Wissen. Zum Einen wird damit der Einsatz solcher Hilfsmittel für das individuelle Lernen empirisch befürwortet, zum Anderen ist eine der psychologischen Wirkweisen, auf denen der unterstützende Effekt beruht, in Form generativer Aktivitäten nachgewiesen worden. Wie sich zeigte, führten die Versuchspersonen zusätzlich zu den übrigen Aktivitäten Operationen am Lernwerkzeug durch und investierten somit insgesamt mehr Zeit und Mühe in das Lernen. Darüber hinaus konnte durch einen Vergleich mit der parallelen Versuchsreihe von Baartz (2001) die Inhaltsunabhängigkeit der Befunde aufgezeigt werden. Dies trägt dazu bei, die oben beschriebenen Effekte für Simulationswerkzeuge als allgemein gültig zu betrachten (vgl. Kapitel 3).

### 7.1. Bedeutung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich gut in den Stand der allgemeinen Forschung einfügen. Es wurde die Lernförderlichkeit computergestützter kognitiver Lernwerkzeuge für das verstehende Lernen aus Texten nachgewiesen. Dieser Befund reiht sich in ähnliche Erkenntnisse z. B. im Bezug zum entdeckenden Lernen (scientific discovery learning) oder dem kooperativen Lernen durch Multimedia-Unterstützung (Computer Supported Cooperative Work) ein.

Des Weiteren ist die Übertragbarkeit der Annahmen bzgl. generativer Lernaktivitäten von Wittrock auf Lernwerkzeuge am Computer empirisch gerechtfertigt worden. Das Ausmaß solcher kognitiven Prozesse steht in dieser Untersuchung in einem engen Zusammenhang mit der Bildung eines mentalen Modells. Dies bedeutet, dass die Aussagen von Mayer (2005, siehe Kapitel 2) in diesem Punkt bestätigt werden können.

### 7.2. Diskussion der Methoden

Als methodisch unproblematisch zeigte sich die Anzahl der Versuchspersonen. In den beiden für diese Arbeit untersuchten Teilstichproben wurden 24 bzw. 29 Probanden getestet. Die erforderliche Anzahl an Studienteilnehmern bewegt sich naturgegeben in einem Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und Teststärke. Bis auf die *Lösungsgüte der MC-*

*Test-Aussagen zur Inferenz* reichte die Stichprobengröße aus. Um in der genannten Variable einen signifikanten Effekt zu erzielen, wären dagegen mindestens 54 Personen nötig gewesen. Für die allgemeine Aussagekraft dieser Untersuchung war der Stichprobenumfang also vollkommen ausreichend.

Ein weiterer, für solche Untersuchungen stets neuralgischer Punkt, ist die Anzahl der Toolnutzer. Sie stellte sich als sehr positiv in dieser Untersuchung heraus. Alle Probanden bzw. 90% der Versuchsteilnehmer in der Baartz-Reihe gebrauchten die Simulation. Dies kann als Indikator für die anfängliche Attraktivität des Lernwerkzeuges im Sinne Lockwoods (1992) angesehen werden. Demnach beruht der Anreiz eines Werkzeuges auf dem erwarteten Zusatznutzen im Verhältnis zum kognitiven Mehraufwand für den Anwender (vgl. Kapitel 2). Der beeindruckend hohe Toolgebrauch zeigt die unter den Probanden weit verbreitete Erwartung eines solchen Mehrwertes.

Welchen Einfluss andere Faktoren hatten, die die Toolnutzung betreffen, muss offen bleiben. Möglicherweise spielen der Neuheitswert der Simulation oder die experimentelle Situation, in der sich die Probanden während des Lernens befanden, eine Rolle. So ist es zum Beispiel grundsätzlich möglich, dass ein Teil der Versuchspersonen das Lernwerkzeug nur deshalb nutzten, weil sie es im Rahmen der Studie für wichtig und angebracht erachteten. Gegen diesen Verdacht spricht die Art der Instruktion, in der zwar auf das Tool hingewiesen wird, aber sein Gebrauch nicht empfohlen oder gar gefordert wurde. Darüber hinaus sind niedrigere Nutzungsquoten bei anderen Lernwerkzeugen in experimentellen Situationen durchaus normal (Wipper, 2004).

Während die Probanden das bereitgestellte Werkzeug sehr gut annahmen, ist das dieser Arbeit zu Grunde liegende Konzept durchaus kontrovers. Unklar ist, in wie fern mit der verwendeten Versuchsanordnung nur der Einfluss generative Lernaktivitäten am Tool auf die Ausbildung eines mentalen Modells gemessen wurde. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, bedingen den Wissenszuwachs mehrere Wirkfaktoren, die kognitiven Lernwerkzeugen zugeschrieben werden. In diesem Falle ist beispielsweise der *enactment-effect* (Cohen, 1981) und die Funktion einer *Orientierungsaufgabe* (Hyde & Jenkins, 1969) nicht kontrollierbar gewesen. Um deren Effekt von den generativen Aktivitäten zu trennen, bedarf es weiterer, differenzierender Testungen. Die Konfundierung der Daten durch andere lernunterstützende Faktoren (vgl. Kapitel 2), kann mit aller Wahrscheinlichkeit vernachlässigt werden. Durch das Weglassen jeglicher Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Tätigkeiten, reduzierte sich beispielsweise die Funktion der *Verstehensüberwachung* (Brown, 1978) für die Probanden auf ein Minimum.

Ein weiterer konzeptioneller Diskussionspunkt in Bezug auf das Tool betrifft die Inhaltsleere als voraussetzendes Merkmal von kognitiven Lernwerkzeugen (siehe Kap. 2). Die hier zur Anwendung gekommene Simulation ist insoweit frei von Inhalt, dass ihre Komponenten in keiner Weise beschriftet oder andersartig sinnvoll gekennzeichnet sind. Die Abbildung der technischen Anlage macht ohne zusätzliche Informationen (aus der Textbasis) „keinen Sinn“. Der vollständige Wegfall von Inhalt symbolisiert ein weißes Blatt Papier, das als Projektionsfläche von Wissen dienen kann, wenn es denn mit Inhalt „gefüllt“ wird, d. h. wenn man darauf etwas schreibt oder zeichnet. Davon ist das Simulationswerkzeug dieser Untersuchung weit entfernt. Vielmehr sind sowohl die sichtbare Struktur der Anlage als auch die in ihr auslösbaren Prozesse vorgegeben. Dadurch ist der Handlungsspielraum der Probanden, Wissen durch eine kreative Handlung zu externalisieren, hier stark eingeschränkt ist. Was bleibt, ist das Erkennen der Bedeutung einzelner Teile der Anlage sowie das Durchführen von Bedienungsoperatoren. Inwiefern diese Aktivitäten den Anforderungen an Lernwerkzeuge auf der *Generativity*-Dimension (vgl. Kapitel 2) genügen, kann kritisch betrachtet werden. Letztlich wird kein computergestütztes kognitives Lernwerkzeug die Anforderung der Inhaltsleere vollständig erfüllen, da ein Grundmaß an vorgegebener Struktur für ein Computer-Tool, das über einen elektronischen Schreibblock hinausreichen soll, notwendig ist.

Es stellt sich die Frage, um wie viel der Lernzuwachs noch gesteigert werden kann, lässt man den Toolnutzern mehr Freiheitsgrade in der Anwendung. Damit erhöht sich naturgegeben aber auch der kognitive Aufwand zur Bedienung des Werkzeuges, was nach Sweller (1999) wiederum lernhinderlich wirkt. An dieser Stelle zeichnet sich das Dilemma in der Konstruktion von Lernwerkzeugen ab: Die lernförderliche Wirkung solcher Werkzeuge darf möglichst nicht auf Kosten der kognitiven Mehrbelastung durch ihre Bedienung gewonnen werden. Andererseits müssen diese Tools Anforderungen stellen, die den Nutzer in (aufwändige) Aktivitäten verwickelt, die letztlich lernförderlich sind.

Betrachtet man die Voraussetzungstests dieser Untersuchung, wurde mit dem Fragebogen zur aktuellen Motivationslage FAM ein starker Fokus auf die Bereitschaft zum Lernen gelegt. Laut Weinert (1996) spielt beim Wissensaufbau neben der Motivation das Vorwissen eine wesentliche Rolle. Da verstehendes Lernen dadurch gekennzeichnet ist, dass erworbene Informationen in ein bestehendes Wissensnetzwerk eingebettet werden, ist die Anzahl der möglichen Anknüpfungspunkte ein wichtiger Faktor. In Bezug auf die vorliegende Arbeit bedeutet das: Umso mehr Vorwissen man mitbringt, desto eher sieht man den großen Zusammenhang in einem Text (Kohärenz) und desto besser kann man Lehrstellen füllen

(Inferenz), was wiederum zur Bildung eines Mentalen Modells beiträgt. Die Crux liegt in der Messung des Vorwissens. Indem man versucht, möglichst alle relevanten Aspekte abzufragen, gibt man gleichzeitig Hinweise und Informationen an die Probanden, die sie vorher vielleicht nicht hatten. Aus diesem Grund wurde auf einen solchen Test verzichtet und stattdessen auf eine Wissensdomäne ausgewichen, von der man annehmen kann, dass Studenten der Psychologie wenig darüber kennen. Die Intelligenz als dritte Größe der Informationsverarbeitung ist laut Weinert (1996) dagegen weitestgehend un-bedeutend.

Neben dem verwendeten Lernwerkzeug und den Voraussetzungstests ist die Art der Lernzustandsmessung kritisch zu betrachten. Zur Erfassung des prozeduralen Anteils am mentalen Modell wurden die Probanden in der Produktionsaufgabe vor ein einfaches Problem gestellt, in dem sie aus einer vorgegeben Menge an Ausgangsstoffen eine geforderte Menge an Seife virtuell herstellen sollten. Diese Testform erfüllt die Kriterien *wohldefinierter Probleme* von Newell & Simon (1972): (1) ein transparenter Anfangszustand, (2) ein festgelegter Zielzustand und (3) eine endliche Anzahl von bekannten Operatoren. Determinanten dieses einfachen Problemlösens, die ebenfalls einen Einfluss auf die Lösungsgüte in der Produktionsaufgabe haben könnten, sollten allerdings nicht zur Geltung kommen, da die vorliegende Untersuchung einen instruktions-psychologischen Aufbau hat, in der die Fähigkeit zur Steuerung der Simulation wesentlich vom Textverständnis abhängt. Die Qualität der eingesetzten Heuristiken, die laut Klix (1971) die größte Wirkung auf die Lösungsgüte solcher Probleme haben, kommt nicht zum Tragen, da die Lösung aus der Textbasis und nicht aus einer Versuch-und-Irrtum-Folge erschlossen wird.

Zusätzlichen Diskussionsbedarf gibt es beim prozeduralen Anteil des mentalen Modells, das durch die Produktionsaufgabe erfasst werden soll. Die von de Kleer & Brown (1983) postulierte Übertragbarkeit des erlernten Wissens auf andere Kontexte (Kontextunabhängigkeit) entgeht dieser Untersuchung, da die Probanden „lediglich“ den selben Verseifungsvorgang steuern sollen, den sie im Lernen schon üben konnten. Interessant wäre eine Änderung der Anforderungen, so dass die Versuchsteilnehmer ihr erworbenes Wissen auf eine neue Situation anwenden müssten. Genau an dieser Stelle existiert eine leichte Inkonsistenz zwischen der aktuellen und der Forschungsreihe von Baartz (2001). In letztgenannter wurden die Versuchspersonen in der entsprechenden Produktionsaufgabe gebeten, einen Vorgang zur Alkoholherstellung zu neuen Konditionen, die die einzustellenden Werte an den Maschinen betreffen, auszuführen. Diese Werte waren nicht im Text enthalten, sondern mussten durch einfaches Rechnen in der Testphase erschlossen werden. Ob die Befunde dennoch vergleichbar sind könnte durchaus angezweifelt werden, da die induzierte

Schwierigkeit in der Baartz-Reihe höher war, was sich in einem im Vergleich zur aktuellen Forschungsreihe um 26% niedrigeren allgemeinen Leistungsniveau in der Produktionsaufgabe niederschlägt. Anders veranschaulicht: Die EG aus der Baartz-Reihe hatte bei diesem Test in etwa dieselben Leistungswerte wie die KG der aktuellen Forschungsreihe. Es stellt sich folglich die Frage, inwiefern das erworbene Wissen in einem stark veränderten Kontext Anwendung findet, z.B. aus der Alkoholherstellung (aus der FR von Baartz, 2001) auf die aktuell verwendete Seifenherstellung.

Darüber hinaus muss die Frage nach der langfristigen Stabilität der hier aufgeführten Befunde offen bleiben. Es konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden, ob bei einer wiederholten Testphase zu einem späteren Zeitpunkt die gleichen Leistungsunterschiede zwischen der Kontroll- und der Experimentalgruppe ausgewiesen werden können. Wie Norman (1983a, b) ausführt, sind mentale Modelle besonders bei unregelmäßiger Anwendung höchst instabil. Der Grad der Verknüpfung mit Vorwissen bestimmt maßgeblich die langfristige Behaltensleistung.

### **7.3. Ausblick**

Um die Wirtschaftlichkeit der Untersuchung in Zukunft zu erhöhen, legen die Resultate dieser Testung nahe, trotz seiner hohen theoretischen Bedeutung (vgl. Weinert, 1996) auf den Motivationsfragebogen FAM zu verzichten. Wie eine ex-post-facto erstellten Korrelationsanalyse über den Einfluss aller Variablen, die der Vergleichbarkeit der beiden Testreihen dienen, auf die Lernleistung (Tab. 13 im Anhang) darlegt, gab es keine bedeutenden Effekte der im FAM abgefragten Skalen auf den Lernzuwachs. Der Fokus sollte stattdessen auf das Ausmaß der PC-Kenntnisse gelenkt werden. Derzeit wird dieses Vorwissen, das die optimale Verwendung des Lernwerkzeuges beeinflusst, nur mit einem quantitativ verankertem Item sowie einer Selbsteinschätzung erhoben. Die Variable *Zeit am Computer* korreliert zu  $r = 0.5$  signifikant mit dem Lernzuwachs an prozeduralem Wissen, die (selbst eingeschätzten) *Computerkenntnisse* ebenfalls signifikant mit  $r = 0.4$ . Besonders die letzt genannte Größe ist hierbei problematisch, da es keine Hinweise darauf gibt, welche Kriterien die Probanden der Beantwortung dieser Frage zu Grunde legen. Nichts desto trotz ist ein Zusammenhang zwischen Computer-Literacy und Lernerfolg mit einem computergestütztem Werkzeug offensichtlich und verdient in Zukunft eine größere Aufmerksamkeit. Gleichwohl hat die *Vorerfahrung mit Lernprogrammen* keinen erkennbaren Effekt, was an der sehr geringen Streuung der Werte in dieser Frage liegen kann, d. h. alle Probanden haben in etwa gleich wenige Kenntnisse auf diesem Gebiet. Einen viel

versprechenden Ansatz zur Messung von Computer-Literacy bieten Richter & Naumann (1999) mit ihrem Inventar zur Computerbildung INCOBI, in dem sie Wissenskomponenten mit Fragen zur Einstellung gegenüber Computern verbinden.

Neben der verstärkten Beachtung der Computerkenntnisse in zukünftigen Testreihen sollte auch der Forschungsfokus neu ausgerichtet werden. Betrachtet man sich die Ergebnisse weiterer Arbeiten, die sich ebenfalls mit der Analyse verschiedenartiger Lernwerkzeuge beschäftigen (Wipper, 2004), sticht das Simulationstool durch seine sehr hohe Wirkung heraus. Mit einer solch effektstarken Applikation sollten zukünftige Untersuchungen auf diesem Gebiet dem Nachweis weiterer Wirkmechanismen gewidmet sein, um das psychologische Gefüge, innerhalb dessen sich diese Werkzeuge bewegen, umfassend nachzuweisen. Das größte Problem hierbei wird in der differenzierten Messung der einzelnen Faktoren liegen, da diese sich teilweise gegenseitig bedingen (s. o.).

Beispielsweise könnte in einer Untersuchung, die die externe Speicher-Funktion quantifiziert, das Tool in seiner Editierbarkeit variiert werden. Vorstellbar wäre der Vergleich des verwendeten, primär abbildenden Tools mit einem zusätzlich editierbaren, in dem sich neben Einstellwerten beispielsweise auch topologische Bezeichnungen generieren und speichern lassen. Um eine kognitive Überbelastung (Sweller, 1999) zu vermeiden, sollte eventuell auf die simulative Komponente verzichtet werden. Ähnlich könnte eine Untersuchung der Verstehensüberwachung durch ein solches Werkzeug gestaltet sein. Indem man in die bereits vorhandene Simulation eine Rückmeldefunktion über die Richtigkeit der ausgeführten Operationen integriert, würde das meta-kognitive Monitoring über Lernzuwachs und -strategie unterstützt. Letztlich sollte durch eine experimentelle Variation des Tools versucht werden, die noch offenen, grundlegenden Fragen in diesem Gebiet näher zu beleuchten, um damit den Erkenntnissen anderer Untersuchungen (vgl. Mayer, 2005) eine psychologisch fundierte Basis zu geben.

#### **7.4. Fazit**

Bezieht man ähnliche Untersuchungen zu diesem Gebiet mit ein (Wipper, 2004), kann eine lernunterstützende Wirkung von computergestützten kognitiven Lernwerkzeugen, als erwiesen betrachtet werden. Der erzielte Effekt ist durchaus bedeutend. Berechnet man aus den Mittelwertsunterschieden zwischen der Kontroll- und Experimentalgruppe die Effektstärke nach Cohen<sup>6</sup>, ergibt sich für das prozedurale Wissen eine Leistungssteigerung (ausgedrückt durch den Anteil an Varianzaufklärung<sup>7</sup>) von 10%. Auf einer Schulnotenskala abgetragen bedeutet dies die Verbesserung der Lernleistung um mindestens eine halbe Note.

Es gilt an dieser Stelle zu bedenken, dass dieser Wissenszuwachs ohne das Zutun eines Instrukteurs zu Stande kommt, sondern allein durch die Bereitstellung des Tools.

Es liegt auf der Hand, dass die Relevanz für das selbst gesteuerte, verstehensorientierte Lernen sehr groß ist. Dies gilt insbesondere, wenn zum Einen das Verständnis von Aufbau und Funktionsweise eines technischen Systems aus einer Literaturquelle das Ziel ist und das erworbene Wissen sofort anwendbar sein soll. Zum Anderen ist es dann von besonderer Bedeutung, wenn die Informationen aus mehreren, nicht auf einander abgestimmten (expositorischen) Texten stammen, sondern selbständig (z. B. aus dem Internet) zusammengetragen wurden. Diese Kombination von Ansprüchen an das Lernen ist beispielsweise prototypisch für den Umgang mit Computern. Hält man sich allein vor Augen, wie schnell neue Computerapplikationen und -programme zu einem allgemeinen Standard werden, wird die Bedeutung von Forschungsarbeiten wie dieser bewusst.

---

<sup>6</sup> Formel zur Berechnung der Effektstärke:  $d = \frac{M_2 - M_1}{s}$

<sup>7</sup> Formel zur Berechnung der Varianzaufklärung aus Effektgrößen:  $VA = r^2 = \left( \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4}} \right)^2$

## 8. Literatur

- Aamodt, A., & Nygard, M. (1995). Different roles and mutual dependencies of data, information, and knowledge - an AI perspective on their integration. *Data and Knowledge Engineering*, 16, S. 191-222.
- Anderson, J. R. (1988). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.
- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In Spence, K.W. & Spence, J.T. (Eds.). *The Psychology of Learning and Motivation*. New York: Academic Press.
- Baartz, T. (2001). *Selbstgesteuertes Lernen aus Texten in computergestützter Lernumgebung*. Berlin: HU.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: University Press.
- Ballstaedt, S.-P., Mandl, H., Schnotz, W. & Tergan, S.-O. (1981). *Texte verstehen, Texte gestalten*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Ballstaedt, S.-P. & Mandl, H. (1982). *Elaborationen: Probleme der Erhebung und Auswertung (Forschungsbericht 16)*. Tübingen: Deutsches Institut für Fernstudien.
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action*. Engelwood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bartos, T. J. (2004). *Selbstgesteuertes und kooperatives Lernen mit Neuen Medien*. Hagen: Fernuniversität [On-line]: [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=980151384&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=980151384.pdf](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=980151384&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=980151384.pdf) (letzter Zugriff: 07.12.2006).
- Borgmann, C. L. (1986). The user's mental model of an information retrieval system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24, S. 47-64.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bortz, J., Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Bortz, J., Lienert, G. & Boehnke, K. (1990). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Berlin: Springer.

- Brown, A. L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology*, Volume 1. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Brünken, R.; Steinbacher, S.; Schnotz, W.; Leutner, D. (2001). Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodazität beim Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 200, 15, S. 16-27.
- Clark, H. H. (1977). Bridging. In P. N. Johnson-Laird & P. C. Wason (Eds.), *Thinking. Readings in cognitive science* (S. 411-420). Cambridge: University Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Cohen, R. L. (1981). On the generality of some memory laws. *Scandinavian Journal of Psychology*, 22, 267-281.
- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, S. 671-684.
- de Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 155-190). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Duffy, T. M. & Jonassen, D. H. (1992). New Implications for Instructional Technology. In: T. M. Duffy & D. H. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the Technology of Instruction*. Hillsdale N.J.: Erlbaum.
- Einecke, G. (2006) Schreiben von Sachtexten. [On-line]: [www.fachdidaktik-einecke.de](http://www.fachdidaktik-einecke.de) (letzter Zugriff: 28.11.2006).
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Euler, D. (2001). High teach durch high tech. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 97, 1, S.25-44.
- Friedmann, T. L. (2006). *Die Welt ist flach*. Frankfurt / M.: Suhrkamp.

- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Interaction between encoding and retrieval operations in cued recall. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3, S. 701–711.
- Glenberg, A., Meyer, M. & Lindem, K. (1987). Mental models contribute to foregrounding during text comprehension. *Journal of Memory and Language*, 26, 69-83.
- Halasz, F. G. & Moran, T. P. (1983). Mental models and problem solving in using a calculator. In *Proceedings of CHI'83 human factors in computing systems*. New York: Association for Computing Machinery.
- Hammond, N. (1993). Learning with hypertext: problems, principles and prospects. In C. McKnight, A. Dillon & J. Richardson. *Hypertext - a psychological perspective*. New York: Ellis Horwood.
- Hundt, R. (1997). Zukunftsorientierte Weiterbildung: Didaktische Konsequenzen für multimediales Lernen. In U. Beck & W. Sommer (Hrsg.), *Learntech 97: Europäischer Kongress für Bildungstechnologie und betriebliche Bildung, Tagungsband* (S. 125-130). Karlsruhe: KKA.
- Hyde, T. S. & Jenkins, J. J. (1969). Differential effects of incidental tasks on the organization of recall of a list of highly associated words. *Journal of Experimental Psychology*, 83, S. 472-481.
- IAB Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (1999). IAB-Kurzbericht 3/1999. [Online]: [www.iab.de](http://www.iab.de). (letzter Zugriff: 06.12.2006).
- IAB Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2003). IAB-Kurzbericht 4/2003. [Online]: [www.iab.de](http://www.iab.de). (letzter Zugriff: 06.12.2006).
- Iiyoshi, T., Hannafin, M. J. & Wang, F. (2005). Cognitive tools and student centred learning: rethinking tools, functions and applications. *Educational Media International*. 42, 4, S. 281–296.
- Johnson- Laird, P. N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: University Press.
- Jonassen, D. H. (1992). *What are cognitive tools?* In: P. A. M. Kommers, D. H. Jonassen & J. T. Mayes (Eds.). *Cognitive Tools for Learning*. Berlin: Springer.
- Jonassen, D.H., Carr, C. & Yueh, A.-P. (1998). Computers as Mindtools for Engaging Learners in Critical Tinking. *TechTrends*, 43 (2), S. 24-32.

- Kieras, D. E. (1988). What a mental model should be taught: Choosing instructional content for complex engineered systems. In J. Psozka, L. D. Massey & S. A. Mutter (Eds.). *Intelligent Tutoring Systems: Lessons learned*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Kieras, D. & Bovair, S. (1984). The role of a mental model in learning to operate a device. *Cognitive Science*, 8, S. 255-273.
- Kintsch, W. & Keenan, J. M. (1973). Reading rate as a function of the number of propositions in the base structure of sentences. *Cognitive Psychology*, 5, S. 257-274.
- Kintsch, W. & van Dijk, T. A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85 (5), S. 363-394.
- Kintsch, E. & Kintsch, W. (1995). Strategies to Promote Active Learning from Text. *Swiss Journal of Psychology*, 54, S. 141-151.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: VEB Dtsch. Verlag der Wissenschaften.
- Kluwe, R. H. & Haider, H. (1990). Modelle zur internen Repräsentation komplexer technischer Systeme. In Engelkamp, J. & Pechmann, T. (Hrsg). *Mentale Repräsentation*. Bern: Huber.
- Knuth, R. A. & Cunningham, D. J. (1991). Tools for constructivism. In T. M. Duffy, J. Lowyck & D. H. Jonassen (Eds.), *Designing environments for constructive learning*. Heidelberg: Springer.
- KEG Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2001). Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen – SEC(2001) 1939. [On-line]: <http://www.crossbase.cc/bildungspartnerschaft/download/Arbeitspapier%20Europ%C3%A4ische%20Kommissionlllpraxis%20und%20indikatoren.pdf> (letzter Zugriff: 06.12.2006).
- Kozma, R. B. (1987). The implications of cognitive psychology for computer-based learning tools. *Educational Technology*, 27 (11), S. 20-25.
- Kozma, R. B. (1992). Constructing knowledge with learning tool. In P. A. M. Kommers, D. H. Jonassen & J. T. Mayes (Eds.), *Cognitive Tools for Learning. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Mindtools: Cognitive Technologies for Modeling Knowledge*, held in Enschede, The Netherlands, July 4-10, 1990 (pp. 22-32). Berlin: Springer.
- Kommers, D. H. Jonassen & J. T. Mayes (Eds.), *Cognitive Tools for Learning*. Berlin: Springer.

- Labovitz, S. (1970). The Assignment of Numbers to Rank Order Categories. *American Sociological Review*, 35. S. 515-524.
- Lajoie, S & Derry, S. (1993). *Computers as cognitive tools*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Leadbeater, C. (1999). *Living on Thin Air*. London: Penguin [On-line]:  
[www.charlesleadbeater.net/archive/knowledge-economy.aspx](http://www.charlesleadbeater.net/archive/knowledge-economy.aspx) (letzter Zugriff: 07.12.2006).
- Leonhart, R. (2004). *Lehrbuch Statistik*. Bern: Huber.
- Lockwood, F. (1992). *Activities in self-instructional texts*. London: Kogan Page.
- Lompscher, J. (1995). Erfassung von Lernstrategien mittels Fragebogen. *LLF-Berichte, Nr. 10* (S. 80-136). Potsdam: Interdisziplinäres Zentrum für Lern- und Lehrforschung Universität Potsdam.
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1997). Lernen und Lehren mit dem Computer. In Weinert, F. E. & Mandl, H., *Psychologie der Erwachsenenbildung*. Göttingen: Hogrefe.
- Mani, K. & Johnson-Laird, P. N. (1982). The mental representation of spatial descriptions. *Memory and Cognition*, 10 (2), S. 181-187.
- Marascuilo, L. A. & Serlin, R. C. (1988). *Statistical methods for the social and behavioral sciences*. New York: Freeman.
- Marascuilo, L. A. & McSweeney, M. (1977). *Nonparametric and distribution-free methods for the social sciences*. Monterey, CA: Brooks/Cole.
- Marks, D. F. (1990). On the relationship between imagery, body, and mind. In P. J. Hampson, D. F. Marks & J. T. E. Richardson (Eds.), *Applying cognitive psychology to user-interface design*. Chichester: Wiley.
- Maxwell, S. E. & Delaney, H. D. (1990). *Designing experiments and analyzing data*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia Learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32 (1), S. 1-19
- Mayer, R. E. (2005). *Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Mayes, T. (1992). Cognitive Tools: A suitable case for learning. In P. A. M. Kommers, D. H. Jonassen & J. T. Mayes (Eds.), *Cognitive Tools for Learning*. Berlin: Springer.
- McArthur, D. (1989). *Developing Computer Tools to Support Performing and Learning Complex Cognitive Skills*. A RAND Note. Santa Monica, CA: Rand Corporation.
- McKoon, G. & Ratcliff, R. (1992). Inference During Reading. *Psychological Review*, 99 (3), 440-466.
- McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B. & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better?. *Cognition and Instruction*, 14 (1), S. 1-43.
- Meyer, B. J. F. (1975). *The organization of prose and its effect upon memory*. Amsterdam: North Holland.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Nilsson, L. G. & Cohen, R. L. (1988). Enrichment and generation in the recall of enacted and nonenacted instructions. In M. M. Gruneberg, P. E. Morris & R. N. Sykes (Eds.), *Practical aspects of memory: Current research and issues*, Vol 1: Memory in everyday life (pp. 427-432). Chichester: John Wiley.
- Naisbitt, J. (1995). *8 Megatrends, die unsere Welt verändern*. Seedorf: Signum.
- Norman, D. A. (1983a). Design rules based on analyses of human error. *Communications of the ACM*, 26, S. 254 – 258.
- Norman, D. A. (1983b). Some observations on mental models. In Gentner, D. & Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford: University Press.
- Peper, R. J. & Mayer, R. E. (1986). Generative effects of note-taking during science lectures. *Journal of Educational Psychology*, 78 (1), S. 34-38.
- Pollock, E.; Chandler, P. und Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12 (1), 61-86.
- Pospeschill, H. (2006). *Statistik*. München: Spektrum Akademischer Verlag.

- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47, 57-66. [On-line]: <http://www.psych.uni-potsdam.de/people/rheinberg/messverfahren/FAMFragebogen.pdf>. (letzter Zugriff: 21.09.2006)
- Richter, T., Naumann, J. & Groeben, N. (1999). Das Inventar zur Computerbildung (INCOBI): Ein Instrument zur Erfassung der Computer Literacy und computerbezogenen Einstellungen. Köln: Universität Köln. [On-line]: [http://www.uni-koeln.de/philmak/psych/allgemeine/downloads/Naumann\\_Richter\\_in\\_Druck.pdf](http://www.uni-koeln.de/philmak/psych/allgemeine/downloads/Naumann_Richter_in_Druck.pdf) (letzter Zugriff: 12.12.2006).
- Rieber, L. P. (2005). Multimedia Learning in Games, Simulations, and Microworlds. In Mayer, R. E., *Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ringelband, O. J., Misiak, C. & Kluwe, R. H. (1987). Bildung von Zwischenzielen in Entscheidungsnetzen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 34, S. 301 – 317.
- Ringelband, O. J., Misiak, C., & Kluwe, R. H. (1990). Mental models and strategies in the control of a complex system. In D. Ackermann, & M. J. Tauber (Eds.). *Mental models and human-computer interaction* (Vol. 1). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Römer, C. (2005). Effekte eines kognitiven Lernwerkzeuges auf Lernaktivität, Lernstrategie und Textverständnis. Berlin: HU. (Unveröffentlichte Diplomarbeit)
- Sachs, L. (2000). *Angewandte Statistik*. Berlin: Springer.
- Salomon, G. (1988). AI in reverse: Computer tools that turn cognitive. *Journal of Educational Computing Research*, 4 (2), S. 123-139.
- Salomon, G. (1989). Learning from text and pictures: Reflections on a meta-level. In H. Mandl & J. R. Levin (Eds.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (S. 73-82). Amsterdam: North Holland Elsevier.
- Schindler, R. (in Druck). Zur Unterstützung verstehenden Lernens durch ein kognitives Lernwerkzeug.
- Schnotz, W. (1994). Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*. Weinheim: Beltz/PVU.

- Schulz, M. (2004). *Verstehendes Lernen unter Anwendung kognitiver Lernwerkzeuge*. Berlin: HU. (Unveröffentlichte Diplomarbeit)
- Shapiro, A. M. (1998). Promoting active learning: The role of system structure in learning from hypertext. *Human-Computer Interaction*, 13, S. 1-35.
- Siegel, S. & Castellan, N. J., Jr. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2. Aufl.). New York: McGraw-Hill.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Melbourne: Acer Press.
- van Dijk, T. A. (1977). Semantic macro-structures and knowledge frames in discourse comprehension. In M. A. Just & P. A. Carpenter (Eds.), *Cognitive processes in comprehension* (S. 3-33). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- van Joolingen, W. (1999). Cognitive tools for discovery learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, S. 385 – 397.
- Weidenmann, B. (1994). Informierende Bilder. In: B. Weidenmann (Hrsg.). *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. Bern: Huber.
- Weinert, F. E. (1996). Psychologie des Lernens und der Instruktion. In: Bierbaumer, N. (1996). *Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Wilcox, R. R. (1996). *Statistics for the social sciences*. San Diego, CA: Academic Press.
- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, 185-200.
- Wild, K.-P., Schiefele, U. & Winteler, A. (1992). LIST - Ein Verfahren zur Erfassung von Lernstrategien im Studium. *Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie*, Nr. 20. Neubiberg: Gelbe Reihe.
- Wipper, A. (2004). *Förderung aktiven Textlernens durch computergestützte kognitive Lernwerkzeuge*. Berlin: HU.

Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, *11* (2), S. 87-95.

Wittrock, M. C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, *24* (4), S. 345-376.

## **9. Anhang - Versuchsmaterialien**

## 9.1. Anhang A1: Screen-Shots

**Fragebogen zur Person**

<b>Alter:</b> <input type="text" value="18"/>	<b>höchster Abschluss:</b> <input type="radio"/> Hauptschule <input type="radio"/> Realschule <input type="radio"/> Abitur <input type="radio"/> Fachhochschule <input type="radio"/> Hochschule <input type="radio"/> sonstiger	<b>derzeitige Tätigkeit:</b> <input type="radio"/> arbeitslos <input type="radio"/> berufstätig <input type="radio"/> Azubi <input type="radio"/> Studentin	<b>ergänzende Angaben:</b> Tätigkeit: <input type="text"/> Beruf: <input type="text"/> Lehrjahr: <input type="text"/> Fach: <input type="text"/> Semster: <input type="text"/>
--	--	---	---

Wie schätzen Sie Ihre Computerkenntnisse ein?

**keine Kenntnisse    wenig Kenntnisse    einige Kenntnisse    gute Kenntnisse    sehr gute Kenntnisse**

Wie lange arbeiten Sie wöchentlich am Computer?

**gar nicht    bis zu einer Stunde    bis zu 5 Stunden    bis zu 10 Stunden    Mehr als 10 Stunden**

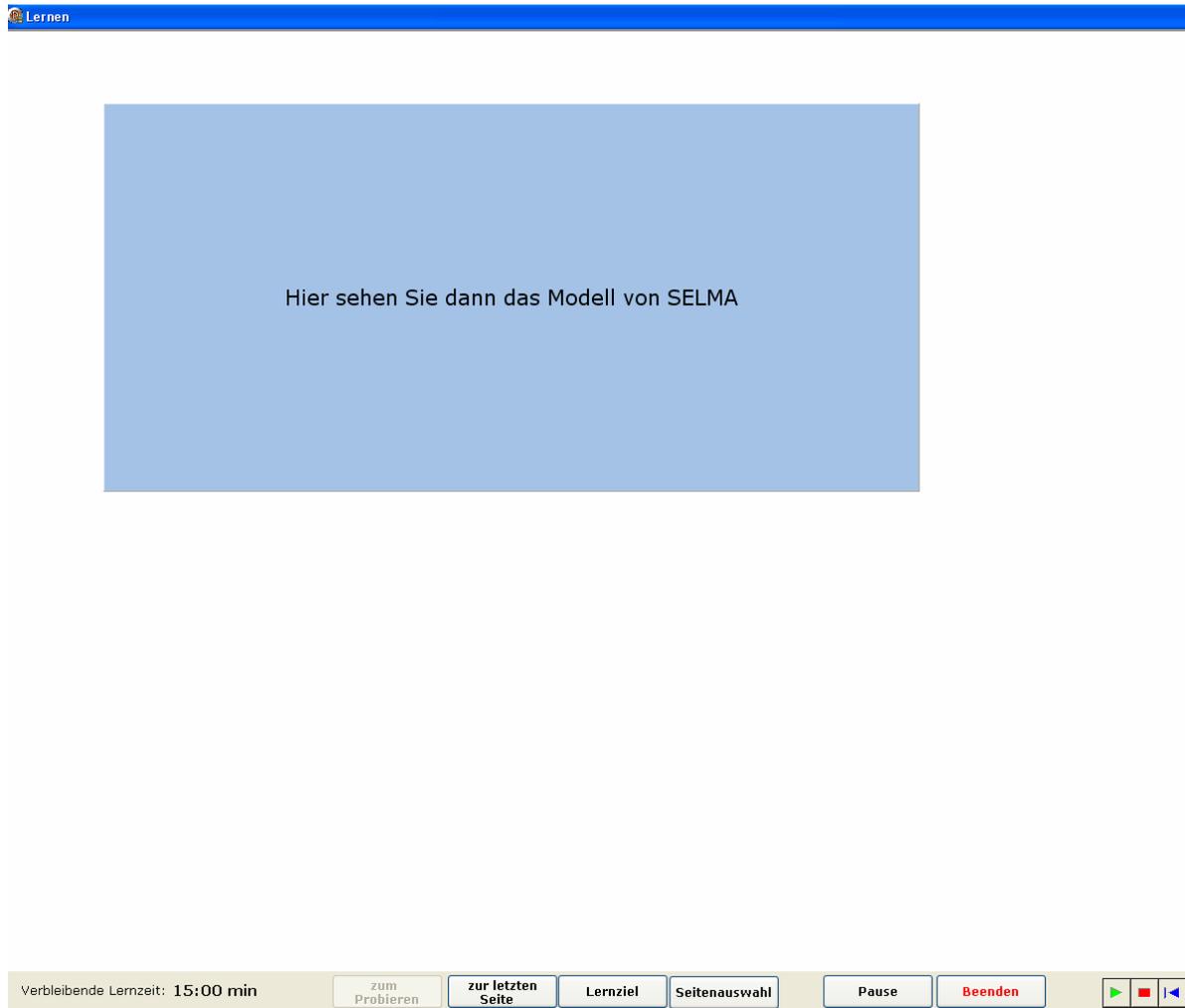
  

Welche Erfahrung haben Sie mit Lernprogrammen?

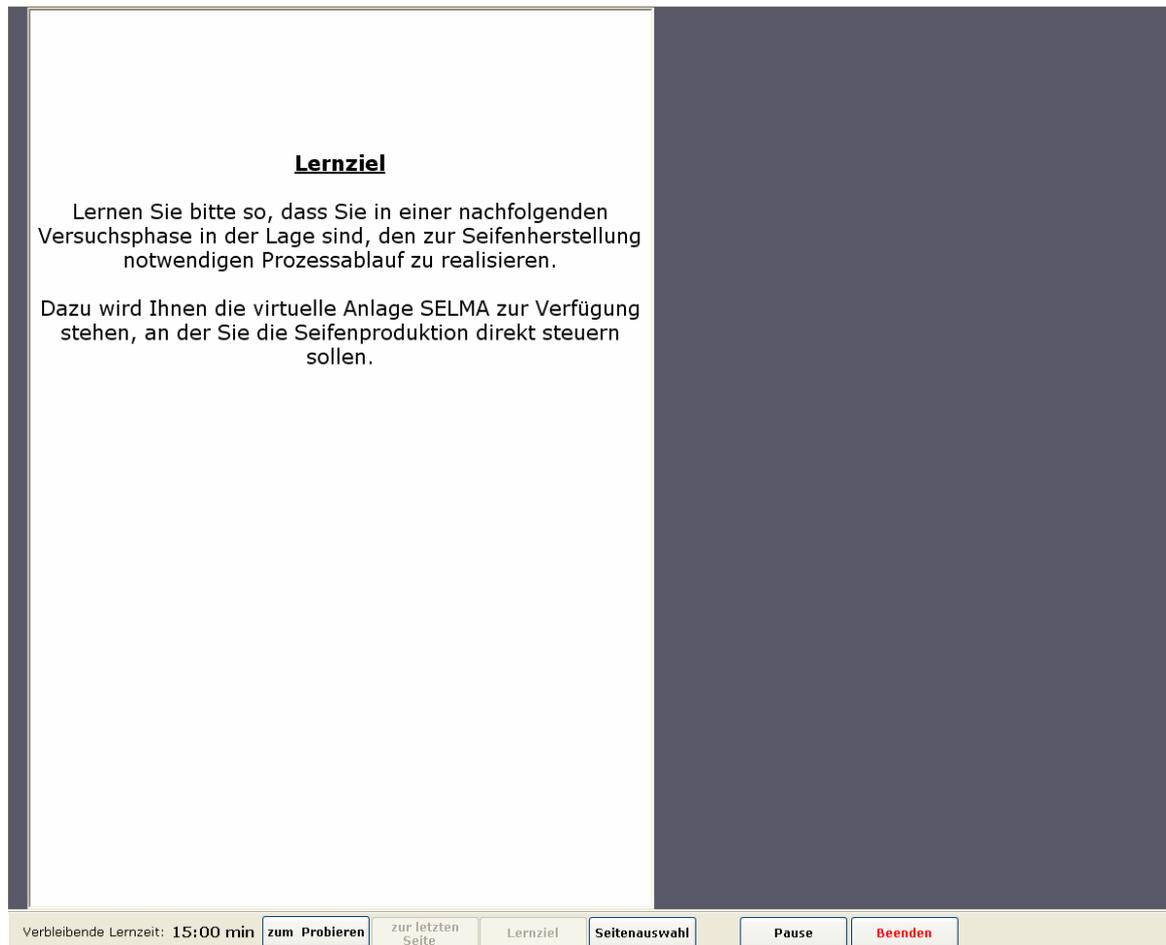
**keine Erfahrung    wenig Erfahrung    einige Erfahrung    viel Erfahrung    sehr viel Erfahrung**

Seite : 1 von 1

**Abb. A1.1:** Screen-Shot des Eingangsfragebogens.



**Abb. A1.2:** Screen-Shot des Platzhalters in der Instruktion zum Lernprogramm.



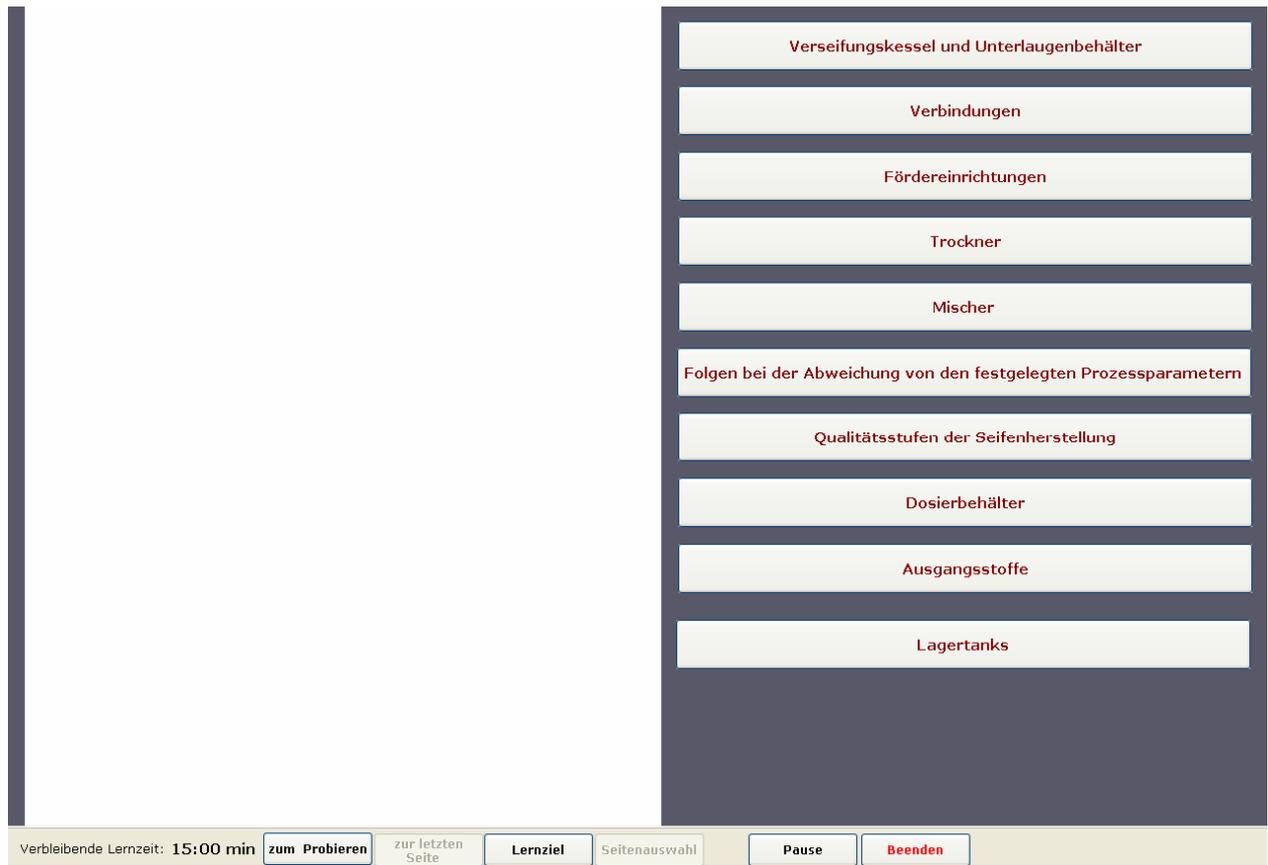
**Lernziel**

Lernen Sie bitte so, dass Sie in einer nachfolgenden Versuchsphase in der Lage sind, den zur Seifenherstellung notwendigen Prozessablauf zu realisieren.

Dazu wird Ihnen die virtuelle Anlage SELMA zur Verfügung stehen, an der Sie die Seifenproduktion direkt steuern sollen.

Verbleibende Lernzeit: 15:00 min   Lernziel

**Abb. A1.3:** Screen-Shot des Lernziels im Lernprogramm.



**Abb. A1.4:** Screen-Shot der Seitenauswahl im Lernprogramm.

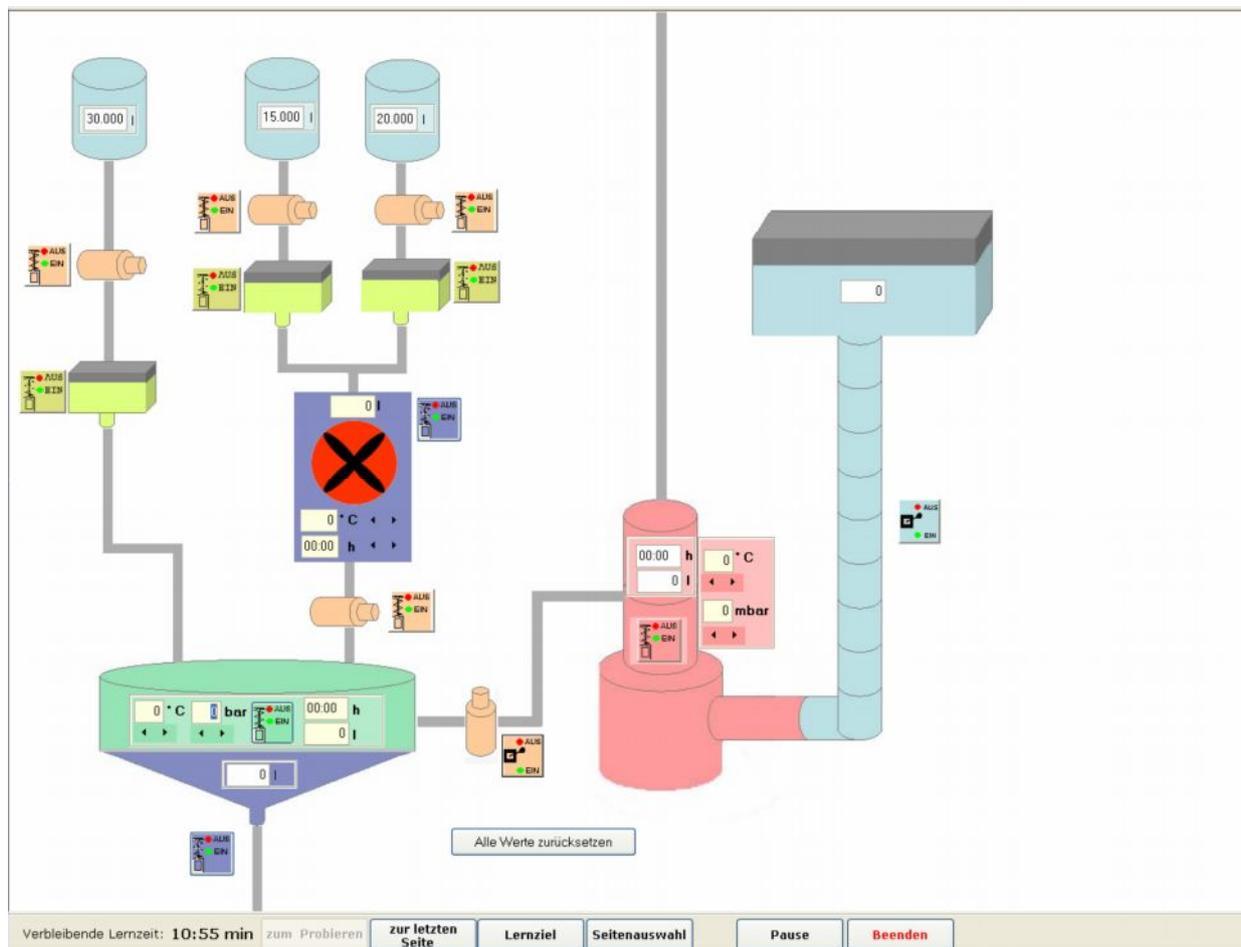
**Verseifungskessel und Unterlaugenbehälter**

Der Verseifungskessel ist ein Hochdrucktank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern und einer speziellen Titanummantelung. Die notwendige Verseifungstemperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden. Ebenso wird der erforderliche Druck über einen Stellregler eingestellt und kann an einer Druckanzeige abgelesen werden. Der Verseifungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet. Die verbleibende Verseifungszeit kann über eine Zeitanzeige, der Füllstand über eine Füllstandsanzeige abgelesen werden.

Im Verseifungskessel werden das Fettgemisch und die Natronlauge mit dem Wasserdampf bei einer Temperatur von 180 bis 200 °C und einem Druck von 8 bis 10 bar über eine Zeit von 4 - 6 Stunden verseift. Dadurch wird das in den Ölen und Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin von den mit ihm verbundenen Fettsäuren getrennt. Dabei entsteht Seifenleim, der sich an der Oberfläche sammelt. Als Nebenprodukt setzt sich ein Gemisch aus Wasser und Glycerin, die so genannte Unterlauge, auf dem Boden des Verseifungskessels ab. Der Anteil der Unterlauge nach dem Verseifungsprozess beträgt 25% des Gesamtvolumens. Die Menge kann über eine Unterlaugenanzeige am Verseifungskessel abgelesen werden. Die Unterlauge muss vor dem nächsten Arbeitsgang über ein Ablassventil abgelassen werden. Das Ablassventil muss manuell geöffnet werden und schließt sich automatisch, wenn die Unterlauge vollständig abgelassen ist.

Verbleibende Lernzeit: 14:52 min [zum Probieren](#) [zur letzten Seite](#) [Lernziel](#) [Seitenauswahl](#) [Pause](#) [Beenden](#)

**Abb. A1.5:** Screen-Shot der Textseite 10 *Verseifungskessel und Unterlaugenbehälter* im Lernprogramm.



**Abb. A1.6:** Screen-Shot der Verseifungs-Simulation im Lernprogramm.

Seite : 2 von 55

Welche Aussage(n) ist/sind richtig?

- Der Verseifungskessel ist ein Hochdrucktank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- Der Verseifungsvorgang wird entsprechend der Füllmenge automatisch beendet.
- Der Verseifungskessel besitzt eine spezielle Titanummantelung.
- Der Verseifungskessel besitzt ein Überdruckventil.
- Ich weiß nicht.

[Weiter](#)

**Abb. A1.7:** Screen-Shot des MC-Tests.

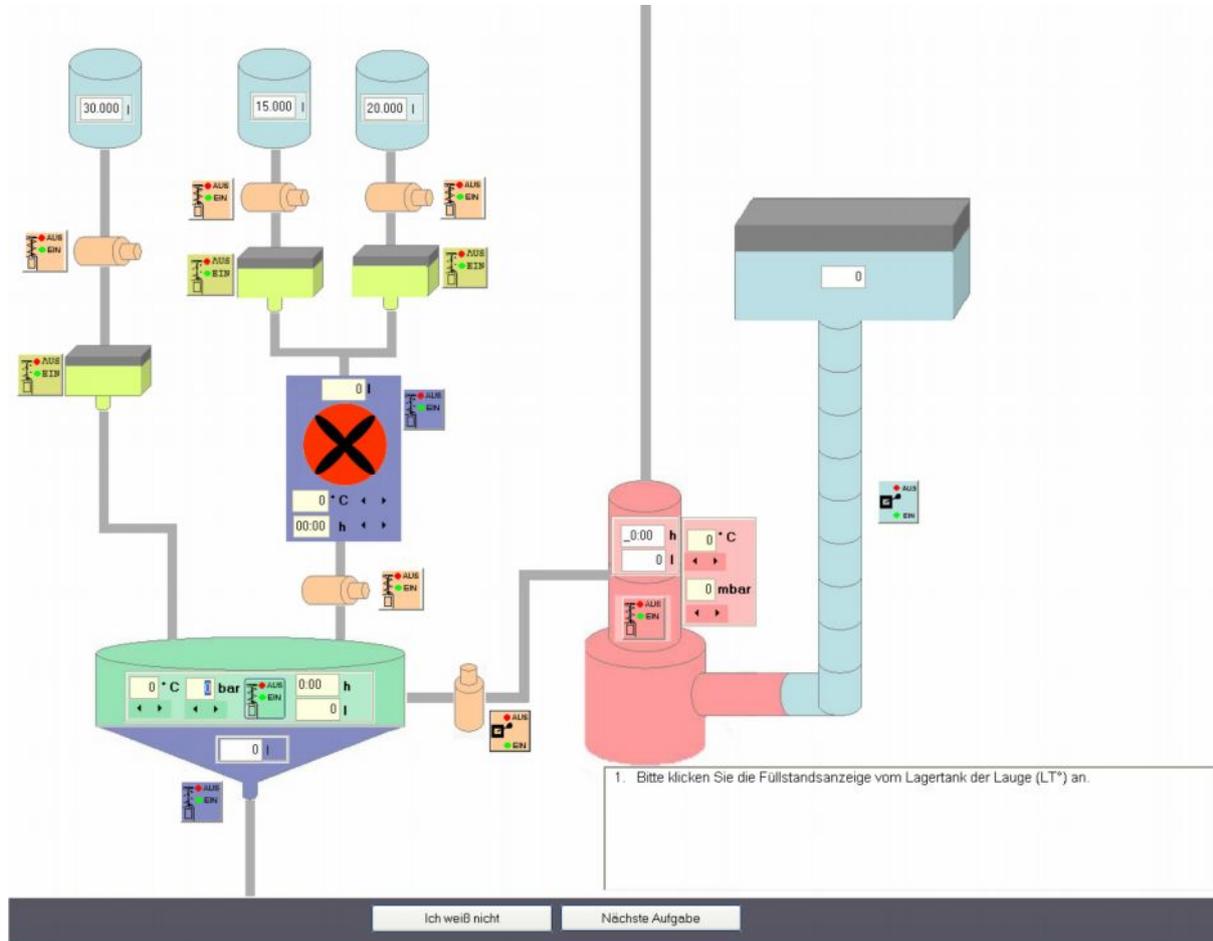


Abb. A1.8: Screen-Shot der Produktionsaufgabe.

Insgesamt fiel mir die Bewältigung der Anforderungen...

**sehr leicht**  **eher leicht**  **weder leicht noch schwer**  **eher schwer**  **sehr schwer**

Insgesamt empfand ich die Bearbeitung des Lernprogramms als...

**nicht anstrengend**  **kaum anstrengend**  **etwas anstrengend**  **ziemlich anstrengend**  **sehr anstrengend**

Das Lernziel empfand ich als...

**nicht hilfreich**  **kaum hilfreich**  **etwas hilfreich**  **ziemlich hilfreich**  **sehr hilfreich**

Schwierigkeiten bereiteten mir folgende Dinge..

**Abb. A1.9:** Screen-Shot des Fragebogens zum Lernprogramm FzL.

## 9.2. Anhang A2: Items des Motivationsfragebogens FAM

Item	Skala
1. Ich mag solche technischen Problemstellungen.	I
2. Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.	E
3. Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.	E (-)
4. Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.	M
5. Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.	H
6. Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.	I
7. Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	H
8. Ich fürchte mich ein wenig davor, daß ich mich hier blamieren könnte.	M
9. Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.	H
10. Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	I
11. Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.	M
12. Ich glaube, das kann jeder schaffen.	E
13. Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.	E (-)
14. Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	H
15. Wenn ich an die Aufgabe denke, bin etwas beunruhigt.	M
16. Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	I
17. Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.	M

Skalen:     I     =     Interesse  
               H     =     Herausforderung  
               E     =     Erfolgserwartung  
               M     =     Misserfolgsanreiz

### **9.3. Anhang A3: Textseiten der Informationsbasis**

#### **Seite 1: Ausgangsstoffe**

Rohstoffe für die Seifenherstellung sind Fette, Wasser und Natronlauge. Es werden vor allem pflanzliche sowie in geringem Maße auch tierische Fette verwendet. Die Fette werden in flüssigem Zustand als Öle (Kokos- und Palmöl) aber auch in festem Zustand als Butter oder Talg (Rindertalg und Schweineschmalz) angeliefert und bei einer Temperatur von 75 °C zwischengelagert. Die Fette enthalten die für die Seifenherstellung notwendigen Fettsäuren. Das Wasser wird destilliert geliefert. Es dient als Wasserdampf zur Erhitzung der Fette und Trennung des enthaltenen Glycerins von den Fettsäuren.

Unter Natronlauge versteht man eine wässrige, stark alkalische Lösung von Natriumhydroxid. Sie wird meist durch Elektrolyse von Natriumchlorid gewonnen. Natronlauge hat einen pH-Wert von 14 und verursacht auf Körpergewebe schwere Verätzungen. Die Natronlauge dient der Neutralisation der gewonnenen Fettsäuren.

#### **Seite 2: Lagertanks**

Die Ausgangsstoffe befinden sich in den Lagertanks LT~, LT\* und LT°. Im linken Lagertank LT~ wird das Wasser gelagert. Er besteht aus stoßfestem Polyethylen und hat ein Fassungsvermögen von 30.000 Litern. Er ist außerdem mit einer Füllstandsanzeige ausgestattet.

Der rechte Lagertank LT\* dient der Lagerung der Fette. Er ist doppelwandig, besteht aus Edelstahl und hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern. Der Lagertank besitzt eine Füllstandsanzeige und eine automatische Heizungsanlage für eine konstante Lagertemperatur.

Der mittlere Lagertank LT° enthält die Natronlauge. Er ist dreiwandig isoliert, mit einer Nickellegierung beschichtet und hat ein Fassungsvermögen von 15.000 Litern. Er ist ebenfalls mit einer Füllstandsanzeige ausgerüstet.

Am Ende der Fertigungslinie befindet sich ein Zwischenlagerbehälter. In diesem Behälter wird die produzierte Seife für den Weitertransport zwischengelagert. Der Behälter ist doppelwandig, besteht aus Edelstahl und hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern. Des Weiteren besitzt er eine Füllstandsanzeige, an der man die Menge der hergestellten Seife ablesen kann.

#### **Seite 3: Dosierbehälter**

Zur Dosierung der Ausgangsstoffe dienen die Dosierbehälter DB~, DB\*, DB°. Das Fassungsvermögen der Dosierbehälter entspricht der für einen Produktionsdurchlauf jeweils erforderlichen Rohstoffmenge. Die Dosierbehälter befinden sich jeweils unter den zugehörigen Pumpen. DB\* und DB° befinden sich direkt über dem Mischer, der Dosierbehälter DB~ ist über dem Verseifungskessel angeordnet. Über eine Füllstandskontrolle in den Dosierbehältern wird die zugehörige Pumpe nach dem Erreichen der erforderlichen Rohstoffmenge automatisch abgeschaltet.

Der Dosierbehälter für das Wasser DB~ besitzt eine Heizungsanlage, die das Wasser automatisch auf 180 °C zu Wasserdampf erhitzt. Er hat ein Fassungsvermögen von 7.000 Litern, was der erforderlichen Wassermenge für einen Produktionsdurchlauf entspricht. Er ist außerdem mit einem automatischen Überdruckventil sowie einer Temperaturanzeige ausgestattet und besteht aus Edelstahl. Der Wasserdampf kann über ein Ablassventil weitergeleitet werden. Das Ablassventil muss manuell über einen Tastschalter geöffnet werden.

Der Dosierbehälter DB\* für die Fette, der auch aus Edelstahl besteht, ist ebenfalls mit einer automatischen Heizungsanlage ausgestattet, die das Fettgemisch auf einer Temperatur von 75°C hält. Er hat ein Fassungsvermögen von 5.000 Litern, was der erforderlichen Fettmenge für einen Produktionsdurchlauf entspricht. Die Fette können auch über ein Ablassventil weitergeleitet werden. Das Ablassventil muss manuell über einen Tastschalter geöffnet werden.

Auch der Dosierbehälter DB° für die Natronlauge besteht aus Edelstahl. Er hat ein Fassungsvermögen von 4.000 Litern, was der erforderlichen Natronlauge für einen Produktionsdurchlauf entspricht. Die Natronlauge kann ebenfalls über ein Ablassventil weitergeleitet werden. Das Ablassventil muss manuell über einen Tastschalter geöffnet werden.

Bei der Weiterleitung der Ausgangsstoffe in den Mischer ist zu beachten, dass die Natronlauge erst dann in den Mischer geleitet werden darf, wenn sich darin schon die Fette befinden. Nach vollständiger Entleerung der Dosierbehälter schließen sich die Ablassventile automatisch.

#### **Seite 4: Mischer**

Im Mischer werden Fette und Lauge zu einem weiterverarbeitbaren Gemisch verarbeitet. Er ist ein elektrisch betriebenes Rührwerk mit einer Leistung von 3000 l/h. Der Mischerbehälter hat ein Fassungsvermögen von 9000 l, eine Füllstandsanzeige und besteht aus Edelstahl. Über einen Stellregler kann die zur Vermischung der Rohstoffe notwendige Zeitspanne und die notwendige Temperatur eingestellt werden. Die notwendige Mischzeit für eine vollständige Füllung beträgt demnach 3 Stunden. Dabei ist eine Temperatur von 75° C einzuhalten. Der Mischer muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich nach Ablauf der Zeit automatisch ab.

#### **Seite 5: Verseifungskessel**

Der Verseifungskessel ist ein Hochdrucktank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern und einer speziellen Titanummantelung. Die notwendige Verseifungstemperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden. Ebenso wird der erforderliche Druck über einen Stellregler eingestellt und kann an einer Druckanzeige abgelesen werden.

Der Verseifungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet. Die verbleibende Verseifungszeit kann über eine Zeitanzeige, der Füllstand über eine Füllstandsanzeige abgelesen werden.

Im Verseifungskessel werden das Fettgemisch und die Natronlauge mit dem Wasserdampf bei einer Temperatur von 180 bis 200 °C und einem Druck von 8 bis 10 bar über eine Zeit von 4 – 6 Stunden verseift. Dadurch wird das in den Ölen und Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin von den mit ihm verbundenen Fettsäuren getrennt. Dabei entsteht Seifenleim, der sich an der Oberfläche sammelt. Als Nebenprodukt setzt sich ein Gemisch aus Wasser und Glycerin, die so genannte Unterlauge, auf dem Boden des Verseifungskessels ab.

Der Anteil der Unterlauge nach dem Verseifungsprozess beträgt 25% des Gesamtvolumens. Die Menge kann über eine Unterlaugeanzeige am Verseifungskessel abgelesen werden. Die Unterlauge muss vor dem nächsten Arbeitsgang über ein Ablassventil abgelassen werden. Das Ablassventil muss manuell geöffnet werden und schließt sich automatisch, wenn die Unterlauge vollständig abgelassen ist.

## Seite 6: Trockner

Im Trockner wird der Seifenleim getrocknet, d. h. von einem Wassergehalt von 40 % auf 15 % reduziert. Um der Seife, die für die Weiterverarbeitung notwendige Festigkeit zu geben, wird sie im Anschluss gekühlt. Der Trockner hat ein Fassungsvermögen von 12.000 Litern, besteht aus Edelstahl und besitzt eine Füllstandsanzeige. Bei dem Trockner handelt es sich um einen Vakuum-Trockner.

In einer evakuierten Sprühkammer wird bei einem Druck von 40 mbar und einer Temperatur von 25 °C der Seifenleim über eine Sprühdüse an die Innenwand des Behälters gesprüht und mit Abstreichmessern abgenommen. Die Seife fällt dabei aus der Sprühkammer des Trockners in den Sammelraum. Über eine angeschlossene Rohrförderschnecke wird die Seife in den Zwischenlagerbehälter transportiert. Die Rohrförderschnecke muss manuell ein- und ausgeschaltet werden.

Das verdampfte Wasser wird automatisch abgeleitet. Die erforderliche Trocknungstemperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden. Der erforderliche Druck wird ebenfalls über einen Stellregler eingestellt und kann an einer Druckanzeige abgelesen werden.

Der Trocknungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet. Die verbleibende Trocknungszeit kann über eine Zeitanzeige abgelesen werden.

## Seite 7: Fördereinrichtungen

Die Baugruppen ÖP, LP, MP, WP, SP und RFS befördern die Ausgangs- und Zwischenstoffe. Die Ölpumpe ÖP ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe. Die Ölpumpe muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich automatisch ab, wenn der maximale Füllstand im zugehörigen Dosierbehälter erreicht ist. Die Laugenpumpe LP ist ebenfalls eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe.

Die Laugenpumpe muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich automatisch ab, wenn der maximale Füllstand im zugehörigen Dosierbehälter erreicht ist. Auch die Wasserpumpe ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe. Auch für die Wasserpumpe gilt, dass sie manuell eingeschaltet werden muss, sich aber automatisch abschaltet, wenn der maximale Füllstand im zugehörigen Dosierbehälter erreicht ist.

Die Mischerpumpe MP ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe zur Beförderung des Lauge-Fettgemisches in den Verseifungskessel. Die Mischerpumpe muss manuell eingeschaltet werden und schaltet sich automatisch aus wenn der Mischer entleert oder der maximale Füllstand vom Verseifungskessel erreicht ist.

Die Seifenpumpe SP ist eine elektrisch betriebene Kreiselpumpe zur Beförderung des Seifenleims. Sie muss sowohl manuell ein- als auch ausgeschaltet werden.

Die Rohrförderschnecke RFS ist ein elektrisch betriebener Schneckenförderer zum Transport der Seife in den Zwischenlagerbehälter transportiert. Sie muss ebenfalls sowohl manuell ein- als auch ausgeschaltet werden.

## Seite 8: Verbindungen

Der Lagertank LT\* ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Ölpumpe ÖP mit dem Dosierbehälter DB\* verbunden. Der Lagertank LT~ ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Wasserpumpe WP mit dem Dosierbehälter DB~ verbunden. Der Lagertank LT° ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Laugenpumpe LP mit dem Dosierbehälter DB° verbunden. Die Dosierbehälter DB\* und DB° sind über Rohrleitungen mit Mischer verbunden. Der DB~ ist über eine Rohrleitung mit dem Verseifungskessel verbunden. Der Verseifungskessel ist über eine Rohrleitung und die zwischengeschaltete Seifenpumpe SP mit dem Trockner verbunden. Der Trockner ist über die Rohrförderschnecke mit dem Zwischenlagerbehälter verbunden.

**Seite 9: Qualitätsstufen der Seifenherstellung**

Mit der Verseifungsanlage kann Seife in zwei Qualitätsstufen hergestellt werden. Für Seife mit der Qualitätsstufe 1 müssen am Verseifungskessel 180° C und 8 Bar eingestellt werden. Für diese Qualitätsstufe beträgt der Verseifungsprozess für eine Füllung 6 Stunden. Für die Qualitätsstufe 2 wird am Verseifungskessel eine Einstellung von 200° C und 10 Bar vorgenommen. Die Produktionszeit verkürzt sich hier auf 4 Stunden.

**Seite10: Folgen bei der Abweichung von festgelegten Prozessparametern**

Werden im Verseifungskessel die notwendige Temperatur und der notwendige Druck unterschritten, wird das in den Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin nicht vollständig getrennt. Die Prozesszeit erhöht sich. Eine Überschreitung der Werte führt wegen des zu hohen Energieverbrauchs zu erhöhten Kosten bei der Seifenherstellung. Die Unterschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Trockner führt zu einem Zwischenprodukt mit zu hohem Feuchtigkeitsgehalt und einer erhöhten Prozesszeit. Eine Überschreitung der Parameter führt dagegen zu einem Zwischenprodukt mit zu niedrigem Feuchtigkeitsgehalt.

## 9.4. Anhang A4: Fragen des Multiple-Choice- Tests

- grau unterlegte Antwortalternativen sind falsch

**1. Welches sind die Ausgangsstoffe für die Seifenherstellung?**

- A: Fette  
B: Farbstoffe  
C: Wasser  
D: Natronlauge

**2. Aus welchen Ausgangsstoffen wird das Fett gewonnen?**

- A: Schweineschmalz  
B: Rapsöl  
C: Rindertalg  
D: Kokosöl

**3. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Fette sind eine Woche lagerfähig.  
B: Die Fette enthalten die zur Seifenherstellung nötige Natronlauge.  
C: Die Fette werden bei 75°C gelagert.  
D: Es werden tierische und pflanzliche Fette verwendet.

**4. Was wird während der Verseifung in Glycerin umgesetzt?**

- A: Natriumhydroxid  
B: Fett  
C: Wasser  
D: Natriumchlorid

**5. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Das Wasser darf nicht kälter als 13 °C sein.  
B: Man muss destilliertes Wasser verwenden.  
C: Das Wasser muss Trinkwasserqualität haben.  
D: Das Wasser darf nicht wärmer als 13° C sein.

**6. Wozu dient die Natronlauge?**

- A: Der Trennung des Glycerins von den Fettsäuren.  
B: Der Destillation des Wassers.  
C: Der Neutralisation der gewonnen Fettsäuren.  
D: Der Elektrolyse von Natriumchlorid.

**7. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Natronlauge ist eine wässrige, stark alkalische Lösung.  
B: Unter Natronlauge versteht man Natriumhydroxid.  
C: Natronlauge ist ph-neutral.  
D: Natronlauge wirkt ätzend.

**8. Wie werden die Fette angeliefert?**

- A: in flüssiger Form  
B: in getrockneter Form  
C: in fester Form  
D: in zerkleinerter Form

**9. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: LT° ist der linke Lagertank.
- B: LT~ ist der linke Lagertank.
- C: LT\* ist der rechte Lagertank.
- D: LT° ist der mittlere Lagertank.

**10. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Das Wasser befindet sich im linken Lagertank.
- B: Die Fette befinden sich im rechten Lagertank.
- C: Die Natronlauge befindet sich im mittleren Lagertank.
- D: Die Fette befinden sich im linken Lagertank.

**11. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Der Lagertank für das Wasser hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- B: Der Lagertank für die Fette hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- C: Der Zwischenlagerbehälter hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Liter.
- D: Der Lagertank für die Natronlauge hat ein Fassungsvermögen von 20.000 Litern.

**12. An welchem Lagertank befindet sich eine Füllstandsanzeige?**

- A: Am Lagertank LT\*.
- B: Am Lagertank LT~.
- C: Am Lagertank LT°.
- D: An keinem Lagertank.

**13. Welcher Lagertank hat eine Wärmeeinrichtung?**

- A: Der Lagertank der Fette.
- B: Der Lagertank des Wassers
- C: Der Lagertank der Natronlauge.
- D: Keiner der Lagertanks.

**14. Welcher Lagerbehälter besteht aus Edelstahl?**

- A: der Zwischenlagerbehälter.
- B: der Lagertank für das Wasser
- C: der Lagertank für die Fette
- D: kein Lagertank

**15. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Der Zwischenlagerbehälter befindet sich zwischen Mischer und Verseifungskessel.
- B: Der Zwischenlagerbehälter befindet sich zwischen Verseifungskessel und Trockner.
- C: Der Zwischenlagerbehälter befindet sich am Ende der Fertigungslinie.
- D: Im Zwischenlagerbehälter wird die produzierte Seife zwischengelagert.

**16. Wodurch bestimmt sich das Fassungsvermögen der Dosierbehälter?**

- A: Es muss manuell eingestellt werden.
- B: Es ist vorgegeben.
- C: Es bestimmt sich durch die Kapazität der angeschlossenen Pumpe.
- D: Es entspricht der für einen Produktionsdurchlauf jeweils erforderlichen Rohstoffmenge.

**17. Wo befinden sich die Dosierbehälter?**

- A: Sie befinden sich jeweils über den zugehörigen Pumpen.
- B: Der Dosierbehälter DB~ befindet sich direkt vor dem Trockner.
- C: DB\* und DB° befinden sich direkt über dem Mischer.
- D: Der Dosierbehälter DB~ ist über dem Verseifungskessel angeordnet.

- 18. Wann schaltet sich die Pumpe zwischen Lagertank und Dosierbehälter ab?**  
A: Nach dem Erreichen der erforderlichen Rohstoffmenge schaltet sie sich automatisch ab.  
B: Sie muss manuell abgeschaltet werden.  
C: Das Abschalten erfolgt über eine Füllstandskontrolle.  
D: Die Pumpe schaltet sich nach dem vollständigen Entleeren des Lagertanks ab.
- 19. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**  
A: Alle Dosierbehälter besitzen eine Heizungsanlage.  
B: Alle Dosierbehälter bestehen aus Edelstahl.  
C: Alle Dosierbehälter besitzen ein manuelles Ablassventil.  
D: Alle Ablassventile schließen sich automatisch nach vollständiger Entleerung der Dosierbehälter.
- 20. Worauf muss bei der Weiterleitung der Ausgangsstoffe in den Mischer geachtet werden?**  
A: Dass sich die Fette vor der Natronlauge im Mischer befinden.  
B: Dass sich die Natronlauge vor dem Wasser im Mischer befindet.  
C: Dass sich die Fette vor der Natronlauge und dem Wasser bereits im Mischer befinden.  
D: Dass der Mischer noch vor dem Einleiten bereits aktiviert ist.
- 21. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**  
A: Der Mischerbehälter besteht aus Edelstahl.  
B: Der Mischerbehälter besteht aus Polyethylen.  
C: Der Mischerbehälter besteht aus einer Nickellegierung.  
D: Keine der Aussagen ist richtig.
- 22. Wozu dienen die Stellregler am Mischer?**  
A: Die Stellregler dienen zum An- und Ausschalten des Mischers.  
B: Über die Stellregler kann der Druck eingestellt werden.  
C: Über die Stellregler können die Temperatur und die Zeitspanne eingestellt werden.  
D: An dem Mischer muss die zu mischende Menge Fette eingestellt werden.
- 23. Welche Funktion hat der Mischer?**  
A: Im Mischer werden Fette und Lauge zu einem Gemisch verarbeitet.  
B: Es wird dem Fett Wasser zugesetzt.  
C: Wasser, Fette und Lauge werden gemischt.  
D: Die Fettsäuren werden hier durch die Natronlauge neutralisiert.
- 24. Wann schaltet sich der Mischer automatisch ab?**  
A: Der Mischer schaltet sich jeweils nach 1 Stunde automatisch ab.  
B: Der Mischer schaltet sich automatisch ab, wenn die eingestellte Zeit abgelaufen ist.  
C: Der Mischer schaltet sich automatisch ab, wenn der Verseifungskessel eingeschaltet wird.  
D: Der Mischer schaltet sich automatisch ab, wenn die Kontrolllampe aufleuchtet.
- 25. Wie wird der Mischer angetrieben?**  
A: mit Benzin  
B: mit Diesel  
C: mit elektrischem Strom  
D: mit Biogas

**26. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die notwendige Mischzeit für eine vollständige Füllung des Mischers beträgt 3 Stunden.
- B: Beim Mischen ist eine Temperatur von 180° C einzuhalten.
- C: Der Mischer verfügt über eine Füllstandsanzeige.
- D: Der Mischer hat ein Fassungsvermögen von 9000 l.

**27. Wozu dienen die Stellregler des Verseifungskessels?**

- A: An ihnen stellt man die Verseifungsdauer ein.
- B: An ihnen stellt man den nötigen Druck und die Temperatur ein.
- C: An ihnen stellt man die Menge an herzustellender Seife ein.
- D: Sie haben keine Funktion.

**28. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Der Verseifungskessel ist ein Hochdrucktank mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern.
- B: Der Verseifungsvorgang wird entsprechend der Füllmenge automatisch beendet.
- C: Der Verseifungskessel besitzt eine spezielle Titanummantelung.
- D: Der Verseifungskessel besitzt ein Überdruckventil.

**29. Was passiert bei der Verseifung im Innern des Verseifungskessels?**

- A: Das in den Ölen und Fetten vorkommende wasserlösliche Glycerin wird von den mit ihm verbundenen Fettsäuren getrennt.
- B: Natronlauge wird in Natriumchlorid umgesetzt.
- C: Die zuvor gewonnen Fettsäuren werden neutralisiert.
- D: Unterlage setzt sich auf dem Boden des Verseifungskessels ab.

**30. Welche Anzeigen besitzt der Verseifungskessel?**

- A: Eine Zeitanzeige.
- B: Eine Temperaturanzeige.
- C: Eine Füllstandsanzeige.
- D: Keine der Anzeigen.

**31. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Unterlage wird vor dem nächsten Arbeitsgang automatisch abgelassen.
- B: Der Anteil der Unterlage nach dem Verseifungsprozess beträgt 50% des Gesamtvolumens.
- C: Für die Verseifung ist mindestens ein Druck von 40 bar nötig.
- D: Ein Verseifungsdurchgang dauert ca. 4 – 6 Stunden.

**32. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Im Trockner wird der Seifenleim von einem Wassergehalt von 40 % auf 15 % reduziert.
- B: Im Trockner wird der Seifenleim von einem Wassergehalt von 60 % auf 20 % reduziert.
- C: Der Trockner besteht aus Edelstahl, hat ein Fassungsvermögen von 12.000 Litern und besitzt eine Füllstandsanzeige.
- D: Für die Weiterverarbeitung wird die Seife im Trockner gekühlt.

**33. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Der Seifenleim wird im Trockner bei einer Temperatur von 25 °C und einem Druck von 40 mbar bearbeitet.
- B: Der Trockner ist ein Vakuum-Trockner.
- C: Die Seife fällt aus der Sprühkammer des Trockners in den Sammelraum.
- D: Dem Seifenleim werden im Trockner Duftstoffe zugeführt.

**34. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Trocknungszeit kann am Trockner über einen Stellregler eingestellt werden.
- B: Die für den Trocknungsprozess benötigte Temperatur kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Temperaturanzeige abgelesen werden.
- C: Das beim Trocknungsprozess verdampfte Wasser muss über ein manuell zu öffnendes Ventil abgeleitet werden.
- D: Das beim Trocknungsprozess verdampfte Wasser wird automatisch abgeleitet.

**35. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Trocknungszeit kann über eine Zeitanzeige abgelesen werden.
- B: Der für den Trocknungsprozess benötigte Druck kann über einen Stellregler eingestellt und an einer Druckanzeige abgelesen werden.
- C: Der Trocknungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und entsprechend der Füllmenge automatisch beendet.
- D: Der Trocknungsvorgang wird über einen Schalter gestartet und muss manuell wieder abgeschaltet werden.

**36. Welche Fördereinrichtungen sind manuell einzuschalten?**

- A: Keine Fördereinrichtung ist manuell einzuschalten.
- B: Es müssen nur die Seifenpumpe SP und die Mischerpumpe MP manuell eingeschaltet werden.
- C: Alle Fördereinrichtungen sind manuell einzuschalten.
- D: Nur die Rohrförderschnecke RFS, die Seifenpumpe SP und die Mischerpumpe MP müssen manuell eingeschaltet werden.

**37. Welche Fördereinrichtungen sind manuell abzuschalten?**

- A: Keine Fördereinrichtung ist manuell abzuschalten.
- B: Die Seifenpumpe SP und die Rohrförderschnecke RFS sind manuell abzuschalten.
- C: Alle Fördereinrichtungen sind manuell abzuschalten.
- D: Die Ölpumpe ÖP, die Wasserpumpe WP und die Laugenpumpe LP sind manuell abzuschalten.

**38. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Seifenpumpe SP transportiert das Laugen-Fettgemisch.
- B: Die Pumpe WP befördert das Wasser.
- C: Die Seifenpumpe transportiert den Seifenleim.
- D: Die Mischerpumpe transportiert das Laugen-Fettgemisch.

**39. Welche Aufgabe hat die Rohrförderschnecke?**

- A: Sie transportiert den Seifenleim.
- B: Sie transportiert die Seife.
- C: Sie transportiert das Laugen-Fettgemisch.
- D: Sie transportiert die Lauge.

- 40. Nach welchem Funktionsprinzip arbeiten die in der Rohstoffaufbereitung eingesetzten Pumpen?**
- A: Es sind Kolbenpumpen.
  - B: Es sind Kreiselpumpen.
  - C: Es sind Zahnradpumpen.
  - D: Es sind hydropneumatische Pumpen.
- 41. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**
- A: Die Pumpe ÖP befördert das Fett.
  - B: Die Pumpe LP befördert die Lauge.
  - C: Die Pumpe LP befördert das Wasser.
  - D: Die Pumpe WP befördert die Lauge.
- 42. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**
- A: Der Lagertank LT\* ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Ölpumpe ÖP mit dem Dosierbehälter DB\* verbunden.
  - B: Der Lagertank LT~ ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Laugenpumpe LP mit dem Dosierbehälter DB~ verbunden.
  - C: Der Lagertank LT~ ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Wasserpumpe WP mit dem Dosierbehälter DB~ verbunden.
  - D: Der Lagertank LT° ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Ölpumpe ÖP mit dem Dosierbehälter DB° verbunden.
- 43. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**
- A: Der Lagertank LT° ist über Rohrleitungen und die zwischengeschaltete Laugenpumpe LP mit dem Dosierbehälter DB° verbunden.
  - B: Die Dosierbehälter DB\* und DB° sind über Rohrleitungen mit Mischer verbunden.
  - C: Der Dosierbehälter DB~ ist über eine Rohrleitung mit dem Mischer verbunden.
  - D: Der Dosierbehälter DB~ ist über eine Rohrleitung mit dem Verseifungskessel verbunden.
- 44. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**
- A: Der Verseifungskessel ist über eine Rohrleitung und die zwischengeschaltete Mischerpumpe MP mit dem Trockner verbunden.
  - B: Der Verseifungskessel ist über eine Rohrleitung und die zwischengeschaltete Seifenpumpe SP mit dem Trockner verbunden.
  - C: Der Trockner ist über die Rohrförderschnecke mit dem Zwischenlagerbehälter verbunden.
  - D: Der Mischer ist über eine Rohrleitung und die Mischerpumpe mit dem Zwischenlagerbehälter verbunden.
- 45. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**
- A: Für Seife mit der Qualitätsstufe 1 müssen am Verseifungskessel 150° C und 5 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 4 Stunden.
  - B: Für Seife mit der Qualitätsstufe 1 müssen am Verseifungskessel 180° C und 8 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 6 Stunden.
  - C: Für Seife mit der Qualitätsstufe 2 müssen am Verseifungskessel 200° C und 10 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 4 Stunden.
  - D: Für Seife mit der Qualitätsstufe 2 müssen am Verseifungskessel 210° C und 12 Bar eingestellt werden; der Verseifungsprozess dauert 6 Stunden.

**46. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Eine Unterschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Verseifungskessel verlängert den Verseifungsprozess.
- B: Eine Überschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Verseifungskessel verkürzt zwar den Verseifungsprozess, macht ihn jedoch unökonomisch.
- C: Eine Überschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Trockner hat keinen Einfluss auf den Verseifungsprozess.
- D: Eine Unterschreitung der notwendigen Temperatur und des notwendigen Drucks im Trockner führt zu einem Zwischenprodukt mit zu hohem Feuchtigkeitsgehalt.

**47. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Alle Pumpen bestehen aus Edelstahl.
- B: Alle Dosierbehälter bestehen aus Edelstahl.
- C: Nur die Lagertanks bestehen aus Edelstahl.
- D: Nur der Verseifungskessel und der Trockner bestehen aus Edelstahl.

**48. Welche Bauelemente besitzen Stellregler?**

- A: der Verseifungskessel
- B: die Rohrförderschnecke RFS
- C: die Seifenpumpe
- D: die Trockner und der Mischer

**49. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Lagertanks besitzen Füllstandsanzeigen.
- B: Der Verseifungskessel besitzt eine Zeitanzeige.
- C: Die Seifenpumpe SP und die Mischerpumpe MP besitzen Füllstandsanzeigen.
- D: Die Dosierbehälter besitzen Füllstandsanzeigen.

**50. Welche Bauelemente besitzen Schalter?**

- A: die Lagertanks
- B: die Rohrförderschnecke RFS
- C: die Ölpumpe und die Wasserpumpe
- D: der Trockner und der Mischer

**51. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Seifenpumpe transportiert den Seifenleim vom Verseifungskessel zum Trockner.
- B: Die Mischerpumpe transportiert den Seifenleim vom Mischer zum Trockner.
- C: Die Wasserpumpe WP transportiert das Wasser vom Lagertank LT~ zum Dosierbehälter DB~.
- D: Die Ölpumpe ÖP transportiert das Öl vom Mischer zum Zwischenlagerbehälter.

**52. Welche Aussage(n) ist/sind richtig?**

- A: Die Wasserpumpe WP, die Ölpumpe ÖP und die Laugenpumpe LP sind manuell einzuschalten.
- B: Die Seifenpumpe schaltet sich automatisch ab.
- C: Die Rohrförderschnecke RFS muss manuell abgeschaltet werden.
- D: Trockner und Mischer müssen manuell abgeschaltet werden.

**53. Was kann an den Stellreglern eingestellt werden?**

- A: die Temperatur
- B: die Fördermenge
- C: der Druck
- D: die Zeit

**54. Was kann an den Anzeigen abgelesen werden?**

- A: die Zeit
- B: die Fördermenge
- C: der Füllstand
- D: die Pumpenleistung

### **9.5. Anhang A5: Aufgabenstellungen der Produktionsaufgaben**

1. Im Rahmen des technologischen Prozesses der Seifenproduktion wird Ihnen die Verantwortung übertragen, Seife der Qualitätsstufe 2 zu produzieren. Bitte führen Sie einen zur Seifenherstellung notwendigen Prozessablauf vollständig durch.
2. Bitte stellen Sie 18.000 Liter Seife der Qualitätsstufe 2 her. Dazu sind zwei Prozessabläufe notwendig.

## 9.6. Anhang A6: Operatoren der Produktionsaufgabe

- Bei der Produktionsaufgabe 2 muss der gesamte Verseifungsprozess zwei mal durchgeführt werden

### **Einstellen der Werte**

Einstellen der Temperatur am Mischer  
Einstellen der Zeit am Mischer  
Einstellen der Temperatur am Verseifungskessel  
Einstellen des Drucks Verseifungskessel  
Einstellen der Temperatur am Trockner  
Einstellen des Drucks Trockner

### **Befördern der Fette**

Einschalten der Fettpumpe zum Dosierbehälter  
Einschalten der Fettdosierpumpe zum Mischer

### **Befördern der Lauge**

Einschalten der Laugenpumpe zum Dosierbehälter  
Einschalten der Laugendosierpumpe zum Mischer

### **Befördern des Wassers**

Einschalten der Wasserpumpe zum Dosierbehälter  
Einschalten der Wasserdosierpumpe zum Mischer

### **Betätigen des Mixers**

Einschalten des Mixers

### **Befördern des Lauge-Fett-Gemisches**

Einschalten der Mischerpumpe

### **Verseifen von Oelen, Seife und Wasser**

Einschalten der Verseifung am Kessel

### **Befördern der Seife zur Trocknung**

Einschalten der Seifenpumpe  
Ausschalten der Seifenpumpe

### **Trocknen der Seife**

Einschalten des Trockners

### **Befördern der Seife zum Zwischenlagerbehälter**

Einschalten der Rohrförderschnecke  
Ausschalten der Rohrförderschnecke

Nur bei Produktionsaufgabe 2 zwischen dem ersten und zweiten Verseifungsvorgang:

### **Ablassen der Unterlauge**

Einschalten des Ventilschalters am Verseifungskessel