

4 Theoretische Beschreibung der Untersuchung

In diesem Kapitel wird zum einen auf die Merkmale einer Evaluation eingegangen - zum anderen werden die didaktisch-methodischen Faktoren der Untersuchung vorgestellt und erläutert.

Das Kapitel gliedert sich in fünf Hauptpunkte:

- Evaluation als Qualitätssicherung und -verbesserung,
- Bussysteme als Lernträger,
- Auswahl des Forschungsdesigns,
- Forschungsinstrumente,
- Beschreibung der Laborumgebungen.

4.1 Evaluation als Qualitätssicherung und -verbesserung

Der Begriff "*Evaluation*" stammt aus dem Lateinischen und bedeutet "*Bewertung, Beurteilung*". Eine derartige Bewertung erfolgt im Allgemeinen jedoch nicht grundlos; vielmehr soll anhand der Beurteilungsergebnisse die Qualität eines Gegenstandes oder eines Vorgangs (z.B. einer Lehrmethode) entweder gesichert oder auch verbessert bzw. neuen Anforderungen angepasst werden. Es liegt daher nahe, bei der Evaluation von Lehrmethoden oder auch einzelnen Lernumgebungen im Rahmen dieser Untersuchung von Qualitätssicherung und -verbesserung zu sprechen. Qualitätssicherung/-verbesserung ist damit Ziel und Orientierungsrahmen für die Anwendung von Ansätzen und Methoden aus der Evaluationsforschung.

Qualitätssicherung geht jedoch über den Begriff der Evaluation hinaus - sie ist mehr als nur eine Beurteilung der Effektivität einer Lehrmethode: Qualitätssicherung ist entscheidend für die Professionalität von Lehrveranstaltungen und sie ist in allen Phasen - Planung, Entwicklung und Einsatz - relevant und zielführend.

Eine optimierte Ingenieurausbildung, die an die verschiedensten Anforderungen angepasst ist, ermöglicht es den Lernenden, sich zu qualifizieren, sich weiterzuentwickeln und persönliche Ziele mit Anforderungen aus der industriellen Berufspraxis in Einklang zu bringen. Auch den Lehrenden bringt eine in ihrer Qualität gesicherte Lehre Vorteile: Sie können ihr Wissen und Können und ihre Rolle als Lehrende besser entfalten.

Generell sollte vor jeder Qualitätssicherung allen Beteiligten deutlich gemacht werden, was und wozu etwas beurteilt bzw. bewertet werden soll. Dieser Grundsatz gilt auch für die durchgeführte Evaluation von Lernumgebungen. Eine Möglichkeit dies zu tun, besteht darin, in einem kurzen Vorgespräch allen Beteiligten zu erläutern, dass die geplante Evaluation nicht zum Ziel hat, die Lernenden in ihren Leistungen zu bewerten oder zu kontrollieren, sondern dass die Evaluation dazu beitragen will, unter aktiver Mithilfe der Lernenden wie auch der Lehrenden die Wirksamkeit und Qualität der Ingenieurausbildung (im konkreten Fall der Lernumgebung) zu untersuchen und gegebenenfalls zu verbessern. Die Lernenden sind folglich nicht »Objekt« der Evaluation, sondern aktiv Handelnde, ohne die eine Qualitätssicherung nicht möglich wäre.

Schon während der Planungsphase der Untersuchung sollten die damit verbundenen Ziele möglichst präzise beschrieben werden. Dabei kann es sich um sogenannte Lernziele im engeren Sinn (z.B. nach dem Durchführen eines Laborversuches soll dieses oder jenes Gerät bedient, dieses oder jenes Verfahren angewendet werden können) oder um Transferziele (z.B. diese oder jene Verfahren bei einer anderen, vergleichbaren Problemstellung anwenden) handeln. Die Zielpräzisierung in der Planungsphase ist wichtig, weil sie zum einen die Leitlinie für die nachfolgende Entwicklung der Labordurchführung vorgibt und zum anderen wichtige Kriterien liefert, um später den Erfolg der Durchführung zu überprüfen.

Während der Entwicklungsphase der Qualitätssicherung wird man in erster Linie Maßnahmen der *formativen Evaluation* ergreifen. Qualitätssicherung durch formative Evaluation bezieht sich auf die noch in der Entwicklung begriffene Lernumgebung. Die Ergebnisse dieser prozessorientierten Form von Qualitätssicherung dienen unmittelbar der Verbesserung bzw. Optimierung der Lernumgebung oder einzelnen Teilen der Umgebung. Eine formative Evaluation führt man am besten mit kleinen Gruppen (bei

großen Zielgruppen eventuell mit Stichproben) durch, was kostengünstig ist und detaillierte Analysen erlaubt.

Die von mir entwickelten Laboraufbauten wurden bereits in ihren verschiedenen Entwicklungsphasen formativ evaluiert. Dazu wurden zu unterschiedlichen Entwicklungszeitpunkten Studentengruppen (2-3 Personen) mit Teilbearbeitungsaufgaben betraut und anschließend beurteilt. So konnten bereits bei der Entwicklung der Aufbauten Anpassungen und Optimierungen vorgenommen werden.

In der Einsatzphase geht es zumeist um die abschließende Bewertung eines Gegenstandes oder eines Vorgangs, auch *summative Evaluation* genannt. Qualitätssicherung durch summative Evaluierung bezieht sich auf die Beschreibung und Bewertung z.B. einer Lernumgebung, deren Entwicklung bereits beendet ist. Die Resultate dieser ergebnisorientierten Form der Qualitätssicherung dienen dem besseren Verständnis und/oder der Legitimation der entsprechenden Lehrmethode. Eine summative Evaluation führt man am effektivsten mit systematischen Stichproben innerhalb der Zielgruppe oder auch mit der gesamten Zielgruppe durch.

Die kurze Beschreibung der beiden Evaluationsformen macht ansatzweise deutlich, dass eine formative Evaluation den entscheidenden Vorteil hat, dass sie entwicklungsorientiert ist und somit eine Dynamik ermöglicht, die angesichts der steigenden Anforderungen und Neuerungen in allen Organisationen unverzichtbar ist. Die Ergebnisse einer Qualitätssicherung bzw. Evaluation sollten dazu genutzt werden, die Ingenieurausbildung im Sinne aller Beteiligten fortlaufend zu verbessern.

4.2 Bussysteme als Lernträger

Im folgenden Teilkapitel soll begründet werden, inwieweit sich das Thema "Bussysteme" als Lernträger für die durchgeführte Untersuchung eignet.

Dazu sollen zunächst didaktische und fachlich-inhaltliche Aspekte betrachtet werden. Ergänzende Ausführungen zu der Entwicklungsgeschichte der Anlagen an der Fachhochschule Hannover bilden in diesem Teilkapitel den Abschluss.

4.2.1 Didaktischer und fachlich-inhaltlicher Aspekt

Wie schon an verschiedenen Stellen beschrieben, ist es sinnvoll, Schlüsselqualifikationen in direktem Zusammenhang mit einem bestimmten fachlichen Lehrstoff zu entwickeln und zu fördern.

Vor diesem Hintergrund und aus dem Ansatz eines *ganzheitlichen* und *vernetzten Denkens* heraus, hat der Lernträger "Bussysteme" außerordentlich große Vorteile. Automatisierungsanlagen, die durch Bussysteme vernetzt wurden, können als *komplexe Systeme* angesehen werden. Eine zielgerichtete Realisierung solcher Anlagen im Labormaßstab ist in der Lage, die Aspekte der Vernetztheit, Komplexität und Rückkopplung effizient in die Lehre einzubringen.

Auch in technisch-fachlicher Hinsicht gewinnen die Bussysteme zunehmend an Bedeutung (vgl. Kapitel 5.1 Allgemeines zur Vernetzung mit Bussystemen). Der Kommunikationsbedarf in allen Wirtschaftszweigen steigt aufgrund der zunehmenden Automatisierung unausweichlich. Alle Branchen werden in Zukunft auf die Kommunikationsfähigkeit der eingesetzten Systeme, Geräte und Komponenten achten müssen. So wird durch den Einzug der Digitaltechnik in die Steuerungssysteme in allen Bereichen der Automatisierungstechnik erreicht, dass umfangreiche Datenpakete digital und bidirektional ausgetauscht werden. Dadurch wird eine anwenderfreundliche Bedienung, Programmierung und Fehleranalyse möglich (Brosch 1999). Bussysteme spielen dabei eine mitentscheidende Rolle und sind daher für die Ingenieurausbildung als fachlicher Inhalt unbedingt notwendig.

Um übertragbares, technisches Wissen bei den Lernenden zu entwickeln, sind die grundlegenden Invarianten eines Bussystems zu bestimmen, methodisch aufzubereiten und in das Lehrkonzept zu integrieren. Invarianten sind die fachlichen Schlüsselinhalte, die system- und herstellerübergreifend bei dem Großteil der Bussysteme vorhanden sind (vgl. dazu Kapitel 5.1.2 Feldebussystem).

4.2.2 Entwicklungen an der FHH

Seit mehreren Jahren wird im Fachgebiet „Elektrische Antriebe und Automatisierungstechnik“ der Fachhochschule Hannover das Themengebiet "Bussysteme" erfolgreich in die Lehre integriert. In Diplomarbeiten wurden zahlreiche

Versuchsaufbauten entwickelt, die sowohl didaktisch-methodisch als auch inhaltlich unterschiedliche Zielsetzungen verfolgten (vgl. Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Liste der Diplomarbeiten mit Bussystemen als Lernträger

Titel der Arbeit	Zeitpunkt
SECOM - Datenkommunikation zwischen PC und Frequenzumrichter	WS 91/92
Feldkommunikation mit InterBus-S	SS 93
Speicherprogrammierbare Steuerung und Antriebsvernetzung mit InterBus-S	SS 94
Vernetzung mit InterBus-S - Prozeßvisualisierung und Lernsystem	WS 94/95
Lehrmodell zur Erwärmungsmessung an Drehstromasynchronmaschinen	SS 95
Prozeßvisualisierung mit InterBus-S	SS 95
Antriebsvernetzung und Visualisierung mit PROFIBUS DP	WS 95/96
Lehrmodell zur Antriebsvernetzung und Prozeßvisualisierung mit Industrie-PC und II/O-Lightbus	WS 95/96
Automatisierung einer Fensterverputzmaschine mit II/O-Lightbus	WS 95/96
CAN-Bus - Antriebsvernetzung direkt und indirekt im Vergleich	SS 96
4Q-Stromrichterprüfstand	SS 96
Rechnergesteuerter Prüfstand	WS 96/97
CAN-Bus-Vernetzung und Visualisierung	SS 97
InterBus-Vernetzung und Visualisierung mit PC und Software-SPS	SS 97
Mehrachskoordinierung mit CAN-Bus	WS 97/98
Siemens S7 mit Profibus DP und ASi	WS 97/98
Prozeßvisualisierung mit Profibus und WinCC	WS 97/98
X-Y-Positionierung mit II/O-Lightbus und Software-SPS	SS 98
Positionierung mit Lust-Bus	SS 98
Prozeßvisualisierung mit WinCC	WS 98/99
Entwicklung eines Lehrmodells mit Soft-SPS und Feldbus zum aktiven Lernen	WS 98/99

4.3 Auswahl des Forschungsdesigns

Der Nachweis von theoretisch vermuteten Zusammenhängen erfolgt auf der Ebene beobachtbarer Indikatoren. Dazu muss entschieden werden, wann, wo, wie und wie oft die empirischen Indikatoren an welchen Objekten erfasst werden sollen. Die Gesamtheit dieser Entscheidungen nennt man *Forschungsdesign*. Ziel bei der Auswahl des Forschungsdesigns ist es, möglichst viele alternative Erklärungen zur Ursache einer Wirkung auszuschließen (Schnell u.a. 1992).

Einflussfaktoren bei der Auswahl des Forschungsdesigns können z.B. die Anzahl der Probanden und/oder der zeitliche Rahmen sein.

4.3.1 Studentensituation im Laboratorium für Leistungselektronik

Für die Wahl des Forschungsdesigns der Untersuchung ist die Anzahl der Probanden ein entscheidendes Kriterium. Für den Untersuchungszeitraum standen in der Wahlpflichtveranstaltung "Laboratorium für Leistungselektronik" folgende Probandenzahlen zur Verfügung:

Sommersemester 1998 :	14 Studenten
Wintersemester 1998/99 :	10 Studenten
	<hr/>
	Σ 24 Studenten

Bei der Verwendung eines Forschungsdesigns mit Kontroll- und Experimentalgruppe (direkter Gruppenvergleich) ergaben sich daher Gruppengrößen von je 12 Probanden.

4.3.2 Forschungsdesign

Aus der formulierten Arbeitshypothese ist abzuleiten, dass es sich bei der Untersuchung im Wesentlichen um zwei Variablen handelt:

unabhängige Variable → die **geöffnete Laborumgebung**

abhängige Variable → die **Entwicklung/Förderung von Schlüsselqualifikationen**

Beim Forschungsdesign "Vorher-Nachher-Messung mit Kontrollgruppe" werden zwei Gruppen von Probanden gebildet, die nach dem Zufallsprinzip einer Kontrollgruppe (KG) und einer Experimentalgruppe (EG) zugeordnet werden. Diese zufällige Zuweisung wird auch Randomisierung (R) genannt. In beiden Gruppen wird vor der folgenden experimentellen Manipulation (Setzung des Treatments) die abhängige Variable "gemessen". Diese Messung wird im Allgemeinen als "Pretest" oder Vorhermessung bezeichnet. Anschließend wird nur die Experimentalgruppe dem Treatment ausgesetzt, worauf dann die zweite Messung der abhängigen Variable in beiden Gruppen erfolgt. Die zweite Messung wird auch als "Posttest" oder "Nachhermessung" bezeichnet. Das Forschungsdesign "Vorher-Nachher-Messung mit Kontrollgruppe" lässt sich wie folgt darstellen (vgl. Abb. 4-1):

R:	○		○	Kontrollgruppe
R:	○	×	○	Experimentalgruppe
	t ₁	t ₂	t ₃	

- R: Randomisierung
 t₁: Zeitpunkt 1 (Pretest)
 t₂: Zeitpunkt 2 (Setzung des Treatments)
 t₃: Zeitpunkt 3 (Posttest)
 ×: Treatment
 ○: Messung

Abbildung 4-1: Vorher-Nachher-Messung mit Kontrollgruppe (Schnell 1992)

Das Design der "Vorher-Nachher-Messung mit Kontrollgruppe" hat zwei entscheidende Vorteile gegenüber einmaligen Messungen:

- a) Da sowohl ein Vorher- als auch ein Nachherwert der Beurteilung existiert, ist ein direkter Vergleich für die Experimentalgruppe möglich. Unterschiede bei den Beurteilungen (die idealerweise Auswirkungen des Treatments sind) sind dadurch im Prinzip einfach zu erfassen.
- b) Sicherheit gewinnen diese Erkenntnisse durch eine Gegenüberstellung mit der Kontrollgruppe, die dem Treatment nicht ausgesetzt sind. Sind bei der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede bei der Beurteilung zu verzeichnen, so kann (zunächst) mit großer Sicherheit auf eine Wirkung des Treatments X geschlossen werden (Schnell 1992).

4.3.3 Zeitlicher Ablauf der Untersuchung

Basierend auf dem Forschungsdesign "Vorher-Nachher-Messung mit Kontrollgruppe" wurde folgender zeitlicher Ablauf für die Untersuchung entwickelt (vgl. Abb. 4-2):

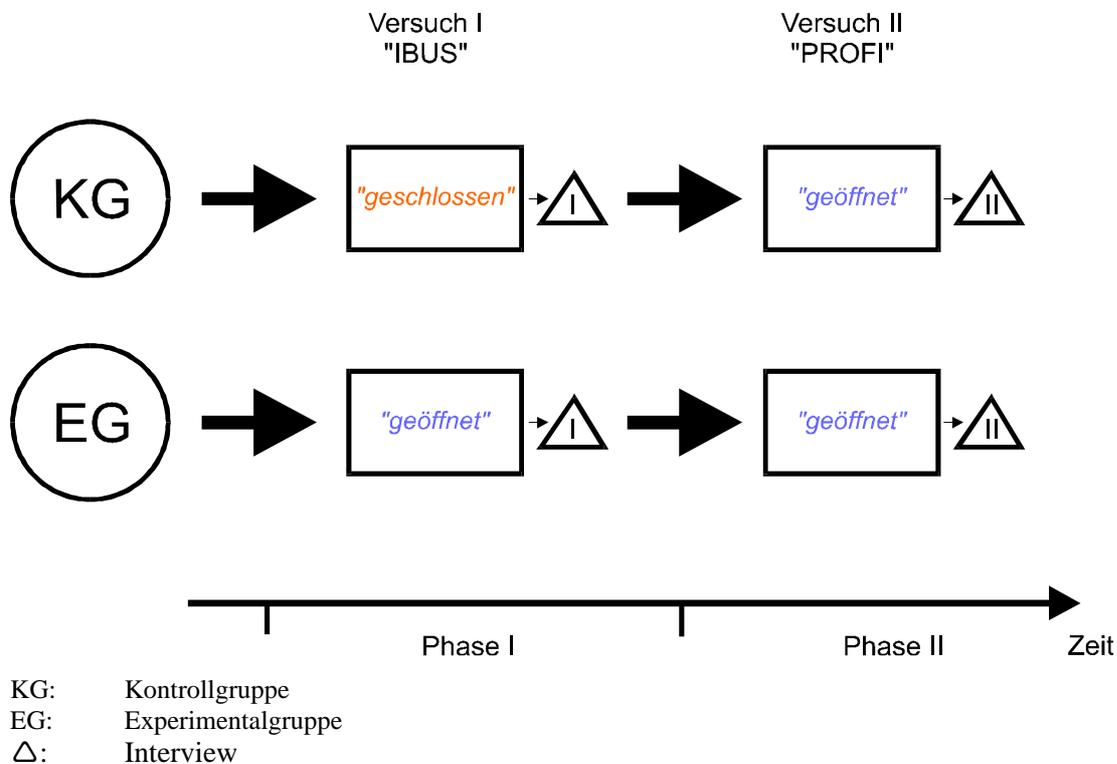


Abbildung 4-2: Zeitlicher Ablauf der Untersuchung

I. Phase:

In dieser ersten Phase wurde bei der Experimentalgruppe das *Treatment* (geöffnete Laboranleitung) eingesetzt. Gleichzeitig hatte diese Phase auch die Funktion des *Pretests*.

Die **Kontrollgruppe** erhielt zur Durchführung des Versuchs I (IBUS) eine Laboranleitung mit eher "geschlossenen" Charakter.

Die **Experimentalgruppe** hingegen erhielt zur Durchführung desselben Versuchs I eine Laboranleitung mit eher "geöffnetem" Charakter.

Beide Gruppen (KG und EG) wurden während der Durchführung permanent beobachtet und beurteilt. Im Anschluss an den durchgeführten Laborversuch wurden die Probanden einem Interview unterzogen. Sie wurden befragt und aufgefordert, einen Fragebogen zu bearbeiten. Die Beobachtungen und Interviews wurden durchgehend von mir selbst

durchgeführt - während der gesamten Versuchsdurchführung stand ein Technischer Angestellter des Labors (Dipl.-Ing. W. Pfohl) als Lernhelfer zur Verfügung.

II. Phase:

Die zweite Phase der Untersuchung hatte die Funktion des *Posttests*.

In dieser Phase erhielten **sowohl die Experimental- als auch die Kontrollgruppe** zur Durchführung des Versuchs II (PROFI) eine Laboranleitung mit eher "*geöffnetem*" Charakter.

Auch während dieser Phase II wurden beide Gruppen während der Durchführung permanent beobachtet und bewertet. Wiederum wurden die Probanden direkt nach der Durchführung des Laborversuchs einem Interview unterzogen. Sie wurden erneut befragt und aufgefordert, einen Fragebogen zu bearbeiten.

Sowohl der Beobachter/Interviewer als auch der Lernhelfer waren identisch mit der ersten Phase der Untersuchung.

Die Untersuchung setzte sich aus zwei Teilen zusammen: der erste Teil wurde mit 14 Studenten im Sommersemester 1998, der zweite Teil mit 10 Studenten im Wintersemester 1998/99 durchgeführt. Genauere Daten, z.B. zum zeitlichen Rahmen der einzelnen Versuchsdurchführungen, befinden sich in dem Kapitel 5.2 (Organisatorischer Ablauf der Laborveranstaltungen).

4.4 Forschungsinstrumente

Zusätzlich zur grundsätzlichen Entscheidung für ein bestimmtes Forschungsdesign müssen auch die konkreten Randbedingungen analysiert werden. Dazu gehören zum einen die allgemeinen Analysekriterien, wie z.B. die Wirkungsanalyse, der Gültigkeitsanspruch und der Signifikanztest und zum anderen die Art der Erhebungsmethode (Fragebögen, Beobachtungen usw.).

4.4.1 Allgemeine Analysekriterien

Bei der Durchführung von Laborveranstaltungen sollen sowohl fachliche Inhalte als auch Schlüsselqualifikationen vermittelt werden. Um die damit verbundenen Lernprozesse "richtig" analysieren zu können, bedarf es zahlreicher Vorüberlegungen, Definitionen und Werkzeuge.

Im Folgenden sollen daher die drei wesentlichen Analysekriterien vorgestellt werden:

- die Wirkungsanalysen,
- der Gültigkeitsanspruch und
- der Signifikanztest.

4.4.1.1 Wirkungsanalyse

Grundlegend für die formative und summative Evaluierung ist die *Wirkungsanalyse*.

Sie umfasst in der Regel drei wesentliche Dimensionen:

- Akzeptanz,
- Lernprozess/Lernerfolg und
- Transfer.

Jede dieser drei Dimensionen kann einzeln analysiert werden. Die Relevanz der einzelnen Dimensionen und der Umfang der Analyse kann bei einer Qualitätssicherung allerdings unterschiedlich sein. Die Entscheidung, welche Dimension mit welchem Aufwand einer Analyse unterzogen wird, hängt zum einen von den Zielen der Qualitätssicherung, zum anderen aber auch von organisatorischen Faktoren und den bereitgestellten (materiellen und finanziellen) Mitteln ab.

Der erste Schritt ist die *Akzeptanz-Analyse*, da nur eine akzeptierte Lernumgebung zu einem günstigen Lernprozess und zu einem Lernerfolg führen kann.

Zentrale Fragen der Akzeptanz-Analyse sind:

- Wie wird die Lernumgebung aufgenommen?
- Wie schätzen die Untersuchungsteilnehmer folgende Dimensionen ein:
 - Inhalt der Laborversuche?
 - Gestaltung der Laborversuche?
 - Vermittlung der Inhalte?
 - Relevanz für die Industriepraxis?
 - Belastung (z.B. Über- oder Unterforderung) etc.?
- Welche Änderungen schlagen die Untersuchungsteilnehmer vor?

Der unmittelbare *Lernerfolg*, der zusammen mit dem *Lernprozess* in einem zweiten Schritt zu analysieren ist, bildet eine Voraussetzung dafür, dass der erwartete Transfer der Lerninhalte auf reale Situationen erfolgen kann.

Mögliche Evaluationsmethoden, um Lern-/Lehrprozesse zu untersuchen, sind:

- Befragungen (mündlich oder schriftlich)
- Beobachtungen (Selbst- und Fremdbeobachtung) und
- "lautes Denken".

Die *Transferanalyse* nimmt im Rahmen der Qualitätssicherung eine besondere Stellung ein, denn nur wenn die Lernenden die Lernziele in der späteren Anwendungssituation effektiv umsetzen können, hat sich das Durchlaufen der Lernsituation gelohnt.

Die zentralen Fragen der Transfer-Analyse sind:

- Wird das erworbene Wissen in einer späteren Problemsituation angewendet?
- Werden die erworbenen Fähigkeiten anforderungsgerecht und flexibel eingesetzt?

Mögliche Evaluationsmethoden zur Transferanalyse sind:

- Analyse objektivierbarer Daten (z.B. Fehlerraten),

- Selbst- und Fremdbeobachtungen und
- Befragungen (Selbst-/Fremdeinschätzung; mündlich/schriftlich).

Je nach der spezifischen Situation und Zielsetzung ist zu entscheiden, ob auf allen Ebenen Analysen erforderlich sind oder welche Analysen akzentuiert werden sollten.

4.4.1.2 Gültigkeitsanspruch der Untersuchungsergebnisse

Die Qualität einer Untersuchung lässt sich nach Lienert (1969) und Lienert/Raatz (1994) anhand von drei zentralen Kriterien der Testgüte beurteilen:

- Objektivität,
- Reliabilität und
- Validität.

Für die Bestimmung dieser drei Gütekriterien existieren mehrere Varianten, die es erlauben, die Untersuchungsgüte im konkreten Anwendungsfall möglichst genau zu beurteilen bzw. zu berechnen.

Im Folgenden werden die drei Testgütekriterien näher erläutert.

Objektivität

Die Objektivität (Anwenderunabhängigkeit) einer Untersuchung zerfällt nach Bortz/Döring (1995) in drei Unterformen:

- Durchführungsobjektivität,
- Auswertungsobjektivität und
- Interpretationsobjektivität.

Für die durchgeführte Untersuchung gilt:

- ⇒ Eine hohe *Durchführungsobjektivität* wurde erreicht, da es sich bei den Untersuchungen jeweils um denselben Versuchsleiter handelte und dieser mit nahezu standardisierten Instruktionen (Bearbeitungsanweisungen für die Probanden) gearbeitet hat.

- ⇒ Eine hohe *Auswertungsobjektivität* wurde einerseits durch die Art der Fragen (geschlossene Fragestellung) auf den Frage- und Beobachtungsbögen erreicht, andererseits handelte es sich in allen Fällen um denselben Auswerter.
- ⇒ Eine hohe *Interpretationsobjektivität* wurde erreicht, da vor der Versuchsdurchführung von dem Beobachter bzw. dem Auswerter "normierte Vergleichswerte" in Form von bestimmten Verhaltensmustern vereinbart wurden.

Reliabilität

Die Reliabilität (Zuverlässigkeit) gibt den Grad der Präzision (Messgenauigkeit) einer Untersuchung an. Die Reliabilität ist umso höher, je kleiner der zu einer Untersuchung gehörende Fehleranteil ist. Perfekte Reliabilität würde bedeuten, dass die Untersuchung in der Lage ist, den wahren Wert ohne jeden Messfehler zu erfassen. Dieser Idealfall tritt in der Praxis nicht auf, da sich bei dieser Art der Untersuchung Fehlereinflüsse durch situative Störungen, Müdigkeit der Probanden oder Missverständnisse nie ganz ausschließen lassen.

Für die durchgeführte Untersuchung gilt:

- ⇒ Eine Aussage über der *Reliabilität* der Untersuchung kann nicht zuverlässig getroffen werden, da prinzipiell keines der üblichen statistischen Reliabilitätstestverfahren (Retest, Paralleltest, Testhalbierung, Interne Konsistenz) eingesetzt werden konnte (zu geringe Anzahl der Gruppen).

Validität

Im Vergleich zur Objektivität und Reliabilität ist die Erfassung und Überprüfung der Validität eines Tests wesentlich aufwendiger. Es wird in drei Hauptarten von Validität unterschieden (Bortz/Döring 1995):

- Inhaltsvalidität,
- Kriteriumsvalidität und
- Konstruktvalidität.

Validität bei empirischem Untersuchungsdesign:

Abgesehen von diesen **Test**-theoretischen Kriterien der Validität, die die Qualität von Messinstrumenten angeben, gibt es zusätzlich die Kriterien der "internen" und "externen" Validität, die als Gütekriterien empirischer Untersuchungsdesigns gelten und somit auch für die durchgeführte Untersuchung anzuwenden sind.

Vereinfacht lässt sich Folgendes sagen:

*"Eine Untersuchung ist **intern** valide, wenn die Untersuchungsergebnisse eindeutig für oder gegen die Hypothese sprechen und Alternativerklärungen unplausibel erscheinen. Die interne Validität sinkt mit wachsender Anzahl plausibler Alternativerklärungen für die Ergebnisse.*

*Eine Untersuchung ist **extern** valide, wenn die Untersuchungsergebnisse auf andere, vergleichbare Personen, Orte oder Situationen generalisierbar sind. Die externe Validität sinkt mit wachsender Unnatürlichkeit der Untersuchungsbedingungen bzw. mit abnehmender Repräsentativität der untersuchten Stichproben."*

(Bortz/Döring 1995)

Da sich beide Kriterien teilweise einander ausschließen, sollten die Bemühungen um ein optimales Untersuchungsdesign interne und externe Validität gleichermaßen berücksichtigen.

Für die durchgeführte Untersuchung gilt:

Eine ausreichend hohe *interne Validität* wurde durch folgende Bedingungen des Forschungsdesigns erreicht:

- ⇒ Der zeitliche Abstand zwischen der ersten und der zweiten Phase betrug bei allen Untersuchungsgruppen sieben Tage. In diesem kurzen Zeitraum konnten *externe zeitliche Einflüsse* nahezu ausgeschlossen werden.
- ⇒ Durch den relativ kurzen Gesamtuntersuchungszeitraum (fünf bzw. sechs Wochen) und die dabei zeitgleiche Untersuchung der Experimentalgruppe bzw. Kontrollgruppe konnten Einflüsse durch *Reifungsprozesse* nahezu ausgeschlossen werden.
- ⇒ Einflüsse durch die Größe "*Testübung*" auf die einzelnen Versuchsteilnehmer konnten prinzipiell nicht ausgeschlossen werden - sie betrafen jedoch sowohl Experimentalgruppe als auch Kontrollgruppe gleichermaßen und können daher vernachlässigt werden.

- ⇒ Eine *mangelnde instrumentelle Reliabilität* konnte durch die Formulierung der Fragen der Beobachtungs- und Fragebögen minimiert werden.
- ⇒ Da alle Studenten, die an der Wahlpflichtveranstaltung "Laboratorium für Leistungselektronik" teilnahmen, auch an der Untersuchung teilnahmen (Vollerhebung), traten keine *statistischen Regressionseffekte* auf.
- ⇒ Der *Selektionseffekt* konnte durch eine zufällige Zuordnung der Teilnehmer in Experimentalgruppe bzw. Kontrollgruppe minimiert werden.
- ⇒ Die *experimentelle Mortalität* trat nicht in Erscheinung, da alle Studenten bis zum Ende an der Untersuchung teilnahmen.
- ⇒ "*Weitere Gefährdungen*" konnten ausgeschlossen werden, da die Untersuchungsteilnehmer nicht über eine Selektierung in Experimentalgruppe bzw. Kontrollgruppe in Kenntnis gesetzt wurden.

Eine ausreichend hohe *externe Validität* wurde durch folgende Bedingungen des Forschungsdesigns erreicht:

- ⇒ Eine *mangelnde instrumentelle Validität* konnte durch die exakte Formulierung der Fragen der Beobachtungs- und Fragebögen minimiert werden.
- ⇒ Da keine Stichproben gemacht wurden, sondern alle betreffenden Studenten an der Untersuchung teilnahmen, traten keine *Stichprobenfehler* auf.
- ⇒ Da der Gegenstand der Untersuchung die "Laborsituation" an sich war, trat der Einfluss der *experimentellen Reaktivität* nicht auf.
- ⇒ Einflüsse durch "*Pretest-Effekte*" auf die einzelnen Versuchsteilnehmer konnten prinzipiell nicht ausgeschlossen werden - sie betrafen jedoch sowohl Experimentalgruppe als auch Kontrollgruppe gleichermaßen und können daher vernachlässigt werden.
- ⇒ Einflüsse durch "*Hawthorne-Effekte*" auf die einzelnen Versuchsteilnehmer konnten prinzipiell nicht ausgeschlossen werden - sie betrafen jedoch sowohl Experimentalgruppe als auch Kontrollgruppe gleichermaßen und können daher vernachlässigt werden.

4.4.1.3 Signifikanztest

In der empirischen Forschung erweist sich in Zusammenhang mit der Anwendung des Forschungsdesign "Vorher-Nachher-Messung mit Kontrollgruppe" (vgl. Kapitel 4.3.2 Forschungsdesign) der Vergleich von Mittelwerten in Form einer Varianzanalyse als

zielführend (Bortz 1984). Die Prozedur *einfaktorielle ANOVA* (Statistik-Software SPSS 8.0) führt eine einfaktorische Varianzanalyse für eine qualitative abhängige Variable mit einer einzelnen (unabhängigen) Faktorvariablen durch. Mit der Varianzanalyse wird die (statistische Mittelwerts-) Hypothese überprüft, ob mehrere Mittelwerte gleich sind. Das Verfahren ist eine Erweiterung des T-Tests bei zwei Stichproben.

Mathematische Tests zur statistischen Überprüfung von Hypothesen heißen Signifikanztests.

"Ausgangspunkt der statistischen Hypothesenprüfung ist idealerweise eine Theorie (bzw. ersatzweise eine gut begründete Überzeugung), aus der unter Festlegung von Randbedingungen eine inhaltliche Hypothese abgeleitet wird, die ihrerseits in eine statistische Hypothese umzuformulieren ist. Die statistische Hypothese sagt das Ergebnis einer empirischen Untersuchung vorher (Prognose) und gibt durch ihren theoretischen Hintergrund gleichzeitig eine Erklärung des untersuchten Effektes."
(Bortz/Döring 1995)

Diese inhaltliche Unterschiedshypothese (in der Untersuchung z.B.: Experimental- und Kontrollgruppe sollen sich in ihrem Verhalten unterscheiden) ist in eine statistische Hypothese (Mittelwertshypothese) zu überführen, die ausdrückt, dass z.B. der Mittelwert (μ) der Antwort auf die Frage:

"Konnten Sie den Anweisungen in der Aufgabenstellung fachlich folgen?"

in der Experimentalgruppe kleiner ist als in der Kontrollgruppe: $\mu_E < \mu_K$.

Eine Besonderheit der statistischen Hypothesenprüfung besteht darin, dass sie stets von einem Hypothesenpaar, bestehend aus einer sog. Alternativhypothese (H_1) und einer Nullhypothese (H_0), ausgeht. Die Forschungshypothese entspricht üblicherweise der Alternativhypothese, während die Nullhypothese der Alternativhypothese genau widerspricht. Besagt die Alternativhypothese, dass der Mittelwert unter den Bedingungen der Experimentalgruppe kleiner ist als der Mittelwert unter den Bedingungen der Kontrollgruppe, so behauptet die Nullhypothese, dass sich beide Gruppen nicht unterscheiden oder der Mittelwert der Experimentalgruppe sogar größer ist:

$$H_1: \mu_E < \mu_K$$

$$H_0: \mu_E \geq \mu_K$$

Die Nullhypothese drückt inhaltlich immer aus, dass *keine* Unterschiede, *keine* Zusammenhänge, *keine* Veränderungen und *keine* besonderen Effekte in der untersuchten Population bestehen (Bortz/Döring 1995).

Vor jeder Hypothesenprüfung muss also ein statistisches Hypothesenpaar, bestehend aus H_1 und H_0 , in der Weise formuliert werden, dass alle möglichen Ausgänge der Untersuchung abgedeckt sind. Die Alternativhypothese "*Der Mittelwert unter Experimentalbedingungen ist kleiner als der Mittelwert unter Kontrollbedingungen*" und die Nullhypothese "*Der Mittelwert unter Experimentalbedingungen ist größer oder gleich dem Mittelwert unter Kontrollbedingungen*" bilden ein solches Hypothesenpaar. Das komplementäre Verhältnis von H_1 und H_0 stellt sicher, dass bei einer Zurückweisung der H_0 "automatisch" auf die Gültigkeit der H_1 geschlossen werden kann - andere Möglichkeiten gibt es nicht.

Der mathematische **Signifikanztest** ermittelt die Wahrscheinlichkeit, mit der das gefundene empirische Ergebnis sowie Ergebnisse, die noch extremer sind als das gefundene Ergebnis, auftreten können, wenn die Populationsverhältnisse der Nullhypothese entsprechen.

Um Unklarheiten möglichst zu vermeiden, wurden für die Annahme der Alternativhypothese bzw. für die Ablehnung der Nullhypothese strenge Kriterien vereinbart: Nur wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit α sehr klein ist, nämlich unter 5% liegt, ist die Annahme der Alternativhypothese akzeptabel.

Dabei sollte jedoch Folgendes beachtet werden: Es handelt sich bei der Irrtumswahrscheinlichkeit lediglich um eine (bedingte) Datenwahrscheinlichkeit und nicht um eine Hypothesenwahrscheinlichkeit. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von z.B. 3% zu behaupten, die Alternativhypothese träfe mit 97%iger Wahrscheinlichkeit zu, wäre also nicht zutreffend.

Die 5%-Hürde für die Irrtumswahrscheinlichkeit wird als Signifikanzniveau oder Signifikanzschwelle bezeichnet; sie stellt ein willkürlich festgelegtes Falsifikationskriterium dar und geht auf Fisher (1925) zurück. In besonderen Fällen kann jedoch noch strenger geprüft werden, d.h. man orientiert sich an einer 1%- (kurz: sehr signifikant) oder 0,1%-Grenze (kurz: hoch signifikant). Dies ist insbesondere dann

erforderlich, wenn von einem Ergebnis praktische Konsequenzen abhängen und ein Irrtum gravierende Folgen hätte. In der Grundlagenforschung ist dagegen ein Signifikanzniveau von 5% üblich. Ist die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich 5%, wird das Untersuchungsergebnis als statistisch signifikant bezeichnet.

Vor- und Nachteile eines Signifikanztests werden deutlich, wenn man die mathematische Struktur eines Signifikanztests etwas genauer betrachtet (siehe Bortz 1993).

4.4.2 Erhebungsmethoden für die Qualitätssicherung

Um eine Evaluation als Qualitätssicherung durchführen zu können, müssen Daten erhoben werden. Die wichtigsten und gängigsten Methoden für eine solche Erhebung lassen sich nach Friedrich u.a. (1997) in drei Gruppen einteilen:

- Befragungen,
- Beobachtungen und
- Tests.

4.4.2.1 Befragung durch strukturierte Fragebögen (Interviews)

Prinzipiell ist die Befragung eine gewisse Form des Dialogs, allerdings mit einer einseitigen Beschränkung: eine Person (persönlich oder über ein schriftliches Medium) stellt die Fragen und die andere Person antwortet. Die Fragen zielen in den meisten Fällen darauf ab, subjektive Einschätzungen des Befragten zu eruieren. Abzugrenzen von dieser Art Fragen sind solche, die Wissen abfragen; Inhalt und Ziel solcher Fragen gehen in Richtung »Testen«. In der durchgeführten Untersuchung wurden keine Fragen genutzt, die Test-Charakter hatten.

Zunächst ist zwischen *mündlicher* und *schriftlicher* Befragung zu unterscheiden.

Mündliche Befragungen werden vielfach auch als Interviews bezeichnet. Interviews können unterschiedlich stark strukturiert sein:

Bei einem *offenen* Interview kann der Interviewer die Befragungssituation so flexibel gestalten, wie es im Hinblick auf seine Ziele am besten erscheint. Auch der Befragte hat in seinen Antworten viel Freiraum.

Von einem *halbstrukturierten* Interview spricht man, wenn dem Interviewer zumindest die zentralen Themen der Befragung bzw. fakultative Fragen (ohne zwingende Reihenfolge und Formulierung) vorgegeben sind.

Beide Befragungsformen haben grundsätzlich explorativen Charakter und eignen sich daher vor allem in der formativen Phase einer Qualitätssicherung; auch bei der Zielpräzisierung können diese Befragungsformen sinnvoll sein. Interviews sind in Bezug auf ihre Auswertung aufwendig. Daher wird die mündliche Befragung in der Regel bei Untersuchungen mit kleiner Gruppenstärke oder kleinen Stichproben genutzt (Friedrich u.a. 1997).

Bei *strukturierten* Interviews werden Reihenfolge und Formulierung der Fragen vor der Durchführung der Befragung genau festgelegt. Der Vorteil der Flexibilität bei einer offenen Befragung entfällt somit. Aus ökonomischen Gesichtspunkten sollte in solchen Fällen überlegt werden, ob nicht ein Fragebogen die gleichen Funktionen bietet.

Schriftliche Befragungsformen können danach unterteilt werden, welchen Typus von Fragen sie beinhalten, wobei vielfach auch "Mischformen" Anwendung finden. Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von schriftlichen Fragen unterscheiden:

Bei **offenen Fragen** kann der Befragte Inhalt, Form und Ausführlichkeit seiner Antwort selbst bestimmen. Durch diese Art Fragen können sehr reichhaltige und ausführliche Informationen erhoben werden. Ein Nachteil ist jedoch, dass ein wesentlich höherer Auswertungsaufwand damit verbunden ist. Diese Form von Fragen haben ähnlich explorativen Charakter wie freie und halbstrukturierte Interviews und können daher ähnlichen Zielen dienen.

Bei **geschlossenen Fragen** ist der Spielraum der Befragten durch Antwortkategorien mehr oder weniger stark eingeschränkt. Diese Form der Befragung ist dann sinnvoll, wenn bereits vor der Befragung relativ sicher bekannt ist, welche Antwortmöglichkeiten zu erwarten sind. Ausschlaggebend ist die bereits vorhandene Hintergrundinformation über den Inhalt der Untersuchung. Anwendung finden diese geschlossenen Fragen vor allem in der summativen Phase einer Qualitätssicherung. Von Vorteil sind die technischen Vorzüge, wie leichte Protokollierung und schnelle Auswertung. Bei den geschlossenen Fragen lassen sich verschiedene Unterformen unterscheiden: z.B. Alternativ-Fragen, Antwortauswahl-Fragen und Einschätzfragen.

Zur Untersuchung

Um sowohl dem Anspruch nach reichhaltigen, uneingeschränkten Antwortmöglichkeiten als auch nach einer effizienten statistischen Auswertung zu genügen, wurden für die Untersuchung spezielle Fragebögen entwickelt, die eine Kombination aus

- ⇒ offenen Fragen und
- ⇒ geschlossenen Fragen

darstellen.

Bei den geschlossenen Formen der Befragung wurden Antwortauswahl-Fragen und Alternativ-Fragen benutzt.

Bei den Antwortauswahl-Fragen sind die möglichen Antworten als **Rating-Skalen** vorgegeben. Rating-Skalen zählen zu den in den Sozialwissenschaften am häufigsten verwendeten Erhebungsinstrumenten, da sie auf unkomplizierte Weise direkt intervallskalierte Urteile erzeugen. Sie sind allerdings nicht unumstritten, obwohl mehrere aufwendige Simulationsstudien zeigen, dass "Statistische Entscheidungen" von der Skalenqualität des untersuchten Zahlenmaterials weitgehend unbeeinflusst bleiben (Bortz/Döring 1995, S.169).

In den Frage- und Beobachtungsbögen wurden bei den Antwortauswahl-Fragen zwei unterschiedliche Varianten von Rating-Skalen benutzt. Beide haben eine verbale Charakterisierung und sind in vier Stufen geteilt:

Variante 1:

Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4

Variante 2:

nicht komplex	wenig komplex	komplex	zu komplex
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4

Die jeweiligen Zahlen unterhalb der Ankreuzfelder liefern die numerische Abstufung für die statistische Signifikanzprüfung (vgl. Kapitel 4.4.1.3 Signifikanztest).

Bei den Alternativ-Fragen wurden ebenfalls zwei Varianten genutzt:

Variante 3:

ja nein

Variante 4:

- allgemeines Abitur
- Fachabitur und Ausbildung
- andere:

Mit den Fragebögen werden die - schon in Kapitel 4.4.1.1 (Wirkungsanalyse) erwähnten - drei wesentlichen Dimensionen der Wirkungsanalyse (Akzeptanz, Lern- (und Lehr-) prozess/Lernerfolg, Transfer) erfasst die somit analytischen Aufschluss zur durchgeführten Untersuchung liefern können.

Einige konkrete Beispiele zur Wirkungsanalyse mit Hilfe der Fragebögen sollen an dieser Stelle genannt werden:

Beispiel für eine geschlossene Frage (Antwortauswahl-Frage) aus dem Fragebogen PROFI zur Akzeptanz-Analyse:

Wie beurteilen Sie die Komplexität des Laborversuchs *PROFI*?

Der Versuch *PROFI* war

nicht komplex	wenig komplex	komplex	zu komplex
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Beispiel für eine Kombination aus geschlossener Frage (Antwortauswahl-Frage) und

offener Frage aus dem Fragebogen PROF I zur Analyse des Lern-/Lehrprozesses und des Lernerfolgs:

Konnten Sie den Anweisungen in der „Aufgabenstellung“ folgen?

	Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
→ Fachlich konnte ich die Aufgabenst. verstehen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
→ Die Formulierungen waren klar/eindeutig:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
→ Die Anweisungen waren konkret:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Notieren Sie bitte hier, welche Probleme aufgetaucht sind:

Beispiel für eine geschlossene Frage (Antwortauswahl-Frage) aus dem Fragebogen PROF I zur Transfer-Analyse:

Welche Veränderungen haben Sie beim Durchführen des Versuches „PROFI“ gegenüber dem ersten Versuch „IBUS“ erlebt?

	Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
a) Positive Veränderung? die Erfahrungen aus der ersten Versuchsdurchführung führten zu einer <u>besseren Orientierung</u> (kurze Einarbeitung, sicheres Vorgehen, usw.) bei der Durchführung des zweiten Versuchs „PROFI“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Negative Veränderungen? die Erfahrungen aus der ersten Versuchsdurchführung führten eher zu einer <u>Verunsicherung</u> bei der Durchführung des zweiten Versuchs „PROFI“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Keine Veränderung? die Erfahrungen aus der ersten Versuchsdurchführung führten <u>weder</u> zu einer Verunsicherung <u>noch</u> zu einer besseren Orientierung (kurze Einarbeitung, sicheres Vorgehen, usw.) bei der Durchführung des zweiten Versuchs „PROFI“, d.h. der Versuch IBUS hatte <u>keinen Einfluss</u> auf die Durchführung beim Versuch PROF I	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Zu jedem der Versuche (Versuch I *IBUS* und Versuch II *PROFI*) wurden Fragebögen entwickelt, die sich in folgenden Punkten unterscheiden:

- ⇒ Fragebogen PROF I: Erweiterung der Frage 3 "Erkenntnisse/Erfahrungen aus Versuch 1 (IBUS) genutzt?"
- ⇒ Fragebogen PROF I: Ergänzung der Frage 15 "Welche Veränderungen haben Sie beim Durchführen des Versuches „PROFI“ gegenüber dem ersten Versuch „IBUS“ erlebt?"
- ⇒ Alternierender Austausch der Bezeichnungen *IBUS* und *PROFI* in den Fragestellungen

Die kompletten Fragebögen IBUS und PROF I befinden sich im Anhang (Kapitel 9.3 Fragebögen).

4.4.2.2 Nichtteilnehmende strukturierte Beobachtung

Bei einer Beobachtung werden sinnlich wahrnehmbare Verhaltensweisen als Tatsachen planmäßig erfasst. »Planmäßig« bedeutet, dass die Beobachtung zielgerichtet ist und nicht rein zufällig erfolgt. Durch Beobachtungen lassen sich Verhaltensweisen, nicht aber das subjektive Erleben und Empfinden von Personen erfassen. Transparenter können diese "inneren Abläufe" für den Beobachter werden, wenn die Probanden "laut Denken". In der Regel versteht man unter Beobachtung eine Fremdbeobachtung (Person A beobachtet Person B).

Es gibt daneben auch die Möglichkeit einer Selbstbeobachtung, bei der die Untersuchungsteilnehmer sich selbst beobachten.

Grundsätzlich lassen sich Beobachtungen in zwei Formen unterteilen:

- *strukturierte* oder
- *unstrukturierte* Beobachtungen.

Bei einer *strukturierten* Beobachtung wird genau festgelegt, was zu welchem Zeitpunkt und in welchem Zeitraum beobachtet wird. Dazu werden üblicherweise Beobachtungskategorien aufgestellt und Beobachtungsdauer und -zeitpunkte definiert. Weiterhin wird festgelegt, zu welchem Zweck die Beobachtung erfolgt (Beobachtungsziele). Diese strukturierte Form der Beobachtung bietet sich dann an, wenn man bereits genaue Ziele, Merkmale oder Kategorien definieren kann, wie z.B. bei der Lernerfolgs- und Transfer-Analyse.

Bei einer *unstrukturierten* Beobachtung erfolgt die Beobachtung entweder völlig frei oder anhand weniger allgemeiner Richtlinien. Eine unstrukturierte Beobachtung ist in explorativen Phasen der Qualitätssicherung sinnvoll, da erst relativ wenig über Ziele, Merkmale und Kategorien bekannt ist. Eine unstrukturierte Beobachtung ist z.B. bei der Zielpräzisierung oder bei einer ersten Lernprozess-Analyse sinnvoll.

Zusätzlich lassen sich Beobachtungsformen auch danach unterscheiden, ob sie

- *teilnehmend* oder
- *nicht-teilnehmend* sind.

Bei einer *teilnehmenden Beobachtung* nimmt der Beobachter an der zu beobachtenden Situation selbst aktiv teil: Er ist ein Handelnder unter mehreren und hat neben seiner

Beobachtungsaufgabe auch seine Rollenverpflichtungen in der zu untersuchenden Situation zu erfüllen. Diese Form der Beobachtung könnte im Rahmen einer Beobachtung von Experten zur Anwendung kommen.

Eine Qualitätssicherung durch eine *nicht-teilnehmende Beobachtung* bietet sich aus praktischen Gründen eher an und wird daher in den meisten Fällen eingesetzt. Dabei übernimmt der Beobachter eine passiv-rezeptive Rolle. Er kann sich daher mit allen Sinnen auf die Beobachtung konzentrieren und es bieten sich ihm ausreichende Möglichkeiten, den Beobachtungsprozess zu strukturieren.

Da es sich bei der vorgestellten Untersuchung um eine Lernerfolgs- und Transfer-Analyse mit einem strukturierten Beobachtungsprozess handelt, wurde eine "**Nichtteilnehmende strukturierte Beobachtung**" angewandt. Zu diesem Zweck wurden umfassende Beobachtungsbögen entwickelt, die mehrere Funktionen beinhalten:

- a) Informationen und konkrete Anweisungen als Hilfestellung für den *Beobachter*,
- b) geschlossene Fragen, die von dem *Beobachter* zu beantworten sind,
- c) offene Fragen, die von dem *Beobachter* zu beantworten sind,
- d) geschlossene Fragen, die von den *Versuchspersonen* zu beantworten sind und
- e) offene Fragen, die von den *Versuchspersonen* zu beantworten sind.

Die Beobachtungsbögen setzen sich jeweils aus den folgenden vier Teilbereichen zusammen:

- (1) "Auszug aus der Laboranleitung"
- (2) "Vor der Versuchsdurchführung"
- (3) "Während der Versuchsdurchführung"
- (4) "Nach der Versuchsdurchführung"

Die vier Teilbereiche lassen sich folgendermaßen beschreiben:

(1) "Auszug aus der Laboranleitung"

Dieser Teil dient als Hilfestellung für den Beobachter, sich jederzeit über das *Versuchsziel* und die *Aufgabenstellung* zu informieren. Die Formulierungen wurden aus den Original-Laboranleitungen entnommen.

(2) "Vor der Versuchsdurchführung"

Dieser Teil der Beobachtungsbögen wurde konzipiert, um Informationen darüber zu erhalten, mit welchen Erwartungen die Laborteilnehmer an die Laborversuche herantreten. Es wurden vor Beginn der Versuchsdurchführung Fragen an die Teilnehmer gestellt. Es handelte sich dabei sowohl um geschlossene Fragestellungen, bei denen bereits vorhandene Hintergrundinformationen genutzt wurden, als auch um offene Fragestellungen:

Beispiel für eine geschlossenen Frage (Antwortauswahl-Frage) aus dem Beobachtungsbogen IBUS:

Welche Erwartungen haben Sie an den Versuch *IBUS*?

Der Versuch IBUS soll		Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
→	Praxisbezogen sein:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(a)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Beispiel für eine offene Frage aus dem Beobachtungsbogen IBUS:

→ Ich habe andere Erwartungen:
 (c)

(3) "Während der Versuchsdurchführung"

In diesem Teil der Beobachtungsbögen sollen Aufzeichnungen während der Versuchsdurchführung gemacht werden. U.a. sollen Bearbeitungszeiten, Häufigkeiten und Arten der Informationsbeschaffung, Häufigkeiten und Arten der gemachten Fehler und der "positiven Gedankengänge" notiert werden.

Beispiel aus dem Beobachtungsbogen IBUS:

Wurden Fehler (Sackgassen) gemacht?
Wieviel:
Welche:

(4) "Nach der Versuchsdurchführung"

In dem letzten Teil der Beobachtungsbögen soll der Beobachter abschließende, direkt der Versuchsdurchführung folgende Fragen zur Versuchsdurchführung beantworten.

Auch hier wurden sowohl geschlossene als auch offene Fragen benutzt.

Beispiel für eine geschlossene Frage (Antwortauswahl-Frage) aus dem Beobachtungsbogen IBUS:

War eine problemlose Bedienung der Geräte möglich?

Eine problemlose Bedienung war möglich:	Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Beispiel für eine offene Frage aus dem Beobachtungsbogen IBUS:

Was hat Ihnen an der Gruppe eher gut gefallen? ...

Zu jedem der beiden Versuche (Versuch I *IBUS* und Versuch II *PROFI*) wurden Beobachtungsbögen entwickelt, die sich im ersten Teil "Auszug aus der Laboranleitung" und durch die alternierenden Bezeichnungen *IBUS* und *PROFI* in den Fragestellungen unterscheiden.

Die kompletten Beobachtungsbögen *IBUS* und *PROFI* befinden sich im Anhang (Kapitel 9.4 Beobachtungsbögen).

4.4.2.3 Tests

In der durchgeführten Untersuchung wurde diese Erhebungsmethode der Qualitätssicherung nicht genutzt, da es sich bei dem benutzten Forschungsdesign um die Erfassung von Transfer-Leistungen handelt.

4.5 Beschreibung der Laborumgebungen

Von Lernumgebungen kann in einem weiten und in einem engen Sinne gesprochen werden, je nachdem, ob man jedem sozialen Umfeld und jedem situationalen Kontext a priori zuschreibt, Lernprozesse auslösen zu können, oder ob man sich auf organisiertes und zielorientiertes Lehren und Lernen konzentriert (Friedrich u.a. 1997). Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung sollen in erster Linie die Lernumgebungen im engeren Sinne, d.h. zielgerichtete planvolle Laborumgebungen, die mehrdimensionale Lernprozesse auslösen und optimieren, betrachtet werden.

In diesem Kapitel wird eine methodische und didaktische Beschreibung dieser Laborumgebung gegeben. Es gliedert sich in zwei Hauptpunkte:

- die Konvergenz der Laborumgebungen und
- die Divergenz des Öffnungsgrades.

4.5.1 Konvergenz der Laborumgebung

In diesem Teil der Beschreibung soll auf die Eigenschaften, Funktionen und Ziele eingegangen werden, die bei den untersuchten Laborumgebungen (Versuch I *IBUS* "offen" bzw. "geschlossen" und Versuch II *PROFI*) prinzipiell gleich sind.

4.5.1.1 Die Komplexität der Laboraufbauten

Ein grundlegendes Postulat lautet, Lehr/Lern-Prozesse so zu organisieren, dass sie einen größtmöglichen Nutzen für die Bewältigung von Problemen im Alltag erbringen.

Dementsprechend betonen Collins u.a. (1989) die Bedeutung des *situated learning*, das im Wesentlichen dem pädagogischen Prinzip der Lebensnähe entspricht: Wissen und Fertigkeiten sollen in solchen Zusammenhängen vermittelt werden, die eine größtmögliche Ähnlichkeit mit Gegebenheiten des realen Lebens bzw. der beruflichen Praxis aufweisen (Friedrich u.a. 1997).

Tilch (in: Tilch/Biel 1998) fasst diese Forderung nach Lebensnähe in seinem Modell vom Didaktischen Handlungsfeld in den Dimensionen *Arbeit* und *Ganzheit* zusammen (vgl. Kapitel 2.4.1 Gestaltungsspielräume in der beruflichen Bildung).

Um dieser Forderung nachzukommen, müssen mehrere wesentliche Kriterien erfüllt sein:

- die Bussysteme, welche in den Laborversuchen eingesetzt werden, müssen eine weite Verbreitung und Akzeptanz in der industriellen Praxis aufweisen (vgl. Kapitel 5.1.2 Feldbussysteme),
- der konkrete physikalische Aufbau der Versuchsanlagen sollte einen engen fachlichen Bezug zu realen Arbeitsumgebungen haben und
- die Laboraufbauten erfordern ein bestimmtes Mindestmaß an "Komplexität".

Ein Begriff, der in diesem Zusammenhang oft zu finden ist, heißt *Komplexität*. Gerade im Kontext der Bussysteme wird oft von "komplexen Systemen" gesprochen. Daher soll an dieser Stelle eine Begriffsabgrenzung folgen.

Im täglichen Leben wird oft von "einer komplexen Materie" gesprochen. Meistens ist damit gemeint, dass eine Sache nicht so einfach ist und dass die betreffende Person längere Zeit braucht, um sie zu verstehen. *Komplexität* bedeutet aber mehr als nur Kompliziertheit. Als anschauliches Beispiel kann ein Buch angeführt werden: es ist kompliziert, wenn es aus vielen Kapiteln und Abschnitten besteht und umständliche Sätze und unzählige schwierige Wörter enthält. Doch das Buch verändert sich nicht, es ist statisch.

Von Komplexität wird dagegen gesprochen, wenn etwas nicht nur in seiner Zusammensetzung kompliziert ist, sondern auch seinen Zustand dynamisch verändert.

"Komplexität wird definiert als Fähigkeit eines Systems, in einer gegebenen Zeitspanne eine große Zahl von verschiedenen Zuständen annehmen zu können."
(Ulrich 1988)

Aber nicht jedes dynamische System ist auch zwangsläufig komplex: Systemen, die nur wenige verschiedene Zustände annehmen können und aus einer geringen Anzahl von Teilen bestehen, fehlt es an Kompliziertheit; es handelt sich um einfache Systeme.

Eine anschauliche Darstellung zu den Zusammenhängen zwischen Kompliziertheit und Komplexität findet sich bei Ulrich (1988), siehe Abb. 4-3:

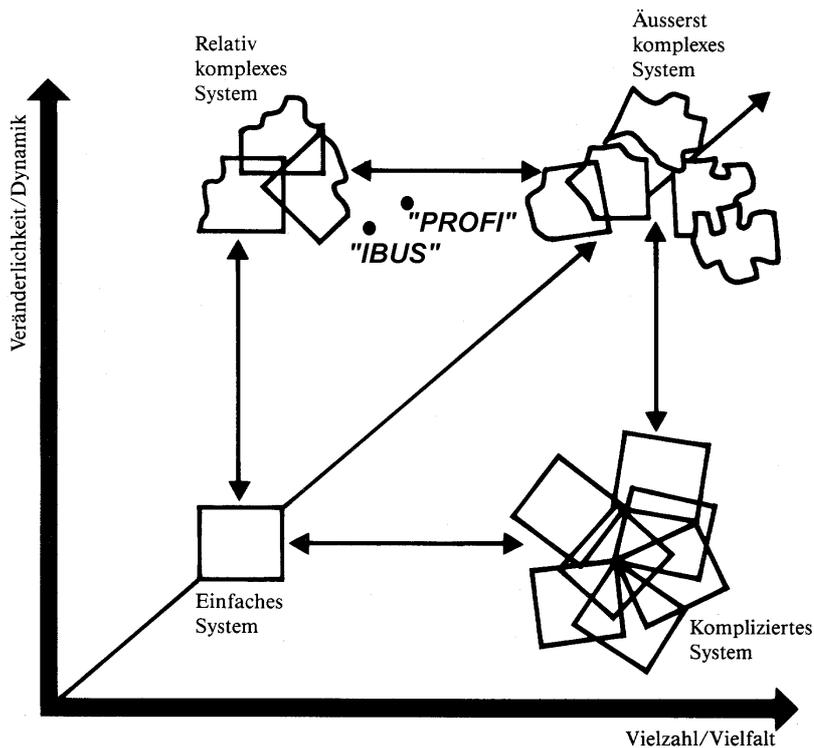


Abbildung 4-3: Kompliziertheit und Komplexität (aus: Ulrich 1988)

Zur Untersuchung:

Produktionsanlagen, die mit Bussystemen automatisiert und vernetzt wurden, können sich sowohl in ihrer Vielzahl/Vielfalt als auch in ihrer Veränderlichkeit/Dynamik sehr stark unterscheiden. Große Anlagen können dabei als "äußerst komplexe Systeme" bezeichnet werden. Solche Anlagen in einem Verhältnis von 1:1 an einer Hochschule zu verwirklichen ist nicht möglich. Die von uns realisierten Laboraufbauten sind auf ein Maß an Vielzahl und Dynamik insoweit reduziert worden, dass sie immer noch als "relativ komplexe Systeme" angesehen werden können und somit praxisnah sind (vgl. Abb. 4-3). Beide Laboraufbauten verfügen über zahlreiche unterschiedliche Komponenten ("Teile"), die in verschiedenen Wirkungszusammenhängen stehen. Auch die innere Dynamik, die in den Laboraufbauten implementiert ist, ist bei beiden Systemen vergleichbar stark ausgeprägt (vgl. Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Vergleich der Laboraufbauten nach Komplexität

Laboraufbau:		IBUS	PROFI
Kompliziertheit:	Anzahl der Komponenten	19	20
	Verschiedenheit der Komponenten	12	13
	Anzahl der Beziehungen	ca. 15	ca. 15
	Verschiedenheit der Beziehungen	ca. 10	ca. 10
Komplexität:	Veränderlichkeit im Zeitablauf	ca. 3	ca. 4
	Veränderlichkeit der Wirkungsabläufe	ca. 8	ca. 9

Durch die beiden Laboraufbauten mit ihrem Grad an Komplexität können den Studenten wichtige Ansätze der ganzheitlichen und vernetzten Denkweise geboten werden.

4.5.1.2 Zielgerichtete planvolle Umgebung

Die zentrale Funktion einer jeden Lernumgebung besteht darin, die Lernenden dahin zu bringen, sich mit einem Lehrstoff geistig auseinanderzusetzen.

Folgende didaktische Funktionen sollte eine zielgerichtete und planvolle Laborumgebung zur Verfügung stellen:

- **motivieren:** die Laborumgebung sollte Erwartungen und Bedürfnislagen provozieren, die Lernen auslösen.
- **Lernprozesse erleichtern:** die Laborumgebung sollte durch besondere Lehrmaßnahmen methodisch so aufbereitet sein, dass sie den intendierten Lernprozess erleichtert.
- **Rückmeldungen geben:** die Laborumgebung sollte den Lernenden kontinuierlich Rückmeldungen über ihre Lernerfolge geben.
- **Kooperationsfähigkeit fördern:** die Laborumgebung sollte jene Prozesse einleiten und steuern, die zur Entwicklung von Kooperationsfähigkeit beitragen und Kommunikation, Exploration und Identifikation innerhalb von Kleingruppen begünstigen.
- **Praxisbezug herstellen:** die Laborumgebung sollte die Lernenden mit authentischen, kontext-sensitiven Lernaufgaben konfrontieren.
- **Problemlösemechanismen anregen:** die Laborumgebung sollte das Identifizieren, Definieren und Lösen von Problemen zulassen und erleichtern.
- **neues Wissen konstruieren:** die Laborumgebung sollte nicht nur die Reproduktion, sondern auch die Konstruktion von Wissen ermöglichen.

Als ein anderes Unterscheidungsmerkmal dient bei Friedrich u.a. (1997) die Differenzierung von Lernumgebung zwischen einer "psychologischen" bzw. einer "didaktischen" Struktur, die in einem Ziel-Mittel-Verhältnis zueinander stehen.

- *psychologische Struktur*: motivationale, kognitive und soziale Prozesse, die durch die jeweilige Lernumgebung ausgelöst werden.
- *didaktische Struktur*: Gestalten der Lernaufgaben, Lernmaterialien und Medien, um die angestrebten motivationalen, kognitiven und sozialen Prozesse anzuregen und zu unterstützen.

Die didaktische Struktur hat in einer Lernumgebung also die Funktion, die psychologischen Strukturen materiell umzusetzen.

Die psychologische Struktur einer Lernumgebung

Ein wichtiger Aspekt bei der psychologischen Struktur einer Lernumgebung ist die Art der *Informationsverarbeitung* der Lernenden. Sie müssen die dargebotenen Informationen verarbeiten, im Gedächtnis speichern, aus dem Gedächtnisspeicher abrufen und anwenden können. Diese drei kumulierenden Stufen sind auf der unteren Ebene der Informationsverarbeitung angeordnet. Sie beziehen sich auf das Aneignen und Anwenden von Wissen und Fertigkeiten, d.h. von Begriffen, Prinzipien und Prozeduren.

Auf der höheren Ebene der kognitiven Verarbeitung sollen kausale Erklärungen und konzeptuelle Modelle durch eine entsprechende Lernumgebung entwickelt und gefördert werden. Auf der letzten Stufe werden Prozesse des Problemlösens, des Entwickelns von Lernstrategien und der Metakognition angesprochen. (Metakognition gilt als Sammelbegriff für alle kognitiven Aktivitäten "der Planung, Steuerung, Überwachung und Bewertung des eigenen Verhaltens beim Lernen und Erinnern" (Weinert 1984)). Diese höchste Ebene der Informationsverarbeitung hängt eng zusammen mit dem Konzept der Schlüsselqualifikationen (Friedrich u.a. 1997).

Die Effizienz einer Lernumgebung hängt sehr stark von der Qualität der geistigen Auseinandersetzung mit den Inhalten ab. Lernpsychologische Analysen haben gezeigt, dass beim Erwerb von neuem Wissen drei grundlegende Bedingungen zu beachten sind (Friedrich u.a. 1997):

- das neue Wissen muss mit altem, bereits vorhandenem Wissen verknüpft werden.

- das neue Wissen sollte auf das "Wesentliche", d.h. auf grundlegende Zusammenhänge und Aussagen, reduziert werden.
- das neue Wissen muss "organisiert" werden, es müssen Ordnungsbeziehungen gestiftet werden.

Ein viertes Moment, welches in diesem Zusammenhang beachtet werden muss, ist:

- die Sequenzierung des neuen Wissens durch gestufte Lernschritte.

Ein Indiz dafür, dass jemand etwas richtig verstanden hat, ist, dass er es *mit eigenen Worten* wiedergeben kann. Das bedeutet, er konnte das neue Wissen mit seinem alten Wissen in Verbindung bringen. Diese lernerleichternde Funktion des Vorwissens wird auch als "Matthäus-Effekt" bezeichnet (Klauer 1993): "*Wer hat, dem wird gegeben (Matthäus 13, Vers 12)*". Dieser Zusammenhang konnte in mehreren empirischen Untersuchungen bestätigt werden. "Zudem zeigen viele Untersuchungen, dass es eine typische Strategie von »guten Lernenden« ist, die neuen Informationen aktiv mit ihrem Vorwissen zu verknüpfen (Wang 1983, Lehtinen 1992)" (in: Friedrich u.a. 1997).

Das zweite angesprochene Moment ist einfach zu beschreiben: kaum jemand ist in der Lage, z.B. ein komplettes Lehrbuch oder ein technisches Handbuch auswendig zu lernen. Der "Arbeitsspeicher" des menschlichen Gehirns reicht dafür in der Regel nicht aus. Vielmehr ist es wichtig, durch effektive, informationsverdichtende bzw. informationsreduzierende Verarbeitungsprozesse im Gehirn die Informationen auf das Wesentliche zu begrenzen.

Zusätzlich muss das neu erworbene Wissen geistig organisiert werden, denn ein reines Anhäufen von Begriffen und Aussagen reicht für das Verstehen nicht aus. Die neuen Informationen müssen miteinander in Beziehung gesetzt werden. Das Erkennen und Nachvollziehen der Verknüpfungen bzw. Ordnungsbeziehungen zwischen den Wissenselementen ist dabei von großer Bedeutung.

Die Methoden des *adaptiv-remedialen Lehrens* (Friedrich u.a. 1997) zielen auf eine kumulative, d.h. aufeinander aufbauende Organisation des Wissens ab. Die Sequenzierung des neuen Wissens kann durch gestufte Lernschritte vom "Einfachen zum Schwierigen" erreicht werden. Dabei werden zunächst relativ einfach strukturierte Probleme eingeführt, deren Komplexität dann schrittweise gesteigert wird.

Die didaktische Struktur einer Lernumgebung

In Übereinstimmung mit der Betrachtungsweise der Lernumgebung im engeren Sinne (organisiertes und zielorientiertes Lehren und Lernen) wird die *didaktische Struktur* einer Lernumgebung durch die Gestaltung der Lernmaterialien und der eingesetzten Medien bestimmt.

Die didaktische und die psychologische Struktur von Lernmaterialien sind dabei interdependent: einerseits kann die didaktische Struktur so gut wie irgend möglich geschaffen sein, sie erschließt sich dem Lernenden nur vor dem Hintergrund seines Wissens; andererseits können kognitive und sonstige psychische Prozesse nur durch die Vermittlung von Lerninhalten ausgelöst und beeinflusst werden; dabei spielt die didaktische inhaltliche Struktur eine entscheidende Rolle.

Bei der didaktischen Struktur von Lernumgebungen steht vor allem der Material- und Medienaspekt im Vordergrund.

Medien können prinzipiell in zwei Grundgruppen eingeteilt werden:

- *personale* Medien und
- *apersonale* Medien

Zu den *personalen Medien* gehören Personen (Lehrer, Trainer, Professor, Lernhelfer etc.), die verbal oder nonverbal (gestisch oder mimisch) Informationen an andere vermitteln (siehe auch Kapitel 4.5.2.1 Die Rolle des "Lernhelfers").

Zu den *apersonalen Medien* zählen im Allgemeinen

- ⇒ Printmedien (Bücher, Texte, Arbeitsblätter, Folien usw.),
- ⇒ visuelle Medien, die der Veranschaulichung dienen (Graphiken, Abbildungen, Bilder usw.),
- ⇒ auditive Medien (Audiokassetten usw.),
- ⇒ audiovisuelle Medien (Video, Film, Fernsehen usw.),
- ⇒ computerbasierte Systeme (Internet, Bildschirmsimulation, Computer-Base-Instruction, Hypermedien usw.) und
- ⇒ reale Versuchsaufbauten (Baukastensysteme, Laboraufbauten usw.).

Sicher ist, dass diese Medien durchaus unterschiedliche Informationsverarbeitungen hervorrufen können, je nachdem, ob Informationen in gedrucktem, gesprochenem

Format, auf Papier oder auf Folie gespeichert, statisch (als Graphik) oder dynamisch (als Bildschirmsimulation) dargeboten werden und welche Struktur die jeweiligen Materialien aufweisen (Friedrich u.a. 1997), siehe auch Kapitel 4.5.2.3 (Aufgabenorientiertes selbstorganisiertes Lernen).

Auch ist der Einsatzzeitpunkt der verschiedenen Medien während eines Lernprozesses zu beachten. Das Reiser-Gagné-Modell unterscheidet neun Phasen (Reiser/Gagné 1983):

- Erwecken von Aufmerksamkeit und Neugier,
- Informieren über den Lerninhalt im Sinne der Lernziele,
- Versuch(e), die Lernenden an bestehendes Wissen zu erinnern,
- Darbietung von speziell präparierten Lernmaterialien,
- Anbieten von Lernhilfen,
- Ermutigen zu bestimmten Leistungen (z.B. zu entdeckendem Lernen),
- Rückmeldungen zum erfolgreichen Arbeiten,
- Beurteilen der erbrachten Leistung sowie
- Sichern des Gelernten durch Übungen und Anbieten von Möglichkeiten, das Gelernte anzuwenden.

Aus den Ausführungen wird deutlich, dass Medien *immer* eine didaktische Funktion erfüllen und sich ihr Einsatz in bestimmten Phasen eines Lernprozesses aus dieser Funktion heraus begründet.

Zur Untersuchung

Die entwickelten und in der Untersuchung eingesetzten Laborumgebungen stellen zielgerichtete und planvolle Lernumgebungen dar. Detailliertere Angaben sowohl unter psychologischen als auch unter didaktischen Gesichtspunkten zu den unterschiedlichen Funktionen werden in dem Kapitel 5.3 (Beschreibung der Laborversuche) gegeben.

4.5.1.3 Lernzielorientierung

Bei jeder Planung von Lernprozessen stellt sich grundsätzlich die Frage, welche Lerninhalte zu vermitteln sind und ob diese der Deckung akuter fachlicher Wissensdefizite und/oder der Vermittlung umfassender Schlüsselqualifikationen dienen sollen. Wie schon im vorangegangenen Kapitel 2.4 (Lernorganisatorisches Gestaltungsfeld zur Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen) beschrieben, ist es sinnvoll, Schlüsselqualifikationen möglichst eingebettet in und abgestimmt auf den jeweiligen fachlichen Lehrstoff (Schlüsselinhalt) zu entwickeln und zu fördern.

Das Ziel ist also, mehrdimensionale Lernprozesse zu initiieren, um eine höhere Form von Handlungsfähigkeit bzw. Qualifikation zu erreichen.

In der Fachliteratur finden sich zahlreiche Formulierungen, Beschreibungen und Definitionen zu *Zielen*, *Lehrzielen*, *Lernzielen* etc., die im Kontext der Ingenieurpädagogik unterschiedlich interpretierbar sind. An dieser Stelle soll daher kurz auf die Definitionen eingegangen werden, die in einem direkten Bezug zu der durchgeführten Untersuchung stehen.

Lernziele können unterschiedlich abstrakt formuliert werden. In der erziehungswissenschaftlichen Literatur wurde im Allgemeinen von einem dreistufigen Modell ausgegangen (z.B. Meyer 1975):

- **Richtziele** (sie sind auf einem hohen Abstraktionsniveau formuliert und schließen nur wenige alternative Konkretisierungen aus, d.h. Eindeutigkeit und Genauigkeit des Ziels sind gering),
- **Grobziele** (sie sind auf einem mittleren Abstraktionsniveau formuliert und schließen bereits eine größere Zahl von Alternativen aus),
- **Feinziele** (sie sind auf einem niedrigen Abstraktionsniveau formuliert und erlauben eine präzise Bestimmung des gewünschten "Verhaltens". Sie schließen Alternativen weitgehend aus).

Werden die Feinziele in einer Form beschrieben, die ein beobachtbares Verhalten der Lernenden angeben, so spricht man von "operationalisierten Lernzielen" (Jank/Meyer 1994). Da Lernziele auf unteren Abstraktionsebenen jedoch nicht zuverlässig und schon gar nicht eindeutig aus Lernzielen der höheren, allgemeineren Ebene abgeleitet werden können, da in solchen Lernzielleduktionen immer auch wertende Entscheidungen mit

einfließen, ist eine solche hierarchische Untergliederung nicht immer sinnvoll anwendbar. Vielmehr wird in der Erziehungswissenschaft von diesem Ansatz mittlerweile auf breiter Ebene abgegangen (Jank/Meyer 1994).

Eine analytische Einteilung der Lernziele - unabhängig vom Abstraktionsniveau - erfolgt nach bestimmten Bereichen bzw. Dimensionen. Die in der Erziehungswissenschaft übliche Einteilung, die auf Bloom u.a. (1972) zurückgeht, lautet:

- kognitive Lernziele,
- affektive Lernziele,
- psychomotorische Lernziele.

Für alle drei Dimensionen wurden Taxonomien mit jeweils eigener Ordnungssystematik entwickelt (Bloom u.a. 1972).

Inwieweit eine Lernzielorientierung nach Abstraktionsniveau und/oder Dimension sinnvoll ist, wird in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten kontrovers diskutiert. Mager (1973) formuliert: "Die Funktion der Zielanalyse ist, das Undefinierbare zu definieren, das Ungreifbare zu greifen". Er geht davon aus, dass ein Lernprozess ausschließlich aus zweckrational planbaren Entscheidungen und Handlungen der Lehrenden und Lernenden besteht. Mager berücksichtigt dabei nicht, dass das Erkenntnisinteresse des einzelnen Lernenden auch und größtenteils aus lebenspraktischen Interessen besteht.

Jank/Meyer (1994) folgern daraus: "Es ist nicht möglich, aber auch nicht wünschenswert, die Lehrer-Schüler-Interaktion im Unterricht vollständig zu verplanen. LehrerInnen und SchülerInnen lassen sich ihre Subjektivität und das Recht zu spontanen Handlungen nicht vollständig rauben!" Eine Lernzielorientierung sollte demnach so angewendet werden, dass sie zwar eine allgemeine Orientierung zum didaktischen Handeln bietet, den Lernprozess und die damit verbundene Methodik aber nicht zu sehr einschränkt.

Eine Möglichkeit, dieser Forderung nachzukommen, ist die Formulierung und Umsetzung **mehrdimensionaler** (auch multidimensional genannt) **Lernziele**. Mehrdimensionale Lernziele integrieren mehrere oder alle drei Lernzieldimensionen auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus. Tilch (in: Tilch/Biel 1998) beschreibt dies in

dem Modell des "Didaktischen Handlungsfelds für ganzheitliche Aufgabenstellungen" in der Dimension *Integration*. "In dieser Dimension fließen die unterschiedlichen Lernzieldimensionen zusammen. Kognitives, affektives und psychomotorisches Lernen werden in ganzheitlichen didaktischen Aufgabenstellungen miteinander verbunden" (Tilch, in Tilch/Biel 1998). (vgl. dazu auch: Kapitel 2.4.1 Gestaltungsspielräume in der beruflichen Bildung).

Eine analytische Trennung der Lernziele in die drei Lernzieldimensionen ist für Untersuchungszwecke sinnvoll, da genauere Beurteilungsmöglichkeiten des Lernprozesses geschaffen werden.

Zur Untersuchung

Die durchgeführte Untersuchung stützt sich ausschließlich auf die Begriffsdefinition von *Lernzielen*. Es werden mehrere mehrdimensionale Lernziele formuliert, die ein erweitertes fachliches und vorrangig methodisch-problemlösungsorientiertes Lernen ermöglichen sollen. Das Abstraktionsniveau ist dabei unterschiedlich. Bei relativ abstrakt formulierten Lernzielen wird den Lernenden ein vergrößerter Handlungsspielraum bei der Lernsteuerung geboten. Dem Lernenden wird somit ein Teil Selbstverantwortung im Lernprozess zugesprochen.

Die konkret formulierten mehrdimensionalen Lernziele zu der Untersuchung gehen aus dem Kapitel 5.3 (Beschreibung der Laborversuche) hervor.

4.5.2 Divergenz des Öffnungsgrads

Nachdem im vorangegangenen Teilkapitel beschrieben wurde, in welchen Bereichen die in der Untersuchung eingesetzten Laborumgebungen Konvergenzen aufweisen, soll in diesem Teil auf die gezielt konstruierten Divergenzen eingegangen werden.

Wie der Arbeitshypothese zu entnehmen ist, geht es dabei um die *Öffnung* einer Laborumgebung und damit um die Lernsteuerung (vgl. auch Kapitel 2.4 Lernorganisatorisches Gestaltungsfeld zur Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen).

In welchen Dimensionen des didaktischen Handlungsspielraums eine gezielte Öffnung notwendig ist, um die gewünschten Schlüsselqualifikationen bei den Lernenden zu entwickeln und zu fördern, soll in den folgenden vier Kapitel durchleuchtet werden:

- ⇒ Die Rolle des "Lernhelfers"
- ⇒ Aktives Lernen / Lernen aus Fehlern
- ⇒ Aufgabenorientiertes selbstorganisiertes Lernen
- ⇒ Grenzen der Öffnung

4.5.2.1 Die Rolle des "Lernhelfers"

Wie schon im Kapitel 4.5.1.2 (Zielgerichtete planvolle Umgebung) beschrieben, beinhalten Lernumgebungen didaktisch gesehen auch die sogenannten *personalen Medien*, wie z.B. Professoren, Lehrbeauftragte etc., da sie verbal oder nonverbal Informationen den Lernenden vermitteln.

Beim selbstorganisierten Lernen in geöffneten Lernumgebungen ändert sich jedoch die "typische Rolle" dieser Personen grundlegend. Ihre Hauptaufgaben, die sie in einer rezeptiven "geschlossenen" Lernumgebung zu erfüllen haben, nämlich erfolgreiches Vermitteln von (Fach-)Wissen und das Entwickeln von Fähigkeiten, wandeln sich hin zu einer individuelleren Beratung und Förderung der Lernenden. In solchen geöffneten Lernumgebungen übernehmen sie die Rolle des *Lernhelfers*. Wenn es von den Lernenden gefordert wird, gibt "Der Lernhelfer ... Hilfe bei der Methodik des Lernens und nicht bei den Inhalten" (Mees 1993). Die Lernenden werden bei Bedarf in der

selbstständigen Organisation, Planung, Überwachung und Kontrolle der eigenen Lernprozesse unterstützt. Der Lernhelfer sollte ebenso *zum Denken anregen*. So können Denkbemühungen durch allgemein aktivierende Impulse (z.B. "Denken sie mal darüber nach ...") angeregt werden (Greif/Kurtz 1998).

Der erforderliche Rollenwechsel ist in vielen Fällen, sowohl für die Lehrenden als auch für die Lernenden, nicht konfliktlos.

Zum einen muss sich der *Lernberater* strikt an das Modell des selbstorganisierten Lernens halten, also nicht intervenieren, wenn es die Lernenden nicht fordern. Er sollte ebenfalls Versuche der Lernenden zurückweisen, für sie Entscheidungen zu treffen. Zum anderen müssen sich vielfach die *Lernenden*, geformt durch lange Schul- und gegebenenfalls Ausbildungsjahre, z.T. auch durch so manche Lehrveranstaltungen an den Fachhochschulen, erst daran gewöhnen, dass niemand da ist, der ihnen a priori sagt, was und wie sie zu lernen haben.

Zur Untersuchung

Auch bei der durchgeführten Untersuchung wurde allen beteiligten Personen der beschriebene "Rollenwechsel" abverlangt. Der zuständige Technische Angestellte als Betreuer der Laborversuche hatte in beiden Phasen (Versuch I *IBUS* und Versuch II *PROFI*) und bei beiden Gruppen (KG und EG) die Funktion des Lernhelfers zu übernehmen. Neben der schriftlichen Laboranleitung und anderen "Informationsträgern" stand der Lernhelfer prozessbegleitend jederzeit den Lernenden als Hilfestellung zur Verfügung. Er wurden lediglich während der Phase I in der "geschlossenen" Laborumgebung des Versuchs *IBUS* durch die sehr detaillierte **schriftliche Laboranleitung** in seiner Funktion "entlastet" (vgl. dazu auch Tab. 5-5 und Tab. 5-8).

In Vorlauf der Untersuchung wurde der Technische Angestellte, der für die Betreuung der beiden Laborversuche zuständig war, mit Hilfe von Handlungsanweisungen und Rollenspielen und auf seine "Rolle" als Lernhelfer vorbereitet.

Eine genauere Beschreibung der Aufgaben des Lernhelfers während der Versuchsdurchführungen befindet sich in Kapitel 5.2 (Organisatorischer Ablauf der Laborveranstaltungen) und Kapitel 5.3 (Beschreibung der Laborversuche).

4.5.2.2 Aktives Lernen / Lernen aus Fehlern

Die vorherrschende Methode bei Laborversuchen in geschlossenen Lernumgebungen ist die des passiven rezeptiven Vorgehens und Lernens. Detaillierte Anweisungen, wann und wie etwas zu tun und zu lernen ist, werden gegeben. Es sollen möglichst keine Fehler gemacht werden.

In einer offen gestalteten Laborumgebung soll im Gegensatz dazu ein aktives, entdeckendes Lernen - auch durch das Machen von Fehlern - ermöglicht werden. Die einschränkenden, rezeptiven, fehlervermeidenden Anweisungen werden nur bedingt gegeben. Fehler der Lernenden werden als Lernchancen gesehen.

Bruner (1965, in: Friedrich u.a. 1997) nennt zwei Faktorengruppen, die in diesem Kontext zu beachten sind:

Als *innere Faktoren* bezeichnet er:

- die Einstellung des Lernenden zu geistiger Tätigkeit
- seine Motivstruktur,
- die Organisation seines Wissens,
- seine allgemeinen intellektuellen Fähigkeiten sowie
- die Verfügbarkeit spezieller heuristischer Methoden des Entdeckens.

Als *externe Faktoren* stellt er folgende Forderungen an das Lernmaterial:

- es soll eine aktiv-selbstständige Informationsverarbeitung provozieren, fördern und unterstützen,
- eine generalisierende Organisation der Wissensstrukturen (im Sinne einer Schemabildung) erleichtern,
- Einstellungen und Motive zugunsten entdeckenden Lernens stabilisieren und
- von extrinsischer zu intrinsischer Motivation überleiten.

Zur Untersuchung

Auf die internen Faktoren, die in direktem Bezug zu jedem einzelnen Lernenden stehen, konnte durch die geöffneten Laborumgebung nur teilweise Einfluss genommen werden. Die externen Faktoren hingegen wurden durch die geöffneten Laborumgebungen so

beeinflusst, dass sie ihre Funktion beim Lernprozess erfüllen.

Konkrete Informationen zu diesen Faktoren und dazu, inwieweit sich die "geschlossene" Laborumgebung (Phase I, Versuch I *IBUS*) von den "geöffneten" Laborumgebungen (Phase I, Versuch I *IBUS**; Phase II, Versuch II *PROFI*) im Hinblick auf ein aktives Lernen unterscheidet, sind im Kapitel 5.3 (Beschreibung der Laborversuche) beschrieben.

4.5.2.3 Aufgabenorientiertes selbstorganisiertes Lernen

Um ein selbstorganisierteres Lernen in den Laborumgebungen zu ermöglichen, wurden diese geöffnet. Wie schon erwähnt, ist eine völlige Öffnung weder sinnvoll (vgl. auch Kapitel 4.5.2.4 Grenzen der Öffnung) noch realistisch, da immer konkrete Begrenzungen vorhanden sind. Durch systemimmanente Grenzen, wie z.B. Lehrpläne oder materielle Voraussetzungen, wird der Öffnungsgrad einer Lernumgebung mitbestimmt. Werden z.B. die Lernziele vorgegeben, spricht man von *aufgabenorientiertem selbstorganisiertem Lernen*. Bei dieser Form der Lernumgebung wird das zur Verfügung gestellte Lernmaterial (auch Lernquellenpool genannt, Jerusel/Greif, in: Greif 1998) nach möglichst genauen Analysen der Lernziele speziell auf die jeweilige Lernumgebung begrenzt und vorgegeben.

Beim aufgabenorientierten selbstorganisierten Lernen erhalten die Lernenden lediglich "*minimale Handbücher*" mit Handlungsanleitungen zur Bearbeitung der Aufgaben. Das besondere an diesen Handbüchern ist, dass sie - im Gegensatz zum Lernen in einer geschlossenen Lernumgebung - zwar verständlich und handlungsorientiert sind, aber "minimalistisch" kurz gefasst sind. Sie dienen als heuristische Regeln zur selbstständigen Bearbeitung der Lernaufgaben, können z.T. aber auch fachliche Hilfestellungen geben. Da unter *Handbüchern* im Allgemeinen umfangreiche Darstellungen verstanden werden, wird diese etwas irreführende Bezeichnung oftmals durch die Begriffe *minimale Informations-* bzw. *Leittexte* ersetzt.

Zur Untersuchung

Bei den geöffneten Laborumgebungen wurden die eigentlichen Laboranleitungen (die in einer geschlossenen Laborumgebung Anwendung fänden) in dem Maße reduziert, dass sie als *minimale Informations-* bzw. *Leittexte* bezeichnet werden können. Wie die

Reduzierung und Modifikation der "Laboranleitungen" im Einzelnen durchgeführt wurden, zeigen die Ausführungen im Kapitel 5.3.1.4 (Laboranleitungen zum IBUS) und Kapitel 5.3.2.4 (Laboranleitung zum PROFI).

4.5.2.4 Grenzen der Öffnung

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, kann die Öffnung einer Lernumgebung bzw. einer Laborumgebung anhand verschiedener Dimensionen unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Dabei ist eine völlige Öffnung in allen Dimensionen weder sinnvoll noch realistisch.

Sinnvoll scheint vielmehr den Öffnungsgrad nur in bestimmten Grenzen zu variieren. In der Ingenieurausbildung durchgeführte Pilotstudien (Brosch/Hermann 1996) zeigen, dass "die Methode der *totalen* Öffnung der Lehr-/Lernstruktur im regulären Hochschulbetrieb nicht realisierbar ist". Die Gründe dafür können von sehr unterschiedlicher Art sein.

Zum einen sind dies systemimmanente Grenzen:

- Raumbelagungspläne und Öffnungszeiten der Hochschule,
- personelle und materielle Ausstattung der Hochschule,
- Curriculum, Lehrpläne, Prüfungsordnung usw. der Hochschule.

Es sind also immer konkrete Begrenzungen des Öffnungsgrads durch Zeit, Ort und (fachliche) Lernziele vorhanden.

Zum anderen setzen aber auch lernpsychologische Aspekte Grenzen. So verlangt eine geöffnete Lernumgebung von den Lernenden ein größeres Maß an Initiative, Mitarbeit, Selbstverantwortung, Sozialverhalten usw. Eine zu weite Öffnung kann dazu führen, dass die Studenten "sich allein gelassen" fühlen und verunsichert werden. Dabei führen unrealistische Ziele zu einer Demotivation unter den Lernenden. Eine Begrenzung der Lernziele auf ein bestimmtes Thema ist daher sinnvoll und praktikabel.