Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen
Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie III
Universitätsklinikum Ulm

Ärztlicher Direktor:
Prof. Dr. med. Dr. phil. Manfred Spitzer

Physiologische Parameter zur Bewertung der Lernwirksamkeit von Lernsituationen

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Stefanie Anja Emily Sachs, geb. Bohn, B.A.
geboren in Göppingen
2013

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Thomas Kammer

2. Berichterstatter: PD Dr. Sigurd Süssmuth

Tag der Promotion: 12.12.2013

Für meine Eltern Natalie und Günter Bohn, für Simon Sachs und alle Menschen,
die mich stets auf meinem Lebensweg begleiten.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis **iii**

1 Einleitung **1**

1.1 Das ambulante Assessment 3

1.2 Das Freiburger Monitoring System (FMS) 8

1.3 Das Gruppenpuzzle (Die Jigsaw-Methode) 13

1.4 Die Fragestellung dieser Studie 16

2 Studienteilnehmende, Material und Methoden **18**

2.1 Auswahl der Studienteilnehmer 18

2.2 Untersuchungsinstrumente und abhängige Variablen 19

2.2.1 Psychophysiologische Parameter 19

2.2.2 Fragebögen 26

2.2.3 Schriftlicher Test zu den Inhalten der Unterrichtseinheit 27

2.2.4 Videoaufnahme 28

2.3 Studiendesign 29

2.3.1 Lernsituation I: Gruppenpuzzle 29

2.3.2 Lernsituation II: Frontalunterricht 30

2.3.3 Die Seminarthemen 31

2.3.4 Durchführung der Datenerhebung/Ablauf der Seminartage . . . 31

2.4 Auswertung der erhobenen Daten 34

3 Ergebnisse **38**

3.1 Beschreibung der Studienteilnehmer 38

3.2 Grundsätzliche qualitative Beobachtungen zur Durchführung der Studie 39

3.3 Ergebnisse aus den psychophysiologischen Daten 40

3.3.1 Elektrokardiogramm 40

3.3.2 Elektrodermale Aktivität 43

3.3.3 Bewegungsaktivität 46

3.4 Auswertung der Fragebögen 48

3.4.1 Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung 48

3.4.2 Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes 49

3.5 Auswertung der Tests 51
3.6 Korrelationen in den einzelnen Beobachtungssituationen 53
3.6.1 Unter Ruhebedingungen 55
3.6.2 In der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) 56
3.6.3 In der Lernsituation II (Frontalunterricht) 57

4 Diskussion **58**
4.1 Diskussion der Methodik und des Studiendesigns 58
4.2 Diskussion der psychophysiologischen Daten 64
4.3 Diskussion der Fragebögen 68
4.4 Diskussion der Testergebnisse: Zusammenhang der psychophysiologischen Daten mit der Lernleistung 69
4.5 Diskussion der Ergebnisse der Korrelationsanalysen in den einzelnen Beobachtungssituationen 72
4.6 Schlussfolgerungen für die Fragestellung 76

5 Zusammenfassung **81**

6 Literaturverzeichnis **83**

A Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB) **91**

B Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes **92**

C Test zum Thema „Schiefe Ebene“ **93**

D Test zum Thema „Feder“ **94**

E Abbildungs- und Tabellenverzeichnis **95**

F Danksagung **96**

G Lebenslauf **97**

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse, in dieser Studie: Varianzanalyse für wiederholte Messungen mit univariaten Hypothesentests für Innerhalb-Subjekteffekte
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
EDA	Elektrodermale Aktivität, Hautleitwert
EKG	Elektrokardiogramm
etc.	et cetera
FMS	Freiburger Monitoring System
KAB	Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung
LTD	Lehrstuhl für Technik und ihre Didaktik, Technische Universität Dortmund
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
VGZ	Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes
vs.	versus
ZNL	Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen, Universitätsklinikum Ulm
Z.B.	Zum Beispiel

1 Einleitung

In einer globalisierten, vernetzten und von zunehmenden Unsicherheiten geprägten Welt gewinnen individuelle Aus- und Weiterbildung immer mehr an Bedeutung, sodass deren Optimierung in der öffentlichen Debatte mehr Raum einnimmt. Im Zentrum dieser Diskussionen stehen die Verkürzung von Lern- und Ausbildungszeiten (z.B. im schulischen Bereich G8 vs. G9, im universitären Bereich die Einführung des Bachelor-Master-Systems im Rahmen des Bologna-Prozesses), die Veränderung von Lernstrukturen (z.B. neue Schulformen, neue Abschlussarten) und die Anwendung neuer Lernmethoden mit Praxis- und Teamorientierung. In diesem Kontext gewinnen Untersuchungen zur Lernwirksamkeit pädagogischer Methoden hinsichtlich verschiedener Effektoren eine entscheidende Bedeutung und rücken in den Fokus öffentlicher Aufmerksamkeit. In der pädagogischen und sozialpsychologischen Forschung wurde in den letzten Jahrzehnten der Einfluss von kooperativen, kompetitiven und individualistischen Lernerfahrungen auf Variablen wie Leistung oder Beziehungsverhalten untersucht. Diese Einteilung gründet sich auf die Arbeiten des US-amerikanischen Sozialpsychologen und Konfliktforschers Morton Deutsch, in denen er drei Zielstrukturen typisierte, die interpersönliches Verhalten steuern: die kooperative, die kompetitive und die individualistische. Bei der kooperativen Zielstruktur sind die Ziele der einzelnen Individuen positiv miteinander korreliert: Jeder Einzelne kann seine Ziele nur erreichen, wenn die anderen Teilnehmer ihre Ziele ebenfalls verwirklichen. In der kompetitiven Lernsituation sind die Ziele der einzelnen Teilnehmer negativ miteinander korreliert, was bedeutet, dass der Einzelne seine Ziele nur erreicht, wenn die anderen Teilnehmer ihre Ziele verfehlen. Bei der individualistischen Lernerfahrung gibt es keinerlei Korrelation zwischen den Zielen der einzelnen Individuen, sodass das Erreichen des individuellen Lernerfolges keinen Einfluss auf das Ergebnis der anderen Teilnehmer hat (Deutsch 1949a, Deutsch 1949b, Deutsch 1960). Johnson und Johnson (1985) weisen darauf hin, dass - wie zahlreiche untersuchte Studien zeigen - kooperative Lernerfahrungen eine höhere Leistungsfähigkeit fördern als kompetitive oder individualistische Lernkonzepte. Eine weitere Richtung pädagogischer Forschung interessiert sich für die emotionalen Effekte auf Lernen und Leisten. Edlinger und Hascher (2008) gehen davon aus, dass sowohl positive als auch negative Emotionen einen vorteilhaften Einfluss auf das schulische Lernen und Leisten haben:

Erstens können sich Schüler durch Emotionen mit den Lerninhalten identifizieren und sich motivieren, zweitens erhöht eine positive Stimmung die Kritikfähigkeit und folglich das Lernverhalten, drittens können emotional konnotierte Lerninhalte langfristig erinnert werden. Folglich seien Emotionen bei Lernprozessen vorteilhaft und erstrebenswert. Doch welche Unterrichtsform ist die effizienteste? Welche Möglichkeiten gibt es, Lerneffizienz und -leistung zu definieren und zu messen? Welche Rolle spielen Emotionen in Lernsituationen?

Die psychophysiologische Forschung bietet diesbezüglich interessante Ansätze. Psychophysiologische Aktivierung bezeichnet den anregenden Vorgang einer reversiblen Zustandsänderung des Menschen unter vielen physiologischen oder psychischen Bedingungen hinsichtlich multipler physiologischer und psychischer Funktionen. Psychophysiologische Reaktivität wiederum meint die Verhaltenswahrscheinlichkeit, unter bestimmten Bedingungen oder aufgrund eines bestimmten Ereignisses mit einer veränderten psychophysiologischen Aktivierung zu reagieren (Fahrenberg et al. 1979, Fahrenberg et al. 1983). Insbesondere die Erhebung psychophysiologischer Daten in möglichst realen, alltagsnahen Situationen im Sinne eines ambulanten Assessments ist für die psychologische und medizinische Forschung höchst interessant, da sich Untersuchungen in Labor und Feld unterscheiden: Myrtek, Foerster und Brügner (2001) betonen, dass ambulante Studien verglichen mit Laborstudien interessanter und ergiebiger sind, da deren Ergebnisse oft im Gegensatz zu den gängigen Lehrmeinungen und Vermutungen stehen, sodass es ihrer Freiburger Forschungsgruppe Psychophysiologie ein großes Anliegen war, Geräte und Programme zur Datenaufnahme und Auswertung zu entwickeln, um psychophysiologische Daten nicht nur im Labor, sondern auch in Alltagssituationen erheben und untersuchen zu können.

Basierend auf der bisherigen Studienlage und den angeführten Punkten ist es interessant, die Erhebung der physiologischen Parameter in Beziehung zur Bewertung der Lernwirksamkeit von Lernsituationen unter alltagsnahen Bedingungen (reale Lernsituation) zu setzen. Unsere Studie hatte zum Ziel, die bisherige Forschungslücke an der Schnittstelle zwischen psychophysiologischen Erkenntnissen der Neurowissenschaften und der Beurteilung von Lernwirksamkeit in realen Lernsituationen zu schließen, indem mit unserer Untersuchung in Form eines kleinen Studiendesigns die Grundlage für weitere größer angelegte Studien in realen Lernsituationen geschaffen wird. Für un-

sere Studie sind sowohl das Freiburger Monitoring System als Methode zur Erhebung psychophysiologischer Datenerhebung als auch das Gruppenpuzzle (Jigsaw-Methode) als Unterrichtsform von zentraler Bedeutung, sodass im Folgenden auf deren Relevanz in Forschung und Praxis sowie auf die aktuelle Studienlage kurz eingegangen wird.

1.1 Das ambulante Assessment

Das ambulante 24-Stunden-Monitoring von EKG und Blutdruck unter Alltagsbedingungen zur Diagnostik und Therapiestratifizierung von kardiovaskulären Erkrankungen sowie das Monitoring physiologischer Parameter perioperativ, auf Intensiv- und Intermediate-Care-Stationen, in schlafmedizinischen Zentren und für arbeitsmedizinische Fragestellungen sind in der Medizin bewährte Routineverfahren. Es ist deshalb für die psychophysiologische Forschung interessant, diese Methode auf weitere psychophysiologische Parameter und weitere Anwendungsgebiete zu erweitern und die unter Laborbedingungen entwickelten Hypothesen im Alltagskontext zu verifizieren oder falsifizieren.

Beim ambulanten Monitoring werden frei bewegliche Personen unter Alltagsbedingungen mithilfe von Selbstberichten, Verhaltensweisen, der Erfassung von physiologischen Parametern und von Umgebungsfaktoren durch portable Mikrocomputer und Messsysteme überwacht, um Rückschlüsse auf Verhaltensweisen hinsichtlich körperlicher Aktivität, Körperhaltung, Bewegungsmuster, auf emotionale und mentale Beanspruchung sowie physiologische Aktivierung unter realen Bedingungen ziehen zu können (Fahrenberg 1996, Fahrenberg und Myrtek 2001, Myrtek et al. 2001, Fahrenberg et al. 2007a und 2007b, Bussmann et al. 2009, Ebner-Priemer et al. 2009). Insbesondere die Weiterentwicklung der computer-unterstützten Methoden in den letzten 30 Jahren eröffnete weitere Anwendungsgebiete. Während ambulante Assessmentstrategien in der medizinischen Praxis bereits eine breite Anwendung finden, wurden diese für grundlagenwissenschaftliche Fragestellungen bisher nur eingeschränkt genutzt. Fragebogenmethoden dominieren bisher das psychologische Instrumentarium zur Erfassung von Alltagsverhalten, wobei die Aussagekraft dieser subjektiven Erfassung von Einstellungen und kognitiven Repräsentationen, Verhalten und Erleben sowie von Ereignissen begrenzt ist. Fragebögen können auf Vergangenes, Gegenwärtiges oder Zukünftiges ausgerichtet sein, wobei insbesondere retrospektive Fragestellungen durch die Leistungsfähigkeit des

menschlichen Gedächtnisses, kognitive Schemata, soziale Stereotype, formale Antwort-Tendenzen, soziale Erwünschtheit und formale Urteilsheuristiken verzerrt werden können. Aufgrund dessen sei eine grundsätzliche Neuorientierung zu innovativen Methoden in Forschung und Praxis in der Psychologie geboten, so Fahrenberg und Kollegen (2007a und 2007b). Große Fortschritte in diesem Bereich erzielte die Forschungsgruppe Psychophysiologie am Psychologischen Institut der Universität Freiburg mit zahlreichen Studien auf diesem Gebiet und der Entwicklung des Freiburger Monitoring Systems, auf das in Kapitel 1.2 eingegangen wird. Ambulantes Monitoring und Assessment ist für eine verhaltenswissenschaftlich ausgerichtete Psychologie und für die Kontrolle von im Labor erhobenen Daten im Alltagskontext von großer Bedeutung (Myrtek et al. 2005, Fahrenberg et al. 2007a und 2007b, Bussmann et al. 2009).

Ökologische Validität, d.h. „die methodologische Bewertung eines Untersuchungsplans und einer Datenerhebung unter Alltagsbedingungen“, Kontextbezug und Praxisnähe sind die Stärken dieses innovativen Ansatzes, denn das theoretische Wissen müsse sich erst durch Felduntersuchungen bewähren (Fahrenberg 1996, Fahrenberg und Myrtek 2001, Fahrenberg et al. 2007a und 2007b, Bussmann et al. 2009, Ebner-Priemer et al. 2009). Als weitere Vorteile des ambulanten Assessments sind die Möglichkeit eines multimodalen Assessments (psychologische, physiologische und behaviorale Aspekte) mit exakter zeitlicher Zuordnung der Daten und Möglichkeit eines Ereignis- oder Zeit-assoziierten Feedbacks an die Studienteilnehmer sowie Möglichkeit einer Online-Analyse, die gute Strukturierung, Flexibilität hinsichtlich der Anwendung und des Layouts, Praktikabilität, Einfachheit im Datentransfer und der Datenverarbeitung und die hohe Akzeptanz der Studienteilnehmer zu nennen (Fahrenberg et al. 2007b, Prill und Fahrenberg 2007, Ebner-Priemer et al. 2009). Des Weiteren zeige die Studienlage gewöhnlich eine sehr hohe Reliabilität, die Generalisierbarkeit und die Validität seien jedoch abhängig von der Zuordenbarkeit der Daten zu persönlichen und Umgebungsfaktoren, von der Erhebung weiterer Daten sowie der vergleichbaren Positionierung der Elektroden und der Sensoren, so Bussmann und Kollegen (2009).

Zu den Strategien des ambulanten Assessments zählen das kontinuierliche Monitoring, das zeit- oder ereignisabhängige Monitoring, die Feld-Diagnostik, das Feld-Experiment, das interaktive Monitoring, das Symptom-Monitoring und das Selbst-Management (Fahrenberg et al. 2007a, Fahrenberg et al. 2007b): Eine kontinuierliche Aufzeichnung erfolgt

im Sinne eines freien Monitorings, während beim zeit- oder ereignisabhängigen Monitoring nur gewisse Intervalle aufgezeichnet werden. Beim kontrollierten Monitoring werden die Parameter kontinuerlich aufgezeichnet, wobei Abschnitte mit standardisierten oder halbstandardisierten Messungen mit spezifischen Aufgaben oder unter bestimmten Bedingungen durchgeführt werden. Das Feldexperiment ist ein kontrolliertes Monitoring mit standardisiertem Setting und randomisierter Zuweisung. Beim interaktiven Monitoring werden Veränderungen eines physiologischen Parameters an den Studienteilnehmer rückgemeldet. Beim Symptom-Monitoring und beim Selbst-Management können Patienten ihre Beschwerden selbst überwachen und mit ihren Therapeuten in Kontakt treten (Fahrenberg et al. 2007a und 2007b).

Methodisch umfasst das ambulante Assessment eine Vielzahl an physiologischen Parametern: die Herzfrequenz, die Herzfrequenzvariabilität, die respiratorische Sinusarrhythmie, den systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck, die Pulswellengeschwindigkeit, das Elektrokardiogramm, das Impedanzkardiogramm, die Atemfrequenz und das Atemvolumen, den Blutgasaustausch, die transkutane arterielle Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidsättigung, die Körpertemperatur, die Elektrodermale Aktivität, die Körperlage, die Bewegungs- und die Sprechaktivität, das Elektromyogramm, das Elektrookulogramm, das Elektroenzephalogramm, gastrointestinale, urodynamische und genitale Funktionen sowie Umgebungsfaktoren wie z.B. die Umgebungstemperatur, den Lärmpegel und die Helligkeit (Fahrenberg 1996, Fahrenberg und Myrtek 2001). Die Messung der psychophysiologischen Beanspruchung sollte am besten anhand von kontinuierlich erfassten physiologischen Parametern (z.B. EKG, Elektrodermale Aktivität, Bewegungsaktivität, etc.), die einen Rückschluss auf einzelne Beanspruchungs-Komponenten (energetisch, emotional, körperlich) erlauben und auf eine Baseline bezogen sind, in einem natürlichen Setting (Arbeitsplatz, Schule, Freizeit, etc.) erfolgen, wobei die Messung mit Selbstbeurteilungsverfahren kombiniert werden und folgende Bedingungen erfüllen sollte: 1. minimale Beeinträchtigung der Studienteilnehmer, 2. minimale methodenspezifische Reaktivität, 3. minimale Artefaktrate 4. sichere Deutung der Parameter (Myrtek et al. 1996b).

Die Erhebung psychophysiologischer Daten im Rahmen eines ambulanten Assessments ist aus mehrerer Hinsicht von großer Relevanz: 1. Fahrenberg (1996) weist auf die sogenannte Praxis-Hypertonie hin, wobei die in der Arztpraxis gemessenen Blutdruckwerte

sich bei Messungen im Alltag nicht bestätigen. Dies zeigt die Bedeutung und Notwendigkeit von Messungen unter Alltagsbedingungen, da ansonsten Menschen fälschlicherweise aufgrund der „Labor"-Messung behandelt werden. Studien konnten des Weiteren belegen, dass sich die im Alltagskontext erhobenen Ergebnisse von denen aus Laborstudien unterscheiden und infolgedessen die Durchführung von Feldstudien dringend notwendig ist, wobei sich diese durch eine hohe Akzeptanz und hohe Compliance bei den Studienteilnehmern und folglich eine gute Durchführbarkeit auszeichnen (Fahrenberg et al. 1984, Buse und Pawlik 1996, Fahrenberg 1996, Myrtek und Brügner 1996, Fahrenberg 2001, Fahrenberg und Myrtek 2001, Fahrenberg und Myrtek 2005, Prill und Fahrenberg 2007, Bussmann et al. 2009). Fahrenberg und Myrtek (2001) weisen auf die wesentlichen Unterschiede zwischen Labor- und Feldstudien hin: Die Vorteile der Laborsituation sind die aktive, weitreichende Kontrollierbarkeit und zweckmäßige Isolierung der Bedingungen sowie die randomisierte Zuweisung, wobei diese „Künstlichkeit" der Untersuchungsbedingungen Artefakte durch die hervorgerufenen Einstellungen und Erwartungen erzeugen kann und die Erkenntnisse häufig nur von geringem praktischem Nutzen sind. Feldstudien wiederum zeichnen sich durch die Natürlichkeit der Untersuchungsbedingungen mit natürlicher Bedingungsvariation sowie durch eine größere praktische Relevanz aus, eine Randomisierung ist jedoch meist nicht möglich, die Zuverlässigkeit der Daten ist aufgrund der Möglichkeit multipler Einflussfaktoren herabgesetzt, die Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Feld-Settings ist durch die sich in Intensität und Qualität unterscheidenden Bedingungen oft erschwert und die Beobachtungszeiträume sind meist länger. Das Feld ist folglich notwendig, um die Laboruntersuchungen unter natürlichen Bedingungen zu bestätigen, denn die Messung im Labor selbst beeinflusst das Ergebnis - ein Effekt, der in der Physik im Zusammenhang mit der Heisenbergschen Unschärferelation bekannt ist. Buse und Pawlik (1996) weisen darauf hin, dass sich Labor- und Felduntersuchungen ergänzen und deren Ergebnisse jeweils für sich stehen, jedoch nicht ausgetauscht werden können. 2. Wie Myrtek und Kollegen (1994) in einer Studie mit Lokomotivführern zeigen konnten, gab es nicht nur Diskrepanzen hinsichtlich der Stressbeurteilung zwischen dem subjektiven Erleben der Lokomotivführer und der objektiven Einschätzung eines Beobachters, sondern auch Diskrepanzen zwischen der Stresseinschätzung mittels subjektiver und objektiver Verfahren und den psychophysiologischen Stressreaktionsmustern. 3. Die Durchführbarkeit

und Praktikabilität psychophysiologischer Studien im Sinne eines ambulanten Monitorings unter Alltagsbedingungen konnte in mehreren Studien gezeigt werden (Myrtek et al. 1994, Myrtek und Brügner 1996, Myrtek et al. 1996c, Myrtek 2005, Myrtek et al. 2005, Manske 2007, Prill und Fahrenberg 2007, Rohbeck 2007). Diese Studien zeigen, dass eine psychophysiologische Datenerhebung im Rahmen eines ambulanten Assessments einerseits in den Alltagssituationen praktikabel und andererseits sinnvoll und wichtig ist, um Erkenntnisse über die alltägliche Gesamtbeanspruchung und die detaillierte Aufschlüsselung der einzelnen Situationen zu gewinnen.

Studien in Sinne eines ambulanten Assessments zeichnen sich zusätzlich durch eine gute Reliabilität und zufrieden stellende Sensitivität und Validität aus (Buse und Pawlik 1996). Neben den psychophysiologischen Reaktionsmustern mit Erfassung von kardiovaskulären Parametern und Bewegungsverhalten stehen dem ambulanten Assessment weitere Möglichkeiten zur Datenerhebung offen: Selbstberichte über Tätigkeiten, Situationen und Settings, Befinden, Gefühle und Beschwerden, psychometrische Testverfahren unter Feldbedingungen, Verhaltensbeobachtung, Selbst- und Fremdwahrnehmung, Monitoring von Umgebungsbedingungen und medizinische Daten (Fahrenberg et al. 2007b). Bei der Durchführung von Feldstudien sind gemäß Fahrenberg und Myrtek (2001) folgende Elemente von großer Bedeutung: die Registriertechnik, die Kontextinformationen, die Auswahl der Settings und der untersuchten Merkmale, das Zeitraster und die Segmentierungen, die Akzeptanz der Methodik und die Compliance der Studienteilnehmer sowie die methodenbedingte Reaktivität.

Psychophysiologisches ambulantes Monitoring ist folglich für viele Disziplinen und Anwendungsgebiete interessant: für die Arbeitsphysiologie und Arbeitsmedizin (Ergonomie, Analyse von Belastungs- und Beanspruchungsprozessen, Überwachung von Risikoträgern, Risikostratifizierung, Gesundheitsprognose), für die Sportmedizin (Leistungsphysiologie, Leistungsobjektivierung, Biofeedback), für die Psychologie (Erfassung körperlicher Begleiterscheinungen psychischer Veränderungen, physiologische Grundlagen von Emotionen und Temperamentseigenschaften, Aktivierungs- und Stressforschung, Evaluation von Psychotherapie, Biofeedback) und für die Medizin (Überwachung von Risikofaktoren, kardiovaskuläre Beurteilung im Alltag, psychosomatische Medizin, rehabilitative Medizin) (Fahrenberg et al. 1984, Fahrenberg 1996, Fahrenberg und Myrtek 2005, Hottenrott 2009).

Unsere psychophysiologische Studie wurde im Sinne eines ambulanten Assessments mithilfe des Freiburger Monitoring Systems durchgeführt, sodass im nächsten Kapitel das Freiburger Monitoring System und die verwendeten psychophysiologischen Parameter näher erläutert werden.

1.2 Das Freiburger Monitoring System (FMS)

Das Freiburger Monitoring System (FMS) wurde durch die Forschungsgruppe Psychophysiologie (Gründer und Leiter: Prof. Dr. phil. Jochen Fahrenberg, Prof. Dr. med. Michael Myrtek) am Psychologischen Institut der Universität Freiburg entwickelt, als Verfahren in der psychophysiologischen Forschung etabliert und seit 1988 in zahlreichen Studien mit mehr als 1300 Studienteilnehmern eingesetzt (Myrtek 2004b, Fahrenberg und Myrtek 2005). Das Freiburger Monitoring System (FMS) ermöglicht die gleichzeitige und kontinuierliche Erfassung physiologischer, psychologischer und behavioraler Daten unter Labor- und Feldbedingungen, wobei psychophysiologische Studien gezeigt haben, dass in Abhängigkeit von den gewählten Stressoren und der erfassten Variablen unterschiedliche psychophysiologische Reaktionsmuster erhoben werden können (Myrtek und Spital 1986, Carroll et al. 1986, Streptoe et al. 1990, Myrtek et al. 2001). Mögliche psychophysiologische Parameter, die im Rahmen des FMS aufgezeichnet und ausgewertet werden können, sind die Herzrate, die emotionale Herzrate, die Herzratenvariabilität, die Elektrodermale Aktivität, die Bewegungsaktivität, die Blutdruckmessung, die Atmung sowie die Tremoranalyse. Mithilfe der aus den Daten ermittelten Reaktionsmuster kann auf die individuelle Gesamtbeanspruchung und deren einzelne Komponenten geschlossen werden.

Beanspruchung ist zu unterscheiden von Belastung, wie im arbeitspsychologischen Stressmodell definiert: Der Begriff Belastung fasst alle objektiven, von außen auf den Menschen einwirkenden Komponenten zusammen, ohne individuelle Auswirkungen zu berücksichtigen, sodass das Maß an Belastung meist mit physikalisch-technischen Methoden bestimmt werden kann. Der Begriff Beanspruchung wiederum umfasst die individuellen Auswirkungen der Belastung und kann deshalb lediglich mithilfe von physiologischen Parametern und subjektiven Einschätzungen ermittelt werden. Beanspruchungswirksam sind nach Strasser sowohl psychische (insbesondere informatorisch-mentale und sozial-emotionale) als auch physische (insbesondere physikalisch-situative und

energetisch-effektorische) Belastungen (Rohmert und Rutenfranz 1975, Strasser 1982, Myrtek et al. 2001). Das FMS ist für arbeitsmedizinische Fragestellungen insbesondere interessant, um die subjektive individuelle Beanspruchung objektiv erfassen zu können. Dabei gilt es im Rahmen arbeitswissenschaftlicher Beanspruchungsforschung mehrere methodische Anforderungen zu erfüllen: 1. Die physiologischen Daten sollen kontinuierlich während der Arbeit am Arbeitsplatz selbst (Felduntersuchung) über einen längeren Zeitraum erhoben werden können. 2. Dabei sollten die Untersuchten möglichst gering durch die Messung in ihrem Arbeiten beeinträchtigt oder beeinflusst werden. 3. Die erhobenen Parameter dürfen nur wenig artefaktanfällig sein und müssen eine gesicherte Interpretation erlauben. 4. Die erhobenen Daten müssen Erkenntnisse über einzelne Beanspruchungskomponenten ermöglichen. 5. Die psychophysiologische Datenerhebung sollte mit Fragebögen kombiniert werden, die dem Untersuchten ermöglichen, selbst seine subjektive Beanspruchung einzustufen (Myrtek et al. 1996b, Myrtek et al. 2001). Des Weiteren bietet das FMS mithilfe eines Handheld-PCs die Möglichkeit, eine Selbsteinstufung des Befindens vorzunehmen oder Fragen zur Situation zu beantworten (Fahrenberg et al. 1979, Prill und Fahrenberg 2007).

Das FMS erfüllt die oben genannten Bedingungen, wobei die individuelle Gesamtbeanspruchung mithilfe der physiologischen Daten in eine emotionale, mentale sowie energetische Komponente aufgeschlüsselt werden kann (Myrtek et al. 1996b, Fahrenberg 2001, Fahrenberg und Myrtek 2001, Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b):

Die Herzrate ist ein sensitiver Indikator für die Aktivität des autonomen Nervensystems, ein zuverlässig zu messender Indikator kardiovaskulärer Anpassung und Aktivierung, wobei eine erhöhte Arbeitsbelastung mit einer erhöhten Herzfrequenz einhergeht, sodass die Herzfrequenz als wichtigster psychophysiologischer Parameter gelten kann (Wilson und O'Donnell 1988, Fahrenberg 2001, Fahrenberg und Myrtek 2001, Myrtek 2004b, Fahrenberg und Myrtek 2005). Bei der Herzfrequenzerhöhung handelt es sich um einen evolutionär entstandenen Regulationsmechanismus, um bei Bedarf das Herzzeitvolumen und folglich die Leistungsfähigkeit zu steigern und somit an die aktuellen Anforderungen anzupassen (Fahrenberg 2001). Eine Herzfrequenzerhöhung findet sich auch bei nahezu allen Emotionen (ausgenommen Ekel), mentaler Aktivierung, psychosozialem Stress, Durst und Hunger, körperlicher Aktivität, Bewegung und der Veränderung der Körperlage, bei physikalischen Veränderungen der Umgebung (z.B. Umge-

bungstemperatur) sowie bei Symptomen und Erkrankungen (z.B. Fieber, Blutverlust, Herzrhythmusstörungen, Anämie, Hyperthyreose) (Myrtek 2004b). Die Herzrate kann mithilfe des EKGs gemessen werden, das aufgrund seiner Sensitivität für Belastungen sowohl physischer als auch psychischer Art zur Eischätzung der Beanspruchung bestens geeignet ist (Fahrenberg et al. 1979, Wilson und O'Donnell 1988, Eilers 1999, Myrtek und Brügner 1996, Fahrenberg 2001, Fahrenberg und Myrtek 2001, Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b).

Die energetische Belastung und Beanspruchung wird traditionell durch die indirekte Kalorimetrie im Sinne einer Messung der Sauerstoffaufnahme bestimmt. Dabei müssen die Studienteilnehmer eine Atemmaske tragen, was insbesondere unter Feldbedingungen die Studienteilnehmer stark beeinträchtigt und nur erschwert durchführbar ist. Aufgrunddessen wurde nach einem anderen psychophysiologischen Parameter geforscht, der eine ähnlich gute Aussagekraft bei besserer Praktikabilität aufweist (Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b). Einige Autoren konnten zeigen, dass die Sauerstoffaufnahme und die Bewegungsaktivität sehr hoch korrelieren, sodass auch im Rahmen des Freiburger Monitorings und folglich auch bei unserer Studie der Energieumsatz durch die von am Körper getragenen Beschleunigungsaufnehmern aufgezeichnete Bewegungsaktivität ermittelt wird (Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b, Fahrenberg und Myrtek 2005). Durch ein Standardprogramm mit vorgegebenen Körperpositionen und bestimmten Bewegungsmustern können für jeden Studienteilnehmer die individuellen Körperlagen und Bewegungsmuster erfasst werden, sodass die Bewegungssensoren im Sinne einer kalibrierten multiplen Accelerometrie zuverlässig, empfindlich und kontinuierlich die Lage und das Bewegungsverhalten eines jeden Studienteilnehmers messen, zwischen energetischen Zuständen (Schlaf, alltägliche Bewegung, körperliches Training) unterscheiden sowie die energetische Arbeitsbelastung als Aktivitätsmaß in Einheiten/Minute (Summe aller Signale der Bewegungssensoren) ermitteln können (Fahrenberg et al. 1996, Fahrenberg et al. 1997, Fahrenberg et al. 1998, Myrtek et al. 2001, Fahrenberg und Myrtek 2005, Prill und Fahrenberg 2007). Die kalibrierte Accelerometrie unterscheidet eine langsame DC- ($<$0,5 Hz) von einer schnellen AC-Komponente ($>$0,5 Hz) (Fahrenberg und Myrtek 2001). Die Bewegungsaktivität bildet den größten Teil der Herzratenreaktivität, wobei während körperlicher Aktivität am Fahrradergometer ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen erreichter Wattzahl und der gemessenen Herzrate besteht (Myrtek

2004b).

In Beruf, Schule und Freizeit haben die mentale und insbesondere die emotionale Beanspruchung gegenüber der energetischen stark zugenommen, sodass deren Erhebung von großem Interesse ist. Emotionen sind ein integraler Bestandteil des menschlichen Lebens, sodass es wissenschaftlich höchst interessant ist, die emotionale Beanspruchung in unterschiedlichen Situationen des menschlichen Alltags zu erfassen (Myrtek und Brügner 1996, Myrtek et al. 1996a). Durch gleichzeitige Analyse der Herzfrequenz und der Bewegungsaktivität kann auf die emotionale Beanspruchung zurückgeschlossen werden: Herzfrequenzerhöhungen, die nicht in Zusammenhang mit einer energetischen Beanspruchung gesetzt werden können, werden als „Additional Heart Rate", „Emotional bedingte Herzfrequenzerhöhung" oder auch „non-metabolische Herzfrequenzerhöhung" bezeichnet (Myrtek und Brügner 1996, Myrtek et al. 1996a, Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b, Fahrenberg 2001, Fahrenberg und Myrtek 2001, Fahrenberg und Myrtek 2005). Dies basiert auf einer Vielzahl an Studien, die zeigten, dass eine Kombination multipler Stressoren (z.B. Fahrradergometer, Cold Pressor Test, Umgebungstemperatur, mentale Arithmetikaufgaben) eine größere Herzfrequenzerhöhung bewirkten als der jeweilige Einzelstressor für sich, wobei sich die Einzeleffekte auf die Herzfrequenz nahezu addieren (Myrtek und Spital 1986, Carroll et al. 1986, Myrtek und Brügner 1996, Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b, Fahrenberg und Myrtek 2005). Die Methodik zur Erfassung der emotionalen Herzrate hat entscheidende Vorteile: 1. Sowohl die Herzrate als auch die Bewegungsaktivität können mithilfe einer relativ einfachen Registriertechnik nahezu artefaktfrei aufgezeichnet und verarbeitet werden. 2. Die Studienteilnehmer werden durch die Aufzeichnung kaum beeinträchtigt, sodass selbst Studien unter Alltagsbedingungen sehr gut durchgeführt werden können. Als Nachteile sind zu nennen: 1. Gleichzeitig auftretende emotionale, energetische und mentale Herzfrequenzerhöhungen können teilweise schwer voneinander abgegrenzt werden, sodass es zu Interpretationsschwierigkeiten kommen kann (Myrtek et al. 2001). Carroll und weitere Kollegen schlagen deshalb zur besseren Abgrenzung zwischen den einzelnen Komponenten im Falle von körperlich aktiven Probanden das Atemminutenvolumen als mögliche Alternative zur Bewegungsaktivität zur Berechnung der Additional Heart Rate vor (Carroll et al. 1986, Wilhelm und Roth 1998). 2. Es gibt eine Vielzahl an Emotionen, wobei jede Emotion die Herzfrequenzerhöhung unterschiedlich stark beeinflusst. Emotionen

mit starker Herzfrequenzerhöhung werden besser erfasst als Emotionen mit niedriger Herzfrequenzerhöhung (Myrtek et al. 2001). 3. Die Additional Heart Rate kann von der mentalen Aktivität beeinflusst werden, wobei die Intensität dieses Einflusses in Studien unterschiedlich bewertet wird, und zeigt eine gewisse Altersabhängigkeit: Jüngere Studienteilnehmer zeigten höhere Additional Heart Rates als ältere Studienteilnehmer (Carroll et al. 1986, Myrtek 2004b).

Als Parameter der mentalen Beanspruchung gilt die Abnahme der Herzfrequenzvariabilität (Rohmert und Rutenfranz 1975, Strasser 1982, Meshkati 1988, Wilson und O'Donnnell 1988, Eilers 1999, Fahrenberg und Myrtek 2001, Myrtek et al. 2001, Myrtek 2004b, Hottenrott 2009). Die Herzfrequenzvariabilität bezeichnet die Fähigkeit des Herzens, den zeitlichen Abstand zwischen den einzelnen Herzschlägen an die aktuellen Bedingungen anzupassen. Im Rahmen des FMS wird das „Mittlere Quadrat der sukzessiven Differenzen", kurz MQSD genannt, als Parameter der Herzfrequenzvariabilität benannt. Das MQSD wird aus dem Quadrat der Differenz aus den Momentanfrequenzen (angegeben in Schlägen/Min) zweier aufeinanderfolgender RR-Abstände errechnet, wobei die Quadrate addiert, durch die Zahl der Differenzen geteilt werden und schließlich die Wurzel gezogen wird:

$$MQSD = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N-1}(MF_{n+1} - MF_n)^2}{N-1}}$$

Die Einheit ist Schläge/Min. Im Laborversuch konnte gezeigt werden, dass bei mentalen Aufgaben das MQSD stärker abnimmt (Myrtek et al. 2001).
Die Erhebung der psychophysiologischen Daten erfolgte im Rahmen unserer Studie gemäß den Vorgaben des Freiburger Monitoring Systems, wobei als psychophysiologische Parameter das Elektrokardiogramm, die Bewegungsaktivität und die Elektrodermale Aktivität erhoben wurden. Der Vorteil dieser Parameter ist, dass diese praktikabel, risikoarm, kontinuierlich, zuverlässig und verbunden mit einer geringen methodenbedingten Reaktivität über längere Zeiträume erfasst werden können (Fahrenberg 2001). Als Stressoren wirken zwei verschiedene Arten von Lernsituationen, Frontalunterricht einerseits und das Gruppenpuzzle nach der Jigsaw-Methode andererseits, und deren einzelne Komponenten. Im folgenden Kapitel werden die Hintergründe zur Jigsaw-Methode erläutert.

1.3 Das Gruppenpuzzle (Die Jigsaw-Methode)

Die von Aronson 1978 begründete Jigsaw-Methode ist eine der ersten kooperativen Lernmethoden. Kooperatives Lernen wird definiert als strukturierte, systematische Unterrichtsstrategie, die vielseitig angewandt werden kann und auf Unterricht in kleinen Gruppen gründet (Slavin 1985, Aronson 2013). Empfehlenswert sind Gruppengrößen mit fünf oder sechs Mitgliedern, wobei auch die Bildung von Gruppen mit drei bis sieben Mitgliedern möglich ist (Kagan 1985). Jede Gruppe stellt dabei einen Mikrokosmos der Gesamtgruppe dar, wobei die Leistungsstärke, das Geschlechterverhältnis, die ethnische Zugehörigkeit zur Förderung der Erlernung von Teamfähigkeit möglichst gleichberechtigt über die Gruppen verteilt werden sollten. Diese heterogenen Gruppen arbeiten zusammen, um ein gemeinsames Ziel, einen Informationsgewinn, zu erreichen (Slavin 1985). Der Lehrer wählt innerhalb jeder Gruppe einen Gruppenleiter aus, der das Arbeiten in der Gruppe organisiert, produktive soziale und inhaltliche Diskussionen ermöglicht und Konflikte löst (Kagan 1985). Bei der Jigsaw-Methode wird ein Themengebiet, das die gesamte Gruppe behandeln wird, in kleinere Untereinheiten aufgeteilt. Jedes Mitglied einer Gruppe erhält eine spezielle Aufgabe, wobei sich alle Experten aus den einzelnen Gruppen in einer Expertengruppe zusammenfinden, um die Aufgabe zu bearbeiten und gemeinsam zu diskutieren (Slavin 1985), sodass individuelle Leistungsunterschiede in der Expertengruppe angeglichen werden (Kagan 1985). Nach dieser Bearbeitungszeit geht jedes Individuum als Experte dieser thematischen Untereinheit in seine ursprüngliche Gruppe, um seine Informationen weiterzugeben. Ein Test rundet die Unterrichtseinheit ab. Diese Grundstruktur wurde im weiteren Verlauf durch andere Pädagogen modifiziert (Slavin 1985). Der Kernpunkt dieser Methode ist die Ähnlichkeit zu einem Puzzle, weshalb die Methode Jigsaw genannt wurde: Jeder Lernende hat nicht nur die Aufgabe, sein Themengebiet gewissenhaft zu bearbeiten und den anderen Gruppenmitgliedern zu präsentieren, sondern auch die Informationen der anderen Gruppenmitglieder zu erhalten, aufzunehmen und jedes einzelne Informationsteil im Wissenspuzzle unterzubringen (Kagan 1985).

Die Vorteile des kooperativen Lernens sind vielseitiger Natur:

1. Kooperative Lernstrategien bereiten auf die Anforderungen des Zusammenlebens und Zusammenarbeitens im 21. Jahrhundert vor, indem bereits während der individuellen Ausbildung gelernt wird, Spannungen und Konflikte zwischen Individuen, Gruppen

und Gesellschaften nicht zu vermeiden, sondern konstruktiv und kreativ zu bearbeiten (Schmuck 1985). Slavin (1985) betont sogar, dass die Menschen nur deshalb evolutionär so erfolgreich sind, da sie in sich überlappenden kooperativen Gruppen (Familie, Nachbarschaft, Arbeitsgruppen, etc.) agieren und ihre Intelligenz zur Verwirklichung von Gruppenzielen nützen. Es stellt für ihn eine natürliche Schlussfolgerung dar, dass kooperative Lern- und Lehrmethoden verstärkt eingesetzt werden und die bisherigen individualistischen und kompetitiven Strukturen ergänzen sollten. Wesentliche Bestandteile des kooperativen Lernens sind folglich die Fähigkeiten, Gruppen zu bilden, zu kommunizieren, zuzuhören, aber auch sich Gehör zu verschaffen, Rollen zu spielen, Aufgaben zu erfüllen und in der Gruppe zu verteilen, Gedanken zu sammeln und zu ordnen sowie Gruppenaktivitäten zu planen (Kagan 1985).

2. Ein großer Teil an Studien belegt einen günstigen Effekt des kooperativen Lernens sowohl auf die individuelle Leistung als auch auf die Leistung der gesamten Gruppe (Slavin 1985, Johnson und Johnson 1985). Insbesondere Leistungsschwächere und Angehörige einer Minderheit profitieren von den positiven Auswirkungen auf den Lernerfolg (Kagan 1985, Johnson und Johnson 1985). Andererseits wurde in einigen Studien gezeigt, dass die Leistungsstärkeren nicht durch die gemeinsame Gruppenarbeit mit Leistungsschwächeren leiden, sondern auch die Leistungsstärkeren nach Zusammenarbeit mit Leistungsschwächeren größtenteils bessere Ergebnisse erzielen (Johnson und Johnson 1985). Jedoch betonen Lazarowitz und Kollegen (1985), dass insbesondere leistungsstärkere Lerner ihre Schwerpunkte mehr auf unabhängiges Lernen und raschen Lernfortschritt legen als auf kooperatives Lernen. Hinsichtlich der individuellen Leistungsfähigkeit bezogen auf die individuelle Methodenpräferenz verweist Slavin (1985) auf mehrere Studien: Lernende, die kooperative Lehrmethoden favorisieren, schneiden in kooperativen Unterrichtsformen besser ab, während Lernende, die kompetitive Strategien bevorzugen, insbesondere von wettbewerbsorientierten Unterrichtsbedingungen profitieren. Lazarowitz weist außerdem darauf hin, dass Lernende neben der Jigsaw-Unterrichtsform dennoch auch andere Formen des Lernens benötigen, wie z.B. die Interaktion mit der Lehrperson sowie Phasen des Selbststudiums. Des Weiteren reiche eine Leistungsüberprüfung zur Bewertung der Lernwirksamkeit der Methode nicht aus, sondern der Lernerfolg müsse im weiteren Verlauf noch einmal überprüft werden (Lazarowitz et al. 1985).

3. Vorurteile gegenüber Zugehörigen des anderen Geschlechts, gegenüber anderen Ethnien und gegenüber Leistungsstärkeren oder -schwächeren werden abgebaut, da durch die gemeinsame Arbeit innerhalb der Gruppe das einzelne Gruppenmitglied wahrgenommen, kennengelernt und geachtet wird. So können durch die gemeinsame Gruppenerfahrung innerhalb des Unterrichts Kontakte und Freundschaften über soziale Grenzen hinaus entstehen (Slavin 1985, Johnson und Johnson 1985, Graves und Graves 1985). Folglich fördert das kooperative Lernen eine erfolgreiche Integration benachteiligter Minderheiten, wobei diese dafür ihre kulturellen Werte nicht aufgeben müssen, und stärkt prosoziale Entwicklungen. Bestehende Statushierarchien innerhalb der Gruppe werden aufgelöst, da jeder Einzelne als Experte seines Themengebiets gilt (Kagan 1985). Außerdem erfüllt jedes Individuum innerhalb einer kooperativen Unterrichtseinheit eine Vielzahl an sozialen Rollen (Graves und Graves 1985). Der Lehrer sollte die Entwicklung positiver Beziehungen, den respektvollen Umgang miteinander sowie die gegenseitige Unterstützung bestärken (Johnson und Johnson 1985).
4. Viele Studien haben gezeigt, dass kooperative Lernformen die Selbstachtung fördern und das Selbstbewusstsein stärken, da sich jeder Einzelne von seinen Mitmenschen geschätzt, erfolgreich und wichtig für das Vorankommen der gesamten Gruppe fühlt (Slavin 1985). Insbesondere die sichtbaren Produkte des gemeinsamen Lernens, wie Lernerfolg, persönliche Fähigkeiten oder die Gruppenaktivität, sind dabei von großer Bedeutung (Graves und Graves 1985). Der individuelle Wissenserwerb wird erlernt, wobei jeder Einzelne seinen Anteil zum gemeinsam geschaffenen Produkt beiträgt (Kagan 1985). Innerhalb der Gruppe lernen die Teilnehmenden sich gegenseitig zu ermutigen, die gestellte Aufgabe zu bearbeiten und nicht das Thema zu wechseln, sich selbst für die Aufgabe zu motivieren und die eigenen Lernstrategien weiterzuentwickeln (Johnson und Johnson 1985). Andererseits macht Lazarowitz darauf aufmerksam, dass Selbstachtung und Selbstbewusstsein sich langsam entwickelnde Prozesse sind und dass zur Bewertung der Wirkung der Jigsaw-Methode auf das Selbstbild nicht nur die kurzzeitigen positiven Effekte notwendig sind, sondern auch die Langzeiteffekte (Lazarowitz et al. 1985).
5. Insgesamt haben viele Autoren darauf hingewiesen, dass kooperatives Lernen das Interesse am Lernen, an der Schule, am Miteinander und an seiner Entwicklung stärkt. Lernen wird folglich zu einer positiven und nützlichen Erfahrung (Kagan 1985).

Durch die Erhebung von Daten während der Unterrichtsform im Sinne der Jigsaw-Methode sowie während eines frontal auf die Lehrperson ausgerichteten Unterrichts möchte unsere Studie zeigen, ob sich die postulierten Vorteile des kooperativen Lernens gegenüber der traditionellen Unterrichtsform in den Daten der psychophysiologischen Parameter bestätigen lassen.

1.4 Die Fragestellung dieser Studie

Die Studie wurde im Rahmen einer Kooperation des Transferzentrums für Neurowissenschaften und Lernen (ZNL; angeschlossen an die Psychiatrie III des Universitätsklinikums Ulm) mit dem Lehrstuhl für Technik und ihre Didaktik der Technischen Universität Dortmund (LTD) am 9. und 16. Mai 2008 unter der Leitung von Frau Dr. Judith Streb, Frau Dr. Katrin Hille, Herrn Prof. Dr. Thomas Kammer und Herrn Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer und mir als Doktorandin (ZNL) sowie Prof. Dr. phil. habil. Bernd Ott, Dipl.-Ing. C. Benjamin Nakhosteen und Dipl.-Ing. Roland Hirsch als Kooperationspartner (LTD, TU Dortmund) durchgeführt.

Die Studie soll folgende Hypothesen verifizieren oder falsifizieren:

H1: Es ist möglich, physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen zu messen.
Die erste Hypothese möchte untersuchen, ob reale Lernsituationen für Untersuchungen im Rahmen eines ambulanten Monitorings geeignet sind und sinnvolle physiologische Parameter gewonnen werden können. Eine reale Lernsituation bezeichnet eine Lernsituation, die nicht gezielt geschaffen wurde, um physiologische Studien durchzuführen, sondern die auch ohne physiologische Untersuchungen mit denselben Kursteilnehmern stattfinden würde.

H2: Es ist möglich, physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen derart mit der Art der Lernsituation (Jigsaw-Methode vs. Frontalunterricht) zu korrelieren, dass Aussagen über die jeweilige Lernförderlichkeit der betrachteten Lernsituation möglich sind.
Die zweite Hypothese möchte untersuchen, inwiefern sich die Disziplinen der Neurowis-

senschaften und der Didaktik einander annähern können und inwiefern psychophysiologische Daten eine Beurteilung der Lernwirksamkeit zulassen.

2 Studienteilnehmende, Material und Methoden

2.1 Auswahl der Studienteilnehmer

Die Daten wurden am 9. Mai 2008 und um eine Woche versetzt am 16. Mai 2008 während Lehrveranstaltungen des Lehrstuhles Technik und ihre Didaktik an der Technischen Universität Dortmund (Kooperationspartner: Prof. Dr. phil. habil. Bernd Ott, Dipl.-Ing. C. Benjamin Nakhosteen und Dipl.-Ing. Roland Hirsch) erhoben. Die Methode des Gruppenpuzzles wird am LTD bereits erfolgreich als Unterrichtsform im Rahmen des Lehramtsstudienganges eingesetzt, sodass der Rahmen für eine Erhebung psychophysiologischer Daten in Form eines ambulanten Monitorings in einer bereits etablierten realen Lernsituation im regulären akademischen Unterricht mit für das weitere Studium relevanter Themenstellung bestand. Zwölf Studierende des Faches Technik im Lehramtsstudiengang der Sekundarstufe I der Technischen Universität Dortmund nahmen während zwei Unterrichtseinheiten auf freiwilliger Basis an der Untersuchung teil. Die Möglichkeit der Teilnahme an der Studie wurde von Mitarbeitern des Lehrstuhls Technik und ihre Didaktik in einer Lehrveranstaltung angekündigt und ein zusätzlicher Fehltermin im Laufe des Semesters als Aufwandsentschädigung angeboten. Studierende, die im aktuellen Semester eine bestimmte Lehrveranstaltung absolvierten, konnten an der Studie teilnehmen und sich entscheiden, ob sie sich für die Studiengruppe anmelden oder ob sie die Lehrveranstaltungen zu den behandelten Themen in einer anderen Gruppe an einem anderen Termin besuchen. Die Studierenden wurden von den Lehrverantwortlichen auf zwei Gruppen mit jeweils sechs Studierenden aufgeteilt, wobei die beiden Unterrichtseinheiten der ersten Studiengruppe am 9. Mai 2008, die der zweiten Studiengruppe am 16. Mai 2008 stattfanden. Der detaillierte Ablauf der beiden Studientage und die Seminarinhalte werden im Kapitel 2.3 „Studiendesign“ beschrieben. Die Studienteilnehmenden wurden vor der Datenerhebung über den Ablauf der Datenerhebung, die Geräte zur Erfassung der psychophysiologischen Parameter, die Durchführung der Fragebögen und Tests, die Videoaufzeichnung sowie über das Ziel des Forschungsprojektes informiert und darüber aufgeklärt, dass die erhobenen Daten nach den Richtlinien des Datenschutzes anonymisiert ausgewertet und veröffentlicht werden sowie dass ein Abbruch der Studienteilnahme jederzeit oder eine Einsichtnahme in die erhobenen Daten möglich sei. Die Studienteilnehmenden erklärten schriftlich ihr Ein-

verständnis. Im Folgenden wird zur besseren Lesbarbeit dieser Arbeit auf die doppelte Verwendung der maskulinen und femininen grammatikalischen Form verzichtet, wobei die gewählte Ausdrucksform als geschlechtsneutral zu verstehen ist. Bei Unterschieden zwischen männlichen und weiblichen Studienteilnehmenden wird explizit darauf hingewiesen bzw. die maskuline oder feminine grammatikalische Form verwendet.

2.2 Untersuchungsinstrumente und abhängige Variablen

Im Rahmen unserer Studie wurden neben den psychophysiologischen Parametern Elektrokardiogramm, Elektrodermale Aktivität sowie Bewegungsaktivität Daten aus Fragebögen und einer Videoaufzeichnung erhoben. Tabelle 1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Untersuchungsinstrumente sowie über die damit erhobenen Parameter und deren Abkürzungen. Die folgenden Kapitel gehen auf die einzelnen Untersuchungsinstrumente und Parameter näher ein.

2.2.1 Psychophysiologische Parameter

Zur Erhebung der physiologischen Daten wurde das Freiburger Monitoring System (FMS) verwendet. Wie in der Tabelle 1 zu sehen ist, wurden in unserer Studie die Parameter Herzrate (HR_FF), Herzratenvariabilität (MQSD), emotionale Herzrate (EMO_HR), die elektrodermale Aktivität (EDA_TP, SCR_FR) und die Bewegungsaktivität (ACT_F) für die Untersuchung unserer Fragestellung ausgewählt, da diese im Rahmen einer realen Lernsituation aufgezeichnet werden können, ohne die Studienteilnehmer zu stark zu beeinträchtigen oder zu beeinflussen. Die psychophysiologischen Daten (Elektrokardiogramm, Elektrodermale Aktivität, Bewegungsaktivität) wurden im Sinne eines ambulanten Monitorings auf Varioportgeräten der Firma Becker Meditec aufgezeichnet und mithilfe der Software Vitagraf (Becker Meditec) sowie BIO29/30 aufgenommen, kontrolliert, verarbeitet und analysiert. Der Varioport-Datenrecorder wird diskret mit einem Gurtsystem am Oberkörper befestigt und ist klein (6,5x12x2cm) und leicht (170g), sodass ein ambulantes Monitoring ohne größere Einschränkungen oder Beeinträchtigungen der Studienteilnehmer in der alltäglichen Situation gewährleistet wird. Die Parameter des Elektrokardiogramms (EKG), die Bewegungsaktivität und die Elektrodermale Aktivität (EDA, Hautleitwert) wurden während der untersuchten Seminare aufgezeichnet, wobei aus diesen Daten weitere Parameter ermittelt wurden. Die folgen-

Tabelle 1: Die erhobenen Parameter

Diese Übersicht zeigt die einzelnen Untersuchungsinstrumente der in Dortmund im Mai 2008 mit Studenten durchgeführten Studie zur Bewertung der Lernwirksamkeit mittels psychophysiologischer Daten, eine kurze Charakterisierung der erhobenen Parameter sowie die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Abkürzungen.

Untersuchungsinstrumente	Abkürzung	Parameter
Elektrokardiogramm (EKG)	HR_FF	Herzfrequenz/Herzrate (in Schlägen pro Minute) als Parameter für die körperliche bzw. emotionale Beanspruchung
	MQSD	Herzfrequenz-/Herzratenvariabilität in Einheiten pro Minute als Parameter für die kognitive/mentale Beanspruchung
	EMO_HR	Emotionale Herzfrequenz/Herzrate in Einheiten pro Minute als Parameter der emotionalen Beanspruchung
Elektrodermale Aktivität (EDA)	EDA_TP	Tonischer Hautleitwert in µSiemens als Parameter für Angst, Anspannung, Aufregung und neue Reize
	SCR_FR	Unspezifische Hautleitwertreaktionen in µSiemens als Parameter für Angst, Anspannung, Aufregung und neue Reize
Bewegungsaktivität	ACT_F	Bewegungsaktivität in Einheiten pro Minute als wichtiger Parameter zur Differenzierung zwischen Herz-frequenz-/Herzratenveränderungen
Fragebögen	KAB	Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung als Wert zwischen 1 und 6, als Beanspruchungs-Index in Prozent des Maximalwertes
	VGZ	Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes mit Werten zwischen 0 (minimale Ausprägung) und 12 (maximale Ausprägung)
Videoaufnahme	-	Zur Ermittlung von Störfaktoren, zur Rekonstruktion besonderer Ereignisse und des Unterrichtsverlaufes
Test	-	Schriftliche Leistungsüberprüfung am Ende jeder Unterrichtseinheit in Prozent der maximal möglichen Punktzahl

den Ausführungen werden die einzelnen Parameter, ihre Bedeutung und ihre Erfassung kurz vorstellen.

Aus dem EKG wurden die Herzrate (HR_FF), die emotionale Herzrate (EMO_HR) und die Herzratenvariabilität (MQSD) bestimmt. Die Herzrate ist auch unter den Syn-

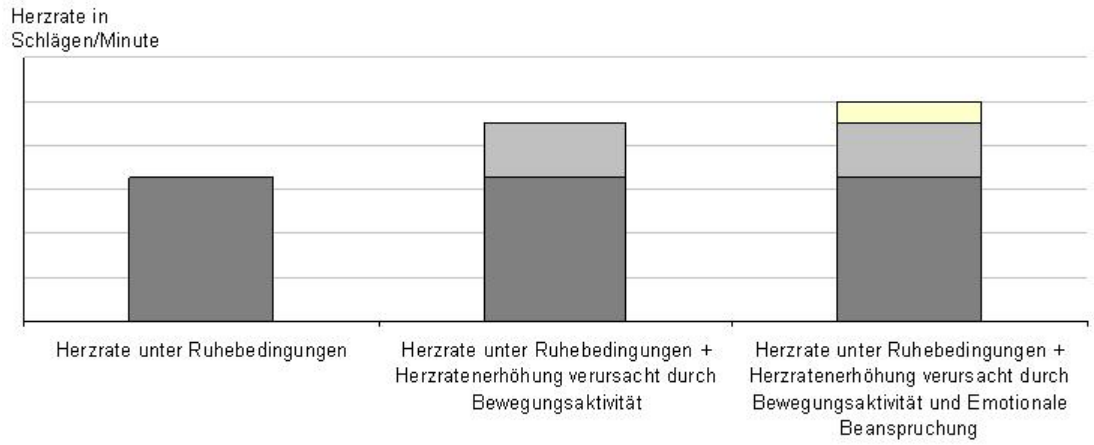


Abbildung 1: Aufschlüsselung der Herzrate

Die Abbildung gibt schematisch einen Eindruck, wie sich die Höhe der Herzrate zusammensetzt: Man unterscheidet die Herzrate in Ruhe von zusätzlichen Komponenten (Bewegungsaktivität, emotionale Beanspruchung), die einen additiven Effekt auf die aktuell gemessene Herzrate haben. Durch Messung der Herzrate in Ruhe und Messung der aktuellen Bewegungsaktivität kann durch Subtraktion von der aktuell gemessenen Herzrate auf die aktuelle emotionale Herzrate als Maß der aktuellen emotionalen Beanspruchung geschlossen werden, wie es in unserer in Dortmund im Mai 2008 mit Studenten durchgeführten Studie zur Bewertung der Lernwirksamkeit mittels psychophysiologischer Parameter erfolgt ist.

onymen Herzfrequenz oder Puls bekannt und entspricht der Häufigkeit des Auftretens von R-Zacken pro Minute. Sie gilt als Indikator für körperliche und emotionale Beanspruchung. Die emotionale Herzrate wird, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, in dieser Studie aus der Herzfrequenz und der Bewegungsaktivität berechnet: Jeder Mensch hat unter Ruhebedingungen einen bestimmten Ruhepuls, eine Herzrate in Ruhe. Sowohl bei körperlicher Beanspruchung als auch bei emotionaler Beanspruchung nimmt die Herzrate zu. Da das Varioport-Messgerät parallel die Bewegungsaktivität aufzeichnet, kann aufgrund der auf die Bewegungsaktivität zurückführbaren Herzratenerhöhung unter Berücksichtigung der Herzrate in Ruhe auf die durch emotionale Beanspruchung ausgelöste Herzratenerhöhung geschlossen werden. Die Additional Heart Rate kann sowohl bei mentaler als auch bei emotionaler Beanspruchung erhöht sein, wobei sie bei emotionaler Beanspruchung deutlich aktiver ist. Wir haben in unserer Studie den Schwerpunkt von AHR auf die Bedeutung als Faktor emotionaler Beanspruchung gelegt und die Herzratenvariabilität (MQSD) als Indikator mentaler Beanspruchung erfasst.

Die Herzratenvariabilität bezeichnet die Anpassungsfähigkeit des Herzens an schnell



Abbildung 2: Schematische Darstellung der Herzratenvariabilität

Die Herzratenvariabilität wurde in unserer in Dortmund 2008 mit Studenten durchgeführten Studie zur Bewertung der Lernwirksamkeit mittels psychophysiologischer Daten als Parameter für die mentale Beanspruchung erfasst. In dieser Abbildung wird die Herzratenvariabilität veranschaulicht: Bei niedriger Herzratenvariabilität (in der Abbildung a) sind die Herzschläge gleichmäßiger. Dies spricht für eine höhere mentale Beanspruchung. Bei hoher Herzratenvariabilität (in der Abbildung b) sind die Herzschläge ungleichmäßiger, was für eine niedrigere mentale Beanspruchung spricht.

wechselnde Belastungen, indem der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Herzschlägen kontinuierlich und belastungsabhängig verändert wird. Die Herzratenvariabilität wird mithilfe der R-Zacken-Abstände gemessen, die unterschiedlich lange dauern (siehe Abbildung 2). Werden die Herzschläge gleichmäßiger und sinkt folglich die Herzratenvariabilität, so gilt das als Indikator für mentale/kognitive Beanspruchung. In unserer Studie wurden Herzelektroden mit Klickverschluss der Marke Kendall/Arbo (EKG-Elektroden H92SG) verwendet, die an folgenden Punkten auf die Haut des Oberkörpers geklebt wurden (siehe Abbildung 3) und wie folgt eingesetzt wurden: Die schwarze Elektrode wurde als Referenzelektrode zur Erdung auf den unteren Teil des Sternums geklebt. Die rote Elektrode, die im linken 5. ICR in der Medioclavicularlinie im Bereich der Herzspitze auf die Haut geklebt wurde, sowie die blaue Elektrode, die zwei Finger breit unterhalb einer gedachten Linie zwischen den Claviculae auf dem oberen Teil des Sternums positioniert wurde, wurden bipolar verschaltet, um analog zur II. Extremitätenableitung nach Einthoven durch Widerspiegelung der elektrischen und anatomischen Herzachse anhand besonders deutlicher QRS-Komplexe die Messung der RR-Abstände und folglich die Bestimmung der Herzrate zu ermöglichen. Diese Anord-

nung der EKG-Elektroden orientiert sich an den Angaben des Freiburger Monitoring Systems (Myrtek et al. 2001), wobei wir uns für eine Vereinfachung der EKG-Ableitung mit Beschränkung auf den Hauptvektor entschieden haben, da bei unserer Studie die Identifikation der QRS-Komplexe und nicht eine detaillierte EKG-Diagnostik (z.B. mit P-Wellenamplituden- oder ST-Streckenanalyse) im Vordergrund stand.

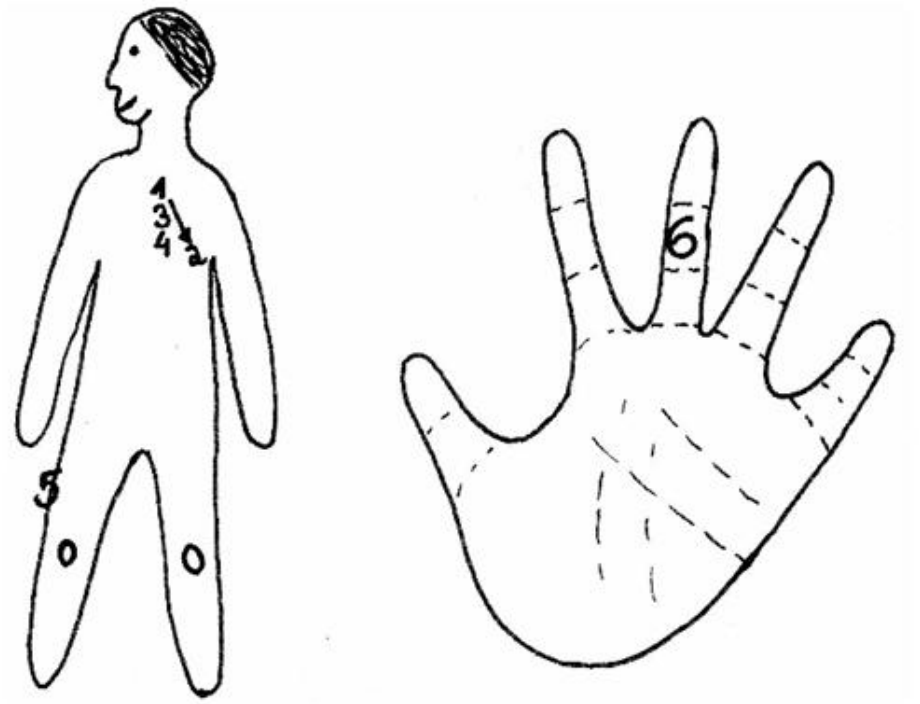


Abbildung 3: Die Positionierung der Elektroden und Sensoren zur Messung der psychophysiologischen Parameter

Im Rahmen unserer Studie mit Studenten der Technischen Universität Dortmund im Jahre 2008 wurden psychophysiologische Parameter erhoben. Die Abbildung zeigt schematisch die Positionierung der einzelnen Elektroden des Elektrokardiogramms (EKG, links im Bild) und der Elektrodermalen Aktivität (EDA, rechts im Bild) sowie der Sensoren der Bewegungsaktivität (links im Bild): 1 Blaue EKG-Elektrode (Positionierung sternal, zwei Finger breit unter einer gedachten Verbindungslinie zwischen den Claviculae), 2 Rote EKG-Elektrode (Positionierung im 5. ICR links in der Medioclavicularlinie über der Herzspitze), Pfeil entsprechend der elektrischen und anatomischen Herzachse, 3 Schwarze EKG-Elektrode (Referenzelektrode, Positionierung am unteren Sternum), 4 3D-Bewegungssensor (Erfassung der Dimensionen: vertikal, sagittal und lateral, Positionierung sternal unterhalb der schwarzen EKG-Elektrode), 5 1D-Bewegungssensor (Erfassung der Dimension: sagittal, Positionierung mittig an der Außenseite des rechten Oberschenkels), 6 Elektrode der Elektrodermalen Aktivität (Positionierung am mittleren Fingerglied des Mittelfingers der nicht-dominanten Hand, in der Abbildung exemplarisch an der linken Hand dargestellt).

Die Bewegungsaktivität wurde gemäß des Freiburger Monitoring Systems mittels zweier Bewegungssensoren ermittelt, die als Schwerkraft-geeichte Lage-Sensoren bei allen Probanden in identischer Anbringung Lageveränderungen wahrnehmen: Der 1D-

Sensor ist in der Lage, eindimensionale Bewegungen (sagittal) zu erfassen und wurde an der Außenseite des rechten Oberschenkels mittig platziert (siehe Abbildung 3) und mit Heftpflastern befestigt. Der 3D-Sensor kann dreidimensionale Bewegungen aufzeichnen (vertikal, lateral, sagittal) und wurde knapp unterhalb des Sternums unter der schwarzen EKG-Elektrode (siehe Abbildung 3) mit Heftpflastern angebracht. Zur besseren Abgrenzung der einzelnen Situationen wurde, wie im FMS empfohlen, während der einzelnen Studientage ein Standardprotokoll mit einzelnen Bewegungssituationen durchgeführt: Bei unserer Studie wurden Lagemessungen im aufrechten Sitzen, im nach vorne gebeugten Sitzen, im nach hinten gebeugten Sitzen, im aufrechten Stehen und während des Gehens aufgezeichnet (Myrtek et al. 2001).

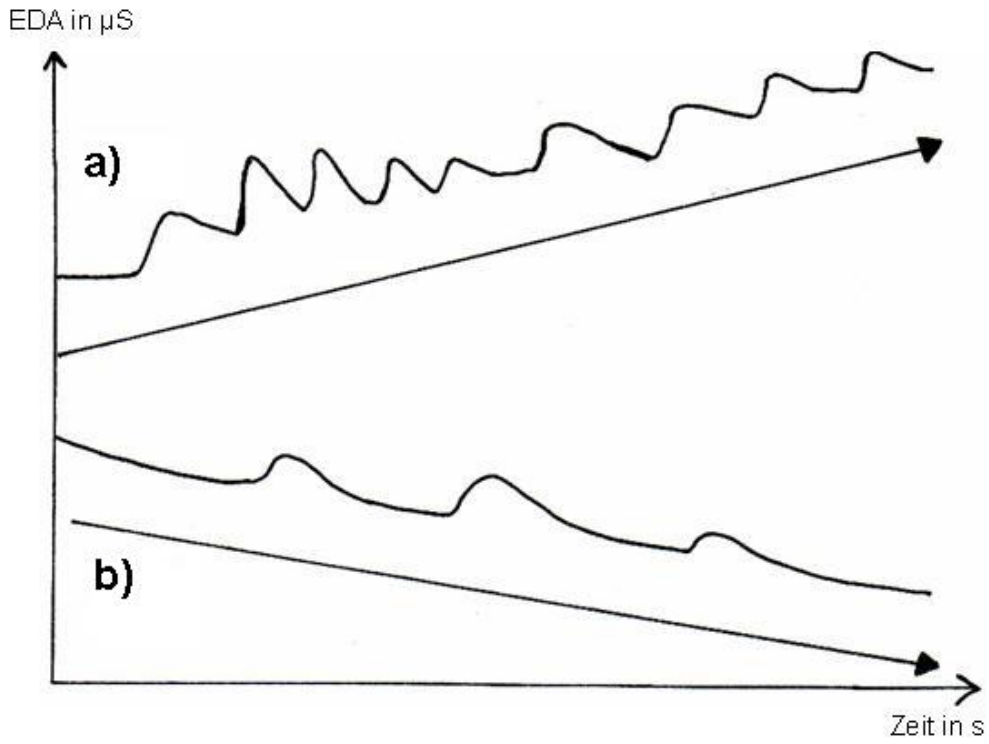


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Elektrodermalen Aktivität

Die Abbildung veranschaulicht die beiden psychophysiologischen Parameter der Elektrodermalen Aktivität (EDA) EDA_TP und SCR_FR, wobei im Koordinatensystem die Einheit von EDA Mikrosiemens gegen die Zeit in Sekunden aufgetragen ist: Der Parameter EDA_TP bezeichnet die tonische Komponente von EDA, wobei die Tendenz mittels der großen Pfeile dargestellt wird. Der Parameter SCR_FR bezieht sich auf unspezifische Hautleitwertreaktionen, die in der Zeichnung als kleine Positivierungen zu erkennen sind. Bei Angst, Anspannung, Aufregung und der Verarbeitung neuer Reize steigt EDA_TP zunehmend an und SCR_FR zeigt viele unspezifische Hautleitwertreaktionen (in der Abbildung a), bei Entspannung vermindert sich EDA_TP allmählich und SCR_FR zeigt wenige unspezifische Hautleitwertreaktionen (in der Abbildung b). Beide Parameter wurden bei Studenten der Technischen Universität Dortmund während Unterrichtsveranstaltungen 2008 gemessen.

Die Elektrodermale Aktivität (Hautleitwert, Parameter: EDA_TP und SCR_FR) wird mithilfe von kleinen Elektroden, die an Fingern oder Handballen der nicht-dominanten Hand oder am Fuß angebracht werden, in der Einheit Mikrosiemens gemessen. Die Haut als Grenze des menschlichen Körpers zu seiner Umwelt trägt wesentlich zur Thermoregulation bei, was mithilfe der Elektrodermalen Aktivität erfasst werden kann: Eine schwache elektrische Spannung wird an die Haut angelegt, wobei in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit der Haut ein Strom zwischen den Elektroden fließt und gemessen wird. Bei hoher Feuchtigkeit, z.B. beim Schwitzen, fließt mehr Strom, bei trockener Haut ist der Stromfluss geringer. Die Elektrodermale Aktivität ist folglich abhängig von der Durchfeuchtung des Corneums, des Füllungsstands in den Ducti der einzelnen Schweißdrüsen und verschiedenen Membranprozessen (Boucsein 2001). Sie setzt sich aus einer tonischen und einer unspezifischen Komponente zusammen: Während der tonische Hautleitwert (EDA_TP) die langsame Veränderung des Hautleitwertes darstellt, zeigen sich die sogenannten unspezifischen Hautleitwertreaktionen (SCR_FR) als kleine Positivierungen. Beide Komponenten gelten als Indikatoren für Angst, Aufregung und neue Reize. Bei ängstlichen oder aufgeregten Personen steigt der tonische Hautleitwert langsam an und die Anzahl der unspezifischen Hautleitwertreaktionen nimmt zu, während bei Entspannung der tonische Hautleitwert wiederum langsam abnimmt und die Anzahl der unspezifischen Hautleitwertreaktionen abnimmt. Abbildung 4 stellt diese Veränderungen annähernd schematisch dar. In unserer Studie haben wir uns entschieden, die Klebepads mit Elektroden zur Erfassung der Elektrodermalen Aktivität am mittleren Fingerglied des Mittelfingers der nicht-dominanten Hand (siehe Abbildung 3) zu fixieren, da ein mögliches Lösen der Elektrode von der Haut an der Hand viel rascher bemerkt werden kann als am Fuß. Die Klebepads wurden mit einer Paste, die den Stromfluss bis zur Elektrode ermöglichen soll, gefüllt, an die Haut geklebt und zusätzlich mit einem Heftpflaster fixiert, um ein Lösen während des Unterrichts zu vermeiden.

Das Varioport-Messgerät hat während der Versuchstage folglich pro Studienteilnehmer Signale von drei EKG-Elektroden, zwei Bewegungssensoren und einer Hautleitwert-Elektrode empfangen und die Daten von folgenden Parametern gespeichert: HR_FF, MQSD, EMO_HR, EDA_TP, SCR_FR sowie ACT_F.

2.2.2 Fragebögen

An beiden Versuchstagen wurden jeweils nach der Ruhemessung, nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und nach der Lernsituation II (Frontalunterricht) zwei Fragebögen verteilt und von den Studienteilnehmern ausgefüllt: Zum Einen der Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB), zum Anderen der Fragebogen „Wie geht es dir jetzt im Moment?“ als Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes (VGZ).

Tabelle 2: Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung - Auswertung

Der Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB) besteht aus sechs gegensätzlichen Adjektivpaaren, wobei für jedes eine Ausprägung angegeben wird. Jeder Markierung wird bei der Auswertung ein Wert zwischen 1 (entspricht einer minimalen Beanspruchung) und 6 (entspricht einer maximalen Beanspruchung) zugeordnet. Der daraus gebildete Mittelwert ist das sogenannte Maß der Beanspruchung. Der KAB wurde Studenten der Universität Dortmund im Rahmen unserer Studie 2008 nach einer Ruhesituation und nach den einzelnen Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) vorgelegt.

"Jetzt fühle ich mich ..."

	sehr	ziemlich	eher	eher	ziemlich	sehr	
angespannt	6	5	4	3	2	1	**gelassen**
gelöst	1	2	3	4	5	6	**beklommen**
besorgt	6	5	4	3	2	1	**unbekümmert**
entspannt	1	2	3	4	5	6	**unruhig**
skeptisch	6	5	4	3	2	1	**vertrauensvoll**
behaglich	1	2	3	4	5	6	**unwohl**

Der Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB) dient der Quantifizierung situationsabhängiger subjektiver psychischer Beanspruchung und kann zur Verlaufsdiagnostik innerhalb kurzer Retestintervalle wiederholt werden. Er ist leicht verständlich und kann innerhalb von ein bis zwei Minuten bearbeitet werden. Der Ausgangssatz „Jetzt fühle ich mich“ wird durch sechs gegensätzliche Adjektivpaare ergänzt, wobei das psychische Befinden innerhalb einer sechsstufigen Skala bewertet wird. Der Fragebogen, wie er den Studienteilnehmern vorlag, ist dem Anhang unter A beigefügt. Tabelle 2 zeigt den Aufbau des Fragebogens und verdeutlicht zusätzlich das Vorgehen bei der Auswertung. Jedem Item wird ein Punktewert zwischen 1 und 6 zugeordnet, wobei 1 einer minimalen, 6 einer maximalen Beanspruchung entspricht. Diese Punkte waren für die Studienteilnehmer nicht einsehbar. Aus den Punktwerten der sechs Items wird der Mittelwert gebildet, wobei dieser das Maß der Beanspruchung ergibt. In die-

ser Form wird es als aktuelle psychische Beanspruchung angegeben und liegt, wie die einzelnen Items, zwischen 1 als Minimalwert und 6 als Maximalwert. Alternativ kann es in den Beanspruchungs-Index in % des Maximalwertes umgerechnet werden (Müller und Basler 1993).

Der Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes ist im Anhang unter B einzusehen. Er beginnt mit der Frage „Wie geht es dir jetzt im Moment?“ und einer kurzen Anleitung mit Beispiel und beinhaltet anschließend 15 Items mit Adjektiven des emotionalen Befindens, wobei diese in folgender Reihenfolge aufgeführt sind: 1. gedrückt, 2. fröhlich, 3. fasziniert, 4. ruhig, 5. müde, 6. unzufrieden, 7. gut, 8. interessiert, 9. nervös, 10. schläfrig, 11. unwohl, 12. glücklich, 13. desinteressiert, 14. unruhig, 15. wach. Der Fragebogen ermöglicht eine jeweilige Einstufung der Ausprägung zwischen 0 und 4, wobei 0 als „gar nicht“ und 4 als „sehr“ vorgegeben wird. Die Studienteilnehmer wurden gebeten, den Zahlenwert anzukreuzen, der ihrer derzeitigen Gefühlslage am ehesten entspricht. Der Fragebogen erfasst fünf Dimensionen des emotionalen Erlebens: Negatives Gefühl, Positives Gefühl, Interesse, Erregung und Wachheit. Tabelle 3 veranschaulicht die Zuordnung von jeweils drei Adjektiven zu den einzelnen Dimensionen und die weitere Auswertung des Fragebogens. Die Punktwerte der einzelnen Items einer Dimension werden addiert, sodass sich Werte zwischen 0 und 12 ergeben, wobei der Wert 0 einer minimalen Ausprägung, der Wert 12 einer maximalen Ausprägung der jeweiligen Dimension entspricht (Feist und Stephan 2007).

Die beiden Fragebögen KAB und VGZ wurden entsprechend den eben genannten Vorgaben ausgewertet und in Beziehung zu den Lernsituationen gesetzt.

2.2.3 Schriftlicher Test zu den Inhalten der Unterrichtseinheit

Am Ende jeder Unterrichtseinheit erfolgte ein zu Beginn der Veranstaltung angekündigter schriftlicher zehnminütiger Test, um den individuellen Lernerfolg bezogen auf das jeweilige Thema bzw. die jeweilige Unterrichtsform zu überprüfen. Der Test wurde von den Mitarbeitern des Lehrstuhles für Technik und ihre Didaktik der Universität Dortmund entworfen, in anonymisierter Form durchgeführt und fachlich ausgewertet. Die Inhalte der Prüfungen sind im Anhang unter C (Test für das Thema schiefe Ebene) sowie unter D (Test für das Thema Feder) einzusehen. Anschließend ordneten wir die Testergebnisse dem jeweiligen Studienteilnehmer bzw. der jeweiligen Lernsituation zu

Tabelle 3: Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes - Auswertung

Der Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes (VGZ) beinhaltet 15 Items mit Adjektiven, wobei jeweils drei einer emotionalen Dimension zugerechnet werden. Diese Abbildung zeigt die Zuordnung der Adjektive zu den emotionalen Dimensionen und die Zusammensetzung der Punktwerte. 0 weist auf eine schwache Ausprägung hin, 12 auf eine starke Ausprägung in der jeweiligen emotionalen Dimension. Der VGZ-Fragebogen wurde von Studenten der Universität Dortmund im Rahmen unserer Studie 2008 nach der Ruhesituation und nach jeder Unterrichtseinheit (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) ausgefüllt und nach dem in der Abbildung dargestellten Schema ausgewertet.

Emotionale Dimension	Adjektive	Punktwerte	Punktwerte	12 bedeutet
Negatives Gefühl	Gedrückt	0 bis 4	0 bis 12	Sehr negatives Gefühl
	Unzufrieden	0 bis 4		
	Unwohl	0 bis 4		
Positives Gefühl	Fröhlich	0 bis 4	0 bis 12	Sehr positives Gefühl
	Gut	0 bis 4		
	Glücklich	0 bis 4		
Interesse	Fasziniert	0 bis 4	0 bis 12	Sehr hohes Interesse
	Interessiert	0 bis 4		
	Desinteressiert	0 bis 4		
Erregung	Ruhig	0 bis 4	0 bis 12	Sehr hohes Maß an Erregung
	Nervös	0 bis 4		
	Unruhig	0 bis 4		
Wachheit	Müde	0 bis 4	0 bis 12	Sehr wacher Zustand
	Schläfrig	0 bis 4		
	Wach	0 bis 4		

und untersuchten mögliche Zusammenhänge.

2.2.4 Videoaufnahme

Während den Unterrichtsphasen wurden alle Studienteilnehmer im Sinne einer Gruppenaufnahme als Übersicht von einer Videokamera (Canon XM2 mit Stativ, Videokassetten von Sony DVM60PR3 Premium SP: 60 Minuten, LP: 90 Minuten) gefilmt, um Störfaktoren (wie z.B. Trinken, Gähnen) ermitteln und aus den psychophysiologischen Daten filtern, um die Seminarinhalte und besondere Ereignisse (wie z.B. Gelächter in der Gruppe) rekonstruieren sowie um den zeitlichen Ablauf der einzelnen Unterrichtsphasen der beiden Lernsituationen kontrollieren zu können. Die Kassetten wurden auf einen Computer digital übertragen und ausgewertet. Die Auswertung diente lediglich den hier aufgeführten Zwecken. Die Studienteilnehmer waren mit der Durchführung der Videoaufzeichnung einverstanden.

2.3 Studiendesign

An den beiden Datenerhebungstagen am 09.05.2008 und am 16.05.2008 in Seminarräumen des LTD an der TU Dortmund hat jeweils eine Studentengruppe von sechs Personen sowohl an einem Seminar mit der Unterrichtsform des Gruppenpuzzles als auch an einem Seminar im Sinne eines Frontalunterrichts teilgenommen und wurde im Rahmen dieser Lernsituationen psychophysiologisch (EKG, Elektrodermale Aktivität, Bewegungsaktivität) sowie mittels den Fragebögen KAB und VGZ, Leistungstests zur Prüfung der Seminarinhalte und einer Videoaufnahme der einzelnen Seminare untersucht. Das folgende Kapitel wird zunächst die beiden Lernsituationen sowie die behandelten Themen vorstellen und anschließend den detaillierten Ablauf der Seminartage sowie die Durchführung der Datenerhebung beschreiben.

2.3.1 Lernsituation I: Gruppenpuzzle

Tabelle 4: Die Phasen der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)

Während unserer Studie zur Bewertung der Lernwirksamkeit mittels psychophysiologischer Parameter wurden Studenten der Technischen Universität Dortmund im Mai 2008 während des Unterrichts untersucht. Die Tabelle zeigt eine Übersicht über den Ablauf der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) in Anlehnung an die Vorgaben des Lehrstuhls für Technik und ihre Didaktik. Die Lernsituation I bestand aus sieben Phasen, deren Inhalte aufgeführt sind.

Situation	Phase	Inhalt
I	1	Bildung dreier Familien A, B und C mit jeweils zwei Personen
I	2	Theoretischer Vortrag des Dozenten zur Einführung in die Themenstellung
I	3	Bildung von zwei Expertenteams: 1. Expertenteam mit den Studienteilnehmern A1, B1 und C1 2. Expertenteam mit den Studienteilnehmern A2, B2 und C2
I	4	Durchführung und Auswertung eines Versuches in der Expertengruppe 1. Expertenteam bearbeitet Aufgabenstellung 1 2. Expertenteam bearbeitet Aufgabenstellung 2
I	5	Rückkehr der Studienteilnehmer als Experte ihrer Aufgabenstellung in die jeweilige Familie
I	6	Die Familienmitglieder 1 und 2 erklären sich gegenseitig ihre Aufgabenstellungen
I	7	Test

Das in der Lernsituation I durchgeführte Gruppenpuzzle ist an die von Elliot Aronson im Jahre 1971 entwickelte und 1978 veröffentliche Jigsaw-Methode, die in der Einlei-

tung kurz vorgestellt und in den wissenschaftlichen Kontext gesetzt wurde, angelehnt und bestand aus sieben Phasen, die in der Tabelle 4 kurz dargestellt werden. In der ersten Phase wurde jedem Studienteilnehmer eine Bezeichnung (A1, A2, B1, B2, C1, C2) zugeordnet, sodass daraufhin drei Familien mit den Bezeichnungen A, B sowie C mit jeweils zwei Personen gebildet werden konnten. Im anschließenden Theorie-Vortrag der zweiten Phase stellte der Dozent die Themenstellung und die für die weiteren Phasen benötigten Hintergründe vor. In der dritten Phase fanden sich aus jeder Familie jeweils die Studienteilnehmer mit der Nummer 1 im 1. Expertenteam und die Studienteilnehmer mit der Nummer 2 im 2. Expertenteam zusammen, um in der vierten Phase anhand einer Anleitung einen Versuch selbstständig durchzuführen und die dazu gestellten Aufgaben zu lösen, wobei jeder Versuchsaufbau einer Expertengruppe einen anderen Teilaspekt des Themengebietes abdeckte. Diese Phase nahm den größten Teil des Seminars in Anspruch. Anschließend lösten sich in der Phase 5 die Expertengruppen wieder auf, damit jeder Studienteilnehmer als Experte seiner Aufgabenstellung in seine ursprüngliche Familie zurückkehren konnte, in der jedes Familienmitglied dem jeweils anderen in der Phase 6 den Versuch und die daraus folgenden Erkenntnisse erklärte. In der Phase 7 wurde anschließend ein zehnminütiger Test durchgeführt.

2.3.2 Lernsituation II: Frontalunterricht

Tabelle 5: Die Phasen der Lernsituation II (Frontalunterricht)

Die an unserer Studie zur Bewertung der Lernwirksamkeit mittels psychophysiologischer Parameter im Mai 2008 teilnehmenden Studenten der Technischen Universität Dortmund wurden während Unterrichtseinheiten mit unterschiedlicher pädagogischer Struktur (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) untersucht. Diese Tabelle zeigt eine Übersicht über den Ablauf der Lernsituation II in Anlehnung an die Vorgaben des Lehrstuhls für Technik und ihre Didaktik. Die Lernsituation II bestand aus drei Phasen, deren Inhalte aufgeführt sind.

Situation	Phase	Inhalt
II	1	Theoretischer Vortrag durch den Dozenten
II	2	Frontale Versuchsdurchführung und Diskussion der Ergebnisse
II	3	Test

Die Lernsituation II wurde als Frontalunterricht durchgeführt, der, wie der Tabelle 5 zu entnehmen ist, in drei Phasen eingeteilt war: Die erste Phase bestand aus einem theoretischen Vortrag des Dozenten über das jeweilige Thema. In der zweiten Phase

führte der Dozent die jeweiligen Versuche des Themas vor der Seminargruppe frontal durch und besprach die Ergebnisse gemeinsam mit den Studienteilnehmern. In der dritten Phase erfolgte der zehnminütige Test.

2.3.3 Die Seminarthemen

Zwei Themenkomplexe des Faches Technik, die im Rahmen der Lehrerausbildung für die Sekundarstufe I unterrichtet werden, wurden an jedem Seminartag behandelt: die schiefe Ebene und die Feder. Die Zuordnung zur Unterrichtsform wurde am zweiten Datenerhebungstag im Vergleich zum ersten getauscht, d.h. am 09.05.2008 wurde das Thema über die schiefe Ebene als Lernsituation I (Gruppenpuzzle) sowie das Thema über die Feder als Lernsituation II (Frontalunterricht) gelehrt, wobei am 16.05.2008 das Thema über die schiefe Ebene als Lernsituation II (Frontalunterricht) und das Thema über die Feder als Lernsitution I (Gruppenpuzzle) durchgeführt wurde. Diese Zuteilung der Seminarzeiten zu den Lernsituationen sowie zu den Themen wird in der Tabelle 6 sowie im Kapitel 2.3.4 über die Durchführung der Datenerhebung veranschaulicht.
Beim Themenkomplex über die schiefe Ebene wurde anhand von theoretischen Elementen sowie von Versuchen die Energiewandlung und Reibung behandelt: Die Versuchsanordnung bestand aus schiefen Ebenen mit unterschiedlichen Winkeln und verschiedenen Gegenständen (Auto, verschiedene Walzen, Hohlzylinder), wobei durch die Bestimmung der potentiellen Energie und des Energieverlustes durch Rollreibung die Energieerhaltung gezeigt wurde.
Der Themenkomplex über die Feder beinhaltete einerseits die Federdehnung, die Federkonstante und das Kraft-Verlängerungs-Diagramm, andererseits die Reihen- und Parallelschaltung von Federn. Die Versuchsanordnung bestand zum Einen aus einzelnen Federn, die durch unterschiedlich große Lasten unterschiedlich stark verlängert wurden, sowie zum Anderen aus drei Federn, die entweder in Reihe oder parallel mit Gewichten belastet wurden.

2.3.4 Durchführung der Datenerhebung/Ablauf der Seminartage

Die beiden Seminartage waren so strukturiert, dass die einzelnen Elemente annähernd zu parallelen Zeiten stattfanden. Die Tabelle 6 gibt eine detaillierte Übersicht über den zeitlichen Ablauf der einzelnen Studientage wieder. Die folgenden Ausführungen werden die jeweiligen Elemente näher erläutern.

Tabelle 6: Der zeitliche Ablauf der Studientage

Unsere Studie untersuchte im Mai 2008 zwölf Studenten der Technischen Universität Dortmund während unterschiedlicher Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) mittels der Messung des Elektrokardiogramms (EKG), der Elektrodermalen Aktivität (EDA) und der Bewegungsaktivität, der Erhebung des Fragebogens des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes (VGZ) und des Kurzfragebogens zur aktuellen Beanspruchung (KAB), der Durchführung von schriftlichen Tests zur Lernkontrolle sowie einer Videoaufzeichnung. Diese Tabelle gibt einen Überblick über den Ablauf des jeweiligen Seminartages. Die Zeitangaben stimmen nicht exakt mit den tatsächlichen Zeiten überein, da diese Übersicht lediglich einen orientierenden Eindruck vermitteln möchte.

Uhrzeiten	**1. Tag der Datenerhebung 09.05.2008**	**2. Tag der Datenerhebung 16.05.2008**
8:30 – 10	Vorbereitungsphase, Aufbau der Technik	
10	Ankunft der Studenten	
10 – 11	Aufklärung, Protokollierung, Ankleben der Elektroden und Sensoren (Elektrokardiogramm, Elektrodermale Aktivität, Bewegungsaktivität) und Anlegen der Geräte, Synchronisation, Kontrolle der Positionierung	
11	Ruhemessung	
	Fragebögen VGZ und KAB	
11 – 12:30	**Lernsituation I Thema: schiefe Ebene**	**Lernsituation II Thema: schiefe Ebene**
	Schriftlicher Test als Lernkontrolle	
	Fragebögen VGZ und KAB	
12:30 – 13	Pause	
13-13:40	**Lernsituation II Thema: Feder**	**Lernsituation I Thema: Feder**
	Schriftlicher Test als Lernkontrolle	
	Fragebögen VGZ und KAB	
14	Lagemessungen Sitzen aufrecht 20 sec Sitzen nach vorne 20 sec Sitzen nach hinten 20 sec Gerade stehen 20 sec Laufen 20 sec	
	Ablegen der Geräte Dank und Verabschiedung	

Zwischen 8.30 und 10 Uhr bereiteten wir alle für die Versuchsdurchführung notwendigen Geräte und Unterlagen vor: Das Notebook wurde aufgebaut, die Elektroden und Sensoren wurden mit den Varioport-Geräten verbunden, die Videokamera wurde aufgebaut und ausgerichtet.

Gegen 10 Uhr kamen die Studienteilnemer des jeweiligen Seminartages im Seminarraum an. Zunächst wurden die Studienteilnehmer über den detaillierten Ablauf des

Unterrichtstages, über die psychophysiologische Untersuchung, über die anonymisierte Datenerhebung und -verarbeitung, über den Datenschutz und die Möglichkeit eines Abbruchs aufgeklärt. Nach der Einwilligung der Studienteilnehmer wurde für jeden ein Versuchsprotokoll angelegt, das neben persönlichen Daten Angaben zur Zuordnung der Varioports, Angaben zur zeitlichen Zuordnung sowie Platz für Notizen zu möglichen Vorkommnissen enthielt. Die Elektroden zur Aufzeichnung des EKGs, der Elektrodermalen Aktivität und die Sensoren zur Messung der Bewegungsaktivität wurden, wie bereits im Kapitel 2.2.1 „Psychophysiologische Parameter“ und in der Abbildung 3 beschrieben, angeklebt und schließlich wurden die Elektrodenkabel an das Varioport-Messgerät angeschlossen. Das Varioport-Messgerät wurde mithilfe eines speziellen Gurtes am Oberkörper und über der linken Schulter fixiert, wobei die Oberbekleidung der Studienteilnehmer über dem Varioport-Messgerät getragen werden konnte. Das Anbringen der Elektroden, der Sensoren und der Varioport-Messgeräte erfolgte bei Studienteilnehmerinnen durch weibliche Versuchsleiter in einem separaten Zimmer unter Ausschluss weiterer Personen. Den männlichen Studienteilnehmern wurde ebenfalls angeboten, das Anbringen der Geräte in diesem Zimmer durchzuführen, wobei auch im Kursraum selbst auf Diskretion geachtet wurde. Die Qualität der psychophysiologischen Daten wurde mittels Onlineanalyse überprüft und die Lage der Elektroden oder Sensoren wurde bei schlechter Qualität optimiert. Den Studienteilnehmern wurde die Handhabung des Gerätes erklärt und sie wurden gebeten, sich zu melden, falls sich Elektroden oder Sensoren lösen oder ihre Lage verändern sollten. Außerdem wurden die Studienteilnehmer dazu aufgerufen, zur Markierung wichtiger Zeitpunkte in den aufgezeichneten Daten auf dem Varioport wie folgt auf die Taste M1 des Varioports zu drücken: Zum Beginn und Ende der Ruhemessung einmaliges Drücken von M1, zum Beginn und Ende sowie zwischen den einzelnen Lagemessungen einmaliges Drücken von M1 und zu Beginn und zum Ende des Seminars und zur Abgrenzung der einzelnen Unterrichtsphasen zweimaliges Drücken von M1. Zusätzlich erfolgte ein Abgleich dieser Zeiten durch die Videoaufzeichnung.

Gegen 11 Uhr erfolgte eine Ruhemessung im Sitzen, bei geöffneten Augen, ohne mentale oder körperliche Beschäftigung über 5 Minuten zur Festlegung einer individuellen Baseline. Nach der Ruhemessung wurden den Teilnehmern die Fragebögen KAB und VGZ vorgelegt.

Zwischen 11 Uhr und 12.30 Uhr fand das erste Seminar statt: Am ersten Datenerhebungstag wurde in der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) das Thema über die schiefe Ebene behandelt, während am zweiten Datenerhebungstag dasselbe Thema in der Lernsituation II (Frontalunterricht) besprochen wurde. An den Test schloss sich die Beantwortung der Fragebögen KAB und VGZ an. Nach einer halbstündigen Mittagspause wurde am frühen Nachmittag das zweite Seminar zum Thema über die Feder durchgeführt, wobei am ersten Datenerhebungstag die Lernsituation II (Frontalunterricht), am zweiten Datenerhebungstag die Lernsituation I (Gruppenpuzzle) gewählt wurde. Auch hier fand nach dem Test die Befragung mittels KAB und VGZ statt.
Gegen 14 Uhr wurden Lagemessungen im aufrechten Sitzen, im nach vorne gebeugten Sitzen, im nach hinten gebeugten Sitzen, im aufrechten Stehen und während des Gehens jeweils für 20 Sekunden zur genaueren Differenzierung der Daten durchgeführt.
Abschließend wurden die Geräte unter Berücksichtigung der Diskretion abgenommen. Die Studienteilnehmer wurden nach einem Dank für Ihre Mitarbeit verabschiedet, bevor die Daten gesichert und übertragen wurden.

2.4 Auswertung der erhobenen Daten

Die Art der Auswertung der einzelnen Parameter wurde in den vorangehenden jeweiligen Kapiteln thematisiert, in diesem Kapitel wird der Schwerpunkt auf die Software-Voraussetzungen sowie die statistische Auswertung gelegt.

Das Programmsystem BIO 29/30 (Foerster 2003) dient der Auswertung von Vitaport-2-Datenfiles hinsichtlich psychophysiologischer Parameter des Herz-Kreislauf-Systems, des Blutdrucks, der Motorik, der Atmung und der elektrodermalen Aktivität. Im Rahmen unserer Studie wurden die mittels der Varioportgeräte aufgezeichneten Parameter Elektrokardiogramm, Elektrodermale Aktivität und Bewegungsaktivität mithilfe der Software Vitagraf sowie BIO 29/30 aufgezeichnet und ausgewertet. BIO 29/30 ist in der Lage, die erhobenen Parameter im Sinne von Zeit-Frequenz-Analysen wiederzugeben, und enthält für die einzelnen Parameter Filter, um Störfaktoren auszuschließen, Plausibilitätskontrollen sowie Grenzwerte, sodass eine hohe Flexibilität bei der Auswertung psychophysiologischer Daten garantiert wird. Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft Ausschnitte aus der graphischen Darstellung der psychophysiologischen Daten für den Studienteilnehmer A1 des ersten Datenerhebungstages mit der Software BIO 29/30

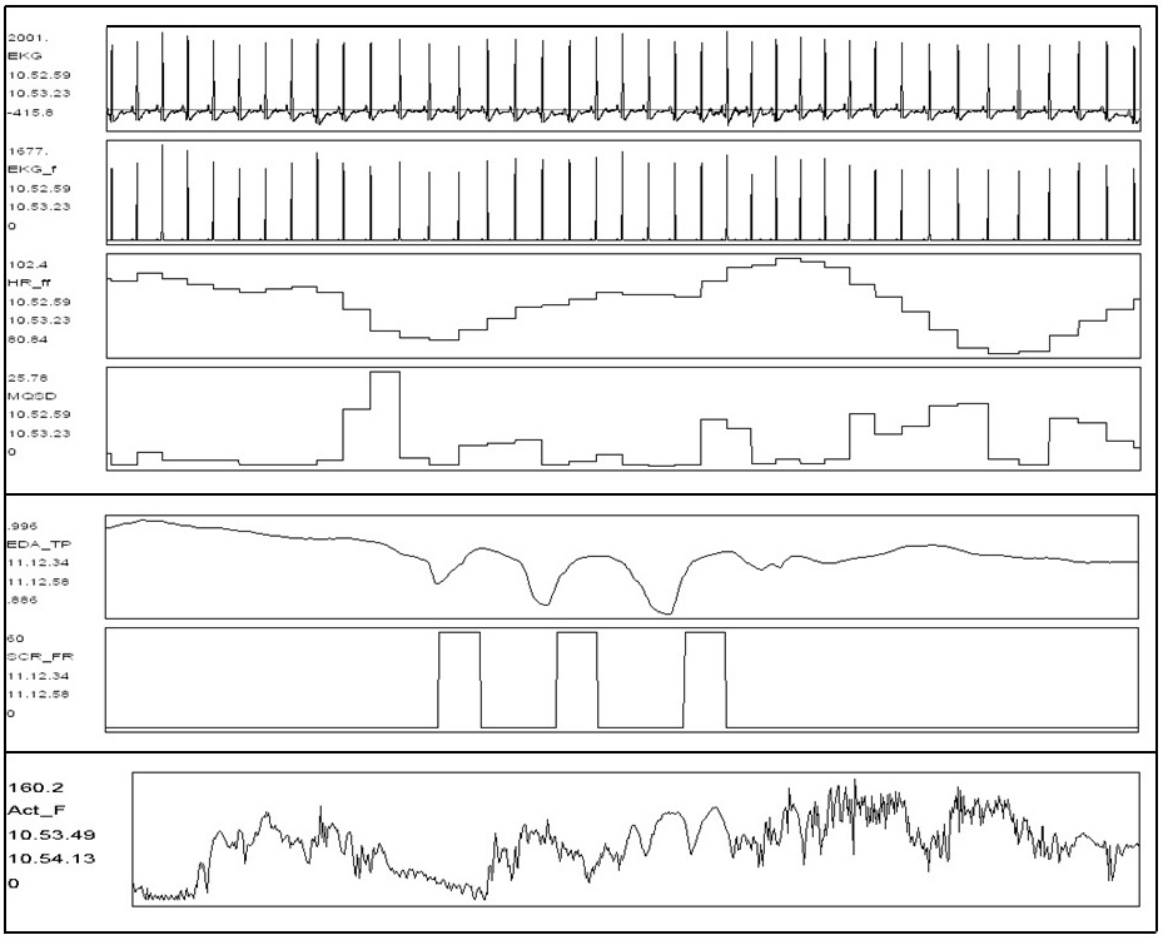


Abbildung 5: Graphische Darstellung der psychophysiologischen Daten in BIO 29/30

In unserer Studie wurden zwölf Studenten der Technischen Universität Dortmund im Mai 2008 psychophysiologisch mittels Elektrokardiogramm (EKG), Elektrodermaler Aktivität (EDA) und der Bewegungsaktivität untersucht. Die Abbildung zeigt exemplarisch einen Ausschnitt aus der graphischen Darstellung der psychophysiologischen Daten mit der Software BIO 29/30 für den Studienteilnehmer A1 des ersten Datenerhebungstages. Von oben nach unten sind dabei Ausschnitte folgender Parameter zu sehen: Zwei EKG-Kanäle, die Herzrate HR_FF, die Herzratenvariabilität MQSD, die tonische (EDA_TP) und die unspezifische (SCR_FR) Komponente der Elektrodermalen Aktivität und die Bewegungsaktivität ACT_F jeweils kurz vor Beginn der ersten Unterrichtseinheit.

(siehe Abbildung 5). Die Rohdaten wurden mithilfe von Bio 29/30 wie folgt bearbeitet: Der Vitaport-Datenfile wurde für jeden Studienteilnehmer einzeln hinsichtlich der Parameter HR_FF, MQSD, EMO_HR, EDA_TP, SCR_FR sowie ACT_F ausgewertet, wobei Segmente unterschiedlicher Länge gebildet wurden. Die detaillierten Vorgaben für die Auswertung sind Tabelle 7 zu entnehmen. In einem weiteren Segmentierungsschritt wurden Mittelwerte für die einzelnen Situationen (Lernsituation I, Lernsituation II, Sitzen, Stehen, Laufen und Ruhe) und Unterrichtsphasen (für die Lernsituation I die

Phasen I1, I2, I3, I4, I5, I6 und I7, für die Lernsituation II die Phasen II1, II2 und II3, siehe auch Tabellen 4 und 5) gebildet. Für das Festlegen des Beginns und des Endes einer Situation oder einer Unterrichtsphase wurden die Notizen während der Datenerhebungstage, die Videoaufzeichnung und die Marker in den Vitaport-Daten herangezogen. Für jeden Studienteilnehmer wurde für die jeweilige Situation oder Unterrichtsphase der jeweilige Mittelwert für HR_FF, MQSD, EMO_HR, EDA_TP, SCR_FR sowie ACT_F ermittelt. Fahrenberg (1996) sowie Myrtek et al. (1996a) weisen darauf hin, dass diese Segmentierung der Daten meist ein problematischer, dennoch wesentlicher Schritt bei der Datenaufbereitung ist, da dieser durch die Bildung möglichst homogener Einheiten notwendig ist, um statistische Auswertungen und Vergleiche (z.B. t-Test, ANOVA, Wilk's Lamda und F-Test) zwischen verschiedenen Phasen durchführen zu können.

Tabelle 7: Segmentierung der Daten

Zwölf Studenten des Faches Technik an der Technischen Universität Dortmund wurden im Mai 2008 während zwei Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) psychophysiologisch mittels des Elektrokardiogramms (EKG), der Elektrodermalen Aktivität (EDA) und der Bewegungsaktivität untersucht. Dabei wurden die Parameter Herzrate (HR_FF), Herzratenvariabilität (MQSD), emotionale Herzrate (EMO_HR), tonische (EDA_TP) und unspezifische Komponente (SCR_FR) der Elektrodermalen Aktivität und Bewegungsaktivität (ACT_F) erhoben. Dabei sind für jeden Parameter die jeweils gewählte Segmentlänge, Überlappung und Speicherlänge sowie die Dauer der errechneten Segmente angegeben. Die hier aufgeführten Angaben (jeweils in Sekunden angegeben) sollen veranschaulichen, unter welchen Voraussetzungen die Segmentierung der psychophysiologischen Daten erfolgte.

	Elektrokardiogramm			**Elektrodermale Aktivität**		**Bewegungsaktivität**
	HR_FF	**MQSD**	**EMO_HR**	**EDA_TP**	**SCR_FR**	**ACT_F**
Segmentlänge	25	25	60	25	25	25
Überlappung	20	25	10	20	20	10
Speicherlänge	25	25	60	25	25	25
Auswertung in	absoluter Zeit	absoluter Zeit	vollen Minuten	absoluter Zeit	absoluter Zeit	absoluter Zeit

Für jeden psychophysiologischen Parameter (HR_FF, MQSD, EMO_HR, EDA_TP, SCR_FR sowie ACT_F) wurden Mittelwert und Standardabweichung der Gesamtgruppe für jede Situation (Lernsituation I, Lernsituation II, Sitzen, Stehen, Laufen und Ruhe) und Unterrichtsphase (für die Lernsituation I die Phasen I1, I2, I3, I4, I5, I6 und I7, für die Lernsituation II die Phasen II1, II2 und II3, siehe auch Tabellen 4 und 5) berechnet.

Nach Vorbereitung der psychophysiologischen Daten wurden diese sowie die Daten zu

den Studienteilnehmern, die Daten zu den Unterrichtseinheiten und die Daten der beiden Fragebögen KAB und VGZ und die Daten der Tests statistisch ausgewertet und zueinander in Beziehung gesetzt: Zunächst erfolgte eine deskriptive Auswertung der Daten, anschließend wurden t-Tests, Varianz- und Korrelationsanalysen durchgeführt. Ob sich die psychophysiologischen Parameter hinsichtlich der einzelnen Situationen oder Unterrichtsphasen unterscheiden, wurde mittels des statistischen Verfahrens der univariaten Varianzanalyse (analysis of variance, ANOVA) getestet. Bei signifikantem Haupteffekt erfolgte eine detaillierte Untersuchung der Daten (Kontrastanalysen bzw. Post-hoc-Vergleiche). Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0{,}05$ festgesetzt.
Des Weiteren wurden die Situationen Ruhe, Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und Lernsituation II (Frontalunterricht) mithilfe von Korrelationsanalysen näher betrachtet. Es wurde für jede Situation untersucht, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den Ergebnissen eines der psychophysiologischen Parameter (HR_FF, EMO_HR, MQSD, EDA_TP, SCR_FR und Bewegungsaktivität), den Ergebnissen aus den Fragebögen KAB und VGZ oder dem Testergebnis besteht. Die berechneten Korrelationskoeffizienten wurden anschließend auf Signifikanz getestet, das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0{,}05$ festgesetzt.

3 Ergebnisse

3.1 Beschreibung der Studienteilnehmer

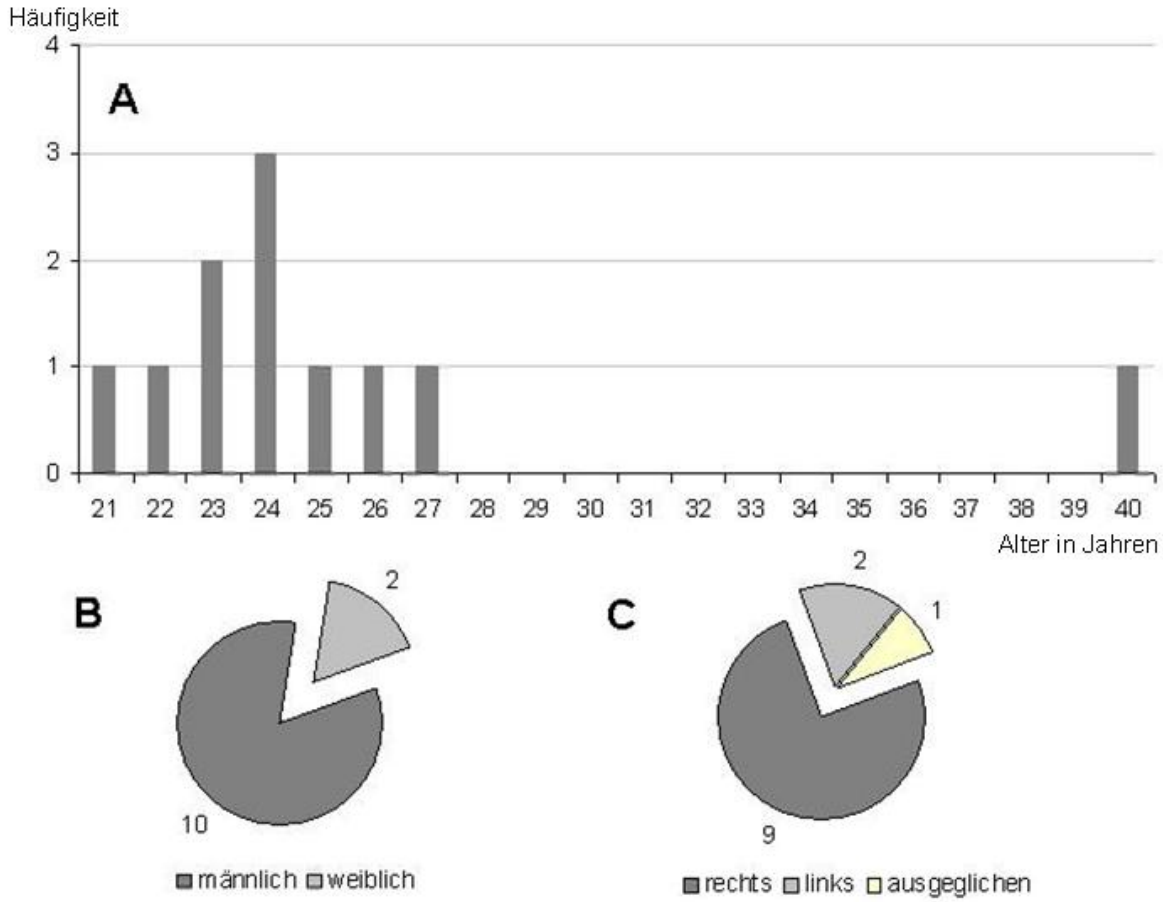


Abbildung 6: Beschreibung der Studienteilnehmer

Im Rahmen unserer Studie wurden zwölf Studenten der Technischen Universität Dortmund während zwei Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) im Mai 2008 psychophysiologisch untersucht. Die Abbildungen A-C veranschaulichen das Kollektiv der Studienteilnehmer hinsichtlich Alter in vollendeten Lebensjahren (Graphik A), Geschlecht (Graphik B) und Hemisphärendominanz (Graphik C).

Die insgesamt zwölf Studierenden des Faches Technik im Lehramtsstudiengang der Sekundarstufe I wurden auf zwei Seminargruppen mit jeweils sechs Personen verteilt, wobei die erste Seminargruppe am 09.05.2008, die zweite am 16.05.2008 jeweils zwei Unterrichtseinheiten absolvierte. Das Durchschnittsalter betrug 25,5 Jahre, wobei die Studienteilnehmer zwischen 21 und 40 Jahre alt waren (siehe Abbildung 6A). Von den zwölf Studienteilnehmern waren zehn männlich und zwei weiblich (siehe Abbildung 6B). Hinsichtlich der Links- oder Rechtshändigkeit gaben neun Personen die rechte, zwei Per-

sonen die linke und eine Person beide Hände als dominante Seite an (siehe Abbildung 6C). Alter, Geschlecht und Händigkeit waren wie folgt auf die beiden Seminargruppen verteilt: In der ersten Seminargruppe lag das Durchschnittsalter bei 27,8 Jahren (zwischen 23 und 40 Jahren), vier Personen waren Rechtshänder, zwei waren Linkshänder. In der zweiten Seminargruppe waren die Studienteilnehmer mit durchschnittlich 23,2 Jahren 4,6 Jahre jünger als ihre Kollegen in der ersten Seminargruppe. Es gab fünf Rechtshänder und eine Person mit keiner Dominanz einer Hand. Das Geschlechterverhältnis war mit jeweils fünf Männern und einer Frau zwischen den Gruppen, jedoch nicht innerhalb der Gruppen ausgeglichen.

3.2 Grundsätzliche qualitative Beobachtungen zur Durchführung der Studie

Tabelle 8: Unterrichtsdauer

Die psychophysiologische Datenerhebung mit Studenten des Faches Technik erfolgte während zwei Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) an der Technischen Universität Dortmund im Mai 2008 zu den Themen Schiefe Ebene oder Feder. Die Übersicht zeigt die Dauer der Unterrichtseinheiten gerundet in vollen Minuten sowie aufgeschlüsselt nach dem Tag der Datenerhebung, der Lernsituation, der Unterrichtsphase (Lernsituation I: I1-I7, Lernsituation II: II1-II3) und dem Thema. Die Daten wurden anhand der Markierungen in den psychophysiologischen Daten und mithilfe der Videoaufzeichnung ermittelt.

	Dauer am 09.05.2008 in Minuten	**Dauer am 16.05.2008 in Minuten**	**Durchschnittliche Dauer in Minuten**
Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	**Schiefe Ebene**	**Feder**	
I1: Bildung dreier Familien	3,0	1,0	2,0
I2: Theoretischer Vortrag	17,0	11,0	14,0
I3: Bildung von zwei Expertenteams	4,0	1,0	2,5
I4: Versuchsdurchführung und -auswertung	24,0	15,0	19,5
I5: Rückkehr als Experte in die Familie	4,0	1,0	2,5
I6: Gegenseitiges Erklären	12,0	5,0	8,5
I7: Test	10,0	10,0	10,0
Gesamt:	**74,0**	**44,0**	**59,0**
Lernsituation II (Frontalunterricht)	**Feder**	**Schiefe Ebene**	
II1: Theoretischer Vortrag	10,0	19,0	14,5
II2: Frontale Versuchsdurchführung	26,0	45,0	35,5
II3: Test	10,0	10,0	10,0
Gesamt:	**46,0**	**74,0**	**60,0**

Durch die Videoaufnahme konnten die einzelnen Phasen der beiden Lernsituationen besser voneinander abgegrenzt und hinsichtlich der Dauer der einzelnen Phasen

untersucht werden. Die Lernsituation I (Gruppenpuzzle) am ersten Datenerhebungstag zum Thema „Schiefe Ebene“ dauerte insgesamt 74 Minuten, während diese am zweiten Datenerhebungstag zum Thema „Feder“ 44 Minuten beanspruchte. Am ersten Datenerhebungstag dauerte die Lernsituation II (Frontalunterricht) zum Thema Feder 46 Minuten, am zweiten Datenerhebungstag zum Thema „Schiefe Ebene“ 74 Minuten. Die Dauer der einzelnen Unterrichtsphasen ist der Tabelle 8 zu entnehmen. Folglich war die Dauer der Unterrichtseinheiten mit identischer Themenstellung annähernd vergleichbar, während dies nicht auf die Dauer der entsprechenden Lernsituationen zutrifft. Des Weiteren konnten Störfaktoren ermittelt werden. Als Quellen für mögliche Störungen zeigten sich Unterhaltung mit dem Sitznachbarn, Gähnen, Trinken, Naseputzen, Husten und Sich-Kratzen.

Aufgrund eines Gerätedefekts am ersten Datenerhebungstag konnten die psychophysiologischen Daten eines Studienteilnehmers nicht aufgezeichnet werden. Zusätzlich konnten die Daten eines weiteren Datensatzes aufgrund eines technischen Defektes hinsichtlich des Parameters HR_FF nicht statistisch ausgewertet werden.

3.3 Ergebnisse aus den psychophysiologischen Daten

3.3.1 Elektrokardiogramm

Durch das Elektrokardiogramm konnten die drei Parameter Herzrate HR_FF, emotionale Herzrate EMO_HR und Herzratenvariabilität MQSD erhoben werden. Die Mittelwerte und Standardabweichungen dieser Parameter können im Detail in der Tabelle 9 eingesehen werden.

Hinsichtlich HR_FF konnten lediglich 10 von 11 erhobenen Datensätzen ausgewertet werden, hinsichtlich EMO_HR und MQSD konnten alle 11 Datensätze ausgewertet werden. Hinsichtlich des Parameters HR_FF zeigten sich die höchsten Mittelwerte in den Unterrichtsphasen I3 (Bildung von zwei Expertenteams) mit 80,2/Min und I5 (Rückkehr in die Familie) mit 83,7/Min sowie in den Situationen Stehen mit 85,6/Min und Gehen mit 88,6/Min.

In der Varianzanalyse für wiederholte Messungen mit univariaten Hypothesentests für Innerhalb-Subjekteffekte (ANOVA) konnte im ersten statistischen Schritt die Nullhypothese für den Parameter HR_FF sowohl hinsichtlich der Situationen ($F(5,45)=11,2$; $p<0,001$) als auch hinsichtlich der Unterrichtsphasen ($F(9,81)=2,5$; $p=0,016$) abge-

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der psychophysiologischen Daten

Während zwei Unterrichtseinheiten des Faches Technik wurden bei zwölf Studenten der Technischen Universität Dortmund im Mai 2008 psychophysiologische Daten mittels des Elektrokardiogramms, der Elektrodermalen Aktivität und der Bewegungsaktivität erhoben. Die tabellarische Übersicht beinhaltet die Mittelwerte und Standardabweichungen (hier: σ) der psychophysiologischen Parameter Herzrate HR_FF (in Schlägen pro Minute), Herzratenvariabilität MQSD (in Einheiten pro Minute), Emotionale Herzrate EMO_HR (in Einheiten pro Minute), der tonischen (EDA_TP) und der unspezifischen (SCR_FR) Komponente der Elektrodermalen Aktivität (in Mikrosiemens) und Bewegungsaktivität ACT_F (in Einheiten pro Minute) in den jeweiligen Situationen und Unterrichtsphasen.

	Elektrokardiogramm					
	HR_FF		MQSD		EMO_HR	
	Mittelwert	σ	Mittelwert	σ	Mittelwert	σ
Situationen						
Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	77,7	11,5	40,6	45,4	1,5	0,7
Lernsituation II (Frontalunterricht)	76,5	10,4	22,1	15,7	1,9	0,5
Sitzen	72,7	8,5	34,7	24,5	1,4	3,8
Stehen	85,6	14,3	13,7	10,6	1,0	1,0
Gehen	88,6	10,9	38,8	83,7	8,0	8,4
Ruhe	76,3	12,7	21,8	12,7	2,1	2,0
Phasen der Lernsituationen						
Lernsituation I (Gruppenpuzzle)						
I1 Bildung der Familien	78,4	11,6	35,6	25,7	1,7	2,6
I2 Theoretischer Vortrag des Dozenten	75,7	12,7	20,9	14,3	2,9	1,5
I3 Bildung der Expertenteams	80,2	13,3	29,7	18,6	0,6	1,3
I4 Versuchsdurchführung und -auswertung Expertengruppe	78,5	11,8	68,9	131,3	1,7	1,4
I5 Rückkehr in die Familie	83,7	11,6	39,8	36,1	0,4	1,1
I6 Gegenseitiges Erklären	77,5	11,6	36,2	17,5	1,4	1,7
I7 Test	77,5	11,5	21,9	10,3	2,2	1,9
Lernsituation II (Frontalunterricht)						
II1 Theoretischer Vortrag des Dozenten	75,4	10,5	22,1	15,3	2,1	1,3
II2 Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung	76,8	10,3	21,4	14,8	2,3	0,9
II3 Test	76,6	11,8	24,0	20,4	1,6	1,3

	Elektrodermale Aktivität				Bewegungsaktivität	
	EDA_TP		SCR_FR		ACT_F	
	Mittelwert	σ	Mittelwert	σ	Mittelwert	σ
Situationen						
Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	0,98	0,41	2,0	2,4	12,8	5,3
Lernsituation II (Frontalunterricht)	0,94	0,41	1,9	2,0	8,5	3,9
Sitzen	0,98	0,29	1,1	1,2	7,5	5,7
Stehen	0,99	0,31	1,1	2,9	9,2	6,6
Gehen	1,02	0,32	2,4	3,0	64,9	4,3
Ruhe	0,90	0,53	0,8	1,7	2,3	2,3
Phasen der Lernsituationen						
Lernsituation I (Gruppenpuzzle)						
I1 Bildung der Familien	0,97	0,48	2,0	3,3	9,4	5,4
I2 Theoretischer Vortrag des Dozenten	0,91	0,44	0,9	0,9	5,1	3,4
I3 Bildung der Expertenteams	1,00	0,44	3,1	3,5	21,7	11,8
I4 Versuchsdurchführung und -auswertung Expertengruppe	0,97	0,39	2,2	2,8	18,7	11,5
I5 Rückkehr in die Familie	1,06	0,42	3,1	3,7	31,9	10,5
I6 Gegenseitiges Erklären	1,03	0,40	2,6	3,5	9,9	2,3
I7 Test	1,02	0,40	2,4	3,5	7,6	4,0
Lernsituation II (Frontalunterricht)						
II1 Theoretischer Vortrag des Dozenten	0,97	0,47	1,0	1,1	4,9	2,9
II2 Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung	0,94	0,41	2,3	2,7	10,3	4,5
II3 Test	0,91	0,37	1,9	2,0	8,7	5,0

lehnt werden, sodass ein detaillierter Vergleich aller Situationen bzw. aller Unterrichtsphasen miteinander erfolgen konnte (siehe Tabelle 10). Der Mittelwert für den Parameter HR_FF der Unterrichtsphase I3 (Bildung der Expertenteams, 80,2/Min) unterscheidet sich signifikant von dem der Unterrichtsphasen I1 (Bildung der Familien,

Tabelle 10: Varianzanalyse des Parameters Herzrate HR_FF

Im Mai 2008 wurden zwölf Studenten der Technischen Universität Dortmund während zwei Unterrichtseinheiten psychophysiologisch mittels Elektrokardiogramm untersucht. In dieser Darstellung sind die p-Werte der Analysis of Variance (ANOVA) des Parameters Herzrate HR_FF für jede Situation (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht, Sitzen, Stehen, Gehen, Ruhe) und jede Unterrichtsphase der Lernsituation I (I1: Bildung der Familien, I2: Theoretischer Vortrag des Dozenten, I3: Bildung der Expertenteams, I4: Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, I5: Rückkehr in die Familie, I6: Gegenseitiges Erklären, I7: Test) und der Lernsituation II (II1: Theoretischer Vortrag des Dozenten, II2: Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung, II3: Test) aufgeführt. Signifikante Werte ($p < 0{,}05$) sind zur besseren Übersichtlichkeit fett gedruckt.

Unterrichtsphasen

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	II1	II2	II3
I1		0,646	**0,031**	0,357	**0,028**	0,752	0,781	0,560	0,897	0,807
I2			**0,001**	0,127	**0,008**	0,488	0,519	0,758	0,690	0,619
I3				0,271	0,321	0,208	0,197	0,073	0,134	0,070
I4					**0,032**	0,480	0,438	0,235	0,505	0,588
I5						**0,002**	**0,022**	**0,007**	**0,026**	0,063
I6							0,932	0,395	0,848	0,918
I7								0,442	0,877	0,942
II1									0,149	0,402
II2										0,901
II3										

Situationen

	Lernsituation I	Lernsituation II	Sitzen	Stehen	Laufen	Ruhe
Lernsituation I		0,958	**0,048**	**0,026**	**<0,001**	0,896
Lernsituation II			0,064	**0,031**	**<0,001**	0,830
Sitzen				**0,001**	**<0,001**	0,323
Stehen					0,195	0,063
Gehen						**0,004**
Ruhe						

78,4/Min) und I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 75,7/Min) sowie der Mittelwert der Unterrichtsphase I5 (Rückkehr in die Familie, 83,7/Min) von dem der Unterrichtsphasen I1 (Bildung der Familien, 78,3/Min), I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 75,7/Min), I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, 78,5/Min), I6 (Gegenseitiges Erklären, 77,5/Min), I7 (Test, 77,5/Min), II1 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 75,4/Min) und II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung, 76,8/Min). Bezieht man die Mittelwerte für HR_FF mit ein, zeigt sich dass I3 (Bildung der Expertenteams) und I5 (Rückkehr in die Familie) die Unterrichtsphasen mit der signifikant höchsten Herzrate sind. Ansonsten konnten bezogen auf die Unterrichtsphasen keine weiteren signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden. Des Weiteren unterscheiden sich der Mittelwert von HR_FF der Lernsituation I (Gruppenpuzzle, 77,7/Min) im Vergleich zu den Mittelwerten im Sitzen (72,7/Min), im Stehen (85,6/Min) bzw. im Gehen (88,6/Min), der Mittelwert der Lernsituation II (Frontalunterricht, 76,5/Min) im Vergleich zu dem im Stehen (85,6/Min) bzw. im Gehen (88,6/Min), der Mittelwert im Sitzen (72,7/Min) im Vergleich zum Mittelwert im Ste-

hen (85,6/Min) und im Gehen (88,6/Min) sowie der Mittelwert im Gehen (88,6/Min) zum Mittelwert in Ruhe (76,3/Min) signifikant. Die gezeigten Herzratenunterschiede entsprechen den Erwartungen, da diese durch die Unterschiede hinsichtlich der Bewegungsaktivität in den einzelnen Situationen erklärt werden können. Es bestand jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen dem Mittelwert der Lernsituation I und dem der Lernsituation II.

Die ANOVA zeigte hinsichtlich der emotionalen Herzrate EMO_HR keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Lernsituation I und der Lernsituation II sowie deren einzelnen Unterrichtsphasen ($F(1,10)=0,1$; $p=0,762$). Allerdings zeigte sich für EMO_HR ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Tageszeit ($F(1,10)=11,7$; $p=0,007$): Während der ersten Unterrichtseinheit am Vormittag zeigten die Studienteilnehmer durchschnittlich höhere emotionale Herzraten als während der zweiten Unterrichtseinheit am Nachmittag unabhängig von der Lehrmethode. Mögliche Erklärungen sind im Rahmen der Diskussion zu besprechen.

Die höchsten Mittelwerte des Parameters MQSD zeigten sich in den Unterrichtsphasen I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, 68,9/Min), I5 (Rückkehr in die Familie, 39,8/Min) und I6 (Gegenseitiges Erklären, 36,2/Min) sowie in der Lernsituation I (40,6/Min), die niedrigsten Werte in den Unterrichtsphasen I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 20,9/Min), I7 (Test, 21,9/Min), II1 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 22,1/Min), II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung, 21,4/Min) und II3 (Test, 24,0/Min) sowie im Stehen (13,7/Min) und in Ruhe (21,8/Min). Die Mittelwerte von MQSD waren mit 22,1/Min während der Lernsituation II deutlich niedriger als während der Lernsituation I mit 40,6/Min. Es zeigte sich jedoch in der ANOVA hinsichtlich des Parameters MQSD weder hinsichtlich der Situationen ($F(5,50)=0,8$; $p=0,569$) noch hinsichtlich der Unterrichtsphasen ($F(9,90)=1,2$; $p=0,294$) ein signifikantes Ergebnis.

3.3.2 Elektrodermale Aktivität

Die Mittelwerte und Standardabweichungen zu den Parametern EDA_TP und SCR_FR finden sich in Tabelle 9. Es konnten 11 von 11 Datensätzen ausgewertet werden. Die Mittelwerte von EDA_TP waren in den Unterrichtsphasen I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 0,91 Mikrosiemens) und II3 (Test, 0,94 Mikrosiemens) am

niedrigsten und in den Unterrichtsphasen I5 (Rückkehr in die Familie, 1,1 Mikrosiemens), I6 (Gegenseitiges Erklären, 1,0 Mikrosiemens) und I7 (Test, 1,0 Mikrosiemens) am größten. Diese Ergebnisse decken sich teilweise mit denen von SCR_FR, wobei in der Unterrichtsphase I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 0,9 Mikrosiemens) der geringste Wert und in den Unterrichtsphasen I3 (Bildung der Expertenteams, 3,1 Mikrosiemens) und I5 (Rückkehr in die Familie, 3,1 Mikrosiemens) die höchsten Werte aufgezeichnet wurden.

Es zeigte sich in der ANOVA hinsichtlich der Parameter EDA_TP und SCR_FR kein signifikantes Ergebnis in Bezug auf die Situationen (für EDA_TP: $F(5,50)=0,9$; $p=0,523$; für SCR_FR: $F(5,50)=1,2$; $p=0,300$). Folglich konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Lernsituation I und Lernsituation II hinsichtlich der Elektrodermalen Aktivität aufgezeigt werden.

Tabelle 11: Varianzanalyse des Parameters EDA_TP (tonische Komponente der Elektrodermalen Aktivität)

An der Technischen Universität Dortmund wurde im Mai 2008 die Elektrodermale Aktivität bei Studenten während des Unterrichts gemessen. Die Übersicht zeigt die p-Werte der Analysis of Variance (ANOVA) für die tonische Komponente der Elektrodermalen Aktivität EDA_TP für jede Unterrichtsphase der Lernsituation I (Gruppenpuzzle, I1: Bildung der Familien, I2: Theoretischer Vortrag des Dozenten, I3: Bildung der Expertenteams, I4: Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, I5: Rückkehr in die Familie, I6: Gegenseitiges Erklären, I7: Test) und der Lernsituation II (Frontalunterricht, II1: Theoretischer Vortrag des Dozenten, II2: Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung, II3: Test). Signifikante Werte ($p < 0,05$) sind der besseren Übersicht wegen fett gedruckt.

Unterrichtsphasen	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	II1	II2	II3
I1		**0,019**	0,213	0,889	0,114	0,198	0,303	0,972	0,758	0,442
I2			**<0,001**	**0,037**	**0,011**	**0,007**	**0,023**	0,462	0,661	0,926
I3				0,312	0,209	0,371	0,552	0,703	0,436	0,214
I4					**0,032**	**0,045**	0,106	0,974	0,602	0,251
I5						0,286	0,134	0,087	**0,046**	**0,043**
I6							0,335	0,217	0,077	0,051
I7								0,253	0,091	0,062
II1									0,393	0,284
II2										0,203
II3										

Bei den Unterrichtsphasen zeigten sich in der ANOVA für EDA_TP signifikante Unterschiede ($F(9,90)=2,1$; $p<0,039$), die auch in der Tabelle 11 eingesehen werden können. Die ANOVA zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen der Unterrichtsphase I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten, 0,91 Mikrosiemens) und fast allen anderen Unterrichtsphasen, wobei EDA_TP folglich während der Unterrichtsphase I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) signikant niedriger ist als während den Unterrichtsphasen

I1 (Bildung der Familien), I3 (Bildung der Expertenteams), I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe), I5 (Rückkehr in die Familie), I6 (Gegenseitiges Erklären), I7 (Test) und II3 (Test). Folglich handelt es sich bei I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) um die Unterrichtsphase mit dem signifikant geringsten tonischen Hautleitwert. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der detaillierten ANOVA, dass der Mittelwert für EDA_TP in der Unterrichtsphasen I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) signikant niedriger ist als in den Unterrichtsphasen I5 (Rückkehr in die Familie) und I6 (Gegenseitiges Erklären) sowie in der Unterrichtsphase I5 (Rückkehr in die Familie) signifikant höher ist im Vergleich zu den Unterrichtsphasen II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung) und II3 (Test).

Tabelle 12: Varianzanalyse des Parameters SCR_FR (unspezifische Reaktionen der Elektrodermalen Aktivität)

An der Technischen Universität Dortmund wurde im Mai 2008 die Elektrodermale Aktivität bei Studenten während des Unterrichts gemessen. Alle p-Werte der Analysis of Variance (ANOVA) des Parameters SCR_FR (unspezifische Reaktionen der Elektrodermalen Aktivität) sind für die jeweiligen Unterrichtsphasen der Lernsituation I (Gruppenpuzzle, I1: Bildung der Familien, I2: Theoretischer Vortrag des Dozenten, I3: Bildung der Expertenteams, I4: Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, I5: Rückkehr in die Familie, I6: Gegenseitiges Erklären, I7: Test) und der Lernsituation II (Frontalunterricht, II1: Theoretischer Vortrag des Dozenten, II2: Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung, II3: Test) in dieser Tabelle aufgeführt. Der besseren Übersichtlichkeit wegen wurden alle signifikanten Werte ($p < 0{,}05$) fett gedruckt.

Unterrichtsphasen	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	II1	II2	II3
I1		0,195	0,259	0,805	0,157	0,545	0,720	0,319	0,757	0,904
I2			**0,032**	0,120	**0,044**	0,102	0,169	0,740	0,098	0,082
I3				0,131	0,971	0,435	0,381	**0,047**	0,245	0,082
I4					0,178	0,283	0,630	0,129	0,715	0,352
I5						0,298	0,361	0,060	0,290	0,090
I6							0,524	0,118	0,491	0,225
I7								0,187	0,793	0,428
II1									0,074	0,057
II2										0,209
II3										

Beim Parameter SCR_FR zeigte sich in der entsprechenden ANOVA ($F(9,90)=2{,}0$; $p=0{,}044$) bezogen auf die Unterrichtsphasen (siehe Tabelle 12) lediglich ein signifikanter Unterschied zwischen der Unterrichtsphase I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) und I3 (Bildung der Expertenteams) bzw. I5 (Rückkehr in die Familie), d.h. das Ergebnis des Parameters SCR_FR bestätigt zum Teil die Ergebnisse von EDA_TP, wobei I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) eine signifikant niedrige Elektrodermale Aktivität aufweist. Des Weiteren zeigte sich ein signifikant höherer Mittelwert für die Unterrichtsphase I3 (Bildung der Expertenteams) im Vergleich zu II1 (Theoretischer Vortrag des

Dozenten).

3.3.3 Bewegungsaktivität

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Bewegungsaktivität aufgeschlüsselt nach Situationen und Unterrichtseinheiten finden sich in der Tabelle 9. Die höchsten Werte für die Bewegungsaktivität wurden während des Gehens mit 64,9 Einheiten/Minute und während der Lernsituation I mit 12,8 Einheiten/Minute gemessen. Die niedrigsten Werte zeigten sich in Ruhe mit 2,3 Einheiten/Minute, beim Sitzen mit 7,5 Einheiten/Minute und in der Lernsituation II mit 8,5 Einheiten/Minute. Die Unterrichtsphasen mit der höchsten Bewegungsaktivität in der Lernsituation I waren I5 (Rückkehr in die Familie) mit 31,9 Einheiten/Minute, I3 (Bildung der Expertenteams) mit 21,7 Einheiten/Minute und I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) mit 18,7 Einheiten/Minute. In der Lernsituation II wurde während der Unterrichtsphase II2 mit 10,3 Einheiten/Minute der höchste Wert der Bewegungsaktivität gemessen. Die jeweils niedrigsten Mittelwerte fanden sich während des theoretischen Vortrags des Dozenten während I2 in der Lernsituation I mit 5,1 Einheiten/Minute und während II1 mit 4,9 Einheiten/Minute.

Die ANOVA erbrachte größtenteils signifikante Ergebnisse (hinsichtlich der Situationen: $F(5,50)=269,2$; $p<0,001$; hinsichtlich der Unterrichtsphasen: $F(9,90)=21,6$; $p<0,001$; detaillierte Analyse siehe Tabelle 13), sodass ich im Folgenden auf die wichtigsten hinweisen werde: In der Aufgliederung nach den einzelnen Situationen zeigte sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 4,8% ein signifikanter Unterschied zwischen der Lernsituation I und der Lernsituation II. In Hinblick auf die Mittelwerte ist folglich davon auszugehen, dass die Studienteilnehmer im Durchschnitt signifikant aktiver während der Lernsituation I als während der Lernsituation II waren. Die weiteren signifikanten Unterschiede im Vergleich der Situationen erklären sich durch die unterschiedlichen Bewegungsmuster in Ruhe, im Stehen bzw. Sitzen und beim Gehen.
Bei den einzelnen Unterrichtsphasen der Lernsituation I fällt insbesondere auf, dass die Unterrichtsphase I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) im Vergleich zu den anderen Unterrichtsphasen (Ausnahmen: I7 (Test) und II1 (Theoretischer Vortrag des Dozenten)) einen signifikant niedrigen Mittelwert für die Bewegungsaktivität zeigt. Daraus folgt, dass die Studienteilnehmer im Mittel mit Ausnahme der Testphase während des

Tabelle 13: Varianzanalyse des Parameters Bewegungsaktivität ACT_F

Bei zwölf Studenten des Faches Technik wurde im Mai 2008 während des Unterrichts an der Technischen Universität Dortmund im Rahmen einer psychophysiologischen Datenerhebung die Bewegungsaktivität ACT_F gemessen. Die Tabelle beinhaltet alle p-Werte der Analysis of Variance (ANOVA) des Parameters ACT_F für jede Situation (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht, Sitzen, Stehen, Gehen, Ruhe) und jede Unterrichtsphase der Lernsituation I (I1: Bildung der Familien, I2: Theoretischer Vortrag des Dozenten, I3: Bildung der Expertenteams, I4: Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, I5: Rückkehr in die Familie, I6: Gegenseitiges Erklären, I7: Test) und der Lernsituation II (II1: Theoretischer Vortrag des Dozenten, II2: Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung, II3: Test). Signifikante Werte ($p < 0{,}05$) sind der besseren Übersicht wegen fett gedruckt.

Unterrichtsphasen

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	II1	II2	II3
I1		**0,005**	**0,014**	**0,045**	**<0,001**	0,736	0,232	**0,007**	0,665	0,780
I2			**0,001**	**0,004**	**<0,001**	**0,002**	0,089	0,669	**0,001**	**0,043**
I3				0,239	**0,020**	**0,006**	**0,003**	**0,001**	**0,002**	**0,001**
I4					**<0,001**	**0,031**	**0,011**	**0,004**	**0,022**	**0,005**
I5						**<0,001**	**<0,001**	**<0,001**	**<0,001**	**<0,001**
I6							**0,042**	**0,001**	0,805	0,425
I7								0,060	0,055	0,510
II1									**0,001**	**0,041**
II2										0,116
II3										

Situationen

	Lernsituation I	Lernsituation II	Sitzen	Stehen	Laufen	Ruhe
Lernsituation I		**0,005**	0,078	0,233	**<0,001**	**<0,001**
Lernsituation II			0,681	0,756	**<0,001**	**<0,001**
Sitzen				0,520	**<0,001**	**0,022**
Stehen					**<0,001**	**0,008**
Gehen						**<0,001**
Ruhe						

theoretischen Vortrags des Dozenten die signifikant geringste Bewegungsaktivität während der Lernsituation I zeigen. Im Gegensatz dazu unterscheidet sich die mittlere Bewegungsaktivität von 31,9 Einheiten/Minute während der Unterrichtsphase I5 (Rückkehr in die Familie) signifikant von allen anderen Unterrichtsphasen der Lernsituation I, sodass dies die signifikant bewegungsaktivste Unterrichtsphase in der Lernsituation I ist. Bei den Unterrichsphasen I3 (Bildung der Expertenteams) und I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) handelt es sich ebenfalls um signifikant bewegungsaktive Phasen im Vergleich mit den Unterrichtsphasen I1 (Bildung der Familien), I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten), I6 (Gegenseitiges Erklären) und I7 (Test).

Beim Vergleich einzelner Unterrichtsphasen der Lernsituation II unterscheidet sich die Unterrichtsphase II1 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) signifikant von den Unterrichtsphasen II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung) sowie II3 (Test). Daraus ist zu schließen, dass die Studienteilnehmer in der Lernsituation II während des theoretischen Vortrags des Dozenten signifikant die niedrigste Bewegungsaktivität

aufweisen.

Vergleicht man Unterrichtsphasen mit ähnlicher Gestaltung der Lernsituation I und der Lernsituation II miteinander, fällt auf, dass sich die Unterrichtsphasen I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) und II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung) signifikant hinsichtlich der Bewegungsaktivität unterscheiden, wobei die Studienteilnehmer im Schnitt während der Lernsituation I deutlich aktiver sind. Weitere vergleichbare Unterrichtsphasen, wie z.B. der theoretische Vortrag des Dozenten (I2 bzw. II1) und die Testphasen (I7 und II3) zeigen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Bewegungsaktivität.

3.4 Auswertung der Fragebögen

3.4.1 Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung

Der Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung beinhaltet 6 Items mit einer sechsstufigen Bewertungsskala. Der Mittelwert der sechs Bewertungen stellt mit Werten zwischen 1 und 6 die aktuelle psychische Beanspruchung dar, wobei 1 der minimal möglichen, 6 der maximal möglichen psychischen Beanspruchung entspricht. Eine andere Darstellungsform ist der Beanspruchungsindex in Prozent der maximalen psychischen Beanspruchung.

Tabelle 14: Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung - Beanspruchungsindex

An der Technischen Universität Dortmund wurden im Mai 2008 zwölf Studenten während unterschiedlicher Lernsituationen psychophysiologisch untersucht. Die Studenten bearbeiteten jeweils nach der Ruhemessung und jeder Unterrichtseinheit den Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB). Diese Übersicht gibt die aktuellen Beanspruchungsindizes als Anteil von 1 nach Ruhe, nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und nach der Lernsituation II (Frontalunterricht) für den jeweiligen Datenerhebungstag und gemittelt über alle Studienteilnehmer wieder, wobei der Wert 1 der maximalen psychischen Beanspruchung entspricht. Zu beachten ist die jeweilige Abfolge der Situationen an den einzelnen Datenerhebungstagen: Während am ersten Datenerhebungstag nach der Ruhemessung zunächst die Lernsituation I (Gruppenpuzzle) vor der Lernsituation II (Frontalunterricht) stattfand, war am zweiten Datenerhebungstag die Abfolge der Lernsituationen vertauscht.

	09.05.2008	16.05.2008	Gesamtdurchschnitt	Standardabweichung Gesamt
Nach der Ruhemessung	0,48	0,42	0,45	0,10
Nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	0,42	0,40	0,41	0,10
Nach der Lernsituation II (Frontalunterricht)	0,36	0,41	0,39	0,07

Die Tabelle 14 zeigt jeweils die Mittelwerte der beiden Seminargruppen und die Mittelwerte aller Studienteilnehmer nach Ruhe, nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und der Lernsituation II (Frontalunterricht). Insgesamt konnten vier von insgesamt 36

Fragebögen nicht in die Auswertung miteingehen, da diese gar nicht oder fehlerhaft ausgefüllt wurden. Das ergibt eine Missing Value Rate von 11,11 %. Alle Mittelwerte des KAB sind im mittleren Drittel angesiedelt. Die Studienteilnehmer beider Datenerhebungstage zeigen im Durchschnitt mit einem Beanspruchungsindex von 0,48 am ersten Datenerhebungstag, von 0,42 am zweiten Datenerhebungstag und von 0,45 gemittelt über alle Studienteilnehmer die höchste psychische Beanspruchung nach der Ruhesituation. Nach der Lernsituation I wird im Mittel eine höhere Beanspruchung angegeben als nach der Lernsituation II. Die einzelnen Durchschnittswerte des Studienkollektivs nach der Ruhemessung, nach Lernsituation I und Lernsituation II unterscheiden sich jedoch nur maximal um 4 Prozentpunkte voneinander. Zur Überprüfung statistisch bedeutsamer Unterschiede wurde eine Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor Situation und dem Gruppenfaktor Datenerhebungstag gerechnet. Bei einem Signifikanzniveau von $p < 0{,}05$ fand sich weder ein signifikanter Haupteffekt Situation (nach der Ruhemessung, nach der Lernsituation I, nach der Lernsituation II; $F(2{,}18)=1{,}5$; $p=0{,}253$) noch ein signifikanter Haupteffekt Datenerhebungstag ($F(1{,}9)=0{,}047$; $p=0{,}834$). Auch die Interaktion Situation x Datenerhebungstag war nicht signifikant ($F(2{,}18)=1{,}1$; $p=0{,}368$). Die beobachteten Unterschiede sind folglich vermutlich nur messfehlerbedingt. Allerdings beruht die statistische Analyse auf nur 11 Versuchspersonen, sodass kleine Mittelwertunterschiede mitunter nicht sichtbar werden.

3.4.2 Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes

Der Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes beginnt mit der Frage „Wie geht es Dir jetzt im Moment“ und beinhaltet 15 Adjektive des aktuellen Gefühlslebens, die zu folgenden 5 Dimensionen zusammengefasst werden: Negatives Gefühl, Positives Gefühl, Interesse, Erregung und Wachheit. Die Tabelle 15 zeigt jeweils die Mittelwerte der beiden Seminargruppen und die Mittelwerte aller Studienteilnehmer nach Ruhe, nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und der Lernsituation II (Frontalunterricht) sowie die jeweiligen Standardabweichungen.

Alle Mittelwerte sind im schwachen (0 bis 4) bis mittleren (5 bis 8) Ausprägungsfeld angesiedelt, wobei in allen emotionalen Dimensionen nach allen untersuchten Situationen eine große Streuung der einzelnen Werte zu beachten ist. Dennoch möchte ich auf einige Auffälligkeiten hinweisen: Die stärkste durchschnittliche Emotionsausprä-

Tabelle 15: Auswertung des „Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes“ (VGZ)

Der Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes (VGZ) wurde den in unserer Studie im Mai 2008 untersuchten Studenten der Technischen Universität Dortmund nach der Ruhemessung sowie jeweils nach den Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) zur Bearbeitung vorgelegt. Diese Übersicht zeigt die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der Dimensionen Negatives Gefühl, Positives Gefühl, Interesse, Erregung und Wachheit bezogen auf die untersuchten Situationen. Der Wert „0“ bezeichnet die schwächste Emotionsausprägung in der jeweiligen Dimension, der Wert „12“ die stärkste. Zu beachten ist die jeweilige Abfolge der Situationen an den einzelnen Datenerhebungstagen: Während am ersten Datenerhebungstag nach der Ruhemessung zunächst die Lernsituation I (Gruppenpuzzle) vor der Lernsituation II (Frontalunterricht) stattfand, war am zweiten Datenerhebungstag die Abfolge der Lernsituationen vertauscht.

1. Datenerhebungstag: 09.05.2008					
	Negatives Gefühl	**Positives Gefühl**	**Interesse**	**Erregung**	**Wachheit**
Nach der Ruhemessung	2,00	6,17	4,33	5,33	5,67
Nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	1,40	7,17	5,33	5,17	5,17
Nach der Lernsituation II (Frontalunterricht)	1,00	7,00	4,67	4,83	5,17
2. Datenerhebungstag: 16.05.2008					
	Negatives Gefühl	**Positives Gefühl**	**Interesse**	**Erregung**	**Wachheit**
Nach der Ruhemessung	1,17	6,67	5,50	4,50	6,50
Nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	1,83	6,83	3,67	3,67	6,33
Nach der Lernsituation II (Frontalunterricht)	2,33	6,33	4,33	4,17	6,33
Gesamtdurchschnitt					
	Negatives Gefühl	**Positives Gefühl**	**Interesse**	**Erregung**	**Wachheit**
Nach der Ruhemessung	1,58	6,42	4,92	4,92	6,08
Nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	1,64	7,00	4,50	4,42	5,75
Nach der Lernsituation II (Frontalunterricht)	1,67	6,67	4,50	4,50	5,75
Standardabweichung					
	Negatives Gefühl	**Positives Gefühl**	**Interesse**	**Erregung**	**Wachheit**
Nach der Ruhemessung	1,56	2,64	1,44	1,51	1,51
Nach der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)	1,80	2,13	1,88	1,51	1,48
Nach der Lernsituation II (Frontalunterricht)	1,67	2,06	1,31	1,57	2,01

gung zeigte sich in der Dimension „Positives Gefühl“ mit Werten zwischen 6,42 und 7,00, d.h. das Studienkollektiv hatte im Allgemeinen ein mittelgradig bis hoch ausgeprägtes positives Gefühl. Die schwächste durchschnittliche Emotionsausprägung zeigte sich in der Dimension „Negatives Gefühl“ mit Werten zwischen 1,58 und 1,67, d.h. das Studienkollektiv war kaum von negativen Gefühlen geleitet. Die Dimensionen Interesse, Erregung und Wachheit zeigen, dass das Studienkollektiv im Durchschnitt und über alle Situationen hinweg mittelgradig interessiert, erregt und wach war. Eine ANOVA für die Dimension „Negatives Gefühl“ zeigte auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ weder zwischen den Situationen (nach der Ruhemessung, nach der Lernsituation I, nach der Lernsituation II; $F(2,20)=0,077$; $p=0,926$) noch zwischen den beiden Datenerhebungstagen ($F(1,10)=0,631$; $p=0,452$) noch unter Berücksichtigung von Situation und

Datenerhebungstag ($F(2,20)=1{,}024$; $p=0{,}377$) signifikante Unterschiede. Die ANOVA für die Dimension „Positives Gefühl“ erbrachte ebenfalls keine signikanten Ergebnisse (Haupteffekt Situation: $F(2,22)=0{,}439$; $p=0{,}650$; Haupteffekt Datenerhebungtag: $F(1,11)=0{,}227$; $p=0{,}643$; Interaktion Situation x Datenerhebungtag: $F(2,22)=0{,}674$; $p=0{,}520$). Bei der ANOVA der Dimension „Interesse“ war die Interaktion Situation x Datenerhebungstag signifikant ($F(2,22)=10{,}9$; $p=0{,}001$), während die Haupteffekte Situation ($F(2,22)=0{,}88$; $p=0{,}428$) und Datenerhebungtag ($F(1,11)=0{,}19$; $p=0{,}675$) kein signifikantes Ergebnis zeigten. Aufgrund der signifikanten Interaktion Situation x Tag wurden zu den einzelnen Situationen paarweise t-Tests gerechnet, die die Ergebnisse des ersten und des zweiten Datenerhebungtages miteinander verglichen. Diese waren jedoch bei einem Signifikanzniveau von $p < 0{,}05$ nicht mehr signifikant (nach der Ruhemessung: $t(11)=-1{,}7$; $p=0{,}124$; nach der Lernsituation I: $t(11)=2{,}0$; $p=0{,}074$; nach der Lernsituation II: $t(11)=0{,}33$; $p=0{,}751$).

Auf einem Signifikanzniveau von $p < 0{,}05$ konnten mittels ANOVA ebenfalls keine signifikanten Ergebnisse für die Dimensionen „Erregung“ (Haupteffekt Situation: $F(2,22)=0{,}81$; $p=0{,}456$; Haupteffekt Datenerhebungstag: $F(1,11)=3{,}4$; $p=0{,}094$; Interaktion Situation x Datenerhebungstag: $F(2,22)=0{,}16$; $p=0{,}854$) und „Wachheit“ (Haupteffekt Situation: $F(2,22)=0{,}27$; $p=0{,}766$; Haupteffekt Datenerhebungstag: $F(1,11)=0{,}91$; $p=0{,}360$; Interaktion Situation x Datenerhebungstag: $F(2,22)=0{,}048$; $p=0{,}953$) gezeigt werden.

3.5 Auswertung der Tests

Die detaillierten Testergebnisse sind in anonymisierter Form in Tabelle 16 aufgeführt. Im Durchschnitt erreichten die Studienteilnehmer des ersten Datenerhebungstages beim Seminar über die schiefe Ebene, das als Lernsituation I (Gruppenpuzzle) stattfand, 47,5% der maximal möglichen Punktzahl, während sie beim Seminar über die Feder, das frontal unterrichtet wurde, den Erwartungshorizont zu 81,0% erfüllten, wobei innerhalb dieser Gruppe zwischen den Testergebnissen der beiden Seminare ein Unterschied von 33,5 Prozentpunkten zu verzeichnen ist. Die Studienteilnehmer des zweiten Datenerhebungstages erzielten in der Lernsituation II (Frontalunterricht) mit der Themenstellung der schiefen Ebene durchschnittlich 69,0 % der Gesamtpunktzahl, während sie in der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) über die Feder mit 75,3% im Durchschnitt 6,3 Prozentpunkte

Tabelle 16: Die Testergebnisse im Vergleich

Nach jeder Unterrichtseinheit (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht, Themen: Schiefe Ebene, Feder) absolvierten die Studenten der Technischen Universität Dortmund im Rahmen unserer psychophysiologischen Studie im Mai 2008 zur Bewertung der Lernwirksamkeit einen schriftlichen Test zur Lernkontrolle. Die Tabelle zeigt das Testergebnis der einzelnen Studienteilnehmer in anonymisierter Form in Prozent der maximal erreichbaren Gesamtpunktzahl unter Berücksichtigung der Lernsituation und des Themas. Außerdem werden Durchschnittswerte der einzelnen Seminare sowie Gesamtdurchschnittswerte aufgeschlüsselt nach dem Thema des Seminars und der Lernsituation angegeben. Die Intraindividuelle Analyse zeigt, bei welcher Lernsituation der jeweilige Studienteilnehmer beim Testergebnis besser abgeschnitten hat, wobei in Klammern der jeweilige Unterschied in Prozentpunkten steht.

Datum	**Teil-nehmer**	**Ebene Lernsituation I**	**Feder Lernsituation II**	**Intraindividuelle Analyse**
09.05.2008	IA1	53	100	II (47)
09.05.2008	IA2	53	87	II (34)
09.05.2008	IB1	73	53	I (20)
09.05.2008	IB2	33	93	II (60)
09.05.2008	IC1	33	80	II (47)
09.05.2008	IC2	40	73	II (33)
Durchschnitt		**47,5**	**81**	**40,2**
Gesamtdurchschnitt 09.05.2008			**64,3**	
		Ebene Lernsituation II	**Feder Lernsituation I**	
16.05.2008	IIA1	67	93	I (26)
16.05.2008	IIA2	80	73	II (7)
16.05.2008	IIB1	80	80	I = II (0)
16.05.2008	IIB2	80	33	II (47)
16.05.2008	IIC1	60	100	I (40)
16.05.2008	IIC2	47	73	I (26)
Durchschnitt		**69**	**75,3**	**24,3**
Gesamtdurchschnitt 16.05.2008			**72,2**	
Gesamtdurchschnitt bezogen auf				
das Thema		Ebene	58,3	
		Feder	78,2	
die Lernsituation		I (Gruppenpuzzle)	61,4	
		II (Frontal)	75,0	

mehr erhielten. Bei der Ermittlung des Gesamtdurchschnittes beider Studiengruppen zeigt sich, dass bei den Seminaren über die schiefe Ebene 58,3% der Prüfungsfragen richtig beantwortet wurden sowie bei den Seminaren über die Feder 78,2%. Betrachtet man die Testergebnisse aller Studienteilnehmer bezogen auf die Unterrichtsform, so ergibt sich ein durchschnittliches Testergebnis von 61,4% in der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) sowie 75,0% in der Lernsituation II (Frontalunterricht). Es wurden t-Tests für gepaarte Stichproben durchgeführt, die die Testleistung im Zusammenhang mit der Lernsituation bzw. mit der Themenstellung der Unterrichtseinheit untersuchten. Hin-

sichtlich der Untersuchung der Testleistung in Abhängigkeit von der Lernleistung zeigte sich auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ lediglich am ersten Datenerhebungstag ($t(5)=2,9$; $p=0,033$) ein signifikantes Ergebnis, dies konnte jedoch weder mit den Ergebnissen am zweiten Datenerhebungstag ($t(5)=-0,49$; $p=0,643$) noch mit den Ergebnissen der gesamten Studieneinheit ($t(11)=1,3$; $p=0,209$) bestätigt werden. Daraus folgt, dass die Studienteilnehmer am ersten Datenerhebungstag durchschnittlich nach der Lernsituation II signifikant besser abschnitten als nach der Lernsituation I. Des Weiteren konnte auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ kein Zusammenhang des Testergebnisses mit der Themenstellung der Unterrichtseinheit ($t(11)=2,2$; $p=0,053$) nachgewiesen werden. Beim Vergleich der beiden Testergebnisse eines jeden Studienteilnehmers fällt auf, dass sich die Testergebnisse im Durchschnitt um 32,3 Prozentpunkte unterscheiden, wobei dieser intraindividuelle Unterschied in der Testleistung bei den Studienteilnehmern des ersten Datenerhebungstages mit 40,2 Prozentpunkten um 15,9 Prozentpunkte höher liegt als bei den Studienteilnehmern des zweiten Datenerhebungstages mit 24,3 Prozentpunkten. Sieben Studienteilnehmer haben ihr bestes Testergebnis nach der Lernsituation II, vier Studienteilnehmer nach der Lernsituation I, ein Studienteilnehmer hat mit identischem Testergebnis abgeschnitten. Bezogen auf die Themenstellungen haben acht Studienteilnehmer nach der Unterrichtseinheit mit dem Thema „Feder“ ihr bestes Testergebnis erreicht, drei Studienteilnehmer nach der Unterrichtseinheit mit dem Thema „Schiefe Ebene“ und ein Studienteilnehmer konnte beide Tests mit identischem Ergebnis absolvieren. Diese Daten zeigen, dass das individuelle Testergebnis von persönlichen Vorlieben hinsichtlich vorgegebenem Thema und hinsichtlich der bevorzugten Lernmethode abhängig ist, dass insgesamt jedoch bezogen auf die untersuchten Unterrichtseinheiten die meisten Studienteilnehmer beim Thema „Feder“ bzw. nach der Lernsituation II am besten abschnitten.

3.6 Korrelationen in den einzelnen Beobachtungssituationen

Alle erhobenen Daten wurden unter dem Gesichtspunkt der jeweiligen Situation (Unter Ruhebedingungen, in der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und in der Lernsituation II (Frontalunterricht)) mittels Korrelationsanalyse untersucht und zueinander in Beziehung gesetzt. Die folgenden Kapitel gehen auf die Zusammenhänge der einzelnen Parameter in der jeweiligen Situation näher ein, die jeweiligen Korrelationskoeffizienten

und p-Werte sind Tabelle 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Im Rahmen unserer im Mai 2008 durchgeführten Studie wurden Studenten des Faches Technik der Technischen Universität Dortmund während einer Ruhesituation und während unterschiedlicher Unterrichtseinheiten (Lernsituation I: Gruppenpuzzle, Lernsituation II: Frontalunterricht) psychophysiologisch mittels des Elektrokardiogramms (Parameter: Herzrate HR_FF, Herzratenvariabilität MQSD, Emotionale Herzrate EMO_HR), der Elektrodermalen Aktivität (Parameter: EDA_TP als tonische Komponente, SCR_FR als unspezifische Reaktionen), der Bewegungsaktivität (Parameter: ACT_F), dem Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB), dem Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes (VGZ, Dimensionen: Negatives Gefühl, Positives Gefühl, Interesse, Erregung und Wachheit) und schriftlichen Tests zur Lerninhaltsüberprüfung untersucht. Abschließend erfolgte nach ausführlicher Auswertung der einzelnen Parameter eine Korrelationsanalyse. Die Tabelle zeigt die signifikanten Ergebnisse der Korrelationsanalyse aufgeschlüsselt nach der Ruhesituation, der Lernsituation I und der Lernsituation II. In den einzelnen Spalten sind die jeweils korrelierenden Parameter sowie die entsprechenden p-Werte und Korrelationskoeffizienten aufgeführt, das Signifikanzniveau wurde bei $p < 0{,}05$ gewählt.

		p-Wert	Korrelationskoeffizient
Ruhesituation			
HR_FF	MQSD	0,007	-0,76
EDA_TP	SCR_FR	0,001	0,85
Act_F	VGZ Interesse	0,026	-0,66
EDA_TP	VGZ Negatives Gefühl	0,022	0,68
EDA_TP	VGZ Positives Gefühl	0,021	-0,68
EDA_TP	VGZ Interesse	0,020	-0,69
SCR_FR	VGZ Negatives Gefühl	0,036	0,63
SCR_FR	VGZ Positives Gefühl	0,007	-0,76
KAB	VGZ Positives Gefühl	0,050	-0,63
VGZ Positives Gefühl	VGZ Interesse	0,029	0,65
Lernsituation I (Gruppenpuzzle)			
MQSD	EMO_HR	0,035	0,64
MQSD	SCR_FR	0,038	0,63
EDA_TP	SCR_FR	0,001	0,83
EMO_HR	VGZ Wachheit	0,011	-0,73
ACT_F	VZG Positives Gefühl	0,032	-0,65
HR_FF	KAB	0,034	0,70
KAB	VGZ Negatives Gefühl	0,033	0,71
Lernsituation II (Frontalunterricht)			
MQSD	HR_FF	0,032	-0,64
EDA_TP	ACT_F	0,042	0,62
SCR_FR	ACT_F	0,042	0,62
EDA_TP	SCR_FR	0,013	0,72
KAB	VGZ Positives Gefühl	0,015	-0,74
SCR_FR	Testergebnis	0,040	0,62

3.6.1 Unter Ruhebedingungen

Unter Ruhebedingungen finden sich hinsichtlich der psychophysiologischen Parameter HR_FF, MQSD, EMO_HR, EDA_TP, SCR_FR und ACT_F sowie der Fragebögen KAB und VGZ folgende signifikante Korrelationen:
HR_FF und MQSD zeigen mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,76 einen negativen Zusammenhang, was den physiologischen Gegebenheiten entspricht: Mit zunehmender Herzfrequenz nimmt die Herzfrequenzvariabilität ab. Für EMO_HR war kein linearer Zusammenhang mit anderen psychophysiologischen Parametern oder den Ergebnissen aus den Fragebögen nachweisbar.
EDA_TP und SCR_FR sind mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,85 positiv korreliert, was ebenfalls aufgrund der physiologischen Zusammenhänge zu erwarten war: Wenn der tonische Hautleitwert zunimmt, ist ebenfalls eine Zunahme der unspezifischen Hautleitwertreaktionen festzustellen. Des Weiteren zeigte der tonische Hautleitwert EDA_TP eine positive Korrelation (Korrelationskoeffizient: 0,68) mit der emotionalen Dimension „Negatives Gefühl“ des VGZ sowie dementsprechend eine negative Korrelation mit einem Koeffizienten von -0,68 mit der emotionalen Dimension „Positives Gefühl“. Diese Korrelationen bestätigen sich auch bei den unspezifischen Hautleitwertreaktionen SCR_FR (positive Korrelation mit einem Koeffizienten von 0,63 mit der emotionalen Dimension „Negatives Gefühl“ des VGZ sowie negative Korrelation mit einem Koeffizienten von -0,76 mit der emotionalen Dimension „Positives Gefühl“. Aus diesen Ergebnissen folgt, dass bei Zunahme der elektrodermalen Aktivität unter Ruhebedingungen die Ausprägung des negativen Gefühls ebenfalls steigt bzw. die des positiven Gefühls abnimmt und vice versa. Außerdem zeigte EDA_TP mit der emotionalen Dimension „Interesse“ des VGZ eine signifikante negative Korrelation (Korrelationskoeffizient -0,69), woraus zu schließen ist, dass bei Zunahme des tonischen Hautleitwerts die Ausprägung des Merkmals Interesse sinkt und umgekehrt.
Der Parameter der Bewegungsaktivität ACT_F ist mit einem Koeffizienten von -0,66 negativ korreliert mit der emotionalen Dimension „Interesse“ des VGZ. Daraus lässt sich schließen: Je höher die Aktivität, umso niedriger das Interesse bzw. je höher das Interesse, umso niedriger die Aktivität.
Außerdem korrelieren KAB, das Maß der aktuellen Beanspruchung, sowie die emotionale Dimension „positives Gefühl“ des VGZ negativ miteinander (Korrelationskoeffizient

-0,63), was bedeutet, dass eine höhere aktuelle Beanspruchung mit einer schwächeren Ausprägung der positiven Gefühle einhergeht. Des Weiteren ist eine positive Korrelation zwischen der emotionalen Dimension „Positives Gefühl“ und „Interesse“ des VGZ in der Ruhesituation mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,65 zu verzeichnen: Eine größere Ausprägung des Interesses geht mit einer stärkeren Ausprägung positiver Gefühle einher und vice versa.

3.6.2 In der Lernsituation I (Gruppenpuzzle)

Wie bereits in der Ruhesituation sind auch in der Lernsituation I die beiden Hautleitwertparameter EDA_TP und SCR_FR positiv miteinander korreliert (Korrelationskoeffizient 0,83), was physiologisch begründet werden kann.
Der Parameter MQSD, der für eine kognitive/mentale Beanspruchung steht, steht in der Lernsituation I sowohl in Zusammenhang mit EMO_HR als auch in Zusammenhang mit SCR_FR: Mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,64 steht MQSD in einem positiven linearen Zusammenhang mit EMO_HR, was bedeutet, dass bei niedriger emotionaler Herzrate eine hohe mentale Beanspruchung zu verzeichnen ist und vice versa. Mit SCR_FR wurde während der Unterrichtsphase I3 (Bildung der Expertenteams) mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,63 ein positiver Zusammenhang entdeckt, was bedeutet, dass eine hohe mentale Beanspruchung mit niedrigen unspezifischen Hautleitwertreaktionen einhergeht.
Die Herzrate HR_FF steht in der Lernsituation I mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,70 in einem positiven linearen Zusammenhang mit dem Maß der aktuellen Beanspruchung KAB: Eine Zunahme der aktuellen Beanspruchung geht mit einer Zunahme der Herzrate einher und vice versa.
Die emotionale Herzrate EMO_HR und die emotionale Dimension „Wachheit“ des VGZ sind in der Lernsituation I negativ miteinander korreliert (Korrelationskoeffizient -0,73), d.h. je höher oder niedriger die emotionale Herzrate ist, umso niedriger oder höher ist die subjektive Wachheit und vice versa.
Des Weiteren kann eine negative Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,65 zwischen der Bewegungsaktivität und der emotionalen Dimension „Positives Gefühl“ aufgezeigt werden: Eine hohe Bewegungsaktivität geht folglich mit einem gering ausgeprägten positiven Gefühl einher.

Das Maß der aktuellen Beanspruchung KAB zeigte in der Lernsituation I, vergleichbar mit der Ruhesituation, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,71 eine positive Korrelation mit der VGZ-Ausprägung des „Negativen Gefühls“: Eine höhere aktuelle Beanspruchung ist verbunden mit einem stärkeren negativen Gefühl und vice versa.
Hinsichtlich des Testergebnisses war kein linearer Zusammenhang zu den psychophysiologischen Parametern und den Ergebnissen aus den Fragebögen nachweisbar.

3.6.3 In der Lernsituation II (Frontalunterricht)

Hinsichtlich der psychophysiologischen Parameter bestätigte sich auch in der Lernsituation II der physiologische positive lineare Zusammenhang zwischen den beiden Hautleitwertparametern EDA_TP und SCR_FR (Korrelationskoeffizient 0,72) sowie die physiologische negative Korrelation zwischen HR_FF und MQSD (Korrelationskoeffizient -0,64).
Des Weiteren ist die Bewegungsaktivität ACT_F positiv mit den beiden Parametern des Hautleitwerts EDA_TP (Korrelationskoeffizient 0,62) und SCR_FR (Korrelationskoeffizient 0,62) korreliert, d.h. je höher die Bewegungsaktivität, umso höher der tonische Hautleitwert und die unspezifischen Hautleitwertreaktionen.
Die bisherigen Ergebnisse in der Ruhe- und in der Lernsituation I hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen KAB und der Ausprägung der Gefühle im VGZ bestätigte sich auch in der Lernsituation II: KAB und die VGZ-Ausprägung „Positives Gefühl“ stehen in einem negativen Zusammenhang (Korrelationskoeffizient -0,74).
Das Testergebnis steht während der Unterrichtsphase II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung) mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,62 in einem positiven linearen Zusammenhang mit SCR_FR: Sind während der Unterrichtsphase II2 vermehrt unspezifische Hautleitwertreaktionen vorhanden, geht dies mit einem besseren Abschneiden im Test einher. Weitere Zusammenhänge hinsichtlich des Testergebnisses ließen sich nicht signifikant belegen.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik und des Studiendesigns

Die folgenden Ausführungen werden auf die Möglichkeiten und Grenzen der Gruppengröße, der Methoden, des Studiendesigns und der Durchführung der Studie eingehen. Hinsichtlich der Zusammensetzung der Seminargruppen sind folgende Punkte zu diskutieren: die Anzahl, das Alter, das Geschlecht sowie die Händigkeit der Studienteilnehmer.

Jede Seminargruppe umfasste lediglich sechs Studenten, sodass insgesamt nur zwölf Studenten im Rahmen der Studie untersucht werden konnten und folglich die Aussagekraft der Studie hinsichtlich der Lernwirksamkeit nur begrenzt sein kann. Dies liegt zum Einen darin begründet, dass der Schwerpunkt der Studie insbesondere auf der Frage der Durchführbarkeit einer psychophysiologischen Datenerhebung in einer realen Lernsituation liegen sollte, um weitere, größer angelegte Forschungsaktivitäten mit vergleichbarem Studiendesign vorzubereiten. Des Weiteren wurde die Anzahl der Studienteilnehmer durch das besondere Unterrichtssetting einer realen Lernsituation begrenzt: die Lehrmethode des Gruppenpuzzles ist insbesondere dann effektiv, wenn die Gruppengröße der Familien- und der Expertengruppen nicht zu klein, aber auch nicht zu groß gewählt wird. Drei Studienteilnehmer pro Expertengruppe sowie zwei Studienteilnehmer pro Familiengruppe sind deshalb ideale Gruppengrößen, da sich in der Expertengruppe jeder Einzelne einbringen und zu einer lehrreichen Gruppendynamik beitragen kann sowie individuelle Lern- und Leistungsunterschiede ausgeglichen werden können, und da der Informationsaustausch in der Familiengruppe im Dialog prägnant und zielorientiert erfolgen kann.

Aufgrund der Datenerhebung während Seminaren eines technisch ausgerichteten Studienganges und dem dort empirisch vorherrschenden Geschlechterverhältnis war bei den Studienteilnehmern das Geschlechterverhältnis mit zehn männlichen und zwei weiblichen Personen nicht ausgewogen, sodass mögliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern nicht beurteilt werden konnten bzw. ein Einfluss des Geschlechts auf die Studienergebnisse nicht ausgeschlossen werden kann.

Das Durchschnittsalter betrug 25,5 Jahre, wobei das individuelle Alter zwischen 21 und 40 Jahren lag und folglich eine große Breite umfasst. Außerdem unterschied sich

das Durchschnittsalter zwischen beiden Seminargruppen um 4,6 Jahre. Hinsichtlich der Additional Heart Rate ist in der Literatur ein gewisser altersabhängiger Effekt belegt: Myrtek (2004b) konnte zeigen, dass 11-, 15- und 24-Jährige in den durchgeführten Studien höhere Additional Heart Rates zeigten als 42-, 49- und 55-Jährige. Aufgrund des Altersrahmens in unserer Studie sind basierend auf Myrteks Daten nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Additional Heart Rate zu erwarten. Dennoch können aufgrund der leichten Heterogenität hinsichtlich des Alters der Studienteilnehmer mögliche Alterseffekte auf die Additional Heart Rate oder andere Parameter nicht sicher beurteilt werden bzw. das Alter als möglicher Störfaktor nicht mit Gewissheit ausgeschlossen werden.

Die Frage nach der Hemisphärendominanz war von Bedeutung, da die Elektrode zur Erfassung der Elektrodermalen Aktivität an die nicht-dominante Hand geklebt wurde, um die Studienteilnehmer nicht durch die Elektrode zu beeinträchtigen und folglich eine alltagsnahe Datenerhebung in der realen Lernsituation zu ermöglichen. Dennoch kann ein möglicher Einfluss der Hemisphärendominanz auf die Lernwirksamkeit verschiedener Unterrichtsformen nicht ausgeschlossen werden.

Um bei künftigen Studien diese potentiellen Einflussgrößen zu vermeiden, ist ein ausgewogenes Verhältnis des Alters, des Geschlechts und der Händigkeit innerhalb der untersuchten Gruppe ratsam. Auch die Auswahl der Studienteilnehmer - bei unserer Studie wurde die Datenerhebung im Rahmen einer Vorlesung beworben, wobei sich die Studenten aktiv für die Teilnahme bewerben konnten - sollte bei zukünftigen Studien wenn möglich zufällig erfolgen, um eine mögliche Verzerrung der Stichprobe zu vermeiden (Mittag 2011). Auch die individuelle Vorerfahrung mit verschiedenen Lernmethoden könnte ein Auswahlkriterium bzw. ein Unterscheidungsmerkmal der Studienteilnehmer bei zukünftigen Studien sein, denn die Arbeitsgruppe um Lazarowitz und Kollegen (1985) kam in ihren Studien zu dem Ergebnis, dass die Umsetzung kooperativer Lernmethoden geübt werden müsse: Lernende, die über Jahre Lehrer-zentrierte Unterrichtsformen gewohnt waren, zeigten Schwierigkeiten, die Jigsaw-Methode effektiv anzuwenden. Die individuelle Vorerfahrung mit verschiedenen Lernmethoden wurde in unserer Studie nicht erfragt, sodass unklar bleibt, inwiefern die persönliche Lernbiographie den Lernerfolg des Einzelnen bei der jeweiligen Unterrichtsform beeinflusst hat.

Die körperliche Fitness zum Zeitpunkt der Datenerhebung scheint höchstens eine un-

tergeordnete Rolle zu spielen: Streptoe und Kollegen (1990) untersuchten mögliche Einflüsse von körperlichem Training auf psychophysiologische Reaktionsmuster: Körperlich Trainierte zeigten Unterschiede in der Atemfrequenz während den Aufgaben und in der elektrodermalen Aktivität in der Erholungsphase sowie tendenziell eine verminderte Herzratenaktivität, jedoch keine wesentlichen Veränderungen des psychophysiologischen Reaktionsmusters. Auch bei Goedhart und Kollegen (2008) zeigten sich keine wesentlichen Effekte der körperlichen Fitness auf kardiorespiratorische Parameter.
Fahrenberg (2001) beschreibt eine mögliche Beeinflussung der Herzfrequenz durch Alkohol- oder Nahrungsaufnahme innerhalb der letzten vier Stunden, Rauchen innerhalb der letzten Stunde, die Tages- (minimale Werte zwischen 11 und 12 Uhr sowie maximale Werte zwischen 14 und 15 Uhr) und die Jahreszeit sowie die Persönlichkeit der Studienteilnehmer. Die Herzratenvariabilität kann durch das Alter, das Geschlecht, Lifestylefaktoren, wie z.B. die körperliche Aktivität, Erkrankungen, etc. beeinflusst werden (Hottenrott 2009), was im Rahmen unserer Studie kaum erfragt und nicht berücksichtigt wurde. Eine gewisse Verfälschung durch die Heterogenität der Gruppe ist folglich nicht mit Sicherheit ausgeschlossen. In zukünftigen Studien ist eine homogenere Studienteilnehmergruppe mit Ausschluss bei bestimmten Erkrankungen zu diskutieren.
Fahrenberg und Myrtek (2005) geben zu bedenken, dass psychophysiologische Reaktionsmuster von einer Vielzahl an Faktoren abhängig sein können: von der Aufgabe (stimulusspezifisch), von den Rahmenbedingungen (kontextspezifisch), von der untersuchten Person (individualspezifisch), von speziellen Interaktionen (motivationsspezifisch) und von Funktionsstörungen (symptomspezifisch). In psychophysiologischen Studien sei deshalb eine Prozessorientierung anstelle einer Eigenschaftsorientierung notwendig. Weitere Forschung ist nicht nur interessant, sondern auch notwendig, jedoch ist dabei zu beachten, dass es keinen einzelnen optimalen Indikator der psychophysiologischen Aktivierung gibt, sondern stets mehrere Funktionssysteme zu berücksichtigen sind.
Interindividuelle Unterschiede können auf eine unterschiedliche individuelle psychophysiologische Aktivierung unter gleichen Belastungsbedingungen zurückgeführt werden (Eilers 1999, Fahrenberg et al. 1979).
Die Methoden unserer Studie erwiesen sich insgesamt als praktikabel und aussagekräftig in Hinblick auf die Untersuchung von realitätsnahen Lernsituationen. Die Geräte zur

Aufzeichnung der psychophysiologischen Daten waren klein, leicht und wurden durch die Studienteilnehmer - so die mündliche Rückmeldung - kaum bemerkt. Es gab kaum technische Ausfälle. Die psychophysiologische Baseline in unserer Studie wurde aufgrund der besseren Praktikabilität und der geringeren Beeinträchtigung der Studienteilnehmer mittels Ruhemessungen am Datenerhebungstag selbst bestimmt, da ansonsten eine Einbestellung aller Studienteilnehmer am Vorabend und das Tragen der Varioports über Nacht zur Bestimmung der nächtlichen Baseline hätten erfolgen müssen. Dennoch ist in der Diskussion darauf hinzuweisen, dass in der Literatur die Bestimmung der nächtlichen Baseline während der Tiefschlafphase idealerweise empfohlen wird (Myrtek et al. 1996a, Fahrenberg 2001, Myrtek et al. 1996b, Myrtek 2004b, Myrtek 2005).

Die Videoaufnahme der Studienteilnehmer erfolgte im Rahmen unserer Studie ausschließlich zu Kontrollzwecken. Die Videoanalyse war insgesamt praktikabel und ermöglichte die Untersuchung von zeitlichen und räumlichen Aspekten der Lernsituationen, von Gruppeneffekten und von groben individuellen Veränderungen. Eine detailliertere Videoaufzeichnung und -auswertung eines jeden Studienteilnehmers durch jeweils eine eigene Kamera mit Naheinstellung könnte zusätzliche Untersuchungsmethoden miteinbeziehen, wie z.B. Studien zur Mimik und Gestik der Studienteilnehmer, objektive Untersuchungsverfahren hinsichtlich des Gefühlszustands im Vergleich zu subjektiven Verfahren am Ende jeder Einheit parallel zu den Unterrichtssituationen, ist jedoch sehr personen-, material-, zeit- und kostenintensiv. Es ist zu erwägen, ob eine Ausweitung des Videoeinsatzes (z.B. mit Kodierung der Emotionen Angst, Unsicherheit, Langeweile, Ärger, Freude und Interesse aus dem Gesichtsausdruck) in weiteren Studien möglicherweise weitere Erkenntnisse fördern könnte.

Das Studiendesign hat sich insgesamt als realitätsnah und methodenfreundlich erwiesen, sodass die Studie reibungslos durchgeführt werden konnte. Dennoch sind wenige Punkte zu diskutieren, die in weiteren Studien verbessert werden könnten. 1. Die beiden Lernsituationen hatten zum Teil gemeinsame Elemente, was eine Differenzierung erschwerte: Beide wurden durch einen Theorie-Vortrag eingeleitet und enthielten dadurch einen passiven Anteil. Außerdem beinhalteten beide einen praktischen, aktiven Anteil, wobei in der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) die Studienteilnehmer die Versuche selbst durchgeführt, die Ergebnisse ausgemessen, berechnet und bewertet haben, während in der Lernsituation II (Frontalunterricht) die Versuche vom Dozenten durch-

geführt wurden, aber gemeinsam in der Gruppe ausgewertet und besprochen wurden. Schließlich endeten beide Lernsituationen mit einem Test, was eine durchaus gewollte Gemeinsamkeit darstellt. In zukünftigen Studien könnte zur besseren Trennung der Daten hinsichtlich aktiver bzw. passiver Unterrichtsform auf idealtypischere Lernsituationen mit weniger Überschneidungen zurückgegriffen werden. Andererseits war es gerade das Ziel der Studie, reale Lernsituationen zu untersuchen und diese nicht durch studiengerechte Anpassungen zu verändern, sodass die detaillierte Analyse der Daten die einzelnen Phasen und folglich auch die aktiven und passiven Elemente berücksichtigte. 2. Die ausgewählten Themen der Unterrichtsstunden hatten ein unterschiedliches Niveau an Komplexität, was sich auch auf den zeitlichen Ablauf auswirkte. Die zeitliche Auswertung der Lernsituationen hat gezeigt, dass ein Unterschied hinsichtlich der Dauer der Unterrichtseinheit mit dem Thema „Schiefe Ebene“ (an beiden Untersuchungstagen 74 Minuten) und der Unterrichtseinheit mit dem Thema „Feder“ (am ersten Untersuchungstag 46 Minuten, am zweiten Untersuchungstag 44 Minuten) besteht, während sich nahezu kein Unterschied hinsichtlich der Umsetzung eines Themas („Schiefe Ebene“ bzw. „Feder“) zwischen Lernsituation I (Gruppenpuzzle) und Lernsituation II (Frontalunterricht) zeigt. Daraus kann gefolgert werden, dass die Dauer der gesamten Unterrichtseinheit mehr mit der Themenwahl, deren Komplexität und deren Gestaltung als mit der Lernsituation an sich zusammenhängt. Andererseits weisen Lazarowitz und Kollegen (1985) darauf hin, dass kooperative Lernmethoden meist mehr Zeit benötigen, da zum Einen Materialien selbst aktiv bearbeitet, in der Expertengruppe diskutiert und in der ursprünglichen Gruppe vorgestellt werden, zum Anderen haben die Lernenden kaum Lehrerfahrung im Vergleich mit einer Lehrperson. Deshalb müsste der Stundenplan an die Unterrichtsform angepasst werden. Zum Einen sollte folglich bei weiteren Studien der Grad an Komplexität ähnlich gewählt werden, zum Anderen müssen methodenbedingte zeitliche Unterschiede bereits zu Beginn miteingeplant werden.

Fahrenberg (1996) weist des Weiteren auf eine gewisse methodenspezifische Reaktivität im Rahmen des ambulanten Assessments hin, d.h. die Untersuchungsmethoden an sich können bereits eine Quelle für Fehler und Confounder sein (z.B. durch Aufmerksamkeit, Anpassung, Empfindlichkeit, Copingtendenzen). Dies müsse jedoch bei fast jeder Datenerhebung mitberücksichtigt werden, da es kaum nicht reaktive Methoden gäbe.

Es wäre zu überlegen, bei weiteren Studien die Studienteilnehmer im Rahmen eines Fragebogens zu befragen, inwieweit sich die untersuchte Lernsituation von einer Lernsituation ohne psychophysiologische Aufzeichnung unterscheidet bzw. ob sie sich durch die psychophysiologische Aufzeichnung gestört oder beeinträchtigt gefühlt haben. Außerdem könnte man erheben, wie gut sie sich auf den Test durch die Unterrichtseinheit vorbereitet fühlen und wie sie selbst ihr Abschneiden im Test einschätzen, um die Aussagekraft der Studie hinsichtlich der Realität besser beurteilen zu können. Aufgrund der Erhebung von bereits zwei Fragebögen zum Befinden der Studienteilnehmer zu mehreren Zeitpunkten haben wir auf die Erhebung weiterer Fragebögen verzichtet. Des Weiteren konnten die subjektiven Einschätzungen nach den Lernsituationen und nach den Ruhebedingungen lediglich Stimmungbilder einfangen. Feine Unterschiede im Gefühlsleben zwischen den einzelnen Unterrichtsphasen konnten folglich nicht erhoben werden, gewisse Retrospektionseffekte sind nicht sicher auszuschließen. Eine Realisierung dessen wäre sehr zeitaufwändig gewesen und hätte zu stark in die Unterrichtssituationen eingegriffen, sodass das Konzept der realen Lernsituation hätte hinterfragt werden müssen. Die Integration von Rückmeldesystemen bzw. die Erhebung der subjektiven Einschätzung des aktuellen Befindens und der aktuellen Beanspruchung in aus psychophysiologischer Sicht besonderen Situationen (z.B. hohe emotionale Herzrate, hohe elektrodermale Aktivität, etc.), wie sie z.B. in anderen Studien mit ambulantem Assessment erfolgte (Myrtek und Brügner 1996, Manske 2007, Rohbeck 2007) hätte möglicherweise situationskongruente Mehrinformation geboten, hätte jedoch die reale Lernsituation zu stark beeinflusst. Fahrenberg und Myrtek (2005) zufolge ist des Weiteren die Aussagekraft dieser Mehrinformation zu diskutieren, da die Selbsteinschätzung des Befindens und die psychophysiologische Aktivität nicht konsistent zusammenhängen. Es ist sehr interessant, dass Myrtek und Kollegen (2005) in ihrer Studie mit 50 Studentinnen zeigen konnten, dass für die Wahrnehmung von Emotionen kognitive Schemata und die Persönlichkeit wichtiger waren als die aktuelle psychophysiologische Aktivierung. Um die Zusammenhänge zwischen psychophysiologischer Aktivierung, Unterbewusstsein und Bewusstsein besser verstehen zu können, bedarf es weiterer Forschung. Ein weiterer Ansatz könnte sein, objektive Verfahren (Verhaltensbeobachtung, Mimik, etc.) miteinzubeziehen. Wissenschaftlicher Nutzen und personeller, finanzieller, zeitlicher und materieller Aufwand müssen dabei gegeneinander abgewogen werden.

4.2 Diskussion der psychophysiologischen Daten

Das Ergebnis, dass die höchsten Mittelwerte der Herzraten während den Unterrichtsphasen I3 (Bildung von zwei Expertenteams) und I5 (Rückkehr in die Familie) gemessen wurden, kann am ehesten auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass die Studienteilnehmer während dieser Phasen aufstehen, gehen und einen neuen Platz einnehmen mussten, da für die Situationen Stehen und Gehen ebenfalls gegenüber den Lernsituationen I und II sowie Sitzen sich signifikant unterscheidende hohe Herzraten gemessen wurden. Dies belegen auch die Ergebnisse hinsichtlich der Bewegungsaktivität, da in diesen Unterrichtsphasen die höchsten Werte für die Bewegungsaktivität ermittelt wurden. Interessant ist das Ergebnis, dass der Mittelwert der Herzrate während dem Sitzen am niedrigsten war, da diese Position hauptsächlich in der Lernsituation II eingenommen wurde und in dieser der Mittelwert höher lag. Dieser Unterschied war jedoch in der ANOVA nicht signifikant. Neben der erhöhten Bewegungsaktivität während dieser Phasen wäre eine mögliche emotionale Aktivierung zu diskutieren, wobei dies aufgrund des nicht signifikanten Ergebnisses für die emotionale Herzrate eher unwahrscheinlich ist. Dafür sprechen jedoch die Ergebnisse der elektrodermalen Aktivität, wobei für den Parameter EDA_TP sehr hohe Werte und für den Parameter SCR_FR die höchsten Werte in diesen Unterrichtsphasen gemessen wurden. Die signifikanten Ergebnisse der ANOVA hinsichtlich der Herzrate beim Vergleich der einzelnen Situationen miteinander können folglich zum Teil auf die durch die Bewegungsaktivität verursachte Herzratenerhöhung zurückgeführt werden, eine emotionale Komponente bleibt jedoch aufgrund der Ergebnisse der Elektrodermalen Aktivität, die für eine erhöhte Anspannung in diesen Unterrichtsphasen sprechen, zu diskutieren.

Hinsichtlich der Additional Heart Rate konnten keine signifikanten Effekte gezeigt werden, wobei zu diskutieren ist, weshalb dies der Fall ist. Lösten die Unterrichtssituationen keine Emotionen aus? Hinsichtlich der Fragebögen zeigten sich kaum Unterschiede in der Bewertung des Wohlbefindens zwischen der Ruhesituation, der Lernsituation I und der Lernsituation II. Myrtek und Kollegen (Myrtek und Brügner 1996, Myrtek 2004b, Myrtek et al. 2005) weisen darauf hin, dass eine Vielzahl an alltäglichen Stimuli körperliche Veränderungen hervorrufen ohne eine bewusste Wahrnehumg auszulösen, dass kognitive Bewertungen und Persönlichkeitsdimensionen die Wahrnehmung von Emotionen stärker beeinflussen als psychophysiologische Aktivierung und dass infolgedessen

zwischen einer psychophysiologischen emotionalen Aktivierung und einer Wahrnehmung von Emotionen zu unterscheiden ist. In zukünftigen Studien ist zu überlegen, Emotionen detaillierter zu erfragen, um Rückschlüsse auf die emotionale Wahrnehmung zu gewinnen, dies war jedoch nicht Gegenstand unserer Studie.

Trotz des nicht signifikanten Ergebnisses in der ANOVA sind hinsichtlich des Parameters MQSD zwei Punkte zu diskutieren: 1. Das Ergebnis, dass während der Durchführung und Auswertung eines Versuches in der Expertengruppe (I4) die höchsten Mittelwerte für MQSD gemessen wurden, wirft eine Frage auf: Waren die Studienteilnehmer während der Versuchsdurchführung etwa wenig mental beansprucht? 2. Insbesondere während der Unterrichtsphasen der Leistungsüberprüfung (I7 und II3) hätten wir eine signifikante Reduktion des MQSD als Zeichen einer mentalen Beanspruchung erwartet, was jedoch nicht in den Daten abgebildet wurde. Aufgrund dieser beiden Punkte wären weitere Untersuchungen von großem Interesse.

Der bereits zahlreich und vielseitig diskutierte Zusammenhang zwischen emotionaler und mentaler Beanspruchung soll auch in dieser Diskussion seine Würdigung erfahren. Dishman und Kollegen (2000) schlossen aus ihrer Studie, dass anhaltender emotionaler Stress einen Einfluss auf die Herzratenvariabilität hat, ungeachtet der körperlichen Fitness und der persönlichen Veranlagung zur Ängstlichkeit. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Myrtek und Kollegen (1996c) in einer Feldstudie mit Studenten, wobei chronisch gestresste Studienteilnehmer höhere Herzraten und eine verminderte Herzratenvariabilität zeigten. Myrtek (2005) hält inzwischen die Unterscheidung zwischen emotionaler und mentaler Beanspruchung nicht mehr für notwendig, da beide meist gleichzeitig auftreten und sich wechselseitig beeinflussen. Er schlägt deshalb den Begriff der psychologischen Beanspruchung vor, die sowohl die emotionale als auch die mentale Komponente erfasst (Myrtek 2004b). Diesbezüglich bedarf es weiterer Forschung, um die bisher etablierten Parameter besser der emotionalen bzw. mentalen Beanspruchung zuordnen zu können bzw. die Parameter neu in Hinblick auf eine psychologische Beanspruchung zu definieren. Aufgrund dieser Unsicherheit hinsichtlich einer optimalen Abgrenzung zwischen den Parametern der mentalen und emotionalen Beanspruchung war eine Interpretation unserer Ergebnisse zu den bisher etablierten Parametern schwierig, insbesondere die positive Korrelation zwischen EMO_HR und MQSD in der Lernsituation I ist mit dem derzeitigen Konzept nicht zu erklären.

Die Ergebnisse der elektrodermalen Aktivität belegen, dass die Unterrichtsphase I2 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) im Mittel die Phase der geringsten Anspannung während der Lernsituation I ist, wobei dies jedoch nicht auf die vergleichbare Unterrichtsphase II1 (Theoretischer Vortrag des Dozenten) der Lernsituation II zutrifft. Ein möglicher Erklärungsansatz wäre, dass die Studienteilnehmer während der anderen Unterrichtsphasen der Lernsituation I aktiver sind, was die Daten der Bewegungsaktivität belegen, und deshalb im Vergleich zur Unterrichtsphase I2 mehr schwitzen. Ein anderer Erklärungsansatz wäre, dass die Studienteilnehmer aufgrund der aktiven Beteiligung am Unterricht in den Unterrichtsphasen I3-I6 (Bildung der Expertenteams, Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe, Rückkehr in die Familie, Gegenseitiges Erklären), angespannter sind, da der individuelle Erfolg und der Erfolg der anderen vom eigenen Einsatz abhängt. Eine subjektive Einschätzung der aktuellen Beanspruchung und des aktuellen Gefühlszustandes wäre diesbezüglich von großem Interesse, war jedoch nicht erhoben worden, um die reale Lernsituation nicht zu beeinträchtigen. Des Weiteren ist interessant, dass in der Unterrichtsphase I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) im Vergleich zu den Unterrichtsphasen I5 (Rückkehr in die Familie) und I6 (Gegenseitiges Erklären) im Durchschnitt eine signifikant niedrigere elektrodermale Aktivität gemessen wurde, wobei zu hinterfragen ist, ob die Zunahme der Anspannung mit der Verantwortung der übertragenen Aufgaben wächst: Während in der Unterrichtsphase I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) die Aufgaben gemeinsam gelöst werden, muss jeder Experte seiner Aufgabe in der Unterrichtsphase I6 seinen Familienmitgliedern das Erlernte jeweils allein erklären. Es wäre interessant, in weiteren Studien diesen Vergleich genauer zu untersuchen, z.B. durch Ergänzung zusätzlicher Fragebögen zur subjektiven Belastungseinschätzung während einzelner Unterrichtsphasen.

Die ANOVA der Bewegungsaktivität zeigte durchaus interessante Ergebnisse. Hinsichtlich der Lernsituationen I und II zeigte sich ein signifikanter Unterschied, d.h. in der Lernsituation I waren die Studienteilnehmer im Durchschnitt deutlich bewegungsaktiver als in der Lernsituation II. Die weiteren signifikanten Ergebnisse hinsichtlich der Situationen entsprechen den erwarteten Werten (z.B. höhere Bewegungsaktivität im Gehen im Vergleich zum Sitzen und Stehen bzw. in Ruhe) und bestätigen dadurch die Plausibilität der Ergebnisse.

Besonders aktiv waren die Studienteilnehmer im Schnitt in den Unterrichtsphasen I3 (Bildung der Expertenteams), I4 (Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe) und I5 (Rückkehr in die Familie), was auf die unterschiedliche Gestaltung des Unterrichts mit Schwerpunkt auf das eigenständige Erarbeiten der Lerninhalte und die eigenständige Versuchsdurchführung zurückzuführen ist. Die Studienteilnehmer waren während der Versuchsdurchführung und -auswertung in der Expertengruppe (I4) deutlich und signifikant aktiver als während der frontalen Versuchsdurchführung und -auswertung. Keine signifikanten Ergebnisse ergaben sich zwischen den beiden Lernsituationen während des theoretischen Vortrags des Dozenten (I2 bzw. II1) und während der Testphasen (I7 und II3). In beiden Lernsituationen war der theoretische Vortrag des Dozenten mit der geringsten Bewegungsaktivität assoziiert.

Hinsichtlich des signifikanten Reihenfolgeeffekts ist eine mögliche zirkadiane Rhythmik zu diskutieren. Um einen Reihefolgeeffekt zu vermeiden, wäre zu erwägen, die Unterrichtsphasen nur zu bestimmten Zeiten durchzuführen (entweder nur vormittags oder nur nachmittags). Wir haben uns gegen eine solche Durchführung aus verschiedenen Gründen entschieden: 1. Jeder Proband hätte in diesem Fall 2 Termine an 2 Tagen absolvieren müssen, was die Motivation für die Studienteilnahme reduziert hätte. 2. Die Gerätezuordnung zu jedem einzelnen Studienteilnehmer sowie die Positionierung und Klebung der Elektroden und Sensoren hätte exakt identisch erfolgen müssen, um die Daten miteinander vergleichen zu können. 3. Die Stabilität der psychophysiologischen Parameter bei einzelnen Individuen über verschiedene Zeitspannen hinweg zeigt große Unterschiede, was die Vergleichbarkeit einschränkt, die psychophysiologischen Reaktionsmuster scheinen jedoch beständig zu sein (Fahrenberg et al. 1986, Sherwood et al. 1997).

Einige Autoren diskutieren weitere EKG-Parameter zur Unterscheidung von körperlicher, emotionaler und mentaler Beanspruchung (z.B. die Abflachung der T-Amplitude als einen möglichen Indikator der mentalen Beanspruchung, Verminderung der maximalen T-Wellen-Amplitude als möglichen Indikator für emotionalen Stress, Verminderung des R-T-Intervalls und des Q-T-Intervalls unter körperlicher Anstrengung, u.a.), wobei FMS-Studien diesbezüglich sehr inkonsistente Ergebnisse zeigten (Heslegrave und Furedy 1983, Hijzen et al. 1984, Scher et al. 1984, Hijzen und Slangen 1985, Myrtek et al. 2001). Aufgrund der inkonsistenten Datenlage haben wir in unserer Studie bewusst auf

die Auswertung weiterer EKG-Parameter verzichtet und uns auf die in FMS-Studien bewährten Parameter konzentriert, es wäre jedoch zu überlegen, in weiteren Studien mögliche Zusammenhänge zu untersuchen.

4.3 Diskussion der Fragebögen

Beim Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB) zeigen die Studienteilnehmer im Durchschnitt die höchste psychische Beanspruchung nach der Ruhesituation. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass die Ruhemessung zu Beginn der Datenerhebung vor den Lernsituationen stattgefunden hat und folglich die Studienteilnehmer zu diesem Zeitpunkt angespannter waren, da 1. zwei Unterrichtsblöcke noch vor ihnen lagen und 2. die psychophysiologische Datenerhebung noch nicht so vertraut war. Dazu passt auch, dass das Maß der psychischen Beanspruchung im weiteren Verlauf des Tages sowohl am ersten als auch am zweiten Datenerhebungstag allmählich sinkt. Jedoch ist sowohl beim KAB als auch bei den einzelnen emotionalen Dimensionen des VGZ zu beachten, dass die Mittelwerte nach der Ruhesituation, nach der Lernsituation I und nach der Lernsituation II sich nur gering unterscheiden und sich in der Varianzanalyse keine signikanten Unterschiede zeigten. Auffällig und diskussionswürdig ist jedoch, dass alle Mittelwerte im schwachen bis mittleren Ausprägungsdrittel angesiedelt sind, sodass zu diskutieren ist, ob die Studienteilnehmer gemäßigte Angaben extremen Einschätzungen den Vorzug gegeben haben könnten.
Fahrenberg und Myrtek (2005) sowie Bussmann und Kollegen (2009) weisen darauf hin, dass die psychologischen Daten (z.B. Fragebögen zur Befindlichkeit, Selbstberichte über die Aktivierung) und die physiologische Aktivierung weitgehend nicht zusammenhängen. Myrtek (2005) begründet dies damit, dass Stressoren häufig nicht bewusst wahrgenommen werden. Dennoch ist die Erhebung von psychologischen Daten begleitend zu psychophysiologischen Studien unerlässlich, da diese wertvolle Informationen zur Untersuchungssituation, dem Befinden der Studienteilnehmer und zu möglichen Störvariablen liefern. Viele Autoren empfehlen neben Fragen zur Selbsteinstufung des Befindens Fragen zum Versuchserleben an sich am Ende der Untersuchung oder ein Follow-up-Interview (Fahrenberg et al. 1979, Fahrenberg 1996). Diese rückblickende subjektive Beurteilung des Versuchserlebens an sich durch jeden Studienteilnehmer erfolgte in dieser Form in unserer Studie nicht, da wir bereits mehrere Durchläufe zur Erfassung des

aktuellen Befindens eingeplant hatten und die Studienteilnehmer nicht mit zusätzlichen Fragebögen belasten und infolge dessen die Daten verfälschen wollten. Jeder Studienteilnehmer wurde bei Abnahme der Geräte in einem persönlichen Gespräch gefragt, wie er sich insgesamt während der Untersuchung fühlte und ob ihn die Geräte beeinträchtigten, wobei sich insgesamt eine positive Resonanz zeigte. Dennoch bleibt zu diskutieren, ob es sinnvoll ist, in weiteren Studien eine solche schriftliche Befragung am Ende der Untersuchung mit Möglichkeit einer Auswertung durchzuführen.

4.4 Diskussion der Testergebnisse: Zusammenhang der psychophysiologischen Daten mit der Lernleistung

Die Ergebnisse der Leistungstests, die am Ende jedes Seminars zur Überprüfung der Seminarinhalte durchgeführt wurden, lassen einige Rückschlüsse zu, die im Folgenden erläutert werden. Diese Schlussfolgerungen müssen vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass sie auf der Annahme beruhen, dass die Studienteilnehmer der beiden Seminargruppen durch die zufällige Gruppenzuteilung ein ausgeglichenes Leistungsniveau haben und folglich die beiden Seminargruppen vergleichbar sind. Der Gruppendurchschnitt des ersten Datenerhebungstages liegt bei 63,3%, der des zweiten Datenerhebungstages bei 72,2%, sodass eine annähernde Vergleichbarkeit anzunehmen ist. Es ist außerdem davon auszugehen, dass das durchschnittlich höhere Lebensalter der ersten Seminargruppe gegenüber der zweiten das Testergebnis nicht beeinflusst hat, da die Studienteilnehmer mit einem Lebensalter oberhalb des Durchschnittswertes im Test meist über dem Gruppendurchschnitt lagen.

1) Die Studienteilnehmer haben bei den Seminaren über die Feder im Durchschnitt besser abgeschnitten als bei den Seminaren über die schiefe Ebene, wobei der Unterschied zwischen den Testergebnissen der beiden Themen von 19,9 Prozentpunkten (durchschnittliches Testergebnis über die schiefe Ebene: 58,3%; über die Feder: 78,2%) im t-Test auf einem Signifikanzniveau von $p < 0{,}05$ nicht signifikant war. Dennoch ist zu diskutieren, ob dieses Ergebnis darauf hinweisen könnte, dass sich die beiden Themen in ihrem Schwierigkeitsgrad unterscheiden. Da an beiden Datenerhebungstagen die Seminare über die schiefe Ebene am Vormittag (erstes Seminar) und die Seminare über die Feder am frühen Nachmittag (zweites Seminar) stattfanden, ist außerdem eine tageszeitliche Schwankung in Betracht zu ziehen, was bedeuten würde, dass die

Studienteilnehmer bei den Tests des zweiten Seminars bzw. am frühen Nachmittag leistungsfähiger gewesen sind. Außerdem könnte auch die Zusammensetzung der jeweiligen Gruppe das Ergebnis erklären, wobei davon auszugehen ist, dass demnach die Studienteilnehmer des ersten Datenerhebungstages die Lernsituation II (Frontalunterricht) bevorzugen, während die Studienteilnehmer des zweiten Datenerhebungstages die Lernsituation I (Gruppenpuzzle) favorisieren, um neue Zusammenhänge zu lernen. In Anbetracht weiterer Ergebnisse sehen wir den Unterschied allerdings eher im Zusammenhang mit einem möglichen Unterschied im Schweregrad der Themenstellung: In beiden Lernsituationen dauerte die Vermittlung des Themas „Schiefe Ebene“ deutlich länger als beim Thema „Feder“, was auf einen höheren Stoffumfang hinweist. Somit benötigten die Studenten ein breiteres Wissen zur Bearbeitung des Tests. Die Ergebnisse der beiden Tests im Rahmen der Lernsituation II (Frontalunterricht) unterscheiden sich um 12 Prozentpunkte, während sich die Ergebnisse der beiden in der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) durchgeführten Tests um 27,8 Prozentpunkte unterscheiden, was ebenfalls auf einen Unterschied im Schweregrad der Themenstellungen hindeuten könnte. Des Weiteren zeigte der intraindividuelle Vergleich, dass sich die Testergebnisse eines Studienteilnehmers durchschnittlich um ein Drittel unterschieden. Dies kann zum Einen auf die Unterrichtsform, zum Anderen aber auch auf die Themenstellung zurückzuführen sein, wobei einem Studienteilnehmer entweder die eine oder andere Unterrichtsform oder die eine oder andere Themenstellung besser zusagte. Die Studienteilnehmer des ersten Datenerhebungstages sowie die Studienteilnehmer des zweiten Datenerhebungstages erzielten intraindividuell überwiegend im zweiten Seminar (Thema: die Feder) ihr bestes persönliches Ergebnis.

2) Die Studienteilnehmer, bei denen ein Thema als Lernsituation II (Frontalunterricht) gelehrt wurde, erzielten im Test durchschnittlich bessere Ergebnisse als ihre Kollegen, die am parallelen Datenerhebungstag dieses Thema als Lernsituation I (Gruppenpuzzle) behandelt hatten, was sich auch im auf die Lernsituation bezogenen Gesamtdurchschnitt zeigt: In der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) waren die Testergebnisse mit 61,4% um 13,6 Prozentpunkte niedriger als die in der Lernsituation II (Frontalunterricht) mit 75,0%, wobei festzustellen ist, dass lediglich am ersten Datenerhebungstag mittels t-Test ein signikanter Unterschied zwischen den beiden Lernsituationen aufgezeigt werden konnte. Eine denkbare Erklärung wäre, dass der Unterricht des Lehrers

als Experte seines Faches die Studienteilnehmer besser auf den Test vorbereitet als die Erklärung des jeweiligen Experten der Familiengruppe. Dennoch darf aus diesem Ergebnis nicht gefolgert werden, dass die Lernsituation II (Frontalunterricht) zur Wissensvermittlung besser geeignet sei als die Lernsituation I (Gruppenpuzzle), da erstens die Anzahl der Studienteilnehmer für die Verifizierung einer solchen These größer gewählt werden muss und zweitens der Lernerfolg in seiner Vielseitigkeit durch den Test nicht erfasst werden konnte. So wäre ein möglicher Erklärungsansatz, dass in der Lernsituation II (Frontalunterricht) innerhalb des Seminars quantitativ mehr gelernt werden kann, was die Erfolge in schriftlichen Tests insbesondere direkt im Anschluss an das Seminar begünstigt, während die Lernsituation I (Gruppenpuzzle) zum Einen mehr Zeit in der Lernphase und ggf. auch mehr Nachbereitungszeit erfordert. Folglich wäre ein Test direkt nach der Seminarphase kein geeignetes Mittel, den vollen Lernerfolg der Methode des Gruppenpuzzles zu messen, zumal die Befürworter des Gruppenpuzzles betonen, dass durch die Methode neben den fachlichen Inhalten weitere Kompetenzen wie das Präsentieren, Zuhören, Fragen Formulieren, die aktive Durchführung von Versuchen, die Verantwortung für den eigenen Lernerfolg und den Lernerfolg der Gruppe, das Selbstbewusstsein des Einzelnen, die Teamfähigkeit und die Verbesserung des Lernklimas im Zentrum stehen. Diese Kompetenzen wurden in unserem schriftlichen Test nicht erfasst, sodass wir darüber keine Aussagen machen können, jedoch sind insbesondere diese Fähigkeiten im heutigen Berufsleben immer stärker gefragt, sodass auch die sozialen Kompetenzen bei der Bewertung der Lernwirksamkeit berücksichtigt werden sollten.

3) Edlinger und Hascher (2008) betonen den positiven Einfluss von Emotionen auf das Lernverhalten. Weder die psychophysiologischen Daten noch die Fragebögen zur aktuellen Beanspruchung bzw. zum aktuellen Befinden zeigen einen signifikanten Einfluss der Emotionen auf das Testergebnis. Die Korrelation der psychophysiologischen Daten mit der Lernleistung im schriftlichen Testergebnis ergab ebenfalls keine signifikanten Ergebnisse, sodass weitere Studien notwendig sind, um die einzelnen Facetten der Lernwirksamkeit und deren Wirkdauer zu erfassen.

Insgesamt ist folglich keine abschließende Beurteilung hinsichtlich der Lernwirksamkeit bezogen auf das schriftliche Testergebnis unserer Studie möglich, wobei zukünftige Studien durchgeführt und weitere Faktoren berücksichtigt werden sollten, um bessere

Aussagen über die Lernwirksamkeit unterschiedlicher Lehrmethoden treffen zu können: Die behandelten Themen sollten in ihrem Schweregrad sowie die Studiengruppen in ihrem Leistungsniveau ausgewogen sein, um Störfaktoren auszuschließen. Die Studienteilnehmer könnten außerdem zu ihrem persönlichen Lernverhalten befragt werden, um persönliche Präferenzen zu der einen oder anderen Lehrmethode herauszufiltern. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, halten gemäß Slavin (1985) mehrere Autoren eine Abhängigkeit des individuellen Lernerfolges von der individuellen Lehrmethodenpräferenz durchaus für möglich. Außerdem wäre zu überlegen, bei zukünftigen Studien andere Anreize für die Teilnahme an der Studie zu setzen, da durch den Anreiz eines Fehltermines die Motivation der Studienteilnehmer begrenzt sein könnte und insbesondere die Methode des Gruppenpuzzles stark von der Motivation des Einzelnen und des Teams abhängt. Des Weiteren könnten unterschiedliche Testformen (schriftliche, mündliche oder praktische Prüfung) zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach dem Seminar (z.B. direkt im Anschluss an das Seminar, nach einer Woche, nach einem Monat, nach sechs Monaten) die Lernwirksamkeit in ihren Facetten und Dimensionen besser erfassen. Lazarowitz und Kollegen (1985) bekräftigten, dass der Lernerfolg in unterschiedlichen zeitlichen Abständen überprüft werden müsse, um Aussagen über die Lernwirksamkeit treffen zu können.

4.5 Diskussion der Ergebnisse der Korrelationsanalysen in den einzelnen Beobachtungssituationen

Die Erhebung von psychophysiologischen Parametern und die Selbsteinschätzung hinsichtlich des aktuellen Befindens sowie der aktuellen Beanspruchung ist ein sehr interessanter Ansatz: Myrtek und Kollegen (1994) konnten in ihrer Studie mit Lokomotivführern eine Diskrepanz zwischen der Selbsteinschätzung hinsichtlich Stress und den psychophysiologischen Reaktionsmustern zeigen. Myrtek (2004a) betont deshalb, dass die alleinige Beurteilung der Beanspruchung im Alltag mittels Fragebögen ohne psychophysiologische Parameter nicht ausreicht. Deshalb ist es von großer Bedeutung, die psychophysiologischen Daten im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus den Fragebögen und den Leistungstests zu sehen, sodass die einzelnen Parameter miteinander korreliert wurden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen der einzelnen Beobachtungssituationen diskutiert und in einen größeren Kontext gebracht.

Unter allen Bedingungen konnte der physiologische positive Zusammenhang zwischen den beiden Parametern der elektrodermalen Aktivität EDA_TP und SCR_FR in den Korrelationen abgebildet werden. Des Weiteren zeigte sich der physiologische Zusammenhang zwischen HR_FF und MQSD zumindest in den Daten der Ruhe- und der Lernsituation II. Diese erwarteten Korrelationen bestätigen, dass die psychophysiologischen Daten in der realen Lernsituation erfolgreich aufgezeichnet werden konnten.
Höchst interessant, aber auch fragwürdig ist der gezeigte positive Zusammenhang von MQSD und EMO_HR in der Lernsituation I, da dies bedeutet, dass eine niedrige mentale Beanspruchung mit einer hohen emotionalen Beanspruchung einhergeht und umgekehrt. Physiologisch würde man, wie in der Ruhesituation und Lernsituation II gezeigt, eine negative Korrelation von MQSD und HR_FF erwarten, da mit steigender Herzfrequenz eine Abnahme der Herzratenvariabilität einsetzt. Da es sich bei EMO_HR um einen Anteil der Herzratenerhöhung handelt und dementsprechend ebenfalls ein negativer Zusammenhang zu erwarten wäre, ist das in der Lernsituation I gezeigte Ergebnis widersprüchlich. Da es lediglich in einer einzigen Lernsituation nachweisbar war, ist es möglicherweise als Artefakt zu werten und bedarf weiterer Untersuchung. Ebenfalls fragwürdig ist der Zusammenhang von MQSD und SCR_FR während der Unterrichtsphase I3 (Bildung von Expertenteams), da dieses Ergebnis nur vereinzelt in dieser kurzen Unterrichtsphase in nur einer Lernsituation nachweisbar war, sodass ein zufälliger Zusammenhang durchaus zu diskutieren ist.
Interessant ist auch der in der Lernsituation I gezeigte positive Zusammenhang zwischen KAB und HR_FF, denn die Ursache und Richtung dieser Korrelation sind zu hinterfragen: Führt eine Zunahme der aktuellen Beanspruchung zu einer Zunahme der Herzrate oder fühlen sich die Studienteilnehmer durch eine Erhöhung der Herzrate stärker beansprucht? Diesen Aspekt der Beziehung zwischen emotionaler Erregung und physiologischen Veränderungen spricht auch Myrtek (2004b) an: Bewirken - allgemein formuliert - emotionale Zustände physiologische Veränderungen oder rufen physiologische Vorgänge emotionales Empfinden hervor? Oder hängen beide Parameter mit den Aufgabenstellungen der Lernsituation I zusammen, wobei einerseits die Herzrate auf die höhere Bewegungsaktivität in Lernsituation I und die erhöhte Beanspruchung auf die Art der eigenständigen Aufgabenstellung zurückzuführen ist? Da dieser Zusammenhang lediglich in einer Situation zu beobachten war, dürfen wir gespannt sein, was weitere

Studien in dieser Sache zeigen.

Ebenfalls zu hinterfragen ist der Aspekt, dass in der Lernsituation I die emotionale Herzrate negativ mit der Wachheit korreliert ist, denn warum sollte eine hohe emotionale Beanspruchung mit einer geringeren Wachheit assoziiert sein? Auch hier muss auf zukünftige Studien verwiesen werden, um diesen Zusammenhang klären oder verwerfen zu können.

Der positive Zusammenhang beider Parameter der elektrodermalen Aktivität mit der Ausprägung des negativen Gefühls bzw. der negative Zusammenhang mit der Ausprägung des positiven Gefühls im VGZ unter Ruhebedingungen ist sicherlich zu diskutieren. Ein möglicher Erklärungsansatz ist folgender: Die elektrodermale Aktivität nimmt unter Angst, Anspannung, Aufregung und der Verarbeitung neuer Reize zu, sodass dies auf der Ebene der subjektiven Wahrnehmung mit einer Zunahme negativer Gefühle und einer Abnahme positiver Gefühle verbunden sein kann. Interessant ist, dass die Studienteilnehmer diesen Zusammenhang insbesondere unter Ruhebedingungen zeigten, denn ein identischer Effekt war in den Lernsituationen nicht zu verzeichnen. Angesichts der Ergebnisse des VZG-Fragebogens, in der die Studienteilnehmer einen geringen Wert für ihr „negatives Gefühl“ und einen hohen Wert für ihr „positives Gefühl“ im Mittel angegeben haben, ist davon auszugehen, dass die Studienteilnehmer, wie auch der Mittelwert der Elektrodermalen Aktivität zeigt, in der Ruhesituation eher entspannt waren. Im Fragebogen KAB wiederum zeigten die Studienteilnehmer im Durchschnitt die höchste Beanspruchung nach der Ruhesituation, was diesen Ergebnissen zum Teil zu widersprechen scheint. Vielleicht ist diese Beanspruchung Ausdruck eines großen Interesses an den Unterrichtseinheiten und der psychophysiologischen Datenerhebung. Vor diesem Hintergrund ist ebenfalls der negative Zusammenhang zwischen EDA_TP und der Ausprägung des Interesses im VGZ zu werten, da die Studienteilnehmer im Mittel nach der Ruhemessung die größte Ausprägung des Interesses zeigten.

In der Lernsituation II zeigte sich ein positiver Zusammenhang der Elektrodermalen Aktivität mit der Bewegungsaktivität, sodass zu hinterfragen ist, ob die Bewegungsaktivität zu einem vermehrten Schwitzen und folglich zu einer Steigerung der Elektrodermalen Aktivität führt oder ob ein anderer Zusammenhang ursächlich ist.

Der negative Zusammenhang der Bewegungsaktivität mit der VGZ-Ausprägung „Interesse“ war lediglich in der Ruhesituation nachweisbar. Ein Erklärungsversuch ist, dass

bei geringem Interesse mehr „Verlegenheitsbewegungen“ wie z.B. anderes Positionieren auf dem Stuhl unternommen werden bzw. bei hohem Interesse die Studienteilnehmer so gebannt sind, dass sie keinerlei Bewegungen vornehmen. Es ist jedoch zu diskutieren, ob es sich bei diesem Zusammenhang vielleicht um ein Artefakt handeln könnte, da die Studienteilnehmer in der Ruhesituation einerseits ein hohes Interesse bekundet haben und sie andererseits in der Ruhesituation die Vorgabe hatten, sich möglichst kaum zu bewegen. Dies würde erklären, warum das Ergebnis lediglich in der Ruhesituation zustande kam. Dieser Aspekt ist jedenfalls höchst interessant und sollte im Rahmen weiterer Studien miteinbezogen werden.

Offen bleiben muss leider auch die Frage, warum in der Lernsituation I die Bewegungsaktivität negativ mit der Ausprägung des positiven Gefühls korreliert ist. Bewegt man sich aufgrund eines gering ausgeprägten positiven Gefühls mehr oder führt eine vermehrte Bewegungsaktivität zu einem niedrigeren Ausmaß positiver Gefühle? Dieses Ergebnis kann aufgrund der derzeitigen Datenlage nicht völlig erschlossen werden.

Während der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) gab es Unterrichtsphasen, in denen die Studienteilnehmer körperlich aktiver waren, wie z.B. bei der Bildung von Expertenteams, während der Versuchsdurchführung und bei der Rückkehr in die Familie. Da diese nur von kurzer Dauer und geringer Intensität sind, haben wir uns dennoch für die Bewegungsaktivität zur Ermittlung der Additional Heart Rate entschieden. Alternativ hätte man die Erhebung des Atemminutenvolumens, wie in der Studie von Wilhelm und Roth (1998) durchgeführt, zur Ermittlung der Additional Heart Rate in Erwägung ziehen können, um eine emotionale Beanspruchung in Situationen körperlicher Aktivität besser abgrenzen zu können. Dies hätte jedoch in unserer Studie eine gewisse Beeinträchtigung der Studienteilnehmer und der realen Lernsituation bedeutet.

Die Korrelationen hinsichtlich der Fragebögen entsprechen den Erwartungen: Dass KAB, das Maß der aktuellen Beanspruchung, positiv mit der Ausprägung des negativen Gefühls des VGZ korreliert (in der Lernsituation I) bzw. negativ mit der Ausprägung des positiven Gefühls (in der Lernsituation II und in der Ruhesituation), ist nachvollziehbar: Fühlt man sich subjektiv stärker oder schwächer beansprucht, hat dies auch negative oder positive Auswirkungen auf die Emotionen bzw. wie stark man sich aktuell beansprucht fühlt, hängt auch von den aktuellen Emotionen ab: In einer negativen Gefühlslage fühlt man sich stärker beansprucht als in einer positiven. Ein wechselseitiger Einfluss

ist folglich denkbar. In der Ruhesituation konnte ein positiver linearer Zusammenhang zwischen den VGZ-Dimensionen „Positives Gefühl“ und Interesse nachgewiesen werden, wobei auch dies verständliche Reaktionen sind: Ein großes Interesse ist assoziiert mit positiven Gefühlen, ein geringes Interesse mit weniger positiven Gefühlen. Dieser Zusammenhang war leider nicht generalisiert über alle Situationen nachweisbar.
Hinsichtlich des Testergebnisses zeigte sich lediglich ein vager positiver Zusammenhang mit SCR_FR während der Unterrichtsphase II2 (Frontale Versuchsdurchführung und -auswertung). Ein möglicher Erklärungsversuch ist, dass vermehrte unspezifische Hautleitwertreaktionen mit der Verarbeitung neuer Reize sowie Angst, Anspannung und Aufregung einhergehen und durch diese Aktivierung während dieser wichtigen Lernphase ein besseres Testergebnis erzielt werden kann. Da aber im Rahmen dieses Erklärungsansatzes weitere Zusammenhänge (z.B. größeres Interesse, größere Wachheit, erhöhter EDA_TP, etc.) zu erwarten wären, ist der nachgewiesene Zusammenhang eher zu vernachlässigen bzw. muss zunächst in weiteren Studien bestätigt werden.

4.6 Schlussfolgerungen für die Fragestellung

Abschließend sollen die Ergebnisse und die in der Diskussion ausgeführten Aspekte in Hinblick auf unsere Fragestellungen hin untersucht werden:

H1: Es ist möglich, physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen zu messen.
Die erste Hypothese wollte untersuchen, ob reale Lernsituationen für Untersuchungen im Rahmen eines ambulanten Monitorings geeignet sind und sinnvolle physiologische Parameter gewonnen werden können.
Die Hypothese 1 kann bestätigt werden, denn die vorliegende Studie konnte zeigen, dass physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen aufgezeichnet werden konnten, was im Folgenden näher begründet wird:
Erwartete psychophysiologische Zusammenhänge zeigten sich auch in den Daten unserer Studie, wie z.B. die realitätsnahe Zunahme der Bewegungsaktivität und daraus resultierend die Zunahme der Herzrate im Vergleich zwischen den Lagemessungen Sitzen, Stehen und Gehen, die negative Korrelation zwischen der Herzrate und der Herzratenvariabilität sowie der positive Zusammenhang zwischen den beiden Parametern der Elek-

trodermalen Aktivität. Ebenfalls waren Korrelationen zwischen psychophysiologischen Parametern und den Ergebnissen aus den Fragebögen größtenteils logisch nachzuvollziehen, wie z.B. der Zusammenhang zwischen der Höhe der Elektrodermalen Aktivität und der Ausprägung des subjektiven Erlebens positiver und negativer Gefühle. Des Weiteren ließen sich auch logische Verbindungen zwischen den Fragebögen abbilden, wie z.B. der positive Zusammenhang zwischen dem Maß der Beanspruchung und der Ausprägung des negativen Gefühls. Aufgrund der Plausibilität dieser Ergebnisse sind insbesondere diejenigen Ergebnisse interessant, die nicht nur physiologisch zu erklären sind, wie z.B. der positive Zusammenhang zwischen der Elektrodermalen Aktivität und der Bewegungsaktivität oder der positive Zusammenhang zwischen der Herzrate und dem Maß der aktuellen Beanspruchung. Zu der Aussagekraft dieser Ergebnisse, insbesondere in Hinblick auf die Hypothese 2, möchte ich auf den entsprechenden Abschnitt verweisen.

Ein großer Vorteil des Freiburger Monitoring Systems war die Praktikabilität der Technik mit Möglichkeit der Datenaufzeichnung ohne wesentliche Einschränkungen der Studienteilnehmer im Alltag, sodass lebensnahe Fragestellungen untersucht werden können, wie z.B. in dieser Studie während des universitären Unterrichts.

Eine reale Lernsituation war definiert als eine Lernsituation, die nicht gezielt geschaffen wurde, um physiologische Studien durchzuführen, sondern die auch ohne physiologische Untersuchungen mit denselben Kursteilnehmern stattfinden würde. Die im Rahmen unserer Studie untersuchten Lernsituationen erfüllten diese Definition: Bei den Lernsituationen handelte es sich um reguläre Unterrichtseinheiten des Curriculums des Faches Technik im Lehramtsstudiengang der Sekundarstufe I, wobei die Studenten sich freiwillig für einen Termin mit oder ohne psychophysiologische Studienbegleitung anmelden konnten. Die Lernsituationen wurden durch die Datenerhebung kaum verändert: Lediglich die Phasen der Vor- und Nachbereitung (Anbringen und Ablegen der Varioports), das Tragen der Varioports während der Unterrichtseinheiten, die Bearbeitung der Fragebögen sowie die Videoaufzeichnung waren zusätzliche Elemente, die jedoch die Realitätsnähe und den alltäglichen Kontext kaum beeinflusst haben, sodass insgesamt die in der Hypothese 1 genannten Bedingungen sowie die Anforderungen an eine Datenerhebung im Sinne eines ambulanten Settings erfüllt wurden. Unser Setting entsprach folglich durch 1. die Erhebung des subjektiven Erlebens, 2. durch die Erfassung

objektivierbaren Verhaltens und 3. durch die Aufzeichnung physiologischer Vorgänge den Empfehlungen von Fahrenberg und Myrtek (2001) für eine multimodale Mehrebenenanalyse.

H2: Es ist möglich, physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen derart mit der Art der Lernsituation (Jigsaw-Methode vs. Frontalunterricht) zu korrelieren, dass Aussagen über die jeweilige Lernförderlichkeit der betrachteten Lernsituation möglich sind.

Die zweite Hypothese wollte untersuchen, inwiefern sich die Disziplinen der Neurowissenschaften und der Didaktik einander annähern können und inwiefern psychophysiologische Daten eine Beurteilung der Lernwirksamkeit zulassen.

Die Daten der psychophysiologischen Parameter, der Fragebögen und der Tests ergaben einige interessante Aspekte, die einen Unterschied zwischen den beiden Lernsituationen zeigten: Erstens zeigten die Studienteilnehmer im Mittel in der Lernsituation I eine signifikant höhere Bewegungsaktivität als in der Lernsituation II. Zweitens absolvierten die Studienteilnehmer die Tests nach der Lernsituation II durchschnittlich mit einem besseren Ergebnis als nach der Lernsituation I (im t-Test lediglich am ersten Datenerhebungstag signifikant) sowie nach der Unterrichtseinheit mit dem Thema „Feder“ mit einem besseren Ergebnis als nach der Unterrichtseinheit mit dem Thema „Schiefe Ebene“ (im t-Test nicht signifikant), wobei individuelle Faktoren und die Themenstellung einen gewissen Einfluss zeigten und das individuelle Abschneiden von den persönlichen Vorlieben hinsichtlich einer Lernmethode oder eines Themas abhängig zu sein scheint. Drittens unterschied sich die Unterrichtsdauer der einzelnen Lernsituationen in Abhängigkeit von der Themenstellung der Unterrichtseinheit.

Diese Erkenntnisse geben jedoch kaum Rückschluss auf die in der zweiten Hypothese formulierten Fragestellung, sodass diese durch unsere Daten nicht bestätigt werden konnte. Diesbezüglich ist eine Diskussion von großem Interesse: Erstens waren bereits Lazarowitz und Kollegen (1985) der Ansicht, dass sowohl kooperative als auch individualistische Lehrmethoden ihre Vorzüge haben und in ihrer Lernwirksamkeit ähnlich sind. Zweitens muss der Begriff der Lernwirksamkeit und der Lernleistung näher definiert und weiter gefasst werden: Es geht nicht nur um eine reine Wissensvermittlung, sondern auch um das Erlernen sozialer Fähigkeiten (z.B. Team- und Kommunikations-

fähigkeit, Diskussionsbereitschaft, Konfliktlösung, Präsentation), um die Förderung von kreativem und konstruktivem Denken sowie um die Ausbildung der Fähigkeit, das eigene Lernen und Handeln zu planen. Drittens ist zwischen den einzelnen zeitlichen Dimensionen des Gedächtnisses zu unterscheiden: Edlinger und Hascher (2008) weisen darauf hin, dass emotional konnotierte Lerninhalte langfristig erinnert werden. Da die Tests in unserer Studie direkt an die jeweilige Unterrichtseinheit anschlossen, kann lediglich die Speicherung im Kurzzeitgedächtnis überprüft werden, die langfristigen Wirkungen der Lernsituationen auf das Langzeitgedächtnis können aufgrund der Daten unserer Studie nicht beurteilt werden. Deshalb sollten in weiteren Studien die Langzeiteffekte und weitere Lernziele in die Beurteilung der Lernwirksamkeit miteinbezogen werden.

Psychophysiologische Forschung im Sinne eines ambulanten Monitorings hat zwar methodische Grenzen und zeigt Überlagerungseffekte, dennoch besticht diese, wie auch in unserer Studie gezeigt wurde, durch eine lebensnahe Datenerhebung, eine zeitlich genaue Registrierung und eine hohe Compliance, sodass diese zukunftsweisendes Potential inne hat (Fahrenberg 1996, Buse und Pawlik 1996, Fahrenberg und Myrtek 2005, Bussmann et al. 2009). Diese Aspekte der psychophysiologischen Forschung im ambulanten Setting zeigen sich auch in unserer Studie. Sie konnte durchaus zeigen, dass eine Datenerhebung in einer realen Lernsituation praktikabel und lohnenswert sein kann, auch wenn keine stark signifikanten Unterschiede zwischen der Lernsituation I und der Lernsituation II festgestellt werden konnten und nur wenig auf die Lernwirksamkeit der jeweiligen Methode geschlossen werden konnte. Um doch mögliche Unterschiede zwischen diesen Lernmethoden hinsichtlich der Lernwirksamkeit aufzuzeigen, sind weitere Studien notwendig, die mehr Studienteilnehmer mit einem ausgeglicheneren Geschlechter- und Altersverhältnis und eine größere thematische Bandbreite umfassen sollten. Des Weiteren ist ein größerer Unterschied in Inhalt und Umsetzung zwischen Frontalunterricht und Gruppenpuzzle zur besseren Differenzierung dieser Unterrichtsmethoden notwendig, was andererseits auf Kosten der Realitätsnähe gehen würde. Die bisherige Befragung der Studienteilnehmer könnte ergänzt werden um eine weitere Erfassung von Charakteristika der Studienteilnehmer (z.B. hinsichtlich der Vorerfahrungen mit bzw. der Einstellungen zu unterschiedlichen Lernmethoden), eine ereignisgekoppelte Erhebung der Fragebögen oder eine retrospektive standardisierte Befragung zum Studie-

nerleben und zur methodenbedingten Reaktivität. Dies könnte zusätzlich mit weiteren objektiven Verfahren (z.B. Videoauswertung hinsichtlich Gestik und Mimik eines jeden Studienteilnehmers) kombiniert werden. Abschließend ist der Begriff Lernwirksamkeit detaillierter zu definieren und in weitere Teilaspekte aufzuschlüsseln. Diese Aspekte zur Optimierung der Untersuchungsbedingungen für weitere Studien sollten abgewogen werden mit den Möglichkeiten der Zeit-, Kosten-, Personal- und Materialkapazität sowie der Erhaltung einer möglichst realitätsnahen Situation.

Angesichts der stetig wachsenden Anforderungen an das Aus- und Weiterbildungssystem sind Untersuchungen zur Lernwirksamkeit von Lehr- und Lernmethoden von großer Bedeutung, sodass weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet unter alltagsnahen Bedingungen notwendig und zukunftsgerichtet sind.

5 Zusammenfassung

Die Optimierung der individuellen Aus- und Weiterbildung mit vielseitigen Lernzielen (Wissenserwerb, Entwicklung sozialer Fähigkeiten, Förderung von konstruktivem, aber auch kreativem Denken) ist in einer globalisierten, vernetzten und von zunehmenden Unsicherheiten geprägten Welt von zentraler und zukunftsweisender Bedeutung, sodass Erkenntnisse hinsichtlich der Bewertung einzelner Lernmethoden gewonnen und diskutiert werden müssen.

In unserer Studie erfolgten am 09.05.2008 und am 16.05.2008 die Messung von psychophysiologischen Parametern (Herzrate, Herzratenvariabilität, emotionale Herzrate, elektrodermale Aktivität, Bewegungsaktivität) mithilfe von Varioportgeräten und der Software Vitagraf im Sinne des Freiburger Monitoring Systems, die Erhebung psychologischer Daten mithilfe des „Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung“ und des Fragebogens des „Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes“ zur Ermittlung des subjektiven Befindens sowie eine Videoaufzeichnung während realen Lernsituationen (Lernsituation I: Gruppenpuzzle nach der Jigsaw-Methode, Lernsituation II: Frontalunterricht) im Sinne eines Ambulanten Assessments. Das untersuchte Studienkollektiv bestand aus zwölf Studierenden (10 männlich, 2 weiblich) des Faches Technik im Lehramtsstudiengang der Sekundarstufe I der Technischen Universität Dortmund im Alter von 21 bis 40 Jahren. Die Studie sollte zeigen, ob es erstens möglich ist, physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen zu messen (Hypothese 1) und ob es zweitens möglich ist, physiologische Parameter von Lernenden in realen Lernsituationen derart mit der Art der Lernsituation zu korrelieren, dass Aussagen über die jeweilige Lernförderlichkeit der betrachteten Lernsituation möglich sind (Hypothese 2). Neben deskriptiven Auswertungen wurden Varianz- (ANOVA) und Korrelationsanalysen durchgeführt.

Die erste Hypothese konnte durch die Ergebnisse bestätigt werden: Sowohl die Bedingungen einer realen Lernsituation als auch eines Settings im Sinne eines ambulanten Monitorings wurden erfüllt. Erwartete und nachvollziehbare Zusammenhänge zwischen den psychophysiologischen Parametern und den Ergebnissen aus den Fragebögen konnten anhand der Ergebnisse belegt werden, aber auch neue, interessante Zusammenhänge konnten aufgezeigt werden: Die Bewegungsaktivität der Studienteilnehmer war im Mit-

tel in der Lernsituation I signifikant höher als in der Lernsituation II, wobei insbesondere die Unterrichtsphase der selbstständigen Versuchsdurchführung und -auswertung eine sehr bewegungsaktive Phase war. Durchschnittlich erzielten die Studienteilnehmer nach der Lernsituation II bessere Ergebnisse als nach der Lernsituation I, wobei es individuelle Unterschiede gab. Auch wenn diese Erkenntnisse aus den Ergebnissen der Studie interessante Aspekte beinhalten, ist festzustellen, dass es keine relevante Korrelation zwischen den psychophysiologischen Daten und dem Ergebnis des Tests gibt, sodass die Daten unserer Studien keine differenzierten Aussagen über die Lernwirksamkeit der einzelnen Lernsituationen erlauben und die zweite Hypothese leider verworfen werden muss. Diesbezüglich muss diskutiert werden, dass der Begriff der Lernwirksamkeit weiter gefasst und untersucht werden sollte: Neben Tests zur Prüfung des Wissens aus dem Kurzzeitgedächtnis sollten eine Überprüfung des Langzeitgedächntisses, eine Befragung der Studienteilnehmer zu ihrem subjektiven Eindruck hinsichtlich ihres Wissenszuwachses sowie eine Erfassung weiterer Lernziele, wie z.B. die Entwicklung sozialer Kompetenzen, erfolgen, um folglich ein differenziertes Bild über die Lernwirksamkeit zu erhalten.

Die Ergebnisse unserer Studie erlaubten nur begrenzt Rückschlüsse von den psychophysiologischen Daten auf die Lernwirksamkeit, sie haben jedoch gezeigt, dass die Datenerhebung praktikabel ist, dass psychophysiologische Parameter auch in realen Lernsituationen im Sinne eines multimodalen Konzepts gemessen werden können und dass die Ergebnisse Potential haben, in größer angelegten Studien durchaus zu weiteren Erkenntnissen hinsichtlich der Lernwirksamkeit von Lernsituationen zu führen.

6 Literaturverzeichnis

1. Aronson, E. (2013). Jigsaw Classroom. Social Psychology Network. Erschienen auf: http://www.jigsaw.org/, Stand: 11.02.2013

2. Boucsein, W. (2001). Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der dermalen Aktivität. Erschienen in: Rösler, F.: Enzyklopädie der Psychologie, Serie Biologische Psychologie, Band 4, Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. Göttingen: Hogrefe, 551-623.

3. Buse, L., Pawlik, K. (1996). Ambulatory behavioral assessment and in-field performance testing. Erschienen in: Fahrenberg, J., Myrtek, M.: Ambulatory Assessment. Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies. Kirkland, WA: Hogrefe and Huber Publishers.

4. Bussmann, J.B.J., Ebner-Priemer, U.W., Fahrenberg, J. (2009). Ambulatory Activity Monitoring. Progress in Measurement of Activity, Posture, and Specific Motion Patterns in Daily Life. European Psychologist, 14, 142-152.

5. Carroll, D., Turner, J.R., Prasad, R. (1986). The effects of level of difficulty of mental arithmetic challenge on heart rate and oxygen consumption. International Journal of Psychophysiology, 4, 167-173.

6. Deutsch, M. (1949a). A Theory of Co-Operation and Competition. Human Relations, 2, 129-152.

7. Deutsch, M. (1949b). An Experimental Study of the Effects of Co-Operation and Competition upon Group Process. Human Relations, 2, 199-232.

8. Deutsch, M. (1960). The Effect of Motivational Orientation upon Trust and Suspicion. Human Relations, 13, 123-139.

9. Dishman, R.K., Nakamura, Y., Garcia, M.E., Thompson, R.W., Dunn, A.L., Blair, S.N. (2000). Heart rate variability, trait anxiety, and perceived stress among physically fit men and women. International Journal of Psychophysiology, 37, 121-133.

10. Ebner-Priemer, U.W., Kubiak, T., Pawlik, K. (2009). Ambulatory Assessment. European Psychologist, 14, 95-97.

11. Edlinger, H., Hascher, T. (2008). Von der Stimmungs- zur Unterrichtsforschung: Überlegungen zur Wirkung von Emotionen auf schulisches Lernen und Leisten. Unterrichtswissenschaft, 36, 55-70.

12. Eilers, K. (1999). Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität als Indikatoren psychischer Beanspruchung. Zur Reliabilität und Validität von Herzfrequenz- und Herzfrequenzvariabilitätsmaßen als Indikatoren psychischer Beanspruchung bei Daueraufmerksamkeitsbelastungen. Erschienen in der Reihe „Studien zur Arbeits- und Organisationspsychologie“, Band 16. Frankfurt am Main: Peter Lang.

13. Fahrenberg, J. Walschburger, P., Foerster, F., Myrtek, M., Müller, W. (1979). Psychophysiologische Aktivierungsforschung. Ein Beitrag zu den Grundlagen der multivariaten Emotions- und Stresstheorie. München: Minerva.

14. Fahrenberg, J., Walschburger, P., Foerster, F., Myrtek, M., Müller, W. (1983). An Evaluation of Trait, State, and Reaction Aspects of Activation Processes. Psychophysiology, 20, 188-195.

15. Fahrenberg, J., Foerster F, Schneider, H.J., Müller, W., Myrtek, M. (1984). Aktivierungsforschung im Labor-Feld-Vergleich. Zur Vorhersage von Intensität und Mustern psychophysischer Aktivierungsprozesse während wiederholter psychischer und körperlicher Belastung. München: Minerva.

16. Fahrenberg, J., Foerster F, Schneider, H.J., Müller, W., Myrtek, M. (1986). Predictability of Individual Differences in Activation Processes in a Field Setting Based on

Laboratory Measures. Psychophysiology, 23, 323-333.

17. Fahrenberg, J. (1996). Ambulatory assessment: Issues and perspectives. Erschienen in: Fahrenberg, J., Myrtek, M.: Ambulatory Assessment. Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies. Kirkland, WA: Hogrefe and Huber Publishers.

18. Fahrenberg, J., Foerster, F., Müller, W. (1996). Laboratory and field studies for improvement of ambulatory monitoring methodology. Erschienen in: Fahrenberg, J., Myrtek, M.: Ambulatory Assessment. Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies. Kirkland, WA: Hogrefe and Huber Publishers.

19. Fahrenberg, J., Foerster, F, Smeja, M., Müller, W. (1997). Assessment of posture and motion by multichannel piezoresistive accelerometer recordings. Psychphysiology, 34, 607-612.

20. Fahrenberg, J., Foerster, F., Smeja, M. (1998). Kalibrierte Accelerometrie zur kontinuierlichen Erfassung von Körperlage, Bewegungsmustern, Tremor. Forschungsberichte des Psychologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. .

21. Fahrenberg, J., Myrtek, M. (2001). Ambulantes Monitoring und Assessment. Erschienen in: Rösler, F.: Enzyklopädie der Psychologie, Serie Biologische Psychologie, Band 1, Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. Göttingen: Hogrefe, 657-798.

22. Fahrenberg, J. (2001). Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der Herz-Kreislauf-Aktivität. Erschienen in: Rösler, F.: Enzyklopädie der Psychologie, Serie Biologische Psychologie, Band 4, Grundlagen und Methoden der Psychophysiologie. Göttingen: Hogrefe, 317-483.

23. Fahrenberg, J. Myrtek, M. (2005). Psychophysiology in Labor, Klinik und Alltag. 40

Jahre Projektarbeit der Freiburger Forschungsgruppe Psychophysiologie. Kommentare und neue Perspektiven. Erschienen in der Reihe „Psychophysiologie in Labor und Feld“, Band 14. Frankfurt am Main: Peter Lang.

24. Fahrenberg, J., Myrtek, M., Pawlik, K., Perrez, M. (2007a). Ambulantes Assessment - Verhalten im Alltagskontext erfassen. Eine verhaltenswissenschaftliche Herausforderung an die Psychologie. Psychologische Rundschau, 58, 12-23.

25. Fahrenberg, J., Myrtek, M., Pawlik, K., Perrez, M. (2007b). Ambulatory Assessment - Monitoring Behavior in Daily Life Settings. European Journal of Psychological Assessment, 23, 206-213.

26. Feist, A., Stephan, E. (2007). Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes (VGZ). Psychologisches Institut der Universität Köln. Erschienen auf: http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2007/952/pdf/VGZ.pdf.
Stand: 02.02.2012.

27. Foerster, F. (2003). Bio29/30. Ein Programmsystem zur Auswertung von Vitaport-2-Datenfiles: Herz-Kreislauf, Blutdruck, Motorik, Atmung, elektrodermale Aktivität. Stand September 2003. Psychologisches Institut, Forschungsgruppe Psychophysiologie, Belfortstraße 20, 79085 Freiburg i.Br.

28. Goedhart A.D., de Vries, M., Kreft, J., Bakker, F.C., de Geus, E.J.C. (2008). No Effect of Training State on Ambulatory Measures of Cardiac Autonomic Control. Journal of Psychophysiology, 22, 130-140.

29. Graves, N., Graves, T. (1985). Creating a Cooperative Learning Environment. An Ecological Approach. Erschienen in: Slavin, R., Sharan, S., Kagan, S., Hertz-Lazarowitz, R., Webb, C., Schmuck, R.: Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. New York: Plenum Press, 403-436.

30. Heslegrave, R.J., Furedy, J.J. (1983). On the Utility of T-Wave Amplitude: A Reply

to Schwartz and Weiss. Psychophysiology, 20, 702-708.

31. Hijzen, T.H., van der Gugten, J., Bouter, L. (1984). Active and passive coping under different degrees of stess; effects on urinary and plasma catecholamines and ECG-T-wave. Biological Psychology, 18, 23-32.

32. Hijzen, T.H., Slangen, J.F. (1985). The electrocardiogram during emotional and physical stress. International Journal of Psychophysiology, 2, 273-279.

33. Hottenrott, K. (2009). 4. Internationales Symposium Herzfrequenzvariabilität. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 60, 17-30.

34. Johnson, D., Johnson, R. (1985). The Internal Dynamics of Cooperative Learning Groups. Erschienen in: Slavin, R., Sharan, S., Kagan, S., Hertz-Lazarowitz, R., Webb, C., Schmuck, R.: Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. New York: Plenum Press, 103-124.

35. Kagan, S. (1985): Dimensions of Cooperative Classroom Structures. Erschienen in: Slavin R, Sharan S, Kagan S., Hertz-Lazarowitz, R., Webb, C., Schmuck, R.: Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. New York: Plenum Press, 67-96.

36. Lazarowitz, R., Baird, J.H., Hertz-Lazarowitz, R., Jenkins, J. (1985). The Effects of Modified Jigsaw on Achievement, Classroom Social Climate, and Self-Esteem in High-School Science Classes. Erschienen in: Slavin, R., Sharan, S., Kagan, S., Hertz-Lazarowitz, R., Webb, C., Schmuck, R.: Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. New York: Plenum Press, 231-248.

37. Manske, J. (2007). Die Beanspruchung von Schülern während des Schulunterrichts und in der Freizeit unter Berücksichtigung der Bewegungsaktivität: eine psychophysiologische Feldstudie. Medizinische Doktorarbeit, Universität Ulm.

38. Meshkati, N. (1988). Heart rate variability and mental workload assessment. Er-

schienen in Hancock, P.A., Meshkati, N.: Human mental workload. Erschienen in der Reihe „Advances in Psychology“, Band 52. Amsterdam: Elsevier, 101-115.

39. Mittag, H.J. (2011). Statistik. Eine interaktive Einführung. Heidelberg: Springer.

40. Müller, B., Basler, H.D. (1993). Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung. Weinheim: Beltz.

41. Myrtek, M., Spital, S. (1986). Psychophysiological Response Patterns to Single, Double and Triple Stressors. Psychophysiology, 23, 663-671.

42. Myrtek, M., Deutschmann-Janicke, E., Strohmaier, H., Zimmermann, W., Lawerenz S., Brügner, G., Müller, W. (1994). Physical, mental, emotional, and subjective workload components in train drivers. Ergonomics, 37, 1195-1203.

43. Myrtek, M., Brügner, G. (1996). Perception of emotions in everyday life: studies with patients and normals. Biological Psychology, 42, 147-164.

44. Myrtek, M., Brügner, G., Müller, W. (1996a). Interactive monitoring and contingency analysis of emotionally induced ECG changes: Methodology and applications. Erschienen in: Fahrenberg, J., Myrtek, M.: Ambulatory Assessment. Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies. Kirkland, WA: Hogrefe and Huber Publishers.

45. Myrtek, M., Brügner, G., Müller, W. (1996b). Validation studies of emotional, mental, and physical workload components in the field. Erschienen in: Fahrenberg, J., Myrtek, M.: Ambulatory Assessment. Computer-Assisted Psychological and Psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies. Kirkland, WA: Hogrefe and Huber Publishers.

46. Myrtek, M., Weber, D., Brügner, G., Müller, W. (1996c). Occupational stress and strain of female students: results of physiological, behavioral, and psychological moni-

toring. Biological Psychology, 42, 379-391.

47. Myrtek, M., Foerster, F., Brügner, G.(2001). Freiburger Monitoring System (FMS): ein Daten-Aufnahme- und Auswertungs-System für Untersuchungen im Alltag. Erschienen in der Reihe „Psychophysiology in Labor und Feld“, Band 9. Frankfurt: Peter Lang.

48. Myrtek, M. (2004a). Ambulatory Psychophysiological Monitoring of Stress and Strain. Journal of Psychophysiology, 18, 199.

49. Myrtek, M. (2004b). Heart and Emotion. Ambulatory Monitoring Studies in Everyday Life. Washington/Göttingen: Hogrefe and Huber.

50. Myrtek, M. (2005). Basic features of the Freiburg Monitoring System (FMS). Erschienen auf: http://www.ambulatory-assessment.org/, Stand: 02.02.2012

51. Myrtek, M., Aschenbrenner, E., Brügner, G. (2005). Emotions in everyday life: an ambulatory monitoring study with female students. Biological Psychology, 68, 237-255.

52. Prill, T., Fahrenberg, J. (2007). New methods in ambulatory blood pressure monitoring: Interactive monitoring and detection of posture and movement patterns. Behavior Research Methods, 39, 390-398.

53. Rohbeck, C.H. (2007). Emotionale Beanspruchung von Schülern während der Schulzeit und in der Freizeit unter Berücksichtigung des Medienverhaltens: Eine psychophysiologische Feldstudie. Medizinische Doktorarbeit, Universität Ulm.

54. Rohmert, W., Rutenfranz, J. (1975). Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

55. Scher, H., Furedy, J.J., Heslegrave, R.J. (1984). Phasic T-Wave Amplitude and

Heart Rate Changes as Indices of Mental Effort and Task Incentive. Psychophysiology, 21, 326-333.

56. Schmuck, R.(1985). Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. Basic Concepts. Erschienen in: Slavin, R., Sharan, S., Kagan, S., Hertz-Lazarowitz, R., Webb, C., Schmuck, R.: Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. New York: Plenum Press, 1-4.

57. Sherwood, A., Girdler, S.S., Bragdon, E.E., West, S.G., Brownley, K.A., Hinderliter, A.L., Light, K.C. (1997). Ten-year stability of cardiovascular responses to laboratory stressors. Psychophysiology, 34, 185-191.

58. Slavin, R.(1985): An Introduction to Cooperative Learning Research. Erschienen in: Slavin, R., Sharan, S., Kagan, S., Hertz-Lazarowitz, R., Webb, C., Schmuck, R.: Learning to Cooperate, Cooperating to Learn. New York: Plenum Press, 5-15.

59. Steptoe, A., Moses, J., Mathews, A., Edwards, S. (1990). Aerobic fitness, physical activity, and psychophysiological reactions to mental tasks. Psychophysiology, 27, 264-274.

60. Strasser, H. (1982). Arbeitswissenschaftliche Methoden der Beanspruchungsermittlung. Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin, Band 69. Stuttgart: Gentner.

61. Wilhelm, F.H., Roth, W.T. (1998). Using minute ventilation for ambulatory estimation of additional heart rate. Biological Psychology, 49, 137-150.

62. Wilson, G.F., O'Donnell, R.D. (1988). Measurement of operator workload with the neuropsychological workload test battery. Erschienen in Hancock, P.A., Meshkati, N.: Human mental workload. Erschienen in der Reihe „Advances in Psychology", Band 52. Amsterdam: Elsevier, 63-100.

A Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB)

"Jetzt fühle ich mich ..."

	sehr	ziemlich	eher	eher	ziemlich	sehr	
angespannt							gelassen
gelöst							beklommen
besorgt							unbekümmert
entspannt							unruhig
skeptisch							vertrauensvoll
behaglich							unwohl

B Fragebogen des Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes

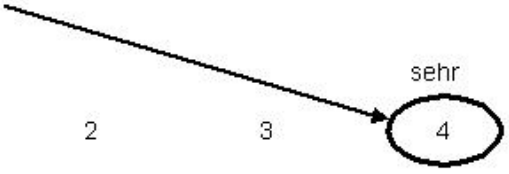
VP-Nr.: **Zeitpunkt:**

Wie geht es dir jetzt im Moment?

Hier ist eine Reihe von Wörtern, die verschiedene Gefühle beschreiben.

Bitte kreuze bei jedem Wort die Zahl an, die dich im Moment am besten beschreibt.

Beispiel: Wenn du dich sehr wohl fühlst, so **kennzeichne** bitte die Zahl 4



	gar nicht				sehr
wohl	0	1	2	3	4

		gar nicht				sehr
1.	gedrückt	0	1	2	3	4
2.	fröhlich	0	1	2	3	4
3.	fasziniert	0	1	2	3	4
4.	ruhig	0	1	2	3	4
5.	müde	0	1	2	3	4
6.	unzufrieden	0	1	2	3	4
7.	gut	0	1	2	3	4
8.	interessiert	0	1	2	3	4
9.	nervös	0	1	2	3	4
10.	schläfrig	0	1	2	3	4
11.	unwohl	0	1	2	3	4
12.	glücklich	0	1	2	3	4
13.	desinteressiert	0	1	2	3	4
14.	unruhig	0	1	2	3	4
15.	wach	0	1	2	3	4

C Test zum Thema „Schiefe Ebene“

technische universität dortmund

lehrstuhl technik und ihre didaktik

Test Ebene

Teilnehmer:

Hinweis: Bei Ankreuzaufgaben ist nur eine Lösung richtig

1) Nennen Sie zwei Alltagsanwendungen für schiefe Ebenen:

2) Welche Arten von Reibung kennen Sie? Nennen Sie mindestens drei:

3) Sie lassen verschiedene Rollkörper die schiefe Ebene herunterrollen. In welcher Reihenfolge erreichen sie das Ziel?

- ☐ der Rollkörper mit dem kleinsten Trägheitsmoment erreicht das Ziel als erstes
- ☐ der Rollkörper mit dem größten Trägheitsmoment erreicht das Ziel als erstes
- ☐ alle Rollkörper erreichen gleichzeitig das Ziel

4) Was ist das Trägheitsmoment?

- ☐ Trägheit eines starren Körpers gegenüber der Änderung seiner Bewegungsrichtung
- ☐ Trägheit eines starren Körpers gegenüber einer Änderung seiner Rotationsbewegung
- ☐ Die langsame Änderung des Drehmomentes bei einem starren Körper

6) Berechnen Sie das Drehmoment für einen Hohlzylinder mit 30mm Durchmesser und 3mm Wandstärke.

Formel Hohlzylinder: $J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_2^2 + r_1^2)$

7) Die Autos haben folgende potentielle Energie, bei welchem Auto ist sie am größten?

- ☐ Auto 1; $E_{potentiell} = 5{,}63 \cdot 10^{-3}$ J
- ☐ Auto 2; $E_{potentiell} = 0{,}00282$ J
- ☐ Auto 3; $E_{potentiell} = 76{,}41 \cdot 10\text{-}4$ J

D Test zum Thema „Feder“

technische universität dortmund

lehrstuhl technik und ihre didaktik

Test Feder

Teilnehmer:

Hinweis: Bei Ankreuzaufgaben ist nur eine Lösung richtig

1) Nennen Sie 3 unterschiedliche Anwendungsgebiete für Federn im Alltag

2) Welche der folgenden Aussagen stimmen?

- ☐ Unterschiedlich große Lasten verlängern Federn um unterschiedliche Längen.
- ☐ Halbe Last bedeutet doppelte Verlängerung.
- ☐ Die Federkonstante verkleinert sich, je mehr Last an der Feder hängt
- ☐ Das Hooke‘sche Gesetz gilt oft nicht im gesamten Verlauf eines Kraft-Verlängerungsdiagramms
- ☐ Die Federkonstante ist für alle Federn des gleichen Werkstoffes identisch

3) Bestimmen Sie anhand der Tabellenwerte jeweils die Federkonstante c und deren Mittelwert
→ $F = c \cdot \Delta x$

Kraft F [N]	**Verlängerung Δx [cm]**	**Federkonstante c**
0	0	
2	1,1	
4	2,4	
6	4	

4) Skizzieren sie ein Kraft-Verlängerungsdiagramm einer Feder (inkl. Beschriftung!) und machen sie die Hooke‘sche Gerade kenntlich.

E Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1 Aufschlüsselung der Herzrate 21
2 Schematische Darstellung der Herzratenvariabilität 22
3 Die Positionierung der Elektroden und Sensoren zur Messung der psychophysiologischen Parameter 23
4 Schematische Darstellung der Elektrodermalen Aktivität 24
5 Graphische Darstellung der psychophysiologischen Daten in BIO 29/30 35
6 Beschreibung der Studienteilnehmer 38

Tabellenverzeichnis

1 Die erhobenen Parameter 20
2 Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung - Auswertung 26
3 Verfahren zur Erfassung des Gefühlszustandes - Auswertung 28
4 Die Phasen der Lernsituation I (Gruppenpuzzle) 29
5 Die Phasen der Lernsituation II (Frontalunterricht) 30
6 Der zeitliche Ablauf der Studientage 32
7 Segmentierung der Daten 36
8 Unterrichtsdauer 39
9 Mittelwerte und Standardabweichungen der psychophysiologischen Daten 41
10 Varianzanalyse des Parameters Herzrate HR_FF 42
11 Varianzanalyse des Parameters EDA_TP (tonische Komponente der Elektrodermalen Aktivität) 44
12 Varianzanalyse des Parameters SCR_FR (unspezifische Reaktionen der Elektrodermalen Aktivität) 45
13 Varianzanalyse des Parameters Bewegungsaktivität ACT_F 47
14 Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung - Beanspruchungsindex . 48
15 Auswertung des „Verfahrens zur Erfassung des Gefühlszustandes“ (VGZ) 50
16 Die Testergebnisse im Vergleich 52
17 Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse 54

F Danksagung

Dem Ärztlichen Direktor der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie III des Universitätsklinikum Ulm Herrn Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer danke ich für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, diese Arbeit am Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen (ZNL) anzufertigen. Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Thomas Kammer danke ich für die Planung der technischen und inhaltlichen Voraussetzungen, die fachliche Betreuung und kritische Prüfung der Dissertation. Bei Frau Dr. Katrin Hille, Diplompsychologin und Forschungsleiterin am ZNL, bedanke ich mich für die Koordination der Forschungsarbeit und die Mitgestaltung der Doktorandenseminare. Ein großes Dankeschön gebührt Frau Dr. Judith Streb, Diplompsychologin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am ZNL, für ihre exzellente Betreuung, ihre Diskussionsbereitschaft und fachliche Anleitung bei der Durchführung dieser Studie und der statistischen Auswertung der erhobenen Daten.

Ich danke unseren Kooperationspartnern beim Lehrstuhl Technik und ihre Didaktik an der Technischen Universität Dortmund für die Möglichkeit, diese Studie in einer realen Lernsituation durchführen zu können, wobei ich insbesondere Herrn Prof. Dr. phil. habil. Bernd Ott, Herrn Dipl.-Ing. C. Benjamin Nakhosteen und Herrn Dipl.-Ing. Roland Hirsch namentlich hervorheben möchte. Bei allen Studienteilnehmern bedanke ich mich für ihre Mitarbeit, ihr Interesse und ihre Aufgeschlossenheit.

Abschließend möchte ich meinen Eltern dafür danken, dass sie mir diesen Lebensweg ermöglicht und mich begleitet haben. Ein herzliches Dankeschön gilt meinem Mann Simon Sachs, der mein Leben bereichert, mich in allen Lebensfragen unterstützt und mir die Kraft für alle Herausforderungen gibt. Ich bedanke mich bei Maria Wagner, Doktorandin in der Arbeitsgruppe „Ambulantes Assessment - Lernen und Emotion“ am ZNL für ihre Freundschaft und den gedanklichen Austausch. Meinen Freunden danke ich für ihre motivierende Begleitung.

G Lebenslauf

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes in der Online-Version gekürzt.

Geboren 1984 in Göppingen

2010 Studienabschluss in Humanmedizin an der Universität Ulm

2010 Approbation als Ärztin

2010 Bachelor of Arts in Philosophie an der Universität Ulm