

# **Adressatengerechtes Unterrichten mit dem Just-in-Time Teaching - Verfahren**

## **DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Philosophie  
Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften,  
Universität Koblenz-Landau  
Campus Landau  
vorgelegt

am 12.5.2009

von Thomas Poth

geb. am 20.9.1966 in Würzburg

Referent: Prof. Dr. Andreas Müller

Koreferent: Prof. Dr. Wieland Müller



*Meiner Frau Ruth und meinem Sohn Jonathan*

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Just-in-Time - Verfahren ist ein neues Unterrichtskonzept aus den USA (auch in D schon z.T. eingesetzt), bei dem ein oder zwei Tage vor der Unterrichtsstunde Fragen hauptsächlich zu qualitativem und konzeptuellem Verständnis an die SchülerInnen gestellt und von diesen per eMail beantwortet werden. Aus den Lösungen wird dann von der Lehrkraft eine Folie mit falschen und richtigen Vorschlägen erstellt (i.a. anonym), die dann in der Klasse diskutiert werden. Die besonderen Vorteile des Verfahrens sind:

- Adaptiver Unterricht mit kurzfristiger („just-in-time“) Reaktionsmöglichkeit auf Präkonzepte und andere Lernschwierigkeiten;
- Förderung der Selbsttätigkeit und Eigenverantwortung für die eingesendeten Beiträge;
- Schaffung einer schriftlichen (eMail-Beitrag) und mündlichen (Diskussion) Gelegenheit zur Spracharbeit an fachlichen Inhalten.

### Das Lernarrangement

Die über Webservice verfügende Lehrkraft lädt eine themenrelevante Aufgabe ins Internet. Diese Aufgabe ist von den SchülerInnen ihres Kurses am Computer zu Hause zu bearbeiten; die Bearbeitung wird über ein Formularfenster als Mail an die Lehrkraft gesendet.

Mit den Statements ihrer SchülerInnen im Kopf begibt sich die Lehrkraft nun an die Planung der folgenden Unterrichtsstunde: Insbesondere werden die interessantesten Statements auf TLP-Folie kopiert. Sie bilden den roten Faden der in Planung befindlichen Unterrichtsstunde.

Die Schülerantworten sind also zum einen Planungsgrundlage für die folgende Unterrichtsstunde, zum anderen werden sie zu einem besonderen Unterrichtsmedium des JiTT-Verfahrens (Folie o.ä. mit den interessantesten Statements).

Der Unterrichtsverlauf enthält Phasen, in denen die Schülersaussagen gelesen, erörtert und diskutiert werden sowie Phasen, in denen die Gruppe mit üblichen Unterrichtsmedien und -methoden (Arbeitsblätter, Versuche) arbeitet.

Im Idealfalle reduziert sich die Rolle des Lehrers in der Diskussionsphase auf die eines Moderators.

## Fachdidaktische und instruktionspsychologische Begründung

JiTt kann als besondere Form des Adaptiven Unterrichts aufgefasst werden: Der Lehrkraft ist es möglich, insbesondere auf vorhandene Präkonzepte und andere Lernschwierigkeiten in adäquater Form zu reagieren und ihren Unterricht zu gestalten.

Das Verfahren kann des Weiteren auf der Ebene der Motivation wirksam sein, indem Selbstbestimmung (Mitgestaltung des Unterrichtes!) und soziale Einbindung (Diskussion der Schülerbeiträge in der Gruppe!) in besonderer Weise gefördert und gefordert werden. Selbstbestimmung und soziale Einbindung sind aber (zusammen mit Kompetenz) Hauptfaktoren in einer der führenden Theorien der Motivationspsychologie (Selbstbestimmungstheorie nach DECI & RYAN).

## Bemerkungen zum Design der Feldstudie

In den Hauptteil der Feldstudie des Projektes zur Evaluation des Verfahrens waren zwei Physik-Leistungskurse eines rheinland-pfälzischen Gymnasiums (Teilgebiete „Mechanik“ und „Elektrodynamik“) eingebunden, ein Ergänzungsteil wurde im Rahmen einer Mechanik-Vorlesung des Lehramtsstudiums Physik an einer rheinland-pfälzischen Universität realisiert. Das erhobene Datenmaterial wurde insbesondere mit Hilfe des Verfahrens der multivariaten, hierarchischen Regressionsanalyse evaluiert.

## Ergebnis der Feldstudie und Diskussion

Ein relevanter Effekt des JiTT-Verfahrens auf die *Performanz* der Lernenden kann nicht nachgewiesen werden. Im Hinblick auf mögliche Erklärungsmuster erscheinen folgende Aspekte von Bedeutung:

- Im Zuge der adäquaten Berücksichtigung von Schülervorstellungen ist es ausreichend, die „Mainstream-Päkonzepte“ der Lernenden zu kennen. Detailliertes Wissen führt zu keinem signifikant erfolgreicherem Unterricht;
- Die vergleichsweise offen gestalteten JiTT-Phasen des Unterrichts scheinen insbesondere die leistungsschwächeren Lernenden zu überfordern;

- Ein eventuell doch vorhandener, auf JiTT zurückführbarer Einfluss auf die Performanz wird durch die Effizienz des im Unterricht eingesetzten methodischen Werkzeugs der Modellbildung überdeckt.

Im Hinblick auf die *motivationalen Einstellungen* der Lernenden erscheint bemerkenswert, dass man in JiTT zwar durchaus eine Bereicherung für den Unterricht sieht, dem gewachsenen zeitlichen Druck sowie den erweiterten Kontrollmöglichkeiten seitens der Lehrkraft jedoch kritisch gegenübersteht. Somit ist zweifelhaft, ob es durch den Einsatz des Verfahrens tatsächlich zu einer Verstärkung der autonom regulierten Varianten der Motivation kommt.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>KAPITEL 1:</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>KAPITEL 2:</b>	<b>THEORIE UND FORSCHUNGSSTAND .....</b>	<b>4</b>
2.1	Das Just-in-Time Teaching-Verfahren .....	4
2.1.1	Problematik.....	4
2.1.2	Just-in-Time Teaching im Kontext aktueller physikdidaktischer Entwicklungen.....	6
2.2	Die JiTT-Aufgabentypen .....	8
2.2.1	WarmUps und Puzzles.....	8
2.2.2	Problemlöseaufgaben und Gedankenexperimente .....	9
2.3	Reciprocal Teaching .....	18
2.3.1	Lernen durch Lehren.....	18
2.3.2	Reciprocal Teaching: Stand der Forschung .....	19
2.4	Selbstreguliertes Lernen .....	20
2.4.1	Begriffsbestimmung .....	20
2.4.2	Kognitive Lernstrategien .....	21
2.4.3	Metakognitive Lernstrategien .....	21
2.4.4	Metakognitive Lernstrategien: Stand der Forschung.....	22
2.4.5	Motivationale Präferenzen .....	23
2.4.6	Selbstbestimmungstheorie von DECI & RYAN: Überblick .....	23
2.4.7	Selbstbestimmungstheorie: Stand der Forschung .....	27
2.5	Adaptiver Unterricht .....	29
2.5.1	Facetten Adaptiven Unterrichts.....	29
2.5.2	Mikro-Adaption.....	29
2.6	Vorwissen und Physiklernen .....	31
2.6.1	Die Bedeutung des Vorwissens für den Lernprozess.....	31
2.6.2	Vorwissen und Lernen - Stand der Forschung.....	32
2.6.3	Präkonzepte.....	33
2.6.4	Präkonzepte aus den Bereichen Mechanik / Elektrizitätslehre.....	35
2.6.5	Epistemologische Präkonzepte.....	37
2.6.6	Umgang mit Präkonzepten im Unterricht .....	37
2.7	Situiertes Lernen .....	40

2.7.1	Transferleistungen .....	40
2.7.2	Kognitive Lerntheorie, Behaviorismus und situierte Ansätze .....	40
2.7.3	Modelle situierten Lernens .....	41
2.7.4	Stand der Forschung: Situiertes Lernen.....	42
2.8	Gesprochene und geschriebene Sprache.....	47
2.8.1	Medium und Konzeption von Sprache .....	47
2.8.2	Äußerungsformen im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit beziehungsweise Schriftlichkeit .....	48
2.9	Geschlechtsspezifische Stile beim Physiklernen .....	50
2.9.1	Psychologische Ursachen geschlechtsspezifischer Charakteristika ...	50
2.9.2	Stand der Forschung: Geschlechtsspezifische Profile im sprachlichen und mathematisch – naturwissenschaftlichen Bereich.....	51
2.10	Empirische Evaluationen zum JiTT - Verfahren .....	56
2.10.1	Feldversuche an der Indiana University Purdue University in Indianapolis (IUPUI).....	56
2.10.2	Das “One - Minute Paper” .....	60
2.10.3	Das JiTT-Verfahren im Ökonomie-Unterricht der North Carolina Agricultural and Technical State University.....	62
2.10.4	Das JiTT – Verfahren im Geologie – Unterricht der Western Washington University (WWU).....	65
2.10.5	Just-in-Time Teaching und Eric Mazurs Peer Instruction (PI) .....	67
2.10.6	Überblick über weitere Evaluationsbemühungen .....	68
2.10.7	JiTT – Evaluationen: Abschließende Bemerkungen.....	70
<b>KAPITEL 3: HAUPTSTUDIE - JITT IN DER GYMNASIALEN OBERSTUFE .....</b>		<b>71</b>
3.1	Hypothesen der Interventionsstudie.....	71
3.1.1	Wirkungsgefüge - Modell .....	71
3.1.2	Theoretische Begründung der im Wirkungsgefüge vermuteten Zusammenhänge .....	73
3.2	Material und Methoden .....	80
3.2.1	Stichprobe .....	80
3.2.2	Instruktionsmaterial .....	81
3.2.3	Design und Interventionsablauf.....	83
3.2.3.1	Beschreibung des Unterrichtsganges .....	83

3.2.3.2	Beschreibung des JiTT-Einsatzes.....	84
3.2.3.3	Beschreibung einer JiTT-Stunde im Bereich „Mechanik“ .....	85
3.2.3.4	Beschreibung einer JiTT-Stunde im Bereich „Elektrodynamik“ ....	87
3.2.4	Instrumente .....	89
3.2.5	Statistische Auswertungsverfahren .....	94
3.2.5.1	Statistische Modellierung der vermuteten Kausalbeziehungen....	94
3.2.5.2	Bestimmung von Zusammenhangsmaßen.....	98
3.2.6	Auswertungsprozedere .....	99
3.2.6.1	Ordinary-Least-Squares - Verfahren, LOWESS-Verfahren, Suppressoreffekte.....	99
3.2.6.2	Inferenzstatistische Analysen.....	102
3.2.7	Zeitplan .....	105
3.3	Auswertung „Mechanik“ .....	107
3.3.1	Struktur der Auswertung .....	107
3.3.2	Regression der Nachtestscores Mechanik (Lernergebnis): FCI; FKB; FCI/FKB (gemittelt) .....	108
3.4	Auswertung „Elektrodynamik“ .....	143
3.4.1	Struktur der Auswertung .....	143
3.4.2	Regression der Nachtestscores Elektrodynamik (Performanz): KTE; ECCE I, ECCE II, CSE, CSM.....	144
3.5	Auswertung „motivationale Einstellungen zum JiTT-Verfahren“ .....	176
<b>KAPITEL 4:</b>	<b>ERGÄNZUNGSSTUDIE - JITT IM LEHRAMTSSTUDIUM .....</b>	<b>184</b>
4.1	Hypothesen der Interventionsstudie.....	184
4.2	Material und Methoden .....	186
4.2.1	Stichprobe.....	186
4.2.2	Instruktionsmaterial .....	187
4.2.3	Design und Interventionsablauf.....	187
4.2.3.1	Beschreibung des Vorlesungsganges.....	187
4.2.3.2	Beschreibung des JiTT-Einsatzes.....	188
4.2.4	Instrumente .....	188
4.2.5	Statistische Auswertungsverfahren .....	189
4.2.5.1	Statistische Modellierung der vermuteten Kausalbeziehungen...	189
4.2.5.2	Bestimmung von Zusammenhangsmaßen.....	190

---

4.2.6	Auswertungsprozedere .....	190
4.2.7	Zeitplan .....	191
4.3	Auswertung „Mechanik“ .....	192
4.3.1	Struktur der Auswertung .....	192
4.3.2	Regression der Nachtestscores Mechanik (Performanz) .....	193
4.4	Auswertung „motivationale Einstellungen zum JiTT-Verfahren“ .....	218
<b>KAPITEL 5:</b>	<b>RESÜMEE .....</b>	<b>223</b>
5.1	Zusammenfassung und Diskussion .....	223
5.1.1	Resultate der Hauptstudie .....	223
5.1.1.1	Effizienz des JiTT-Verfahrens (Performanz) .....	224
5.1.1.2	Einfluss des Vorwissens .....	226
5.1.1.3	Einfluss der (allgemeinen) Motivation .....	226
5.1.1.4	Einfluss des Geschlechts .....	227
5.1.1.5	Einfluss der Sprachkompetenz .....	227
5.1.1.6	Motivationale Einstellungen zu JiTT .....	227
5.1.2	Resultate der Ergänzungsstudie .....	228
5.1.2.1	Effizienz des JiTT-Verfahrens (Performanz) .....	228
5.1.2.2	Einfluss Vorwissen, Motivation, Geschlecht .....	229
5.1.2.3	Motivationale Einstellungen zu JiTT .....	229
5.2	Ausblick .....	230
<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>232</b>	
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>233</b>	
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>236</b>	
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>245</b>	
<b>LEBENS LAUF .....</b>	<b>258</b>	
<b>ERKLÄRUNG .....</b>	<b>260</b>	
<b>ANHANG .....</b>	<b>261</b>	

## KAPITEL 1: EINLEITUNG

Naturwissenschaftliche Disziplinen, insbesondere die Physik, leiden seit Jahren unter einem immer massiver werdenden Interessensschwund seitens der Schüler<sup>1</sup> - ein Umstand, der angesichts der Abhängigkeit unseres materiellen Wohlstandes von gut ausgebildeten Facharbeitern in diesen Bereichen nachdenklich stimmt. Auf der Suche nach möglichen Ursachen für diese Misere wird man auf psychologischem Terrain fündig: Das Fehlen einer adäquaten motivationalen Einstellung kann häufig auf mangelndes *Autonomie-* beziehungsweise *Kompetenzempfinden* der Lernenden zurückgeführt werden (siehe EILKS et al., 2004, S. 198). In diesem Kontext ist daher zu fordern, dass die Lehrkraft den Lernenden „dort abholt, wo er sich im Hinblick auf seine deklarativen und prozeduralen Fähigkeiten gerade befindet“: Ein Unterricht, der dieser Anforderung nicht genügt, sollte sich offensichtlich sehr kontraproduktiv auf die Interessenslage auswirken, Frustration und Lustlosigkeit begünstigen. BAUMERT sieht in der adäquaten Anpassung des Instruktionsprozedere an individuelle Lernvoraussetzungen ein grundlegendes Qualitätskriterium für gelingenden Unterricht (Baumert et al., 2003). Des weiteren könne Schule nur dann erfolgreich sein, wenn in einer positiven, sozialen Atmosphäre gelebt und gearbeitet würde. HELMKE spricht sich in seinen zehn Merkmalen qualitativ hochwertigen Unterrichts unter anderem für eine verbesserte Schülerorientierung sowie einen effizienteren Umgang mit heterogenen Schülermerkmalen aus (HELMKE ET AL., 2007, S. 531) und betont in diesem Zusammenhang die Bedeutung der Fähigkeit der Lehrkraft, Statements und Verhaltensweisen der Lernenden auf professionelle Weise beurteilen und verwerten zu können. Der Bildungsforscher mahnt neue Formen pädagogischer Diagnostik an, ein Vorstoß, der angesichts des real existierenden Schulalltags in besonderem Maße unterstützenswert erscheint: Es darf wohl bezweifelt werden, dass ein Lehrer nach fünf Stunden erteilten Unterrichts (und all der damit verbundenen Hektik) noch in der Lage ist, auf ausgeprägt durchdachte und konstruktive Weise mit solchen Schülervorstellungen umzugehen, die im Zuge der Unterrichtsplanung nicht berücksichtigt wurden. Solche Situationen zwingen zur Improvisation, letztlich mit oftmals fragwürdigem Erfolg.

---

<sup>1</sup> In dieser Arbeit werden stets anstelle von Doppelbezeichnungen die Personen und Funktionsbezeichnungen in männlicher Form verwendet, stehen aber jeweils für die weibliche und männliche Form.

Das in den Vereinigten Staaten entwickelte *Just-in-Time Teaching (JiTT)* stellt in diesem Kontext ein faszinierendes Instrument zur Abhilfe dar: Moderne Informationstechnologien nutzend, gelingt es der Lehrkraft im Vorfeld des Unterrichts, auf Schülerseite vorhandene, themenbezogene Präkonzepte in Erfahrung zu bringen. Mit diesem Wissen ausgestattet, sollte es im Zuge der nun beginnenden Unterrichtsplanung gelingen, einen auf die Bedürfnisse der Lernenden zugeschnittenen Unterricht zu kreieren. Die Einbindung von via Mail an die Lehrkraft gesandten Schülerstatements in den Instruktionengang nährt gleichermaßen die Hoffnung, die Lernenden in besonderem Maße in das Prozedere einzubinden und deren Autonomie- und Kompetenzermpfinden zu stärken. Der Einsatz eines besonderen Aufgabentyps, der von den Schülern zu bearbeiten ist, sollte im Kontext des JiTT-Verfahrens zu einem intensivierte Einsatz höherwertiger, kognitiver und metakognitiver Strategien führen und dadurch dem Unterrichtsoutput zugute kommen. JiTT erfordert ein höheres Maß an Sprachkompetenz, weshalb die Annahme nicht unbegründet erscheint, dass Lernende weiblichen Geschlechts in besonderer Weise von diesem Konzept profitieren.

Obwohl sich das Just-in-Time Teaching - Verfahren im Laufe dieses Jahrzehnts weltweit wachsender Beliebtheit erfreute und nicht unerhebliche Fördergelder in die Implementierung des Konzeptes an vielen Institutionen geflossen sind, ist zu konstatieren, dass es gegenwärtig keinen statistisch belastbaren Beleg für die Effizienz von JiTT gibt. In diesem Zusammenhang formulierte die *National School Boards Association* folgende Kritik am allzu euphorischen Umgang mit dem Ansatz:

“Like many innovations, though, especially in educational technology, JiTT’s implementation has rapidly outpaced a) theoretical specification of the strategy; b) a systematic evaluation of its efficacy; and c) corresponding efforts to propose and validate principles for optimal use of the approach....There is a large but unorganized collection of not - so - hard evidence that suggests the approach is effective.....A first order of business in the process will be to consolidate, organize and analyze the available evidence on JiTT’s effectiveness, in a theoretical coherent manner” (NSBA, 2004).

Ziel der vorliegenden Studie ist es nun, einen solchen Nachweis der Tauglichkeit des JiTT-Verfahrens zu erbringen.

Zu diesem Zwecke erfolgt im zweiten Kapitel zunächst eine Darstellung des JiTT-Konzeptes und seiner Realisierungsmodalitäten. Im Folgenden wird versucht, dem Verfahren auf Grundlage gängiger instruktionspsychologischer sowie fachdidakti-

scher Modellvorstellungen und Konstrukte einen theoretischen Rahmen zu geben. Eine hervorgehobene Rolle spielen in diesem Kontext die Forschungsergebnisse zum *Selbstregulierten* und *Situierten Lernen*. Beim Just-in-Time Teaching sollte es sich um ein methodisches Werkzeug zur *Mikroadaption* von Instruktionsprozessen handeln, ein Aspekt, der im Unterkapitel zum *Adaptiven Unterricht* näher beleuchtet wird. Auf die immense Bedeutung des Vorwissens und der Präkonzepte für den Unterrichtserfolg wird in den entsprechenden Theoriekapiteln dieser Arbeit eingegangen. Inwieweit es sich bei JiTT-Aufgaben (im Rahmen des JiTT-Verfahrens) um Problemstellungen handelt, die sich (auch) in linguistischer Hinsicht von „traditionellen“ Hausaufgaben unterscheiden, wird in Unterkapitel „Geschriebene und gesprochene Sprache“ untersucht.

Schließlich wird bezüglich der thematisierten theoretischen Ansätze ein Einblick in den derzeitigen Stand der (empirischen) Forschung gegeben.

Das dritte Kapitel dieser Arbeit ist der detaillierten Dokumentation der empirischen Hauptstudie gewidmet. Im Zuge der Instruktion zweier rheinland-pfälzischer Physik-Leistungskurse der 11. und 12. Jahrgangsstufe in den physikalischen Teildisziplinen Mechanik und Elektrodynamik wurde das JiTT-Verfahren eingesetzt und auf Grundlage diverser Testinventare evaluiert. Hypothesen sowie eingesetztes Material und Methoden der kontrollierten, quasi-experimentellen Untersuchung werden in Unterkapiteln beschrieben.

Das vierte Kapitel der Arbeit befasst sich mit der Ergänzungsstudie, in deren Rahmen es zum Einsatz des JiTT-Verfahrens im Lehramtsstudiengang Physik einer rheinland-pfälzischen Universität kam. Sie wurde notwendig, um die Überdeckung eines potentiellen, auf JiTT zurückführbaren Effektes durch den Einfluss des ebenfalls zur Anwendung gekommenen, methodischen Werkzeugs der computerunterstützten *Modelbildung* ausschließen zu können. Des weiteren wurde mit diesem zusätzlichen Untersuchungsteil der Versuch unternommen, einer nachteiligen, motivationalen Wirkung des Konzeptes auf die Spur zu kommen.

Im fünften Kapitel schließlich werden grundlegende Resultate der Feldstudie präsentiert sowie deren etwaige Bedeutung für den Unterrichtsalltag beleuchtet. Ein Ausblick auf weiterführende, als gewinnbringend erachtete Evaluationsansätze runden die Darstellung ab.

## KAPITEL 2: THEORIE UND FORSCHUNGSSTAND

### 2.1 Das Just-in-Time Teaching-Verfahren

#### 2.1.1 Problematik

Zahlreiche fachdidaktische Untersuchungen der zurückliegenden zwanzig Jahre förderten zutage, dass die physikalischen, in der Regel zweisemestrigen Anfängervorlesungen an nordamerikanischen Universitäten, die insbesondere von Studenten der Life Sciences (Biologie, Medizin, Pharmazie) sowie der Ingenieurwissenschaften besucht werden, nur in bedingtem Maße den in sie gesetzten Ansprüchen gerecht wurden. Leistungsvermögen, Konzeptverständnis, kognitive Vorstellungen sowie die Fähigkeit zur Übertragung von Erlerntem auf Alltagssituationen blieben deutlich hinter den gesetzten Zielen zurück (NOVAK et al., 1999). Die Ursachensuche, die insbesondere an der Indiana University - Purdue University in Indianapolis (IUPUI) in Angriff genommen wurde, führte zu dem Ergebnis, dass der Unterrichtserfolg primär unter einem Mangel an Motivation auf Seite der Studierenden zu leiden hat, der mit fehlender Einsicht in die Bedeutsamkeit der vermittelten physikalischen Konzepte für das eigene Studium beziehungsweise die Karriere begründet wird.

#### 2.1.2 Just-in-Time Teaching

Aktuelle Entwicklungen der modernen Informations- und Kommunikationstechnologie aufgreifend, begann man an der IUPUI, der United States Air Force Academy (USAFA) sowie dem Davidson College mit der Entwicklung eines konstruktivistisch ausgerichteten methodischen Konzeptes, das durch Aufgreifen ermutigender Evaluationsergebnisse zu kooperativen Lernformen (JOHNSON, 1981) eine stärkere Einbindung und Aktivierung der Studenten bewerkstelligen soll – dem *Just-in-Time Teaching*.

Das Rückgrat des JiTT-Verfahrens bildet die mittels elektronischer Medien (WWW-Aufgaben, Mail, Newsletter u.ä.) etablierte Feedback-Schleife, mit der der Kontakt zwischen den Studenten und dem Dozenten intensiviert werden soll.

Das Prozedere zur Optimierung von „in-class-“ und „out-of-class-“ Aktivitäten kann folgendermaßen umschrieben werden:

Die über Webespace verfügende Lehrkraft lädt eine themenrelevante Aufgabe ins Internet. Diese Aufgabe ist von den SchülerInnen ihres Kurses am Computer zu Hause zu bearbeiten; die Bearbeitung wird über ein Formularfenster als Mail an die Lehrkraft gesendet.

Mit den Statements ihrer SchülerInnen im Kopf begibt sich die Lehrkraft nun an die Planung der folgenden Unterrichtsstunde: Insbesondere werden die interessantesten Statements auf OH-Folie kopiert. Sie bilden den roten Faden der in Planung befindlichen Unterrichtsstunde. Die Schülerantworten sind also zum einen *Planungsgrundlage* für die folgende Unterrichtsstunde, zum anderen werden sie zu einem besonderen *Unterrichtsmedium* des JiTT-Verfahrens (Folie mit den interessantesten Statements).

Die Entwickler des Konzeptes propagieren das Aufteilen der wöchentlichen Hausaufgaben in mehrere Teile, um auf diese Weise eine kontinuierliche Beschäftigung mit der behandelten Unterrichtsthematik zu gewährleisten. Im Zuge dieses Prozesses ist es durchaus gewollt, dass es im Bedarfsfalle zu weiteren Mailkontakten zwischen Studenten und dem Dozenten – beispielsweise zur Klärung von Aufgabenformulierungen – kommt.

Da es den eingesetzten Aufgaben obliegt, der Lehrkraft einen möglichst klaren Eindruck von vorhandenen Präkonzepten beziehungsweise dem erreichten Verständnisstand zu verschaffen, kommt ihnen im Rahmen der JiTT-Konzeption eine besondere Bedeutung zu. Prinzipiell wird in diesem Zusammenhang zwischen sogenannten „WarmUps“ und „Puzzles“ unterschieden (siehe 2.2). Mit Hilfe sorgfältig erstellter Einstiegsaufgaben<sup>2</sup>, die man am Beginn einer zu bearbeitenden Thematik einsetzt, verfolgt die Lehrkraft das Ziel, auf Lernerseite vorhandene alternative, in der Regel alltagsbezogene Denk- und Vorstellungsmuster „an die Oberfläche zu locken“ (Elizitation; siehe 2.6). Im Rahmen der „Puzzles“ haben sich die Lernenden gemeinhin mit komplexeren Problemstellungen zu befassen, die bereits ein gewisses Konzeptverständnis voraussetzen und daher eher am Ende einer thematischen Unterrichtseinheit zum Einsatz kommen. Verfolgt man die Absicht, dynamische Veränderungen eines physikalischen Systems in ihrem zeitlichen Verlauf in einer JiTT-Aufgabe zu thematisieren, kann dies durch Konstruktion des Problems um ein sogenanntes „Physlet“<sup>3</sup> (**Physics Applet**), eine kleine, mit Java geschriebene Animation herum, geschehen (CHRISTIAN et al., 2001; CHRISTIAN et al., 2004). Schließlich empfehlen die Entwickler des Verfahrens das Einbringen sogenannten „Anreicherungsmaterials“<sup>4</sup>,

---

<sup>2</sup> Ein Beispiel für eine WarmUp-Aufgabe findet sich auf:

<http://jittdl.physics.iupui.edu/jitt/Examples/JuniorMechWU.html>; Zugriff am 10.11.2008

<sup>3</sup> Ein Beispiel für ein Physlet: <http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>; Zugriff am 10.11.2008

<sup>4</sup> Ein Beispiel für eine „Anreicherungsfrage“:

<http://jittdl.physics.iupui.edu/jitt/Examples/speakerGF.html>; Zugriff am 10.11.2008

das die Frage nach dem Nutzen des im Unterricht erworbenen Wissens aufwirft („what is physics good for?“) und auf diese Weise in verstärktem Maße Alltagsbezug herstellen soll.

### *2.1.2 Just-in-Time Teaching im Kontext aktueller physikdidaktischer Entwicklungen*

NOVAK et al. vertreten den Standpunkt, dass JiTT – angemessen adaptiert – all jene pädagogischen Konzepte fördert, die Schülerzentrierung und Aktivierung vorsehen (NOVAK et al., 1999, S. 14) und beziehen sich dabei auf Verfahren, die sich der Philosophie der von HAKE evaluierten „Interactive Engagement (IE)“ – Strategie bedienen. HAKES Studie umfasst den Vergleich von 62 Physikkursen an amerikanischen Universitäten und Colleges, die von insgesamt 6542 Studenten besucht wurden. Unter den einbezogenen Kursen waren solche, in denen die Dozenten bemüht waren, die Lernenden durch Gespräche und Diskussionen am Unterrichtsprozess zu beteiligen („IE-Kurse“) und solche, die in herkömmlichem Stil den Schwerpunkt auf das „anonymisierte“ Vermitteln von rezeptartig abzuarbeitenden Lösungsmustern legten („traditionelle Kurse“). HAKES Resümee lässt keinen Zweifel an der Überlegenheit der 48 IE-Kurse, deren durchschnittlicher relativer Zugewinn an Konzeptverständnis mehr als doppelt so hoch lag wie im Falle der traditionellen Kurse<sup>5</sup> (Jahmek, 1998). In der Studie des HAKE (1998) identifizierten sich auf physikdidaktischem Terrain drei grundlegende IE-Methoden heraus, die in jüngeren Realisierungsversionen die JiTT-Idee aufgegriffen haben: Im Rahmen der von Eric MAZUR an der Harvard University entwickelten *Peer Instruction* ist eine „Vorlesung“ in eine Folge von Präsentationen unterteilt, die von Phasen begleitet sind, in denen die Lernenden kurze, sogenannte ConcepTests zu bearbeiten haben (MAZUR, 1997). Nachdem der Dozent die in den Tests sichtbar gewordenen Denkmuster vor der Gruppe diskutiert hat, obliegt es daraufhin den Studenten, die eigenen Vorstellungen in Gesprächen mit Kommilitonen zu begründen und zu verteidigen. Schließlich bearbeiten die Lernenden den ConcepTest noch einmal und händigen die Bearbeitung dem Dozenten erneut aus. Dieser nimmt im Rahmen seiner abschließenden Erklärungen bezug auf die zu Tage getretenen Denkmuster und begibt sich in einem neuen Zyklus an die Präsentation des nächsten Themas. MAZUR empfiehlt die Nutzung modifizierter JiTT-WarmUps als

---

<sup>5</sup> Ein kritischer Blick auf die HAKE – Studie findet sich im Kapitel „Empirische Evaluationen zum JiTT-Verfahren“

„Web-based assignments“ um zu erreichen, dass sich die Lernenden im Vorfeld des Unterrichts auf möglichst effiziente Weise mit relevanter Literatur befassen und dem Dozenten Anhaltspunkte zur Planung seines Unterrichts geliefert werden. Die Antworten auf die JiTT-Hausaufgaben lässt MAZUR mit 5% in die Endnote eingehen.

Das 1991 von Priscilla LAWS am Dickinson College konzipierte *Workshop Physics* Konzept propagiert das selbsttätige Experimentieren der Lernenden getreu der Devise „Physik lernt man, wenn man Physik tut“. Moderne elektronische Tools (computergestützte Messwerterfassung, Videoanalyse) nutzend, verfolgt Workshop Physics das Ziel, den Studenten den Weg von der Beobachtung zum Modell durch ihre interaktive Einbindung in Arbeitsgruppen zu ebnet (NOVAK et al., 1999). LAWS weist den auf Studentenseite vorhandenen Präkonzepten im Hinblick auf den erhofften Unterrichtserfolg eine Schlüsselbedeutung zu und bindet daher das JiTT-Verfahren zum Zwecke der Elizitation existierender „alternative frameworks“ in ihre Konzeption ein.

Im Rahmen der *Tutorial-Based-Instruction*, einer Strategie, die zu Beginn der neunziger Jahre von Lillian McDermott an der Washington University entwickelt wurde, befassen sich die Lernenden in Kleingruppen mit nicht-experimentellen Aufgabenstellungen und werden dabei von sorgsam geschulten Tutoren betreut. Die Bedeutung der auf Lernerseite vorhandenen Präkonzepte betonend, geht es der Tutorial-Based-Instruction insbesondere darum, diese alternativen Denkmuster im Vorfeld der Tutoriumsplanung in Erfahrung zu bringen. Dem Problem des hohen Material- und Zeitaufwandes wird dadurch begegnet, dass der Umgang mit den Web basierten Aufgaben sowie den Studentenstatements durch Nutzung der Internet-Plattform „WebQ“ in hohem Maße automatisiert wird. Im Rahmen eines Pilotversuches an der Syracuse University wurde den Studenten eine Zugriffsdauer auf die Aufgaben von jeweils 3,5 Tagen sowie eine Bearbeitungszeit von 15 Minuten eingeräumt, die Bearbeitung ging mit geringer Gewichtung in die Gesamtnote ein. Die positiven Erfahrungen, die im Rahmen dieses Versuches gemacht wurden, aufgreifend, spricht KAUTZ von einem „erfolgreichen Beispiel für durch Multimedia -beziehungsweise Internet-Technologien unterstützte Präsenzlehre (*blended learning*; KAUTZ, 2004).

Mittlerweile wird das JiTT-Verfahren von etwa 300 Dozenten an 100 Institutionen in den USA, Kanada, Europa und Israel angewandt (CASHMAN et al., 2003). In den Vereinigten Staaten stellte die National Science Foundation in den vergangenen Jahren erhebliche Fördermittel zur Implementierung des Konzeptes in sechs Fachrichtungen bereit.

## 2.2 Die JiTT-Aufgabentypen

JiTT-Aufgaben können zum einen - im Hinblick auf ihre Positionierung im Rahmen des unterrichtlichen Geschehens - in sogenannte *WarmUps* und *Puzzles* eingeteilt werden. Dieser Typisierung nimmt sich das Unterkapitel 2.2.1 an. Schließlich ist es auch möglich, eine Kategorisierung bezüglich der zu schulenden Denkprozesse und Herangehensweisen vorzunehmen. Diesen Ansatz aufgreifend, beschreibt Unterkapitel 2.2.2 *Problemlöseaufgaben* sowie *Gedankenexperimente*.

### 2.2.1 WarmUps und Puzzles

Bei den WarmUps handelt es sich um Aufgaben, deren Sinn es ist, auf Schülerseite vorhandene, meistens auf Alltagsvorstellungen beruhende Präkonzepte ans Licht zu bringen<sup>6</sup>. Das folgende Beispiel zeigt ein WarmUp aus dem Bereich der Elektrodynamik:

*In der Abbildung sind zwei Stromkreise dargestellt, deren Verbindungskabel über den Widerstand Null verfügen. Die Batterien liefern die gleiche Spannung, die Glühlampen sind baugleich. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  s werden beide Schalter geschlossen.*

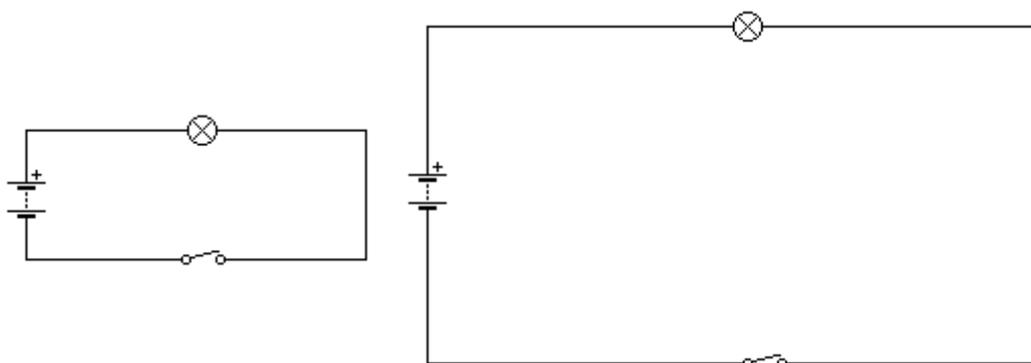


Abb.1: Warmup „zwei Stromkreise“ aus dem Bereich der Elektrizitätslehre

Frage:

Welche Glühlampe leuchtet als erste auf? Begründe ausführlich.

---

<sup>6</sup> In diesem Zusammenhang spricht man vom „*eliciting of students' pre-conceptions*“

Dem „Modell konstruktivistischer Lehrsequenzen“ (WIDODO & DUIT, 2003) folgend, wird mit den in Erfahrung gebrachten Denkmustern der Lernenden eine Phase der Restrukturierung, also des physikadäquaten Umbaus dieser Präkonzepte in Gang gesetzt. Der Anwendung der neu entwickelten, nun physikalisch effizienten Vorstellungen in möglichst alltagsnahen Situationen folgt eine reflexive Unterrichtssequenz, in der die neue Sichtweise einer kritischen Prüfung unterzogen wird. Dies geschieht u.a. mit Hilfe der sogenannten Puzzle-Aufgaben, deren adäquate Bearbeitung die korrekte Anwendung der neu entwickelten Konzepte voraussetzt. Häufig thematisieren die Puzzles Problemstellungen, die den Transfer erarbeiteter Vorstellungen in neue Kontexte nötig machen. Folgendes Beispiel wurde im Anschluss an die Erarbeitung des Impulserhaltungssatzes in den Gruppen diskutiert:

*Ein Kind wirft seinen Ball senkrecht in die Höhe. Wo ist die Bewegung im Hochpunkt seiner Bahn? (Begründe ausführlich)*

Abbildung 2 visualisiert die Verortung der WarmUps und Puzzles im Rahmen des Modells konstruktivistischer Lehrsequenzen. Die in den Unterricht integrierte Rückkopplungsschleife führt zu einer steten Verbesserung des Konzeptverständnisses und der Fähigkeit zu Transferleistungen. Sie bietet so die Chance zu steter Modifikation und Verschärfung der physikalischen Begriffsbildung (siehe Exkurs *Sprache der Physik*, S.15).

### *2.2.2 Problemlöseaufgaben und Gedankenexperimente*

Im Zuge der Bearbeitung von Problemlöseaufgaben, die etwa 30% (Mechanik) beziehungsweise 20% (Elektrodynamik) aller im Rahmen der Feldstudie eingebrachten JITT-Aufgaben ausmachen, hat sich der Lernende mit einer i.d.R. detailliert beschriebenen, realen Situation auseinander zu setzen und meistens auch den mathematischen Formalismus zur Berechnung einer gesuchten Größe oder zur Beantwortung einer offenen Frage nutzen.

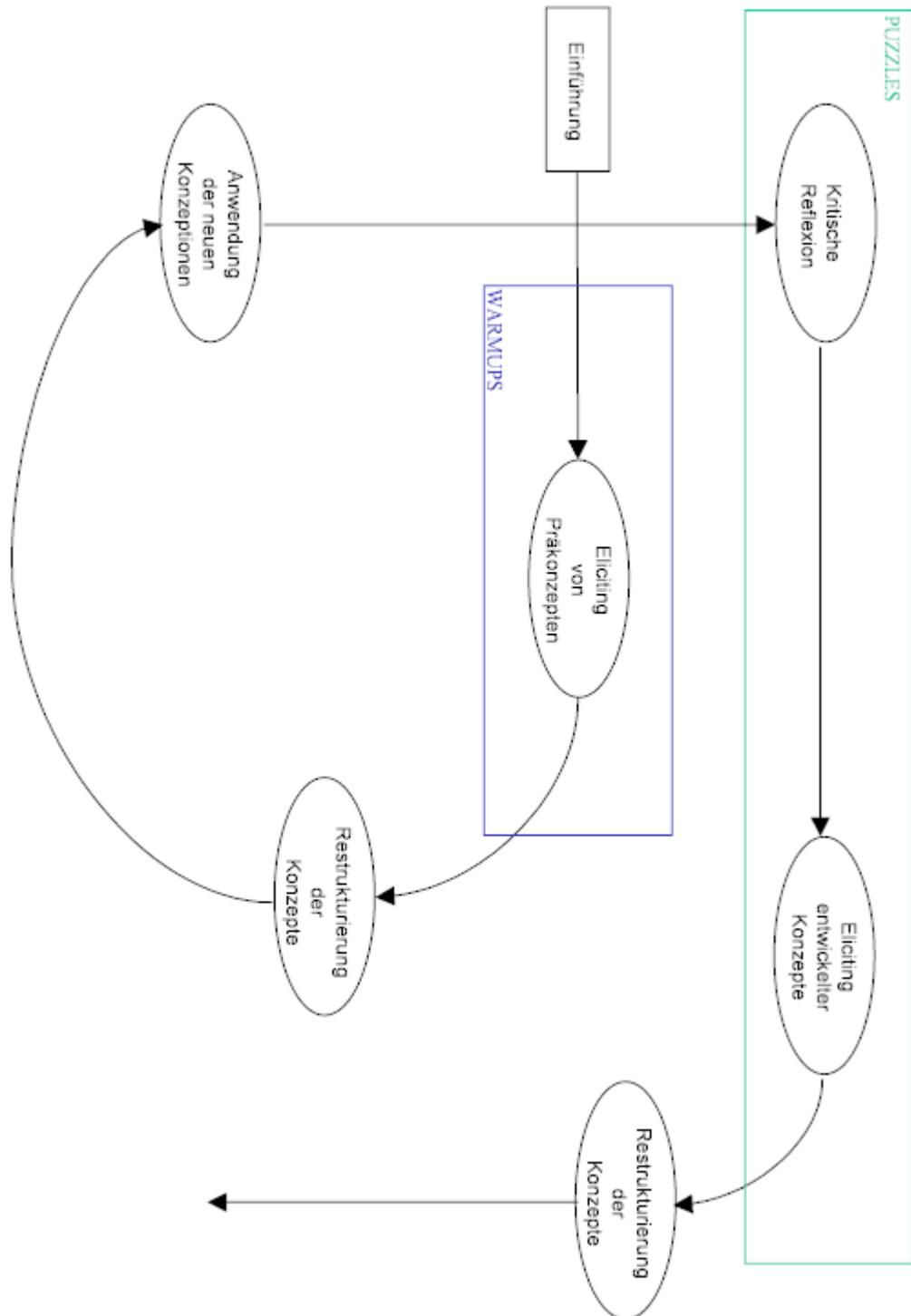


Abb.2: Verortung der WarmUps und Puzzles im Modell konstruktivistischer Lehrsequenzen

Das folgende Beispiel kam im Rahmen der Behandlung des Elektromagnetismus zum Einsatz:

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen eine blaue Stange in einem homogenen Magnetfeld, dessen Feldlinien aus der Displayebene hinausweisen. Die Stange (Länge  $l = 0,144 \text{ m}$ ) wird von einem konstanten Strom durchflossen. Das Newtonmeter am oberen Fensterrand zeigt jeweils den Betrag der Kraft an, die notwendig ist, um die Stange zu halten (die Kraft ist in Newton, die Magnetfeldstärke in Tesla angegeben).

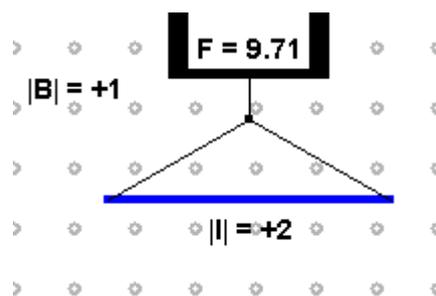


Abbildung 1

Fragen:

1. In welcher Richtung bewegen sich die Elektronen durch den Draht?
2. Welche Masse hat die Stange?

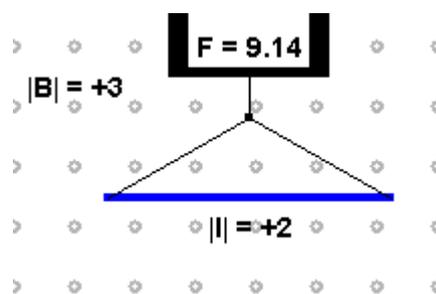


Abbildung 2

Abb.3: JITT-Problemlöseaufgabe zum Elektromagnetismus

In weitaus höherem Maße kam im Unterricht ein Aufgabentyp zum Einsatz, den man der Kategorie „Gedankenexperiment“ zuordnen könnte. Aufgrund seiner Wichtigkeit für die Feldstudie erscheint es angemessen, im dargestellten Zusammenhang einige erläuternde Bemerkungen zu Historie, Zielsetzung und Grenzen des „Experimentierens mit Gedanken“ anzufügen.

Gedankenexperimente sind zweifelsohne keine Experimente im physikalischen Sinne, da es zu ihrer Ausführung keines real vorhandenen Labors und all der Accessoires (Messgeräte, Teilchenquellen o.ä.) bedarf, die man gemeinhin darin vorfindet. WITTGENSTEIN bringt in folgenden Zeilen diese Abgrenzung auf den Punkt und liefert zugleich einen ersten Einblick in das, was Gedankenexperimente prinzipiell ausmacht:

„Dass wir hier (*also beim Experimentieren mit Gedanken*) nicht Versuche machen, sondern das Einleuchten anerkennen, legt schon die Verwendung fest. Denn wir sind nicht so naiv, das Einleuchten statt des Versuches gelten zu lassen.“ (WITTGENSTEIN, 1994, S.225)

Die Frage aufwerfend, was man unter Gedankenexperimenten versteht und zu welchem Zweck man sie durchführt, beschreibt der Physiker Henning GENZ zunächst die

*computergestützte* Lösung des Problems, das elektrische Feld einer homogen geladenen Kugel zu bestimmen. Die diesbezügliche Grundlage bildet ein mathematischer Algorithmus, in den die spezielle Kugelgestalt eingegeben wird. So präpariert, beginnt der Computer zu rechnen und ermittelt im Laufe dieses Prozesses das Aussehen des Feldes, das sich (im Nachhinein) als drehsymmetrisch entpuppt (GENZ, 1999, S. 1f). In einer weitergehenden Überlegung vertritt GENZ nun den Standpunkt, das ein *Physiker* sich des gestellten Problems auf ganz andere Weise, nämlich in Form eines Gedankenexperimentes annimmt. Im Zuge dieses Prozedere wird bereits zu Beginn der Überlegungen der (vereinfachende) Aspekt der Symmetrie der Ladungsverteilung, die letztlich die Symmetrie des Feldes zur Konsequenz hat, in Rechnung gestellt.

Die Verallgemeinerung dieser Überlegungen gestattet es, ein grundsätzliches Merkmal von Gedankenexperimenten zu formulieren: Während Gedankenexperimenten mitunter die logische, auf alle Fälle die mathematische Strenge fehlt<sup>7</sup>, setzen sie in verstärktem Maße auf menschliche Einsicht und Vorstellungskraft. Die immensen Auswirkungen von Gedankenexperimenten großer Physiker wie GALILEI, HUYGENS oder EINSTEIN müssen demzufolge auch unter psychologischen Aspekten analysiert werden. So charakterisiert Ernst MACH das Gedankenexperiment als „Spiel der Phantasie“, dessen Reiz es sei, auf der Grundlage der momentan vorherrschenden Stimmung, Umgebungseinflüssen sowie der eingeschlagenen Denkrichtung Vermutungen über das anzustellen, was sich als (beobachtbare) Konsequenz ergibt (MACH, 1968, S. 188). Häufig, so MACH, gehe es im Rahmen dieses Prozedere um das Einbinden früherer Erfahrungen sowie die Variation der Kombination der Rahmenbedingungen oder Begleitumstände<sup>8</sup>.

Ein Meister des Experimentierens mit Gedanken war zweifelsohne Galileo GALILEI, der im Zuge seiner Gespräche, die er seinen Stellvertreter SALVATIO mit SAGREDO, dem interessierten Laien und SIMPLICIO, dem aristotelisch gebildeten Widersacher führen lässt, liebgewonnene aristotelische Denkmuster ad absurdum führt (GALILEI, 1982). Die „dem Augenschein erschaute“ Regel, dass ein schwererer, zu Boden fallender Körper dies schneller tut als ein leichter, entkräftet SAGREDO dadurch, dass er im Geiste einen leichten und einen schweren Körper vereinigt und zeigt, dass

---

<sup>7</sup> GENZ schlägt vor, die theoretische Physik als Gedankenexperiment zu bezeichnen, dessen Schlussfolgerungen zumindest prinzipiell auch in Form eines strengen (mathematischen) Formalismus dargestellt werden könnten (GENZ, 1999, S. 17).

<sup>8</sup> MACH spricht in diesem Zusammenhang von der „Variation der Tatsachen in Gedanken“.

durch die Anwendung der Regel ein logischer Widerspruch folgt: Der leichte sollte den schweren etwas verzögern, sodass der vereinigte Körper letztlich langsamer fallen sollte als sein schwerer Bestandteil – trotz seines größeren Gewichtes. Im Falle dieses wunderschönen, sehr typischen Gedankenexperimentes handelt es sich, GENZ folgend, um eine Argumentation, die „auf Einsichten des Proponenten gründet und auf die Einsicht des Adressaten hofft“ (GENZ, s.o., S. 10). Es erscheint die Auffassung berechtigt, dass das Auslösen paradoxer Momente gerade den Reiz vieler Gedankenexperimente ausmacht, da sich daran die Hoffnung knüpfen lässt, nun einen Prozess weiteren, vertieften Nachdenkens angestoßen zu haben, der im Idealfalle am Ende zu neuen, physikalisch effizienteren Vorstellungen führt. Als Beispiel mag das Statement einer Schülerin der Feldstudie dienen, das im Zuge der Bearbeitung der bereits aufgeführten Aufgabe (S. 9) zum Thema „Impulserhaltung“ entstanden ist:

*Beim Hochwerfen des Balles wechselwirken die Erde und der Ball miteinander. Die Erde bewegt sich vom Ball weg und der Ball von der Erde.*

*Ihre beiden Impulse sind gleich groß, jedoch zeigen sich in genau die entgegengesetzten Richtungen.*

*Somit heben sich diese auf. Eigentlich ist der Impuls während der gesamten Bewegung 0.*

*Je weiter Erde und Ball von einander weg sind, desto kleiner<sup>9</sup> werden die Impulse. Am höchsten Punkt ist der Impuls der beiden 0.*

*Dann werden sie wieder schneller, bewegen sich schneller aufeinander zu, gewinnen wieder mehr Bewegung bzw. Impuls.*

*Aber wenn ich das so erkläre, dann geht der Impuls verloren und kommt danach einfach wieder... das ist aber nicht richtig.*

MACH stellt in seinen Reflexionen zur angesprochenen Thematik die Bedeutung von Gedankenexperimenten für Lehrer und Lernende heraus (MACH, s.o., S. 195): Will man letzteren im Unterricht dort abholen, wo er sich „mit seiner Physik“ gerade befindet, hat man in Erfahrung zu bringen, welche Konzepte zur Bildung von Erklärungsmustern herangezogen werden. Dieser Prozess wird in Gang gesetzt, wenn der Lernende beginnt, seine Denkprozesse in Worte zu fassen<sup>10</sup>. Gedankenexperimente sollten dabei eine besonders fruchtbare Rolle spielen können, wie das folgende Beispiel zeigt:

---

<sup>9</sup> Alle in dieser Arbeit aufgeführten Schüler-Statements sind in ihrer ursprünglichen Form (Orthographie) belassen worden.

<sup>10</sup> Ein Modell des situierten Lernens, das von COLLINS, BROWN und NEWMAN entwickelte *Cognitive Apprenticeship*, betont die Wichtigkeit der Artikulation von Überlegungen durch den Lernenden, um dem Lehrer so die Möglichkeit zu geben, regulierend tätig zu werden (Unterkapitel 2.7.3).

*Versuche zu ergründen, welche Vorstellungen man im Alltag vom Begriff "Geschwindigkeit" hat. Wovon unterscheidet sich die Alltagsvorstellung von der physikalischen Vorstellung, die man sich von diesem Begriff macht?*

Diese Aufgabe wurde den Schülergruppen der vorliegenden Feldstudie nach der Behandlung der Thematik „Charakteristische Größen zur Beschreibung von Bewegungen“<sup>11</sup> zur Bearbeitung vorgelegt. In diesem Zusammenhang kam es zur Präsentation folgenden Schüler-Statements:

*Hi*

*Im Alltag stellt man sich unter Geschwindigkeit vor, wie schnell (Strecke in einem Zeitabschnitt) man eine Distanz zurücklegt.*

*Die physikalische Vorstellung von Geschwindigkeit ist wie schnell die kürzeste Distanz zwischen Anfang und Endpunkt zurückgelegt wird.*

*Was wir im Alltag als Geschwindigkeit verstehen ist physikalisch gesehen die Schnelligkeit.*

*Was wir im physikalischen als Geschwindigkeit verstehen ist im Alltag Schwachsinn.*

*Bsp.*

*Ich fahre mit dem Rad von Hauenstein nach Annweiler. Dafür brauche ich 30 min. Die kürzeste Verbindung beträgt ca. 8km. Nur fahre ich mit dem Rad unterwegs über Lug und Schwanheim. Die Weglänge beträgt weitaus mehr als 8 km. Trotzdem fahr ich physikalisch gesehen nur 16 km/h.*

*Oder noch besser.*

*Ich fahre danach von Annweiler wieder zurück, bin also 60 min für die doppelte Strecke unterwegs.*

*In der Physik fuhr ich mit 0 Km/h von Hauenstein nach Annweiler und zurück und benötigte 60 min.*

*Faszinierende Logik.*

Das Statement legt die Vermutung nahe, dass das Denken des Schülers (nach wie vor) von einem massiven Konflikt zwischen (kinematischen) Alltagsvorstellungen und im Unterricht erarbeiteten Konzepten geprägt ist. Das Statement war Ausgangspunkt einer regen, klärenden Diskussionsphase in der Gruppe.

Gedankenexperimente sind keine Rechenaufgaben; man wird als Lernender der Zielsetzung dieses Aufgabentyps nur dann gerecht, wenn man „Überzeugungsarbeit in verbaler Form“ (zitiert nach GENZ, 1999, S.3) leistet. Dies wirft die Frage auf, welchen Stellenwert fachsprachliche Exaktheit bei der Begutachtung von Schülerstatements haben sollte, und: was denn überhaupt *die* Sprache der Physik sei.

---

<sup>11</sup> Nähere Informationen zur Unterrichtseinheit in Unterkapitel 3.2.3.1

### *Exkurs: Sprache der Physik*

Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER erteilt der Vermutung, die Mathematik sei *die* Sprache der Physik, eine klare Absage (VON WEIZSÄCKER, 1974, S. 68f). Er begründet seinen Standpunkt damit, dass die Symbolik einer mathematischen Formel stets den Konsens ihrer Interpretation voraussetze, eine Voraussetzung, die den Einsatz sprachlicher Mittel unumgänglich mache<sup>12</sup>. Solche sprachlichen Mittel (Begriffe) könnten ihrerseits keinen absoluten Wahrheitsgehalt beanspruchen, da ihre Bedeutung, so VON WEIZSÄCKER, einem historischen Wandel unterworfen sei<sup>13</sup>. Die geschichtliche Entwicklung der Physik lege, so der Wissenschaftler, den Standpunkt nahe, dass eine jede Erkenntnis ihre Voraussetzung in der Alltagssprache zu suchen habe. Mit der Formulierung eines Deutungsmusters im Hinblick auf eine gemachte Naturerfahrung werde die Nährboden gelegt für weitere Beobachtungen, die ihrerseits zu einer Verschärfung der im Laufe des ersten Zyklus genutzten (Alltags-) begrifflichkeiten führten. So könne in der Entwicklung der Sprache der Physik ein zirkelhafter Vorgang vermutet werden, der als Prozess „fortlaufender Umgestaltung *der* Sprache angesehen werden kann, die wir schon immer sprechen und verstehen“ (VON WEIZSÄCKER, s.o., S. 65).

Versucht man, diese Überlegungen im Hinblick auf die Problematik des Umgangs mit Fachsprache in unterrichtlichen Gedankenexperimenten fruchtbar werden zu lassen, erscheint die Vorgehensweise erfolgversprechend zu sein, im Zuge der Realisierung einer ersten „Spiralwindung“ konstruktivistischer Lehrsequenzen (Abbildung 2) fachsprachlichen Mängeln mit einem hohen Maß an Toleranz zu begegnen. Nachfolgende Zyklen, die Modifikationen des Konzeptverständnisses auf Schülerseite bewerkstelligen, sollten (und können) genutzt werden, um eine allmähliche Verbesserung der Fachsprache einzuleiten. MERZYN und LEISEN weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass das simultane Drängen auf *Sach*richtigkeit und *Sprach*richtigkeit zu kognitiver Überlastung führe und zeitlich voneinander getrennt werden müsse (MERZYN, 1998; LEISEN, 1991). Generell handele es sich beim Lernziel „Fachsprache“ um einen langfristig anzulegenden Unterrichtsgegenstand, der es notwendig mache, stets aufs Neue Sprech- und Sprachgelegenheiten zu schaffen.

---

<sup>12</sup> Beispiel: „ $\Delta$ “ steht je nach Kontext für „Differenz“ oder „Laplace – Operator“

<sup>13</sup> Beispiel: „Masse“ ist für DESCARTES im 17. Jahrhundert etwas, das über Ausdehnung verfügt, eine Definition, die mit der Einführung des Massenpunktes im 19. Jahrhundert durch HELMHOLTZ hinfällig wird.

An dieser Stelle soll nochmals zu Galileis reizvollem Gedankenexperiment zum Freien Fall zurückgekehrt werden.

Nachdem SALVATIO SAGREDO und SIMPLICIO davon überzeugt hat, dass der aristotelische Blick auf fallende Körper zu schwerwiegenden logischen Brüchen führt, „nutzt er die Gunst der Stunde“ und verkündet seinen Gesprächspartnern seine Sicht der Dinge, gemäß derer alle Körper bei Abwesenheit des Einflusses äußerer Medien gleich schnell fallen. Bemerkenswert ist hierbei, dass GALILEIS Argumentation in dieser Phase Lücken aufweist: GALILEI nutzt die instinktive Gewissheit, dass schwere und träge Masse gleich sind – nur dann kann logisch stringent gefolgert werden, dass alle Körper gleich schnell fallen. GALILEIS Intuition beschert ihm den korrekten Schluss, nicht das geschlossene, konzeptionell gänzlich lupenreine Argumentieren. Diesen und ähnliche Fälle ins Feld führend, bezeichnet GENZ Gedankenexperimente als „physikalisch und logisch schmutzig“ (GENZ, s.o., S. 19), Wissenschaftstheoretiker wie Karl POPPER gehen mitunter soweit, den gänzlichen Verzicht auf *apologetische* Gedankenexperimente zu fordern und sich auf deren *kritischen* beziehungsweise *heuristischen* Gebrauch<sup>14</sup> zu beschränken (POPPER, 1971, S. 398). POPPER kritisiert insbesondere das Vorgehen Nils BOHRS, mit Hilfe von modifizierten Gedankenexperimenten der Skepsis EINSTEINS an der Quantenmechanik zu begegnen. Generell sei immer dann Vorsicht geboten, wenn, ausgehend von einem Gedankenexperiment, das sich auf eine konkrete Situation bezog, der Versuch unternommen würde, zu verallgemeinern, da man nicht genau sagen könne, welche Konsequenzen auf situative Details und welche auf vermutete Prinzipien zurückgeführt werden müssten.

Grundsätzlich ist also GENZ' Forderung zuzustimmen, dass zu Beginn eines Gedankenexperimentes stets sicherzustellen ist, dass das auf die Erzeugung von Einsicht abzielende Argumentieren nicht von Voraussetzungen ausgeht, die im Hinblick auf die erdachte Situation nicht erfüllt sind. Als „Gedankenexperiment höchsten Ranges“ bezeichnet GENZ ein solches, das zu einer Schlussfolgerung kommt, die sich in einem nachfolgenden Experiment nicht bewahrheitet. Ein Beispiel:

---

<sup>14</sup>*Apologetischer* Gebrauch: Verwendung von Gedankenexperimenten zur Rechtfertigung von Konzepten, in diesem Zusammenhang auch interpretierbar als *induktiver* Gebrauch.

*Kritischer* Gebrauch: GALILEI verwendet sein Gedankenexperiment, um aristotelische Denkmuster zu widerlegen.

*Heuristischer* Gebrauch: DALTON formuliert den atomaren Aufbau der Materie als Hypothese („Arbeitsgrundlage“)

Im Unterricht erklärten wir die Beobachtung, dass eine mit Graphit bedeckte Tischtenniskugel von einem elektrisch geladenen Luftballon angezogen wird, mit dem Phänomen der Influenz.

Welche Beobachtung erwartest du, wenn man die Tischtenniskugel durch eine Styroporkugel ersetzt?

Der Umstand, dass sich die Vermutung, die Styroporkugel werde nicht angezogen, nicht bestätigt, kann einen kognitiven Konflikt auslösen, der letztlich den Nährboden bildet für die Revision beziehungsweise Erweiterung der bestehenden physikalischen Konzepte.

## 2.3 Reciprocal Teaching

Mit Hilfe des Reciprocal Teachings, einem Verfahren, das in Unterkapitel 2.3.1 beschrieben wird, erhofft man sich effizientere Lernprozesse sowie eine aktivere Einbindung des Lernenden in den Instruktionsprozess. Über empirische Forschungsergebnisse zum Reciprocal Teaching informiert Unterkapitel 2.3.2.

### 2.3.1 Lernen durch Lehren

Seit Ende der achtziger Jahre existieren empirische Belege für den Umstand, dass in der schulischen Praxis die methodischen Konzepte des fragend-entwickelnden Unterrichts beziehungsweise des Vortrages bis zu 85% der zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit ausmachen (FISCHLER, 1989). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der unterrichtliche Alltag in hohem Maße von Vorgehensweisen dominiert wird, in denen die Lehrkraft die aktive Rolle spielt, während der Lernende vorwiegend zuhört, mitschreibt oder andere, eher als passiv zu bezeichnende Tätigkeiten wahrnimmt.

Moderne Lerntheorien gehen davon aus, dass man sich den Lernprozess als vom Schüler aktiv zu bewerkstelligenden Konstruktionsprozess vorzustellen hat, der auf die Integration neuer Informationen in bereits bestehende Wissens- und Fähigkeitsstrukturen abzielt. Daraus resultiert die Forderung, den Lernenden in größerem Maße als in der Vergangenheit in den Unterrichtsprozess einzubinden. Zwei Forschungstraditionen, die sich dieser Zielsetzung verschrieben haben - das *Kooperative Lernen* beziehungsweise das *Tutoring* - propagieren einen phasenweisen Rollentausch von Lehrer und Schüler zum Zwecke der Effizienzsteigerung des in Angriff genommenen Lernprozesses – das sogenannte *Reciprocal Teaching*.

RENKL begründet die Vermutung, dass das „Lernen durch Lehren“ zu effizienterem Lernen führt, einerseits mit dem Effekt einer *Lehr – Erwartung*, die im Zuge der Vorbereitung auf den Unterricht auftreten könnte. Die Annahme, dass es im Unterricht zu einer „öffentlichen Darlegung“ erarbeiteten Wissens oder zur Verteidigung von Lösungswegen oder Standpunkten kommen wird, sollte zu verstärktem Einsatz von *kognitiven und metakognitiven Lernstrategien* führen. Andererseits sei zu vermuten, dass das Geben von Erklärungen beziehungsweise das Reagieren auf Rückfragen aus gleichem Grunde ein erhöhtes Verständnis auf Seite des Lernenden bewirkt (RENKL, 2001, S. 416).

Im Rahmen des Just-in-Time Teaching - Verfahrens wird im Unterricht mit von Schülern verfassten Statements gearbeitet, die dort begründet und verteidigt werden müs-

sen. JiTT greift also in diesem Zusammenhang die Strategie des „Reciprocal Teaching“ auf und gibt so Anlass zu der Hoffnung, dass diese Arbeitsweise *metakognitive Prozesse* initiiert, die dem Lernen förderlich sind.

### 2.3.2 *Reciprocal Teaching: Stand der Forschung*

COHEN, KULIK und KULIK (1982) resümierten auf Grundlage ihrer 38 Studien umfassenden Metaanalyse, dass sich Tutoring positiv auf die Lernleistung des Tutors auswirke. Allerdings zweifelt ALLEN (1983) dieses positive Urteil an und führt zur Begründung die Einbeziehung von Studien ins Feld, die wissenschaftlichen Standards nicht genügten. BARGH & SCHUL (1980) sowie WEBB (1991) berichten über positive Effekte der *Lehr-Erwartung* sowie des *Gebens von Erklärungen* auf die Lernleistung, Befunde, die jedoch von RENKL (2001, s.o.) in Zweifel gezogen werden. HAREL und PAPERT (1991) verwirklichten ein Projekt, in dem Viertklässler Lernprogramme für Drittklässler konzipierten und letzteren als Tutoren zur Verfügung standen. Die Ergebnisse (insbesondere die Auswirkung des Tutoring auf die Programmierkenntnisse der Viertklässler) waren so ermutigend, dass sich die Forscherinnen zu dem abschließenden Urteil „the best way to learn a subject is to teach it“ veranlasst sahen. KING (1994) kam im Rahmen ihrer Untersuchungen zur Methode des *guided cooperative questioning* im Rahmen Kooperativen Lernens zu dem Befund, dass sich das Verfahren günstig auf die Lernleistung auswirkt, allerdings bemängelt RENKL diesbezüglich eine Konfundierung der Effekte von mindestens drei Strategien, des *Formulierens von Fragen*, des *Gebens von Erklärungen* und des *Erhaltens von Erklärungen*. Zusammenfassend muss konstatiert werden, dass den teils euphorischen Urteilen bezüglich des reciprocal teaching mit Vorsicht zu begegnen ist und es weiterer Studien bedarf, um ein klareres Bild von der Effizienz des Konzeptes zu schaffen.

## 2.4 Selbstreguliertes Lernen

### 2.4.1 Begriffsbestimmung

Die Wirksamkeit von JiTT sollte auch auf dem Umstand beruhen, dass im Rahmen des Verfassens und Vertretens des eigenen Statements *metakognitive* Prozesse angestoßen werden, die zu einer Steigerung der Effizienz des Unterrichts beitragen. Metakognitive Fähigkeiten werden in Zusammenhang gesehen mit der Zielsetzung, den Lernenden soweit zu bringen, seine Lernprozesse eigenverantwortlich zu initiieren und zu überwachen. Aus diesem Grunde folgt an dieser Stelle eine überblicksartige Darstellung des Konzeptes des selbstregulierten Lernens und seiner vermuteten Bedeutung für das Lernen.

PINTRICH (2000) definiert selbstreguliertes Lernen als einen konstruktiven Prozess, in dem der Lernende die Ziele des Lernprozesses selbst bestimmt und relevante Größen wie Kognition, Motivation und Umgebungskontext eigenverantwortlich kontrolliert und optimiert. Ein solches Vorgehen setzt das Vorhandensein und den flexiblen Einsatz sogenannter Lernstrategien voraus, die von WEINSTEIN und MAYER (1986) in die drei Subkategorien *kognitive Strategien*, *metakognitive Strategien* sowie *Ressourcenmanagement* untergliedert wurden. Das auf BOEKAERTS (1997) zurückgehende, von ARTELT et al. (2001) adaptierte „Sechs-Komponentenmodell“ aufgreifend, erscheint eine kontextunabhängige Taxonomie bezüglich der Voraussetzungen selbstregulierten Lernens sinnvoll, die sich auf folgende Weise visualisieren lässt:

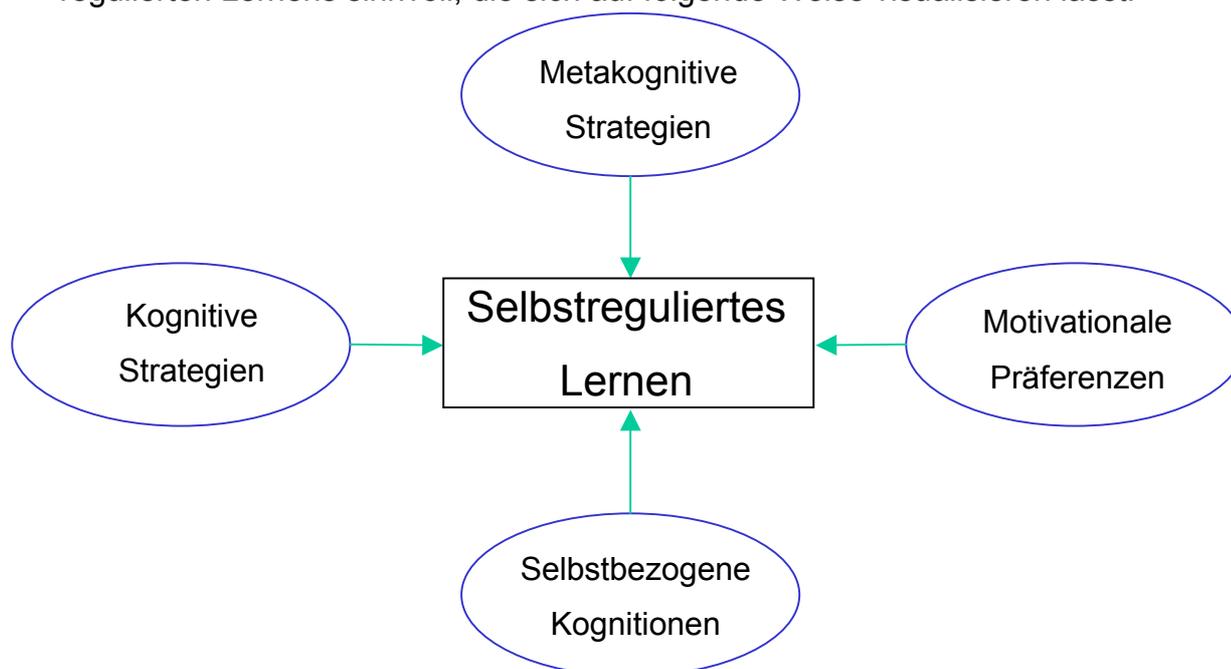


Abb.4: Voraussetzungen Selbstregulierten Lernens

Die einzelnen Bausteine des in Abbildung 2 dargestellten Schemas sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

### 2.4.2 Kognitive Lernstrategien

*Kognitive Lernstrategien* lassen sich in sogenannte *Oberflächen-* und *Tiefenverarbeitungsstrategien* unterteilen. Zu ersteren zählt das Memorierverfahren, dessen Zweck es ist, neu Erlerntes (beispielsweise durch wiederholtes lautes Vorlesen) im Arbeitsspeicher zu halten sowie den Transfer in das Langzeitgedächtnis zu fördern.

Elaborations- sowie Organisationsverfahren gehören zu den Tiefenverarbeitungsstrategien. Im Zuge solcher Vorgehensweisen werden hinsichtlich zu erlernender Inhalte Sinnstrukturen gebildet und diese möglichst dicht mit bereits bestehenden Versteheismustern vernetzt. Des weiteren steht das Bemühen im Vordergrund, informationsreduktiv vorzugehen, indem Inhalte in Form von Diagrammen, Tabellen oder Gliederungen dargestellt werden.

### 2.4.3 Metakognitive Lernstrategien

„Lernen wir besser, wenn wir wissen, wie wir besser lernen?“ – „Lernen Bessere schneller, mehr - oder grundsätzlich anders?“ (WEINERT, 1983, S.9). Dem Ansatz des „Good Strategy User“- Modells (PRESSLEY, 1987) folgend, unterscheiden sich gute von weniger guten Lernern auch dadurch, dass erstere ihren Lernprozess permanent reflektierend begleiten, und zwar im Hinblick auf den Erfolg der angewandten Lernstrategien sowie die Gestaltung der Lerntätigkeiten. Solche metakognitiven Verhaltensweisen praktizierend, kann es bei erkannter Nichteffizienz getroffener Lernentscheidungen zu regulierenden Handlungen kommen. WEINERT (1983, S. 14) beschreibt Metakognition als „Kognition zweiter Ordnung“, „als Kognition über Kognition“, HASSELHORN (1992, S. 57) nennt Metakognition ein hybrides Konzept, spielt damit auf den Facettenreichtum des Begriffes an und bringt außerdem zum Ausdruck, dass eine Abgrenzung gegenüber Selbstkonzept- und Motivationskonzepten äußerst problematisch ist. HASSELHORN schlägt zum Zwecke der Systematisierung der Forschungsansätze ein Klassifikationsschema mit folgenden fünf Subkategorien vor:

Als *systemisch* bezeichnetes Wissen bezieht sich auf solches über die Funktionsweise sowie Stärken und Schwächen der eigenen Kognition. *Epistemisches Wissen* bezeichnet gespeicherte Informationen über das eigene bereichsspezifische Wissen und eventuell vorhandene Lücken, während *metakognitive Acquisitionsprozeduren* (Mechanismen zur Initiierung, Kontrolle und Regulation von Lernstrategien) der Pro-

zesssteuerung und -evaluation dienen. Eine weitere Subkategorie bildet die *Sensitivität*, die in einer gegebenen Situation vonnöten ist, um eine mögliche Lernstrategie als potentiell erfolgversprechend zu erkennen. *Metakognitive Erfahrung* schließlich bezieht sich auf vergangene, im Rahmen von Lernprozessen gemachte Erlebnisse wie zum Beispiel das Empfinden einer logischen Inkonsistenz beim Lesen eines Textes. Aspekte dieses Klassifikationsschemas aufgreifend, formuliert HASSELHORN folgenden denkbaren Zusammenhang zwischen Metakognition und Lernleistung (HASSELHORN, 1992, S. 46):

Auf Grundlage des systemischen und epistemischen Wissens werden dem Lernenden mögliche Verhaltensweisen bewusst. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, dass im Rahmen metakognitiver Acquisitionsprozeduren eine Strategieauswahl getroffen und deren Realisierung und Evaluation überwacht wird.

Hasselhorn vertritt den Standpunkt, dass metakognitive Fähigkeiten trainierbar sind. Auf entsprechende Programme zur Mathematikerziehung im Elementarbereich bezug nehmend, betont er, dass die reine Vermittlung kognitiver, domänenspezifischer Strategien nicht ausreiche. Wichtig sei weiterhin, den Lernenden zu verdeutlichen, in welchen Kontexten eine Strategie aus welchen Gründen erfolgversprechend ist.

#### *2.4.4 Metakognitive Lernstrategien: Stand der Forschung*

WEINERT (1983) berichtet von Evaluationsergebnissen, die belegen, dass sich im Rahmen der Vorhersage unterschiedlicher Erinnerungsleistungen von Kindern und Erwachsenen metakognitive Variablen als beste Prädiktoren herausstellten. Er weist darauf hin, dass Metakognition nur bei mittelschweren Aufgaben, deren Lösung durch potentiell anwendbare Strategien erleichtert wird, zu verbesserter Leistung führe. SCHNEIDER fand 1985 im Zuge der Realisierung einer 27 Studien umfassenden Metaanalyse einen Zusammenhang von  $r = 0,41$  zwischen Metakognition und kognitiven Leistungen. Mit diesem Befund wurden aufgekommene Zweifel an der grundsätzlichen Bedeutung des Forschungsgegenstandes am Lernoutput beseitigt.

BAUMERT und KÖLLER (1996) kommen auf Grundlage der vorliegenden Evaluationen zum Schluss, dass Schüler erst ab einem Alter von etwa 15 bis 16 Jahren über ein Repertoire an flexibel einsetzbaren Lernstrategien verfügen.

SCHNEIDER und HASSELHORN (1988, S. 114f) sehen eine Ursache für die mangelnden Transferfähigkeiten deutscher Schüler in dem Umstand, dass die effiziente Vermittlung von Lernstrategien zu kurz komme. Erfahrungen im Bereich der Mathematiker-

ziehung zeigten, dass die Förderung metakognitiver Fähigkeiten zu einer nachhaltigen Verbesserung des Problemverständnisses führen könne.

ARTELT, BAUMERT und JULIUS-MCELVANY (2003, S. 159) evaluierten im Rahmen der PISA-Studie (2000) an deutschen Schulen erhobenes Datenmaterial und kommen zu dem sehr interessanten Ergebnis, dass der Einsatz von Kontrollstrategien primär von den vorhandenen Selbstwirksamkeitserwartungen (dem Selbstkonzept;  $r = 0,63$ ) sowie der domänenspezifischen Interessenslage ( $r = 0,2$ ) abhängt.

#### 2.4.5 *Motivationale Präferenzen*

Im Rahmen des von PRESSLEY (1987) vorgeschlagenen „Good-Strategy-User - Modells“ wird betont, dass das alleinige Wissen um Lernstrategien noch kein effizienteres Lernen mit sich bringe. Grundlegend sei außerdem das Vorhandensein einer adäquaten *motivationalen Überzeugung*, die dazu führe, dass vorhandenes Strategiewissen auch angewendet werde.

Dass der Faktor „Motivation“ die Lernleistung beeinflusst, gilt mittlerweile als unbestritten. Betrachtet man die lerntheoretischen Modelle der vergangenen Jahrzehnte, fällt jedoch auf, dass diesem Aspekt in unterschiedlichem Maße Bedeutung zugemessen wurde (RHEINBERG, 1996). BLOOMS Ansatz (1973) schätzte den Einfluss motivationaler Variablen auf etwa 25% der Schulleistungsvarianz. CARROLL (1973) präziserte in seiner Theorie die Einflussfaktoren auf die Lernleistung. Außer der aufgabenspezifischen Begabung, der Fähigkeit, dem Unterricht zu folgen, der Lernzeit sowie der Unterrichtsqualität wurde der Motivationsaspekt „Ausdauer“ als ausschlaggebend erkannt. CARROL vermutete, dass bei Kontrolle der vier erstgenannten Komponenten der Unterrichtserfolg eine lineare Funktion der Ausdauer sei. ATKINSON vertrat seit Beginn der achtziger Jahre den Standpunkt, dass sich die Lernfähigkeiten nur bei einem optimalen Ausmaß an Motivation voll entfalten könnten.

#### 2.4.6 *Selbstbestimmungstheorie von DECI & RYAN: Überblick*

DECI & RYAN legen ihrer Theorie der Selbstbestimmung das Konzept der *Intentionalität* zugrunde und formulieren die These, dass Verhaltensweisen nur dann als motiviert zu bezeichnen sind, wenn sie durch intentionale Prozesse reguliert werden (DECI & RYAN, 1993, S. 223). Bestehende Motivationstheorien (beispielsweise BANDURAS Ansatz der Selbstwirksamkeitserwartungen; 1977) analysierend, konstatieren sie, dass Motivation in der Vergangenheit als einheitliches Konzept ohne Substruktur behandelt und allenfalls deren Stärke diskutiert worden sei. Mit der Selbstbestimmungs-

theorie würden nun, so die Forscher, neue Wege dahingehend beschritten, dass Motivation Subkategorien erhalte, die sich in qualitativer Hinsicht durch die Form der Regulierung voneinander unterscheiden.

Die Frage aufgreifend, welche Herkunft motivationale Handlungsenergie habe, werden neben den Trieben und Emotionen als dritte Quelle sogenannte psychologische Bedürfnisse, und zwar die nach *Kompetenz*, *sozialer Eingebundenheit* beziehungsweise *Autonomie* angeführt (DECI & RYAN, s.o., S. 229). Das potentielle Ausmaß der Befriedigung dieser Bedürfnisse liefert, so die Selbstbestimmungstheorie, die Antwort auf die Frage, ob und warum gewisse Handlungsziele motivierend sind und andere nicht. DECI & RYAN vertreten den Standpunkt, dass die Befriedigung der Bedürfnisse nach Kompetenz, sozialer Eingebundenheit und Autonomie zu verbesserter *Selbstmotivierung* und somit zu erhöhter Lernleistung führt.

DECI & RYAN ordnen selbstregulierten Handlungen in motivationaler Hinsicht einen besonders bedeutsamen Stellenwert zu, weshalb es nicht verwundert, dass das Vorhandensein intrinsischer Motivation als besonders lernförderlich erachtet wird. Eine von SCHREYER und SCHIEFELE im Jahre 1994 durchgeführte Metaanalyse scheint diese Hypothese dahingehend zu belegen, dass intrinsisch motivierte Handlungen (also Beschäftigungen mit einem Gegenstand um seiner selbst willen) eher in Zusammenhang mit Tiefenverarbeitungsstrategien gebracht werden als solche, deren Begründungszusammenhänge vom Lernenden als extern reguliert wahrgenommen werden (RHEINBERG, 1996, S. 38). Allerdings geht die Selbstbestimmungstheorie davon aus, dass extrinsische und intrinsische Motivation nicht generell als wesensverschieden zu verstehen sind. Gemäß der Modellvorstellung der beiden Forscher muss dem Konstrukt „extrinsische Motivation“ eine aus vier Komponenten bestehende Substruktur gegeben werden, die sich hinsichtlich der *Qualität ihrer Regulierung* voneinander unterscheiden:

Im Falle der *external regulierten*, extrinsisch motivierten Handlung sieht das Individuum keine Einflussmöglichkeiten auf diesbezügliche Entscheidungen, die Antriebsenergie resultiert aus einem Szenario von Bestrafungen und / oder Belohnungen (sogenannten *Kontingenzen*<sup>15</sup>). Unterliegt eine Beschäftigung dem Stil der *introjizierten Regulation*, so sind die damit zusammenhängenden Steuerungsprozesse zwar

---

<sup>15</sup> *Kontingenz* formuliert in Form einer „Wenn-Dann-Relation“, welches kontextspezifische Verhalten mit hoher Wahrscheinlichkeit welche Konsequenz haben wird.

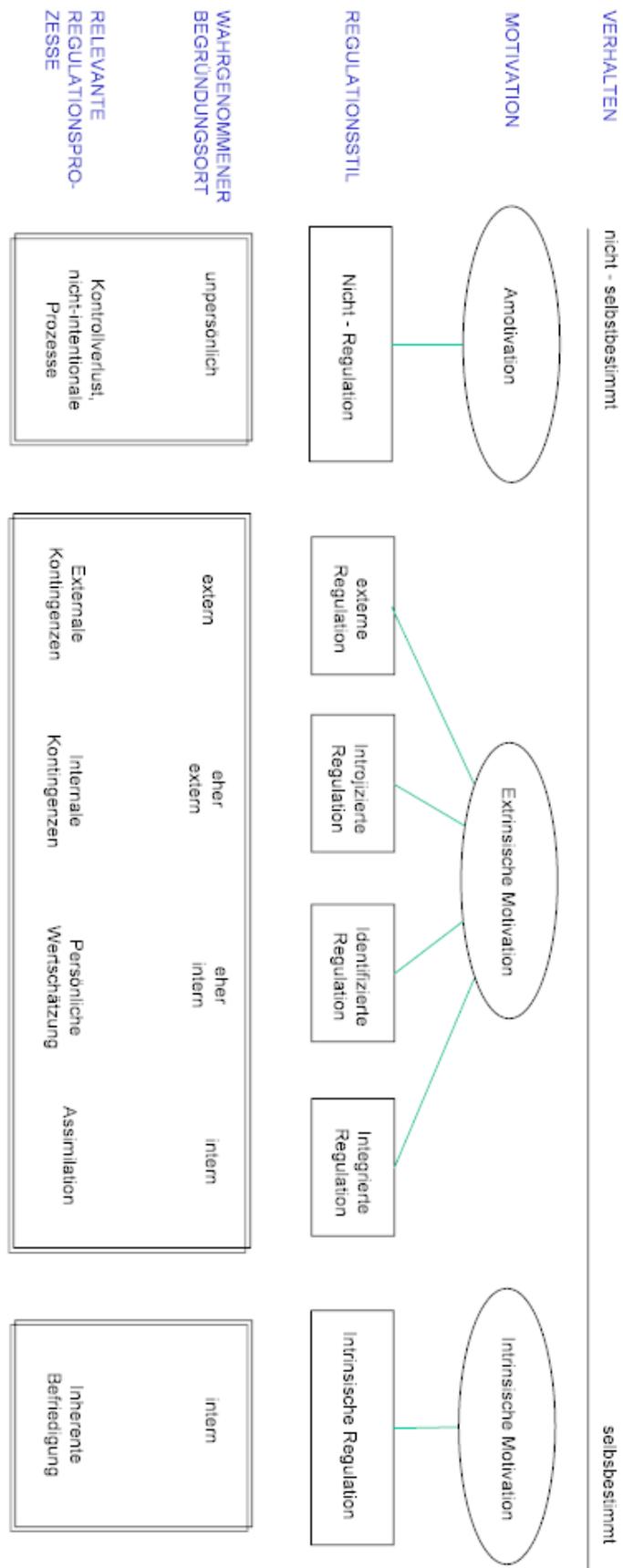


Abb.5: Das Selbstbestimmungs-Kontinuum mit Motivationstypen, Regulationsstilen, Begründungsorten und korrespondierenden Prozessen

immer noch extern initiiert, resultierende Kontingenzen sind jedoch schon eher auf der mentalen Ebene des Individuums angesiedelt (schlechtes Gewissen, Prestigedenken, Moralvorstellungen). Eine Handlung, die *der identifizierten Regulation* unterliegt, weist bereits einen eher internen Begründungsort auf: Man tut etwas nicht deshalb, weil es allgemeinen Wertvorstellungen entspricht sondern, weil man es für persönlich relevant hält. Sind vormals externale, handlungsregulierende Mechanismen in das individuelle Selbst integriert, so spricht man von *integrierter Regulation*; laut Selbstbestimmungstheorie bildet diese zusammen mit der intrinsischen Motivation die Grundlage des selbstbestimmten Handelns.

In diesem Zusammenhang erscheint die von DECI & RYAN aufgeworfene Frage besonders interessant, auf welche Weise man die Internalisierung externer Regulationen fördern kann. Der Selbstbestimmungstheorie zufolge bestehen zwischen der Bereitschaft, externe Steuerungsmechanismen für das eigene Handeln in das Selbst zu integrieren und den psychologischen Grundbedürfnissen des Menschen enge Zusammenhänge. So vermuten DECI & RYAN, dass das Ausmaß der individuellen Selbstwirksamkeitserwartung den erwünschten Assimilationsprozess maßgeblich beeinflusst (DECI & RYAN, 2000, S. 73). Es erscheint legitim, in diesem Kontext von einem engen Zusammenhang zwischen dem (auf BANDURA, 1977, zurückgehenden) Konstrukt der *Selbstwirksamkeit* (self-efficacy) und dem des *Selbstkonzeptes* (self-esteem) auszugehen<sup>16</sup>.

Die beiden Forscher vermuten weiterhin, dass die Integration von (externer) Regulation auf bedeutsame Weise vom sozialen Umfeld des Individuums geprägt wird. Folgt man der Vermutung, dass Internalisierungsprozesse insbesondere durch das „Gefühl des Dazugehörens“ und der Verbundenheit (beispielsweise mit Mitschülern und Lehrern; *relatedness*) erleichtert wird, wird man der sozialen Situierung von Lernprozessen im Unterricht besondere Beachtung schenken.

DECI & RYAN vertreten schließlich den Standpunkt, dass (externe) Kontrolle und als exzessiv empfundener Druck die Bereitschaft zur Internalisierung unterminiert. Die Theorie der Forscher fordert daher Lernprozesse ein, die dem Lernenden ein Höchstmaß an Selbstbestimmung und Autonomie zugestehen (DECI & RYAN, 2000, s.o.). Besonders beachtenswert sei in diesem Zusammenhang, dem Schüler Wahlmöglichkeiten einzuräumen, ihn mit positivem (doch zumindest konstruktivem) Feed-

---

<sup>16</sup> Man könnte den Standpunkt vertreten, dass es sich bei ersterem um eine domänen- und situationsspezifische Facette des individuellen Selbstkonzeptes handelt.

back zu motivieren beziehungsweise ihn ein hohes Maß an persönlicher Zuwendung spüren zu lassen (DECI & RYAN, 1993, S. 231).

Zusammenfassend kann also konstatiert werden, dass die Forscher den autonom regulierten Formen der Motivation im Hinblick auf die Effizienz angestrebter, selbst-regulierter Lernprozesse eine besondere Bedeutung beimessen. Es erscheint sehr legitim davon auszugehen, dass anspruchsvolle (weil selbstgesteuerte) Lernphasen ein ausgeprägtes Kompetenzerleben und den verantwortungsvollen Umgang mit zugestandener Autonomie einerseits sowie die sorgfältige Einbettung des Prozesses in ein produktives soziales Umfeld andererseits zur Bedingung haben.

#### *2.4.7 Selbstbestimmungstheorie: Stand der Forschung*

Auf seine experimentellen, sozialpsychologischen Forschungen bezug nehmend, formuliert VALLERAND (1997) die Vermutung, dass das Ausmaß der Internalisierung funktional vom Grad des individuellen *Kompetenzerlevens* abhängt. So kann vorhergesagt werden, dass Kinder, von denen Leistungen verlangt werden, zu denen sie aufgrund ihres Entwicklungsstandes noch nicht fähig sind, damit verbundene externe Regulationsmechanismen nur in bedingtem Maße integrieren werden. RYAN, STILLER und LYNCH zeigten im Jahre 1994, dass Kinder, die sich in besonderem Maße *sozial eingebunden* fühlten, weniger Probleme hatten, Regulationen schulbezogenen Verhaltens zu internalisieren. DECIS Studien von 1971 belegen des weiteren die Vermutung, dass konstruktives Feedback sowie das Gefühl, ein hohes Maß an persönlicher Zuwendung zu erfahren, dem *Kompetenzerleben* zuträglich sind. In einer Reihe von Untersuchungen (DECI 1971, 1972; LEPPER, GREENE, NISBETT 1973; ROSS 1975) kam man zu dem Ergebnis, dass sich externale Kontingenzen (Belohnungen wie Geld, Auszeichnungen o.ä.) schmälernd auf das Ausmaß an intrinsischer Motivation auswirken. DECI begründete diesen Umstand 1975 mit der Hypothese, dass derart sanktioniertes Verhalten den Eindruck erwecke, sein Begründungsort sei nun externer Natur, der diesbezügliche Regulationsmechanismus also fremdbestimmt („Korruptionseffekt“). Die Schlussfolgerung liege nahe, dass es sich bei dem derzeitigen System benoteter Leistungsüberprüfungen an den Schulen in motivationaler Hinsicht um einen „Schuss in den Ofen handele“ (zitiert nach DECI & RYAN, 1993, S. 235). BANDURA zieht die undifferenzierte Ablehnung externer Anreizmechanismen aufgrund der seiner Ansicht nach hochgradig heterogenen Datenlage massiv in Zweifel, solches Gebahren „reflektiere den Triumph der Doktrin über die (empirische) Beweiskraft“ (BANDURA, 1997, S. 221).

GROLNICK und RYAN (1987) fanden im Zuge ihrer Untersuchungen bei Probanden von High Schools einen vergleichsweise engen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an *Autonomie* und der Qualität des evaluierten Lernprozesses. VALLERAND und BISSONNETTE (1993) stellten heraus, dass von kontrolliert regulierter Motivation geprägtes Lernverhalten erheblich häufiger zu Schulabbrüchen führt als solches, dem autonom regulierte Beweggründe zugrunde liegen. AMABILE (1983) kommt, eine Studie unter Künstlern heranziehend, zu dem Schluss, dass die Motivation zu qualitativ hochwertigen Leistungen eine Minimierung von Kontrollmechanismen sowie Maßnahmen zur Entwicklung der Selbstbestimmung erfordert.

Selbstreguliertes Lernen setzt voraus, dass das Individuum die Einsicht in die Wichtigkeit strategischer Lernentscheidungen in das Selbst integriert hat. Dieser Prozess der Internalisierung wird durch autonomie – und kompetenzfördernde Lernarrangements, die den sozialen Kontext beachten, gefördert. Auf diese Weise werden selbstbestimmt regulierte Formen motivationaler Einstellungen zur Triebfeder des Verhaltens, die für effizientes Lernen von grundsätzlicher Bedeutung sind.

## 2.5 Adaptiver Unterricht

### 2.5.1 Facetten Adaptiven Unterrichts

CORNO & SNOW vertreten den Standpunkt, dass lediglich ein kleiner Teil der Schülerschaft in den Schulen optimale Instruktionsbedingungen vorfindet (1986, S. 625), und begründen dies mit dem Ausmaß an verschiedensten Eignungsfacetten auf Seite der Lernenden. LEUTNER argumentiert, dass sich letztere beispielsweise hinsichtlich der Begabung, dem Interesse oder dem Arbeitsverhalten unterscheiden (2001, S. 272f). Auf lehr-lernrelevante Schülereigenschaften bezug nehmend, unterscheiden CORNO & SNOW vier grundlegende Kategorien, die *akademische Intelligenz*, die *akademische Motivation*, das *Vorwissen* sowie den *Lernstil* und fordern in diesem Kontext die Realisierung eines an den Eignungsmustern der Lernenden orientierten, also *adaptierten* Unterrichts.

Geschieht die Anpassung des Unterrichts im Hinblick auf zeitlich wenig variierende Schülermerkmale („traits“), so handelt es sich um einen Prozess der *Makro - Adaption*<sup>17</sup>. So könnte beispielsweise die Entscheidung über die zu besuchende Schulform in diesem Kontext gesehen werden. CORNO & SNOW sehen in der sogenannten „ATI<sup>18</sup>-Forschung“ eine Chance zur Effizienzsteigerung von Adaptionsverfahren dieser Kategorie (1986, S. 615).

### 2.5.2 Mikro-Adaption

Prozesse der *Mikro-Adaption* zielen auf die Anpassung des unterrichtlichen Geschehens ab, können von Moment zu Moment variieren und weisen daher einen erheblich höheren Grad an Komplexität auf. Dieser Umstand ist sicherlich dafür verantwortlich zu machen, dass das von Lehrern praktizierte Adaptionsprozedere eher spontaner und oftmals nicht bewusster Natur ist; des weiteren findet in der Mehrzahl der Fälle (lediglich) eine Orientierung an den Eignungsvariablen „Fähigkeit“ und „Motivation“ statt (CORNO & SNOW, 1986, S. 614). Aus solchen Gründen beschäftigte man sich in den neunziger Jahren mit der Verwirklichung der Mikro – Adaption im Rahmen *computerbasierten Tutorings*. Die im Zuge dieser Forschungsansätze entstandenen, sogenannten „Intelligent Tutoring Systems“ (ITS) verfügen neben dem zur Instruktion

---

<sup>17</sup> CORNO & SNOW weisen darauf hin, dass in bezug auf denkbare Anpassungsniveaus von einem *Adaptionskontinuum* ausgegangen werden müsste, favorisieren aus Praktikabilitätsgründen aber dennoch die Dichotomisierung (1986, S. 607).

<sup>18</sup> ATI = *Aptitude Treatment Interaction* (Wechselwirkung zwischen Eignungsmustern auf Schülerseite und instruktionaler Intervention)

notwendigen (domänenspezifischen) Experten – Wissen über Algorithmen, die es gestatten, das Eignungsprofil des Lerners auf mehr oder weniger flexible Weise zu modellieren. Fortgeschrittenere adaptive Lehrsysteme wie das Programm „WHY“ gestalten während des Lernprozesses Phasen „Sokratischer Dialoge“, deren Ergebnisse ausschlaggebend sind für die vom Programm zu treffende Auswahl, Anordnung und Darbietung nachfolgender Tutoriumsbausteine (SNOW & SWANSON, 1992, S. 605). Effektives Lernen mit einem Computersystem setzt also voraus, dass es dem Programm gelingt, eine Relation herzustellen zwischen dem Eignungsmuster und den Zielen des Schülers sowie den alternativen, zur Verfügung stehenden Instruktionmitteln. Auf diese Weise würde ein *kontingenter*<sup>19</sup> Lehr-Lernprozess realisiert, der über ein hohes Maß an *Adaptivität* verfügt (LEUTNER, 1997, S. 142).

Die flexible, lernerorientierte Orchestrierung der Lehrstrategien ist nach letzten Erkenntnissen jedoch mit einem Anspruchslevel verbunden, dem (zumindest) die heutige Software-Generation nur bedingt gerecht wird (MANDL et al., 1991; HASEBROOK, 1995, S. 193). So stellt man mittlerweile wieder die - adaptive Lernarrangements konstruierende - Lehrperson in das Zentrum des Interesses und hofft auf eine Effizienzsteigerung durch *unterstützende* Softwareprodukte<sup>20</sup>, die ihr an die Hand gegeben werden (BLUMSTENGEL, 1998, S. 122).

CORNOS & SNOWS Überlegungen aufgreifend, ist eine instruktionale Intervention also dann als adaptiv zu bezeichnen, wenn die von einer Lehrkraft vollzogene Gestaltung der Rahmenbedingungen des Lernprozesses auf eine Weise geschieht, die den individuellen Unterschieden aller Lernenden gerecht wird. Computersysteme können dabei gelingendes „Scaffolding“<sup>21</sup> wirksam unterstützen. Im Zuge wachsender Kompetenzen auf Seite der Schüler gestaltet die Lehrkraft die Instruktion nun offener: Das Anforderungslevel im Hinblick auf Kontrolle des eigenen Verhaltens sowie auf effiziente Informationsverarbeitung steigt. Es liegt auf der Hand, dass der Erfolg dieser Phase des Lernprozesses in hohem Maße von der Fähigkeit zu selbstreguliertem Lernen abhängt (CORNO & SNOW, 1986, S. 621).

---

<sup>19</sup> *Kontingenz* bezeichnet „Gegenstände im Horizont möglicher Abwandlungen“ (LUHMANN, 1984, S. 152), hier in Verbindung mit *Flexibilität*.

<sup>20</sup> Als Beispiel sei die Physik-Software „Coach 5“ des Aamstel-Instituuts in den Niederlanden genannt, die reichhaltige Möglichkeiten zum selbstgesteuerten Erkenntnisgewinn beziehungsweise zur Inneren Differenzierung eröffnet.

<sup>21</sup> *Scaffolding* = Handlungen der Lehrperson, die der Förderung und Unterstützung des Schülers dienen und sich an seinem Kenntnis- und Fähigkeitsstand orientieren.

## 2.6 Vorwissen und Physiklernen

### 2.6.1 Die Bedeutung des Vorwissens für den Lernprozess

Im Rahmen seiner Theorie des „bedeutungsvollen rezeptiven Lernens“ (1968, S. 11ff) bezeichnet AUSUBEL die schulische Methode der *Versprachlichung* als äußerst wirksamen Weg des Lernens. In diesem Zusammenhang priorisiert der Erziehungswissenschaftler den Einsatz von Lernaufgaben in Form von sprachlichem Material. Den Leitideen dieser Theorie folgend, verfügt dieses Material über *potentielle* Bedeutung, die im Zuge der *Subsumtion* durch den Lernenden von dessen *kognitiver Struktur* assimiliert wird und auf diese Weise zu *aktueller* Bedeutung avanciert.

Die Transformation von potentieller in aktuelle Bedeutung stellt also, so AUSUBEL, stets einen individuellen Prozess dar, für den die bereits vorhandene kognitive Struktur, in die Bedeutung integriert werden soll, von herausragender Wichtigkeit ist. Nur wenn im Lernenden klar definierte Anknüpfungspunkte (*Ankerideen*) vorhanden sind, kann der Prozess der adäquaten Verknüpfung neuer Bedeutungen Erfolg haben.

Konsequenz dieser Überlegungen ist, dass am Beginn eines jeden schulischen, zu initiierten Lernprozesses der Blick des Lehrers auf die vorhandenen kognitiven Strukturen (also die deklarativen und prozeduralen Wissensbestände) seiner Lernergruppe stehen muss. Schließlich sei, so der Bildungswissenschaftler, die Existenz einer bedeutungsvollen (motivationalen) Lerneinstellung auf Schülerseite vonnöten, um ein Instruktionsvorhaben zum Erfolg zu führen (s.o., S. 93).

Das konstruktivistische Verständnis vom Lernen sieht den Schüler aktiv am Prozess des Lernens beteiligt. STADLER und KRUSE (1992, S. 92f) zufolge handelt es sich bei einer aufgenommenen Information zunächst lediglich um eine bedeutungsfreie, neuronale Erregung im kognitiven System des Lernenden; eine bestimmte Bedeutung erhalte sie erst im Zuge des vom Lernenden gestalteten Konstruktionsprozesses.

Das kognitive System des Menschen als informationsverarbeitendes System auffassend, unterscheidet RENKL (s.o., S. 179) fünf Verarbeitungssequenzen und zeigt grundlegende Zusammenhänge zum Vorwissen auf. Der Vorgang der *Selektion von domänenspezifischen Informationen* sollte besonders effizient vonstatten gehen, wenn das Individuum bereits über reichhaltiges, themenrelevantes Vorwissen verfügt. Die Untersuchungen zum Einsatz von (allgemeinen) Strategien zeigten außerdem, dass der Anwendungserfolg eng verknüpft sei mit der Quantität (und der Qualität) dessen, was schon gewusst würde.

Die Expertiseforschung zeigte im Rahmen kontrastiver Untersuchungen, dass Experten den Novizen in den Phasen der *Enkodierung und Verarbeitung der Information im Arbeitsspeicher* durch das sogenannte *Chunking* überlegen sind (GRUBER, 2001, S. 166). Durch das (in früheren Lernphasen erfolgte) Erstellen von größeren Sinneinheiten („Chunks“) gelingt es ersteren, neue Informationsmuster schneller und ökonomischer zu speichern (oder, im Sinne PIAGETS, zu assimilieren), während letzteren sehr bald ein „Überlaufen des Arbeitsspeichers“ drohe. RENKL geht nun davon aus, dass die Aufnahmekapazität der Chunks proportional zu deren Größe ist - eine Vermutung, die den paradox anmutenden Umstand verständlich macht, dass das Erlernen von Neuem umso leichter fällt, je mehr man schon weiß<sup>22</sup> (RENKL, 1996, S. 179). Schließlich vertritt RENKL den Standpunkt, dass das Vorhandensein einer breiten, aus miteinander vernetzten Substrukturen bestehende Wissensbasis auch der *Speicherung der Information im Langzeitgedächtnis* sowie der (nachgelagerten) *Abruf- und Nutzungsperformanz* zugute komme.

### 2.6.2 Vorwissen und Lernen - Stand der Forschung

Zahlreiche empirische Befunde belegen die Bedeutung des domänenspezifischen Vorwissens als Einflussvariable für die Lernleistung. HELMKE, SCHNEIDER & WEINERT (1986), HELMKE (1992) sowie WEINERT & HELMKE (1995) wiesen die hohe Prädiktionskraft des Vorwissens im Hinblick auf die Mathematiklernleistung von Hauptschülern nach. An der Stärke des Effektes änderte sich auch nach Ausparialisierung anderer Einflussfaktoren (allgemeine Intelligenz, Motivation) kaum etwas (RENKL, s.o., S. 177). ANDERSON, ANDERSON und BROPHY berichteten 1980 von ihrer Studie, derzufolge 71% der Varianz der Mathematikleistung und 85% der Varianz der Englischleistung von der Variablen „Vorwissen“ gebunden wurde. Auch PARKERSON, LORNAX, SCHILLER & WALBERG bezeichneten vier Jahre später den domänenspezifischen Kenntnisstand als mächtigsten Prädiktor für schulische Leistungen. WEINERTS Studien (1989, 1994) belegen die Wichtigkeit des Vorwissens insbesondere für anspruchsvolle Lernleistungen, während bei leichteren Problemstellungen geringe Vorkenntnisse durch ausgeprägte allgemeine Fähigkeiten kompensiert würden.

Neben den oben angeführten *naturalistischen* Studien lassen auch die realisierten *Laborstudien* keinen Zweifel an der Bedeutung domänenspezifischer Einflüsse auf

---

<sup>22</sup> WEINERT spricht in diesem Zusammenhang von einem *Wissensparadox* : Das Hinzufügen neuen Inhalts in den Informationsspeicher „Gedächtnis“ erfolgt umso leichter, je voller es ist.

die Performanz des Schülers. BYRNES' Übersichtsuntersuchungen förderten zutage, dass in 80% der eingebundenen Studien der themenrelevante Kenntnisstand im Hinblick auf die Prognostizierung der Leistung von (erheblich) größerer Bedeutung ist als beispielsweise die allgemeine Intelligenz (1995; RENKL, s.o., S. 177). SCHNEIDER, KÖRKELE und WEINERT (1989) untersuchten die Gedächtnis- und Textverstehensleistungen von Dritt-, Fünft- und Siebtklässlern in Abhängigkeit vom bereichsspezifischen Vorwissen (variiert in Form des Kenntnisstandes über „Fußball“) sowie allgemeinen Fähigkeiten. Das Ergebnis der Studie belegt die Mächtigkeit des erstgenannten Prädiktors; außerdem beschreibt sie Fälle, in denen Schüler mit geringen allgemeinen Fähigkeiten infolge ihres ausgeprägteren Expertenwissens bessere Leistungen zeigten als solche mit hohen allgemeinen Kompetenzen.

### 2.6.3 Präkonzepte

Dass vorhandenes Vorwissen den physikalischen Lernprozess nicht nur befruchtet sondern auch in erheblichem Maße erschweren kann, wird verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass wahrscheinlich jeder Mensch über bestimmte kognitive Muster verfügt, die er heranzieht, um sich natur- oder technikbezogene Beobachtungen und Erfahrungen zu erklären. Da solcherlei Deutungsstrukturen dem alltäglichen Leben entstammen<sup>23</sup> und ihnen in aller Regel die physikalische Präzision fehlt, bezeichnet man sie in der Didaktik häufig als *Prä- oder Misskonzepte* beziehungsweise als *alternative frameworks* (siehe WODZINSKI, 1996, S. 23). Der Kognitionspsychologe DI SESSA spricht in diesem Zusammenhang von *phänomenologischen Prinzipien* (sogenannten *P-Prims*) und meint damit kognitive Strukturen, die eine oberflächliche Interpretation von Beobachtungen gestatten (SCHNOTZ, 2001, S. 77).

NIEDDERER & SCHECKER (1992) unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen sogenannten „deep structures“ und „current constructions“ und zielen damit auf variiende Stabilitäten der angesprochenen kognitiven Muster ab. Während es sich bei ersteren um tief verwurzelte Vorstellungen (wie beispielsweise die aristotelische Sichtweise vom Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung) handelt, entstehen letztere ad hoc beim Nachdenken und sind daher stark situations- und kontextabhängig.

---

<sup>23</sup> WODZINSKI vermutet, dass Präkonzepte durch Schule, Elternhaus, Freundeskreis oder Medien vermittelt werden (1996, S. 25). Sie weist auf die Bedeutung der Sprache (siehe Unterkapitel 2.2.2) als Transportmittel von Vorstellungen hin.

MANDL, GRUBER und RENKL (1993, S. 27f) sehen einen engen Zusammenhang zwischen der Problematik der alternative frameworks einerseits und dem Phänomen der *Wissenskompartmentalisierung* andererseits:

*Kompartmentalisierung von physikalischen Denkmustern und Vorgängen, die der realen Welt angehören*, bezieht sich auf den Umstand, dass die physikalische Sicht der Dinge zwar gelernt, aber nicht in Alltagssituationen angewandt wird. So verkümmert die erlernte Physik zu einer sterilen Gedankenspielerei, deren Bedeutung für das tägliche Leben zumindest stark in Zweifel gezogen wird.

*Kompartmentalisierung von physikalischen Konzepten und Präkonzepten* liegt vor, wenn physikalische Theorien und alternative, „naive“ Sichtweisen beziehungslos parallel existieren. Es besteht die Gefahr, dass in Alltagssituationen nach wie vor auf die altbewährten, bequemeren, alternativen Erklärungsmuster zurückgegriffen wird – zumal der konkrete Nutzen physikalischer Sichtweisen recht selten unmittelbar einleuchtet und häufig erst bei Betrachtung eines erweiterten Kontextes nachvollziehbar wird.

Von einer *Kompartmentalisierung variierender physikalischer Sichtweisen* wird ausgegangen, wenn unterschiedliche adäquate Modellvorstellungen erlernt wurden, ohne dass diese jedoch auf ausreichende Weise miteinander verknüpft sowie miteinander in Beziehung gesetzt wurden (MANDL et al., 1993, S. 28). *Synthetische* kognitive Denkmuster ergeben sich, wenn ein Gefüge aus effizienten und „naiven“ Sichtweisen kreiert wird, um auf dieser Grundlage ein Verständnis von Natur und Technik zu erhalten (RENKL, 1996, S. 182).

Schülervorstellungen sind in den siebziger Jahren zu einem Thema der Naturwissenschaftsdidaktik geworden. Sie hat sich seitdem insbesondere der Problematik der Entstehungsursachen von Präkonzepten angenommen. JUNG (1986) vermutet in diesem Zusammenhang, dass sich im Individuum bereits in frühester Kindheit bestimmte bevorzugte, kognitive Schemata<sup>24</sup> herausbilden, die die Strukturierung von Alltagsbeobachtungen und -erfahrungen vorgeben. Solche mentalen Muster („Ursache – Wirkung“, „Geben – Nehmen“, „Aktivität – Passivität“, „Täter – Opfer“) kämen dann auch im Zuge der Verarbeitung physikalischer Situationen zum Einsatz.

---

<sup>24</sup> ANDERSON (1986) spricht diesbezüglich von „Erfahrungs-Gestalten“.

### 2.6.4 Präkonzepte aus den Bereichen Mechanik / Elektrizitätslehre

DUIT erstellte über viele Jahre hinweg eine Bibliografie („Students` and Teachers` Conceptions and Science Education“<sup>25</sup>) mit zahlreichen Veröffentlichungen zur angesprochenen Problematik sowie einer Liste der gängigen Schülervorstellungen. WILHELM (2005) stellt fest, dass im Bereich der Mechanik, infolge ihrer relativen Nähe zum Schüleralltag, besonders vielfältige Präkonzepte aufzeigbar sind.

Im folgenden werden übersichtsartig einige, sehr häufig anzutreffende alternative Denkmuster aus der Mechanik und der Elektrizitätslehre aufgeführt.

#### Präkonzepte - Kinematik

- Bewegungsabläufe werden ganzheitlich beschrieben, es findet keine Kategorisierung von Bewegungsphasen statt;
- Bewegung wird als innere Eigenschaft eines Körpers interpretiert. Ein Einblick in die Bedeutung von Bezugssystemen zur Beschreibung von Bewegungen fehlt;
- Die Begriffe „Ort“ und „Weglänge“ (bzw. „Verschiebung“ und „Weg“) werden synonym verwendet;
- Geschwindigkeit wird mit Schnelligkeit (im Sinne einer Tachometeranzeige) gleichgesetzt; es herrscht die Vorstellung vor, dass es sich dabei um eine positive, skalare Größe handelt;
- „Beschleunigen“ wird mit „schneller werden“ gleichgesetzt, der Zeitaspekt wird nicht bedacht;
- Beschleunigung wird als Bilanzgröße interpretiert, lediglich die Geschwindigkeiten am Anfang und am Ende werden als ausschlaggebend erachtet;
- die Vorzeichen von Beschleunigung und Geschwindigkeit werden nicht berücksichtigt;
- Geschwindigkeit und Beschleunigung werden nicht als gerichtete Größen erkannt

#### Präkonzepte - Dynamik

- Kraft wird mit Wirkungsfähigkeit, Potenz, Wucht gleichgesetzt;
- Kraft existiert als etwas Selbständiges neben wechselwirkenden Körpern;
- Es existieren aktive und passive Kräfte;

---

<sup>25</sup> <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>; Zugriff am 10.3.2009.

- zu den Körpern, die aktive Kräfte aufbringen oder beinhalten, gehören lebende Körper bzw. solche in einem Spannungszustand, aber auch Körper, die über Gewichtseigenschaft verfügen bzw. magnetisch sind;
- passive Kräfte sind eigentlich gar keine richtigen Kräfte; Körper, die passive Kräfte aufbringen, stellen lediglich einen Widerstand (Reibung) dar;
- Kräfte machen nur schneller, nie langsamer;
- Auf einen Körper, der eine hohe Endgeschwindigkeit hat, wirkte eine größere Kraft als auf einen mit einer geringen;
- Ein Körper verfügt über eine Trägheitskraft.; eine äußere Kraft versetzt den Körper erst dann in Bewegung, wenn diese größer als die Trägheitskraft ist (Schwellenvorstellung);
- Jede Bewegung beinhaltet eine Kraft. Daraus folgt, dass zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung nicht unterschieden wird;
- Eine Kraft bewirkt stets eine Bewegung des Körpers in Richtung der Kraft;
- Paare von Wechselwirkungskräften greifen immer *an einem* Körper an (Übertragung von Konzepten aus der Statik in die Dynamik);
- Der Boden als passives Element kann unmöglich für die Beschleunigung eines Körpers verantwortlich sein;
- Im Falle eines Körpers auf einer Kreisbahn dominiert die Zentrifugalkraft. Sie ist größer als die Zentripetalkraft.

#### Präkonzepte – Elektrizitätslehre und Magnetismus

- Schüler argumentieren *sequentiell*: Betrachtet wird lediglich das, was *lokal* passiert;
- Das Verständnis vom elektrischen Stromkreis als einem *System* verketteter Ladungen ohne Zwischenräume fehlt;
- Im Hinblick auf den Stromfluss in einem geschlossenen Kreis fehlt häufig die adäquate *Kontinuitätsvorstellung* (was irgendwo ankommt, fließt auch wieder weg);
- Es gibt zwei Arten von elektrischem Strom, nämlich „+“ und „-“;
- Es findet eine Konfundierung der Begriffe „Ladungsstrom“ und „Energiestrom“ statt;
- Elektrischer Strom wird im Kreis zumindest teilweise verbraucht;
- Schüler trennen häufig nicht konsequent zwischen *Strom* und *Spannung*;

- Die Fähigkeit, komplexe Schaltungsgeometrien zu vereinfachen und grundlegende Schaltungsgefüge zu erkennen, ist nur schwach entwickelt;
- Magnetismus wird häufig für eine Art Klebstoff gehalten;
- Magnetismus ist für viele Schüler eine Sorte Gravitation;
- Unter Feldlinien stellt man sich häufig feine Gummibänder vor. Zwischen ihnen existiert kein Feld;
- Feldlinien werden mit dem Feld gleichgesetzt; dort, wo keine Feldlinien sind, ist auch kein Feld.

### 2.6.5 Epistemologische Präkonzepte

WILHELM (2005) liefert einen Überblick hinsichtlich Untersuchungen zu Schülervorstellungen, die sich auf die erkenntnistheoretische Bedeutung wissenschaftlicher Kenntnisse sowie die Praxis naturwissenschaftlichen Arbeitens beziehen<sup>26</sup>. So bemängelt KUHN (1989), dass viele Schüler wissenschaftliche Theorie und experimentelle Beobachtung gleichsetzen und so zu „naiven Realisten“ werden. KIRCHER konstatiert, dass Modellvorstellungen oder Teilen davon (Atome, Elektronen, Lichtstrahlen) das gleiche Maß an Realität zugebilligt würde wie Gegenständen des alltäglichen Lebens (KIRCHER, 1995; siehe WILHELM, 2005). Schließlich gehen, so KÖLLER (2000; siehe WILHELM, 2005), viele Lernende davon aus, dass wissenschaftliche Erkenntnisse *entdeckt* werden – es findet also keine Internalisierung des wissenschaftstheoretischen Ansatzes statt, dass Wissen *konstruiert* wird.

### 2.6.6 Umgang mit Präkonzepten im Unterricht

Im Rahmen seiner Überlegungen zur adäquaten Berücksichtigung von Vorwissen betont RENKL (1996, S. 187) die Bedeutung naiver Konzepte für den Unterrichtserfolg. Effektive instruktionale Intervention setze voraus, dass die Lehrkraft sich im Zuge ihrer Planung und Durchführung eingehend mit den vorhandenen Schülervorstellungen beschäftigt habe. DUIT (1993, S. 13) sieht im intelligenten Umgang mit Präkonzepten *den* Dreh- und Angelpunkt vieler moderner Unterrichtsstrategien.

In den achtziger Jahren vertraten große Teile der Fachwelt den Standpunkt, den *alternative frameworks* müsse im Unterricht durch die Erzeugung eines *kognitiven Konflikts* begegnet werden. Im Rahmen ihrer *conceptual change* - Theorie stellen STRIKE

---

<sup>26</sup> In einigen Studien wird anstelle der Formulierung „epistemologische Vorstellungen“ der vereinfachende Begriff „Wissenschaftsverständnis“ verwendet.

und POSNER (1992) die explizite Formulierung der themenrelevanten Vorstellungen an den Anfang des Instruktionsgeschehens. Diese würden daraufhin mit der vom Lehrer eingebrachten physikalischen Sichtweise konfrontiert. Die Forscher hoffen, auf diese Weise den Prozess der Bewusstwerdung fehlender Konsistenz eigener Denkschemata zu provozieren. In diesem Zusammenhang weisen JUNG et al. (1981, S.9) darauf hin, dass es methodisch fragwürdig sei, dass *Experiment* als entscheidendes Kriterium zu nutzen, und begründen diesen Standpunkt, indem sie darauf aufmerksam machen, dass es keinen eindeutigen Weg vom Experiment zur „korrekten“ physikalischen Theorie gibt. Des weiteren geben WHITE & GUNSTONE (1989) zu bedenken, dass der Erfolg der sogenannten Konfliktstrategie entscheidend davon abhängt, ob und in welchem Maße ein Schüler über die Bereitschaft sowie die notwendigen kognitiven Fähigkeiten verfüge, den angestrebten kognitiven Konflikt zu erkennen und produktiv zur Akkomodation zu nutzen. So führt WODZINSKI (1996, S. 31) die geringe Effizienz des beschriebenen Vorgehens in der Sekundarstufe I auf die noch nicht ausreichend entwickelten Fähigkeiten zur Selbstreflexion sowie das „Bedürfnis nach begrifflicher Konsistenz“ zurück. DREYFUS (1990) weist auf den psychischen Druck hin, der durch ein Verfahren erzeugt würde, das darauf abziele, als vertrauenswürdig anerkannte Vorstellungen zu beseitigen und sieht in dieser Problematik eine Gefahr für den Lernerfolg von Schülern mit negativem Selbstkonzept. Kritikpunkte dieser Art legen es nahe, der von MANDL (1993) vertretenen Sichtweise, Unterricht müsse zum Ziel haben, Präkonzepte durch die physikalisch korrekten zu *ersetzen*, skeptisch gegenüber zu stehen. SOLOMON (1983) befürchtet, dass der Erfolg eines solchen Ansinnens den Verlust der (partiellen) Kommunikationsfähigkeit im Alltag zur Folge haben könnte. Schließlich hätten sich Alltagskonzepte im täglichen Leben bewährt, weshalb die Begründungsmuster für deren Substitution nur schwer zu vermitteln seien.

So relativiert man mittlerweile die Bedeutung der Konfliktstrategie und bezeichnet sie als *eine mögliche* Vorgehensweise unter vielen. JUNG (1986, S. 19) beschreibt zwei alternative Ansätze zum Umgang mit Präkonzepten:

Die Methode des *Anknüpfens* versucht, Schülervorstellungen, die über „potentiellen physikalischen Gehalt“ verfügen, zu lokalisieren und sie als „anchoring conceptions“<sup>27</sup> für den sich anschließenden Lernprozess zu nutzen. Im Zuge des *Umdeutens*

---

<sup>27</sup> Man kann wohl eine enge Beziehung sehen zwischen den „anchoring conceptions“ und AUSUBELS „advance organizers“.

von Präkonzepten werden kognitive Alltagsmuster aufgegriffen und in einen neuen, physikalischen Kontext gestellt – auf diese Weise also für den Lernprozess nutzbar gemacht. So erscheint es legitim, die Alltagsvorstellung der „Kraft, die einen in einem Auto, das eine Kurve fährt, nach außen drückt“, als physikalisch relevant zu thematisieren – für den Fall, dass man einen Bezugssystemwechsel vornimmt.

Letztlich geht es diesen „moderateren“ Verfahren zur Berücksichtigung von Präkonzepten im Unterricht darum, parallel zu den bereits vorhandenen Alltagssichtweisen die physikalischen Konzeptionen zu verankern und beide miteinander in Beziehung zu setzen. WILHELM (2005) äußert die Hoffnung, dass es so gelingen kann, die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen frameworks bewusst werden zu lassen und sie auf diese Weise zu befähigen, eine wohlbedachte, situations – und kontextspezifische Wahl der einen oder anderen Sichtweise treffen zu können<sup>28</sup>.

---

<sup>28</sup> Die *Kontextualisierung* von Wissen ist eine der Basisforderungen des sogenannten „Situiereten Lernens“ (siehe Unterkapitel 2.7)

## 2.7 Situiertes Lernen

### 2.7.1 Transferleistungen

Bereits vor 80 Jahren beklagte WHITEHEAD (1929) die Unfähigkeit vieler Schüler und Studenten, das an Schulen und Universitäten erworbene Wissen in anderen Zusammenhängen beziehungsweise Alltagssituationen sinnvoll anzuwenden und prägte hierfür den Begriff des „trägen Wissens“. Wie wenig sich an dieser beklagenswerten Situation in Deutschland seitdem geändert hat, zeigen die wichtigsten Ergebnisse der großen, internationalen Vergleichsstudien der vergangenen Jahre: Deutsche Schüler können, was Fähigkeiten zu Transferleistungen anbelangt, nur in bedingtem Maße mithalten (BLK, 1997, S. 59).

### 2.7.2 Kognitive Lerntheorie, Behaviorismus und situierte Ansätze

Teile der Forschergemeinschaft vertreten den Standpunkt, dass Unterricht in den meisten Fällen ein *dekontextualisiertes* Unterfangen darstelle, und machen dafür die in den vergangenen Jahrzehnten vorherrschenden, (klassischen) *kognitiven* Theorien verantwortlich. So wird kritisiert, dass das lernende Individuum als *geschlossenes Informationsverarbeitungssystem* (MANDL et al., 2005, S. 25) modelliert werde, ohne die Relevanz von Umgebungseinflüssen in ausreichendem Maße zu berücksichtigen. Die Herausstellung der grundlegenden Bedeutung des Umfeldes für das Verhalten erinnert an den *Behaviorismus*, dessen radikalste Spielart den Menschen als (simple) „Reiz – Reaktionsmaschine“ auffasste (DAHNCHE, 1999, S. 186). Neuerdings verfolgt man im Rahmen des *situierten Ansatzes* das Ziel, eine Synthese der kognitiven Sichtweise einerseits sowie behavioristischer Standpunkte andererseits zu erreichen: Für das Lernen sei sowohl die interne kognitive Struktur des Individuums als auch der situationale Bezug von grundsätzlicher Bedeutung (RENKL, 1996, S. 184). In Bezug auf die Fähigkeit der Schüler, Transferleistungen zu erbringen, sei daher zu konstatieren, dass erworbenes Wissen *kontextgebundenen* Charakter aufweise und daher nicht von einer reibungslosen Übertragung auf inner – oder außerfachliche Problemstellungen ausgegangen werden könne.

Der situierte Ansatz verabschiedet sich von der Vorstellung, Wissen sei eine „Substanz“, die im Gedächtnis - losgelöst von jeglicher Verbindung zur Außenwelt - konstruiert worden und dort abgespeichert sei und propagiert Wissen als ein *Netz von Relationen* zwischen dem Individuum und seiner sozialen und physischen Umgebung (GREENO, 1992). Wissen sei „abhängig vom gewählten Bezugssystem“, also

vergleichbar mit dem Konstrukt „Bewegung“ im Rahmen eines physikalischen Kontextes. GRUBER (1995) definiert „Lernen“ als Prozess, der letztlich zu einer Verbesserung der Fähigkeiten zur Interaktion mit Objekten der Umwelt (Menschen, Dingen) führt und sieht „Transfer“ im Zusammenhang mit dem Wissen darüber, wie die Teilnahme an einer bestimmten Aktivität die (darauffolgende) Teilnahme an einer anderen beeinflusst. Zusätzlich sieht RESNICK (1991) im Vorgang der *sozialen Interaktion* eine bedeutende Komponente der Kognition, definiert diese als „sozial geteilte Aktivität, die mit motivationalen, emotionalen und sozialen Aspekten interagiere“<sup>29</sup>.

### 2.7.3 Modelle situierten Lernens

Den unterrichtlichen Ausgangspunkt des von COLLINS, BROWN und NEWMAN (1989) entwickelten Verfahrens des *Cognitive Apprenticeship* bildet ein Problemszenario, das in einen praxisrelevanten Kontext eingebettet ist. Die Lehrkraft erläutert den Schülern die strategische Vorgehensweise zur Lösung der gegebenen Problemstellung, agiert in dieser Phase des Lernprozesses also als kognitives Modell (Sequenz des *Modelings*). Dem Konzept WYGOTSKIS (1987) folgend, befinden sich die Lernenden in der *Zone proximaler Entwicklung*, letztere sind demnach noch nicht fähig, die Problemlösung eigenständig zu erarbeiten. In den nun folgenden Unterrichtsabschnitten des *Coachings* und *Scaffoldings* hilft die Lehrkraft den Lernenden beim Erwerb der relevanten Kompetenzen und Kenntnisse. Wird dem Schüler in dieser Phase Raum zur Artikulation seiner Vorstellungen und Gedankengänge gegeben, hat die Lehrkraft die Chance, den Lernprozess durch adäquat gestaltetes Feedback zu moderieren. Der fortschreitende Unterrichtsprozess beschert einerseits stetig wachsende Problemlösefähigkeiten, andererseits gestattet er es der Lehrkraft, sich in immer stärkerem Maße zurückzunehmen und den Lernenden die Verantwortung für die folgenden Lern- und Arbeitsphasen zu übertragen (Sequenz des *Fadings*).

Im Zentrum des von der „Cognition and Technology Group“ in Vanderbilt (CTGV, 1990) entwickelten, konstruktivistisch ausgerichteten *Anchored Instruction (AI)-Ansatzes* stehen die sogenannten „Anker-Stories“, mit deren Hilfe es gelingen soll, Lernprozesse an möglichst anwendungsbezogene Kontexte zu binden. Man hofft, durch den Einsatz der realistisch gehaltenen Anker dem Problem des trägen Wissens begegnen zu können und glaubt des weiteren, dass ihr narrativer (erzählender)

---

<sup>29</sup> Es erscheint legitim, in diesem Zusammenhang von *sozialer Situierung* des Lernprozesses zu reden.

Charakter zu erhöhter domänenspezifischer Motivation beiträgt (MANDL et al., S. 22). LEUTNER (2001, S. 198ff) bezeichnet das *AI*-Konzept als „einen der führenden theoriegeleiteten Ansätze offener, lernerzentrierter und lernergesteuerter Unterrichtsformen“.

„Anker-Stories<sup>30</sup>“ liegen in Form von interaktiven, multimedialen PC-Programmen vor. CTGV (1997) sowie SCHARNHORST (2001) weisen darauf hin, dass der Bearbeitung der Übung die Formulierung des zugrundeliegenden Problems vorausgehe, wodurch die Fähigkeit der Schüler zur Identifizierung von Problemstellungen geschult würde. Das Konzept gestatte es, weitere, modifizierte Stories im Unterricht zu thematisieren, um Transferkompetenzen zu entwickeln. Von grundlegender Bedeutung sei die Arbeit mit den erstellten Medien in Kleingruppen, da es auf diese Weise zur Stimulierung kognitiver Prozesse komme und komplexe Sachverhalte so besser verstanden würden.

KUHN und MÜLLER (2005, S. 2) sehen im *AI*-Ansatz einen erfolgversprechenden Weg hin zu effizienteren Lernprozessen, bemängeln jedoch den erheblichen technischen und zeitlichen Aufwand zur Entwicklung der Anker-Stories. Des Weiteren kritisieren sie die ungenügende didaktisch-inhaltliche Flexibilität dieser Produkte, eine Justierung gemäß der auf Schülerseite vorliegenden Präkonzepte, der Gruppenzusammensetzung oder ähnlichem sei lediglich in unzureichendem Maße möglich. KUHN und MÜLLER propagieren daher den Einsatz von Zeitungsaufgaben beziehungsweise Zeitungsaufgaben mit dekorativem Bild als Ankermedien anstelle der Multimedia-Produkte und erhoffen sich so eine Synthese von angestrebter Authentizität des Story-Materials und erhöhter Variabilität und Praktikabilität des Ankers (*Modified Anchored Instruction*).

#### 2.7.4 Stand der Forschung: Situiertes Lernen

An dieser Stelle soll zunächst Bezug genommen werden auf eine sehr einflussreiche Kontroverse zum Situierten Lernen, die sich in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre zwischen den Bildungsforschern ANDERSON und GREENO entspann (ANDERSON et al., 1996, 1997; GREENO, 1997).

Eine von vielen Vertretern des situierten Lagers artikulierte Kritik bezieht sich auf die Ineffizienz des existierenden Schulunterrichtes. ANDERSON diskutiert in diesem Zu-

---

<sup>30</sup> Zu den bekanntesten Stories dieses Typs gehören die „Adventures of Jasper Woodbury“, professionell produzierte, zwanzigminütige Videosequenzen für den Bereich der Mathematik für Kinder zwischen 11 und 14 Jahren.

sammenhang den von LAVE (1988) dokumentierten empirischen Befund, demzufolge brasilianische Straßenkinder im Zuge der Abwicklung von Straßengeschäften auf sehr effiziente Weise in der Lage waren, mathematische Fähigkeiten zu nutzen, während selbige im Schulkontext versagten. ANDERSON vertritt den Standpunkt, dass diese Beobachtung lediglich auf Diskrepanzen im Rahmen des Transfers von Alltagswissen in die Schule verweise, für den umgekehrten Fall aber nicht herangezogen werden dürfe. In seiner Entgegnung verweist GREENO auf empirische Studien von BEACH<sup>31</sup> (1995), die auf wechselseitige Beeinflussung von (*abstrakter*) schulischer Instruktion und (*konkreter*) Alltagserfahrung hinweisen. GREENO konstatiert, dass sinnvolles Argumentieren auch ohne Schulbildung möglich sei und kritisiert in diesem Zusammenhang das Unvermögen der kognitiven Perspektive, dieses Phänomen auf adäquate Weise zu beschreiben. Insbesondere scheiterte in diesem Zusammenhang die kognitive Analysetechnik der *Faktorisierung* des Lernprozesses in Wissen und Kontext. Das Bild vom Wissen als einer Substanz, die im Individuum gespeichert sei, könne nicht effizient sein, da die Bedeutung der Situation und der Umwelt ausgeschlossen werde.

ANDERSON bezieht sich in seiner Argumentation des weiteren auf LAVES provokante Aussage, die Schulmathematik diene einzig dazu, willkürliche und unfaire Klassenstrukturen aufrecht zu erhalten (LAVE 1986, 1988). Angesichts des Umstandes, dass der Schulerfolg auch dann noch auf mittlere bis starke Weise mit der (späteren) Job-Performance korreliere, wenn allgemeine Fähigkeiten herauspartzialisiert würden, spräche klar gegen obiges Statement. GREENO betont, solchen empirischen Belegen nicht widersprechen zu wollen, hebt aber gleichermaßen hervor, dass es dem situierten Ansatz (im Gegensatz zur kognitiven Sichtweise) gelingen könne, zu begründen, weshalb Schulbildung in manchen Situationen fruchte und in anderen nicht. Dies sei in erster Linie durch den Umstand möglich, dass die situierte Analyse auf die Art und Weise fokussiere, mit der der Mensch in einem bestimmten Situationstyp mit beteiligten Systemen interagiere.

ANDERSON interpretiert diverse Äußerungen von Bildungsforschern des situierten Lagers dahingehend, dass ein Transfer zwischen Problemstellungen prinzipiell nicht möglich sei. Dem hält der Kognitivist entgegen, dass seit Mitte des 19. Jahrhunderts mannigfaltige Untersuchungsergebnisse vorlägen, die sowohl von erfolgreichen als

---

<sup>31</sup> Die Stichprobe dieser Studie bestand aus zwei Gruppen nepalesischer Kaufmannslehrlinge, die in unterschiedlichem Maße über Alltags- beziehungsweise Schulwissen verfügten.

auch gescheiterten Transferprozessen berichteten. ANDERSON führt eigene Untersuchungen aus dem Jahre 1989 an, die zeigten, dass das Maß an effizientem Transfer eine Funktion des Grades sei, in dem neue und alte Problemstellungen in kognitiven Elementen übereinstimmten. Evaluationen von BRANSFORD (1989) und BROWN (1988) hätten gezeigt, dass die Transferfähigkeit von Lernenden durch die Bearbeitung vielschichtiger Aufgaben sowie das individuelle Reflektieren über die Chancen von Transferbemühungen verbessert werden könnten. GREENO erkennt die empirischen Befunde erneut an, verweist jedoch auf die unterschiedlichen Blickwinkel von kognitiver und situierter Perspektive: Während die erstgenannte Forschungsrichtung den Transferprozess als individuelles, *kognitives Prozedere in einem anderen Kontext* auffasse, verstände letztere darunter die *Übertragung von Mustern der Partizipation* von einer Situation in eine andere.

ANDERSON beschreibt Ergebnisse des *Committees on Techniques for the Enhancement of Human Performance* (DRUCKMAN & BJORK, 1994), einer Arbeitsgruppe, die sich den Evaluationen zum (vom situierten Ansatz propagierten) Kooperativen Lernen angenommen hat und zu vergleichsweise kritischen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Effizienz der Strategie kommt. So seien viele Feldstudien (im Hinblick auf diverse Einflussfaktoren) schlecht kontrolliert, deren Resultate somit fragwürdig. Generell gäbe es wenig experimentelle Untersuchungen, die auf klare Weise die Wirksamkeit kooperativer Lernformen belegten. Dem hält GREENO entgegen, dass es mittlerweile (1996) eine wachsende Zahl von Ausbildungsgängen (beispielsweise auf dem Felde der Mediziner- und Ingenieursschulung) gäbe, in denen komplexe, realitätsnahe Problemstellungen in Gruppenarbeit behandelt würden - und dies mit einigem Erfolg. Außerdem müsse man, so der Bildungsforscher, aus situierter Sicht den standardisierten Schultests zur Leistungsmessung skeptisch gegenüber stehen, da das schulische Umfeld als bedeutender, situativer Parameter den Testoutput maßgeblich mitbestimme. GREENO glaubt, dass solche Evaluationstechniken lediglich in ganz beschränktem Maße etwas über die Performanz der Probanden in anderen Situationen aussagten.

ANDERSON sieht ein Verdienst des situierten Ansatzes in dem Umstand, die Bedeutung des Kontextes und sozialer Aspekte für die Kognition des Individuums in das Blickfeld des Interesses gerückt zu haben. Trotzdem ist zu konstatieren, dass er dem (seiner Ansicht nach) wenig gefestigten und klaren theoretischen Konzept des Situ-

ierten Lernens skeptisch gegenüber steht. Wegweisende Impulse für die Bildungsforschung seien, so ANDERSON, vom Situieren Lernen nicht zu erwarten.

#### Forschungsansätze zur Anchored Instruction

Es ist zu konstatieren, dass die empirische Datenlage bezüglich des Konzeptes des Situieren Lernens zum gegenwärtigen Zeitpunkt als wenig umfassend und unklar zu bezeichnen ist (MANDL et al., 2005, S. 27). Eine Ausnahme bildet diesbezüglich (zumindest auf den ersten Blick) der Anchored Instruction - Ansatz der CTGV, der im Zeitraum 1990 bis 2003 in etwa 40 Studien evaluiert wurde (KUH, 2008, S. 31). Infolge der Heterogenität der Vorgehensweisen konnten jedoch nur dreizehn dieser Untersuchungen im Zuge der Durchführung einer Metaanalyse durch BLUMSCHEIN (2003) berücksichtigt werden. Der Wert des in diesem Zusammenhang ermittelten, sehr ermutigenden Pearsonschen Korrelationskoeffizienten  $r = ,33$  wird allerdings von BLUMSCHEIN selbst massiv relativiert: Aufgrund der großen Fehlerstreuung könne das bestimmte Zusammenhangsmaß im Sinne einer Abschätzung der Stärke des Effektes des Konzeptes kaum als repräsentativ gelten.

Eine von BOTTGE ET AL. (2007) durchgeführte, Studien aus den Jahren 1993 bis 2007 umfassende Untersuchung erbrachte eine Bestätigung des oben genannten Korrelationskoeffizienten. Bemerkenswert erscheint in diesem Kontext, dass die Propanden der Treatmentgruppen bessere Testwerte im Rahmen der Erfassung der Problemlösefähigkeit lieferten, im Zuge der Bearbeitung (konventioneller) Textaufgaben jedoch „lediglich“ gleichauf waren beziehungsweise hinter den Lernenden der Kontrollgruppen zurückblieben.

KUH unterzieht die Ergebnisse der beiden genannten Metauntersuchungen einer kritischen Analyse (KUH, 2008, S.33ff), wobei folgende Aspekte besonders erwähnenswert erscheinen:

- Einige der zur Anwendung gekommenen Testinstrumente weisen wissenschaftlich nicht tragfähige Reliabilitäten auf (Beispiel: Die repräsentativ bedeutungsvollen Studien von PELLEGRINO ET AL. (1991) beziehungsweise HICKEY, MOORE & PELLEGRINO (2001) arbeiteten mit Testinventaren zu mathematischen Fähigkeiten sowie zur motivationalen Überzeugung, deren Cronbachs  $\alpha$  - Werte kleiner als ,65 waren);
- Keine der Studien weist eine klare Dokumentation des methodischen Vorgehens auf;

- Viele Studien sind hinsichtlich des Designs nur bedingt miteinander vergleichbar;
- Die Instrukionsphasen der verschiedenen Untersuchungen umfassten unterschiedliche Zeiträume;
- Die Anzahl der partizipierenden Betreuungskräfte während des Unterrichts war nicht konstant;
- Kontroll- und Experimentalgruppe wurden von unterschiedlichen Lehrkräften instruiert, sodass nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Teil des Unterrichtserfolges auf die Persönlichkeit des Lehrers zurück zu führen ist.

Schließlich bemängelt KUHN, dass es in keiner der erfassten Studien bislang zu einer theoriegeleiteten Erhebung der Qualität des Ankermediums gekommen ist.

### Physik im Kontext (PIKO)

Eine Arbeitsgruppe des IPN rief im Jahre 2004 (siehe DUIT, 2004, S. 6) das Projekt „Physik im Kontext“<sup>32</sup> (PIKO) ins Leben. In Kooperation mit einigen Universitäten wurden Schulsets<sup>33</sup> gebildet, in denen Lehrkräfte zusammen mit Fachdidaktikern an der Verbesserung des Physikunterrichts arbeiten. Hierbei sieht man in der Ausarbeitung eines kontextbasierten, (also letztlich situierten) Instrukionsprozedere eine der größten Herausforderungen einer zu initiierten neuen Lehr - Lern - Kultur. Eine wissenschaftliche Auswertung der Ergebnisse des Projektes ist in Arbeit.

---

<sup>32</sup> Weitere Informationen zu PIKO: <http://www.physik-im-kontext.de>; Zugriff am 1.3.2009

<sup>33</sup> Im Schuljahr 2006/2007 waren 15 Schulsets mit insgesamt 160 Lehrern in 11 Bundesländern an PIKO beteiligt (DUIT, 2007, S. 6).

## 2.8 Gesprochene und geschriebene Sprache

### 2.8.1 Medium und Konzeption von Sprache

In den sechziger Jahren sah sich die Linguistik vor die Aufgabe gestellt, die unterrichtliche Vermittlung des Deutschen als Fremdsprache (DaF) grundlegend zu reformieren. Die Ausrichtung der Instruktionsverfahren am Ziel der Kommunikationsfähigkeit des Lernenden in realen Alltagssituationen führte zu einer „Entrümpelung des Sprachunterrichts“ (SCHANK et al., 1983, S. 1) und etablierte die *gesprochene Sprache* als Forschungsgebiet der Linguistik. Insbesondere die Syntaxforschung vertrat in dieser Zeit den Standpunkt, das Untersuchungsobjekt *Sprache* könne im Zuge separater Forschungsansätze in die Teilbereiche *geschriebene* und *gesprochene Sprache* differenziert werden. Allerdings erkannte man in der Folgezeit, dass das Begriffspaar *Schriftlichkeit / Mündlichkeit* über leicht konfundierbare Bedeutungen verfügt, die zwei verschiedenen Dimensionen zuzuordnen sind. Eine *medial schriftliche*, sprachliche Äußerung weist graphischen, eine *medial mündliche* Äußerung phonischen Charakter auf. Während die Frage nach der Ausprägung der Merkmalsdimension *Medium* einer Äußerung leicht zu beantworten ist, fällt die Antwort im Hinblick auf die zugrundeliegende *Konzeption* (als zweiter Dimension) einer sprachlichen Aktivität erheblich schwieriger: Ein wissenschaftlicher Vortrag wird zwar mündlich artikuliert, *konzeptionell* würde man ihn jedoch stärker im Bereich der Schriftlichkeit verorten. Ein Privatbrief, dem Bereich der *medialen* Schriftlichkeit zugeordnet, wiese in der Regel eher konzeptionell mündlichen Charakter auf (KOCH & ÖSTERREICHER, 1994, S. 587).

Im Zuge *universalsprachlicher* Analysen betont FIEHLER (1994, S. 179), dass es beim Schreiben um die (individuell geprägte) Herstellung eines *Produktes* gehe, während dem Akt des Sprechens die Zielsetzung der kooperativen Organisation eines *Prozesses* zugrunde läge und somit das „gemeinsame Erzeugnis des Sprechers und des Hörers“<sup>34</sup> sei. Gesprochene Sprache müsse stets im Zusammenhang mit den gegebenen Situationsfaktoren gesehen werden, während geschriebene Sprache dekontextualisierten Charakter aufweise (FIEHLER, s.o., S. 177). KOCH und ÖSTERREICHER sehen eine Hauptzielsetzung der Schriftlichkeit im Bestreben, eine Äußerung aus dem Netz situationaler Gegebenheiten zu lösen und sie über große Zeiträume und Entfernungen hinweg verwertbar zu machen. Daraus resultiere - gegenüber der

---

<sup>34</sup> Siehe auch: BEHAGHEL, 1927, S. 15.

konzeptionellen Mündlichkeit - ein höheres Maß an Elaboriertheit, planerisch – reflektierender Tätigkeit und strukturierter semantischer Progression. Der Schriftlichkeitspol könne, so die beiden Linguisten, charakterisiert werden durch einen höheren Grad an Textkohärenz, ausgeprägtere Kreativität sowie eine systematischere Nutzung von Möglichkeiten zur Abstraktion. Im Vordergrund stehe die *Veröffentlichung* und damit die Loslösung vom zufallsgeprägten, variierenden Kontext, der einen Sprechakt maßgeblich beeinflusse. Gesprochene Sprache verfüge, so SCHANK & SCHOENTHAL (1983, S. 10f), in bedeutendem Maße über dialogische Elemente (anstelle der indirekten Rede), weise nicht-wohlgeformte Sätze sowie parataktische Satzverknüpfungen<sup>35</sup> auf, außerdem seien häufig Abtönungspartikel<sup>36</sup> anzutreffen. SCHANK & SCHOENTHAL differenzieren zwischen gesprochener Sprache und *redigierter* gesprochener Sprache<sup>37</sup>, einer Varietät<sup>38</sup>, die häufig in Zeitungsinterviews vorfindbar sei und u.a. ein geringeres Maß an Dialogen und Redundanzen aufweise.

### 2.8.2 Äußerungsformen im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit beziehungsweise Schriftlichkeit

KOCH und ÖSTERREICHER gehen einen Schritt weiter und entwickeln das „Modell der Äußerungen im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit / Schriftlichkeit“ (Abbildung 6). Wie oben bereits erwähnt, kann eine sprachliche Aktivität problemlos medial kategorisiert werden - sie ist entweder graphisch oder phonisch realisiert (Bereiche oberhalb beziehungsweise unterhalb der Abszisse). Im Hinblick auf die Konzeptionsdimension gehen KOCH & ÖSTERREICHER von einem *Kontinuum* aus, welches in der Abbildung in Form der Abszisse visualisiert ist. Auf diese Weise wird vermittelt, dass eine sprachliche Aktion – unabhängig von ihrer medialen Zuordnung – einer der beiden (polaren) konzeptionellen Formen näher stehen könnte, ohne jedoch völlig frei zu sein von Merkmalsausprägungen der jeweils anderen.

---

<sup>35</sup> *Parataktische Satzverknüpfungen* = Lineare Aneinanderreihungen

<sup>36</sup> Partikel, die nicht gemäß ihrer lexikalischen Bedeutung sondern zur Artikulation von Überraschung, Ablehnung oder ähnlichem verwendet werden (ja, denn, aber, usw.).

<sup>37</sup> Ein Konstrukt von KOCH & ÖSTERREICHER aufgreifend, könnte man in diesem Zusammenhang von *elaborierter Mündlichkeit* sprechen.

<sup>38</sup> *Varietät* bezeichnet in der Linguistik die Teilmenge einer Einzelsprache, also einem System, das über ein komplettes Zeichenreservoir zur Kommunikation in jeder denkbaren Situation verfügt. So stellt auch die Schriftsprache eine Varietät einer Einzelsprache dar.

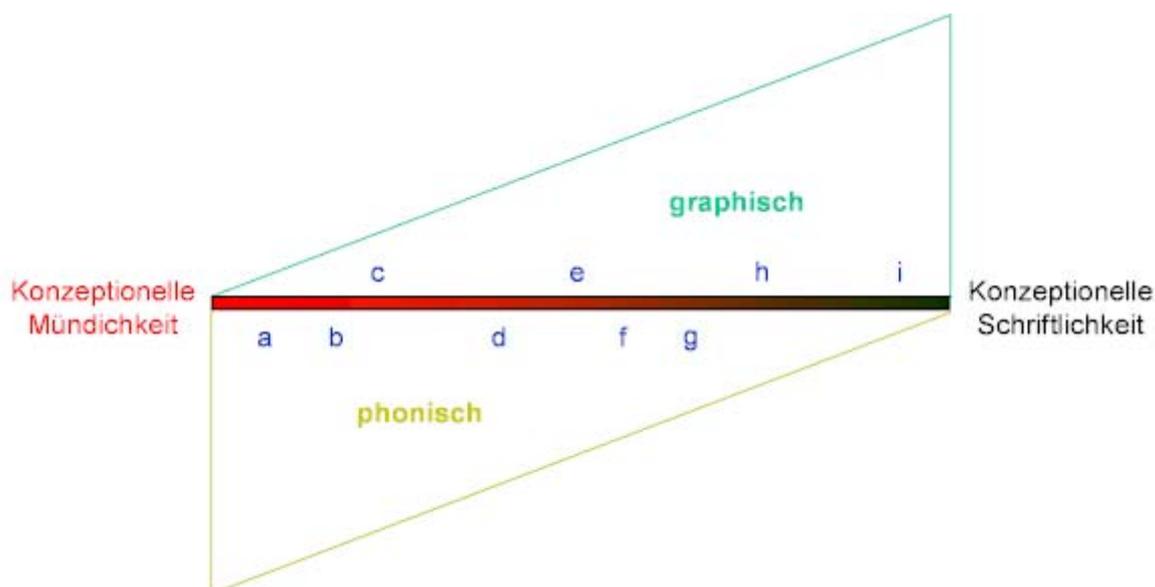


Abb.6: Anordnung verschiedener Äußerungsformen im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit / Schriftlichkeit

Anmerkungen:

a = familiäres Gespräch, b = Telefongespräch, c = Privatbrief, d = Vorstellungsgespräch, e = Zeitungsinterview, f = Predigt, g = wissenschaftlicher Vortrag, h = Leitartikel, i = Gesetzestext. Die beiden Dreiecke symbolisieren das Ausmaß an Affinität zwischen einer gegebenen Ausdrucksform und den möglichen Konzeptionalisierungsalternativen

Die beiden Linguisten weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es zweifelsfrei Affinitäten gibt zwischen bestimmten Ausdrucksformen einerseits und denkbaren Konzeptionalisierungsmodi andererseits (in der Abbildung symbolisieren die beiden Dreiecke das Ausmaß dieser Affinität). Es ist zu konstatieren, dass das von KOCH & ÖSTERREICHER konzipierte Modell der Beschreibung des Sprachgebrauchs ein Maß an Offenheit beschert, das (auch) im Hinblick auf die Einordnung der JiTT - Statements sehr sinnvoll erscheint (LEHNEN & GÜLICH, 1997, S. 112).

## 2.9 Geschlechtsspezifische Stile beim Physiklernen

Biologische Begründungen zur Klärung des Umstandes, dass es geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der Performanz beim Physiklernen gibt, gelten als äußerst umstritten und sollen daher in dieser Arbeit nicht thematisiert werden. Es wird vorgezogen, die angesprochene Problematik auf psychologischer Ebene zu beleuchten.

### 2.9.1 Psychologische Ursachen geschlechtsspezifischer Charakteristika

FAGOT & PATTERSON (1993) vertreten im Rahmen der sogenannten *Bekräftigungstheorie* den Standpunkt, dass sich geschlechtsspezifische Verhaltensweisen durch positive Sanktionen solcher Handlungsweisen herausbilden, die bezüglich des Geschlechts als angemessen erachtet werden. Im Hinblick auf die empirische Datenlage muss aber konstatiert werden, dass die Mehrzahl der Befunde den Eltern - unabhängig vom Geschlecht des Nachwuchses - sehr ähnliche Erziehungsmodalitäten bescheinigt. Allerdings zeigte TRAUTNER im Jahre 1981, dass, sofern Diskrepanzen auftraten, die Mädchen eher bevormundet wurden und man stärkeren Wert auf angepasste Verhaltensweisen legte. Den Jungen gegenüber wurde eher das Streben nach Unabhängigkeit betont sowie die Notwendigkeit herausgestellt, sich in Wettbewerbssituationen zu behaupten.

Die u.a. von BANDURA (1962) vertretene *Imitationstheorie* sieht eine Triebfeder des Erwerbs geschlechtsspezifischen Verhaltens im Wunsch, das Verhalten erfolgreicher Modelle nachzuahmen. Im Falle der Jungen würde das Verhalten der Väter imitiert, bei den Mädchen wären es die Mütter, die die Rolle des Modells ausfüllten. Allerdings lässt die Imitationstheorie offen, weshalb sich auch die Jungen an den männlichen Bezugspersonen orientierten, obwohl sie in den ersten Lebensjahren vorwiegend von weiblichen Personen betreut würden. Auch die *Identifikationstheorie* (HOFFMAN, 1971), die nicht nur von der Nachahmung des Modellverhaltens sondern auch von der Internalisierung der Einstellungen und Gefühlshaltungen des Modells ausgeht, kommt im Hinblick auf die aufgeworfene Problematik zu keinen konsistenten Antworten.

KOHLBERG orientiert sich in seiner 1966 entworfenen *Stufentheorie* an grundlegenden, auf Jean PIAGET zurückgehende Annahmen zur kognitiven Entwicklung von Heranwachsenden. Er vertritt den Standpunkt, dass sich das geschlechtsspezifische Selbstbild sowie zugehörige Verhaltensmuster in mehreren Schritten herausbilden,

die unterschiedlichen kognitiven Levels zuzuordnen sind. KOHLBERG versteht die Ausbildung der geschlechtsspezifischen Identität als Prozess, der vom Heranwachsenden aktiv mitgestaltet wird. Allerdings scheitert die Stufentheorie an der Deutung empirischer Befunde, die belegen, dass das geschlechtsspezifische Gebahren von Kindern und Jugendlichen – bei kontrollierten sonstigen Einflussfaktoren – von der sozialen Schichtzugehörigkeit abhängt.

Wie KASTEN 1996 zeigen konnte, werden Mädchen aus Familien, die der sozialen Unterschicht angehören, überdurchschnittlich häufig gemäß traditioneller Wertvorstellungen erzogen – ein Umstand, der sich entsprechend auf das sich entwickelnde Rollenverständnis auswirken sollte. Der Einfluss des sozialen Umfeldes darf also keinesfalls unterschätzt werden.

### *2.9.2 Stand der Forschung: Geschlechtsspezifische Profile im sprachlichen und mathematisch – naturwissenschaftlichen Bereich*

#### *Allgemeine Intelligenz*

KASTEN zufolge kann als empirisch gesichert gelten, dass Mädchen in der Kindheit und Jugend den Jungen in punkto „allgemeiner Intelligenz“ voraus sind (KASTEN, 2001, S. 213). Im Rahmen der von MERZ (1979) durchgeführten Intelligenzmessungen manifestiert sich zusätzlich eine im Vergleich stärkere Streuung der von Jungen erbrachten Testleistungen.

MACCOBY & JACKLIN konstatieren die Überlegenheit des weiblichen Geschlechts auf dem Felde der allgemeinen Intelligenz, sofern die eingesetzten Messinstrumente in verstärktem Maße verbale Fähigkeiten voraussetzen (1975, S. 68).

#### *Sprachkompetenz*

Nach Analyse von Studien der sechziger und siebziger Jahre kommen MACCOBY & JACKLIN (s.o., S. 59) zum Schluss, dass Mädchen über gewisse Vorteile bei sprachlichen Gedächtnisleistungen verfügen. Gleiches wird im Hinblick auf verbale Fähigkeitsfacetten wie Artikulation, Vokabular, Sprechgewandtheit, Sinnerfassung komplexer Texte sowie Sprachkreativität konstatiert (s.o., S. 77).

Eine von HYDE & LYNN durchgeführte, 165 Studien umfassende Metaanalyse (CAPLAN & CAPLAN, 1997, S. 33) nimmt sich der gleichen Fragestellung bei verbesserten statistischen Analyseverfahren an und findet eine Überlegenheit des weibli-

chen Geschlechts beim Umgang mit Anagrammen<sup>39</sup> sowie der Sprachproduktion bei kleinen gemittelten Effektstärken<sup>40</sup>.

### *Räumliche Wahrnehmung und Dekontextualisierung*

MCKITRICK (1965; siehe MACCOBY & JACKLIN, 1975, S. 28) berichtet von Untersuchungen, in denen sich Männer als empfänglicher für den autokinetischen Effekt<sup>41</sup> erwiesen und sieht darin ein Indiz für deren überlegenes räumliches Wahrnehmungsvermögen. Von FLANAGAN (1961) sowie DROEGE (1967) durchgeführte „Raum-Faktor-Tests“, in die große Stichproben im High School – Bereich eingebunden waren, erbrachten eine Bestätigung dieser Vermutung. Die Metaanalyse LINNS & PETERSENS aus dem Jahre 1985 belegt einen mehr oder weniger deutlichen Vorsprung des männlichen Geschlechts im Hinblick auf räumliche Wahrnehmung (gemittelte Effektstärke 0,44<sup>8</sup>) und bei Tests zur mentalen Rotation zweidimensionaler Figuren (gemittelte Effektstärke 0,73<sup>8</sup>).

Restrukturierung und Dekontextualisierung („set – breaking“) werden in der Kognitionsforschung in Zusammenhang gebracht mit Problemlösekompetenzen. Ein Test, der diesbezüglich zur Anwendung kommt, ist der „Embedded Figures Test“. Hierbei wird evaluiert, in welchem Ausmaß der Proband in der Lage ist, sich von primär ins Auge fallenden organisatorischen Strukturen einer bildlichen Darstellung zu lösen und neue, ihr innewohnende Muster zu entdecken (siehe Abbildung 7).

MACCOBY & JACKLIN kommen zu dem Schluss, dass – sofern es in Studien überhaupt zu diesbezüglichen, geschlechtsspezifischen Unterschieden gekommen ist, diese nur in ganz geringem Maße und zugunsten der Männer ausgefallen sind (MACCOBY & JACKLIN, 1975, S. 94). LINN & PETERSEN (1985; siehe CAPLAN & CAPLAN, 1994, S. 36) bestätigen diese Einschätzung, die gemittelte Effektstärke ihrer Metaanalyse liegt bei 0,13<sup>8</sup>. Eine von MACCOBY & JACKLIN durchgeführte Untersuchung zur auditiven Dekontextualisierung erbrachte keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (1969; s.o., S. 98). Bemerkenswert erscheint ein von WALBERG (1969) im Rahmen der Evaluation des „Harvard Project Physics“<sup>42</sup> publizierter Befund, demzufolge die Mädchen

---

<sup>39</sup> griechisch „anagraphein“ = umschreiben; *Anagramme* entstehen, wenn Silben, Worte, Zeilen einer Textpassage an einem anderen Platz angeordnet werden.

<sup>40</sup> Kleine, mittlere beziehungsweise große Effektstärken (Cohen's d) entsprechen 0,2, 0,5, 0,8.

<sup>41</sup> *Autokinetischer Effekt* = Scheinbewegung eines Lichtpunktes, der vor einem dunklen, strukturlosen Hintergrund wahrgenommen wird.

<sup>42</sup> WALBERGS Studie umfasste 45 Schulen aus 17 US-Staaten und zwei kanadischen Provinzen, die Stichprobe bildeten 1369 Jungen sowie 705 Mädchen.

bei solchen Tests zum physikalischen Verständnis überlegen waren, die verbale Fähigkeiten voraussetzten.



Abb.7: Dalmatiner?

Jungen hingegen schnitten in den Fällen besser ab, in denen in größerem Maße quantitative Kompetenzen sowie räumliches Vorstellungsvermögen vonnöten waren. Allerdings vermerkt WALBERG, dass der Prädiktor „Geschlecht“ lediglich 1-2% der Gesamtvarianz der kognitiven Messungen zu binden vermochte.

#### *Mathematisch - naturwissenschaftliche Kompetenz*

Untersuchungen zur „quantitativen Fähigkeit“ (Zahlengedächtnis; Aufzählungen) analysierend, kommen MACCOBY & JACKLIN zum Schluss, dass sich erst ab dem Beginn der Pubertät ein konsistenter geschlechtsspezifischer Unterschied zugunsten der Jungen abzeichnet (1975, S. 85f). Den Ausführungen der Forscherinnen folgend, ist diese Situation auch auf den Bereich der Naturwissenschaften zu übertragen (s.o., S. 89). FLEMINGS & MALONES im Jahre 1983 realisierte Metaanalyse zeigt eine tendenzielle Überlegenheit der wissenschaftsbezogenen Fähigkeiten der Jungen über alle Altersstufen hinweg, allerdings mit (in der Regel) sehr geringen gemittelten Effektstärken<sup>8</sup> (CAPLAN & CAPLAN, 1994, S. 37). Während letztere auf dem Felde der Life Sciences bei 0,02 liegt, ergibt sich für die Physik der Wert 0,3. Die Metaanalyse BECKERS (1989) liefert eine ungefähre Bestätigung dieser Zahl (0,35).

### *Die IPN – Interessensstudie Physik*

Die von HOFFMANN et al. realisierte Untersuchung versucht, die mit Hilfe entsprechenden Datenmaterials nachgezeichnete Interessenslage Jugendlicher in Zusammenhang zu bringen mit Aspekten des schulischen und häuslichen Umfelds. Die in den Jahren 1984 (5. Klasse) – 1989 (10. Klasse) in Form eines Längsschnitts erhobenen Daten gestatten insbesondere einen Einblick in die zeitliche Entwicklung des Interesses an Physik im Vergleich anderen Fächern. Die Stichprobe bildeten die Schüler von vier Hauptschulen, acht Realschulen, acht Gymnasien, zwei kooperativen Gesamtschulen, zwei Grundschulen sowie zwei Orientierungsstufen der Bundesländer Berlin, Hessen, Niedersachsen, Nordrheinwestfalen, Schleswig Holstein sowie dem Saarland.

Generell muss konstatiert werden, dass das Interesse am Fach Physik bei Jungen über alle eingebundenen Jahrgangstufen hinweg erheblich ausgeprägter ist als bei Mädchen (HOFFMANN, 1998, S. 21f). Den Kanon der naturwissenschaftlichen Fächer betrachtend, zeigt sich, dass Biologie bei den Mädchen am beliebtesten ist, gefolgt von Mathematik und Chemie. Für Physik wird im Durchschnitt (mit hoher zeitlicher Stabilität) das geringste Interesse bekundet. Bei den Jungen belegt Physik hinter der Chemie den zweiten Platz.

Auch beim Vergleich mit nicht - naturwissenschaftlichen Fächern ändert sich - mit Blick auf die Mädchen - an der düsteren Situation der Physik nichts: Sie rangiert hinter den Fächern Kunst, den Fremdsprachen und Deutsch (über alle Jahrgänge hinweg) weit abgeschlagen auf Platz vier. Bei den Jungen hingegen bildet die Physik den Spitzenreiter, gefolgt von Kunst, Deutsch und den Fremdsprachen (s.o., S. 23).

In bezug auf die themenspezifische Interessenslage förderte die Studie zutage, dass sich die Mädchen in erster Linie für Bereiche erwärmen, die gefühlsmäßig ansprechen oder ein soziales Engagement nahe legen, also insbesondere Radioaktivität oder Medizin (s.o., S. 48f). Nachdenklich stimmt der Umstand, dass das Interesse für eher mechanische Themen und solche aus der Elektrizitätslehre auf Seite der Jungen erheblich ausgebildeter ist als auf Seite der Mädchen. Ähnliches gilt für die Neigung, im Rahmen der Behandlung eines physikalischen Gebietes etwas zu berechnen. Im Hinblick auf die Bereiche „Naturphänomene“ sowie „Geräte der Medizin“ zeigt sich ein deutlicher, zeitlich stabiler Interessensvorsprung der Mädchen gegenüber den Jungen.

Die IPN – Interessensstudie stützt außerdem die Vermutung, dass die Jungen über alle Jahrgangsstufen hinweg in bezug auf das Fach Physik über das positivere Selbstkonzept verfügen. Es verwundert daher nicht unbedingt, dass Jungen signifikant häufiger den Unterricht mit dem Gefühl verlassen, etwas dazugelernt zu haben, als es bei den Mädchen der Fall ist.

Ein Vergleich der Notenmittelwerte im Fach Physik zeigt, dass die Zensuren von der siebten bis zur zehnten Klasse etwa bei „drei“ liegen. Allerdings ist zu konstatieren, dass die der Mädchen um zirka 0,3 Notenschritte schlechter sind als die der Jungen. Bezogen auf die Mathematik förderte die Studie einen um etwa 0,2 Notenschritte schlechteren Mittelwert (ab der neunten Klasse) bei den Mädchen zutage.

## 2.10 Empirische Evaluationen zum JiTT - Verfahren

### 2.10.1 *Feldversuche an der Indiana University Purdue University in Indianapolis (IUPUI)*

Parallel zur Entwicklung und Einführung des JiTT-Verfahrens an der IUPUI durch NOVAK und GAVRIN im Jahre 1994 begann man mit ersten Evaluationsbemühungen zur Abschätzung der Effizienz diverser Einführungskurse aus den Bereichen Mechanik und Elektrodynamik (IUPUI, Department of Physics, 2002, S. 5).

Im Zuge der Initiierung des von der National Science Foundation unterstützten, sogenannten „WebScience Projects“ wurde der Einsatz des JiTT – Konzeptes auf die Fächer Mathematik, Biologie und Chemie ausgeweitet, für die Physik konnte Richard HAKE als externer Gutachter gewonnen werden (IUPUI, s.o., S. 6). In den einbezogenen Kursen kamen (schriftliche) „student attitudes surveys“ zur Anwendung, um sich ein Bild von den (motivationalen) *Einstellungen* der Studenten zu machen. Ähnlichem Zwecke diente die Initiierung sogenannter „student focus groups“, in denen es den Lernenden ermöglicht wurde, sich zur Konzeption des Unterrichts und seiner subjektiv empfundenen Wirksamkeit zu äußern (MZUMARA, 2001, S. 7).

Hinsichtlich der Evaluation des *Unterrichtsausgangs* bemängelt HAKE das Fehlen standardisierter Inventare zur Messung kognitiver Leistungen in den Fächern Mathematik, Biologie und Chemie (HAKE, 2001, S. 8). Bezüglich der Physik beschreibt MZUMARA den Einsatz des Force Concept Inventory (FCI) im Mechanikkurs beziehungsweise des Concept Survey in Electricity and Magnetism (CSEM) im Elektrodynamikkurs (jeweils Anfängerniveau) und äußert sich zur Nutzung statistischer Verfahren (s.o., S. 9): „The survey data was analyzed using some basic descriptive (mean and standard deviation) and inferential statistics (e.g. t - test)“.

Resümierend beurteilt HAKE die Evaluationsmethoden als „quite thorough“ (s.o., S. 10).

#### Bewertung des Unterrichtsausgangs

Für die Mechanik - beziehungsweise Elektrodynamikkurse, die im Zeitraum 1996 bis 2001 unter Einbeziehung des JiTT-Verfahrens stattfanden, wurde ein mittlerer HAKE

– Index von  $g = ,31$ <sup>43</sup> ermittelt. GAVRIN<sup>44</sup> zufolge ergab sich für den (JiTT- ) Mechanikkurs des Semesters 1998 / 1999 ein  $g$  von 0,39. Das Department of Physics der IUPUI (2002, S. 4) veröffentlichte für den Mechanikkurs im Hinblick auf den Zeitraum 1998-2002 einen HAKE-Index von ,27, in bezug auf den Elektrodynamikkurs den Wert ,14 (Semester 2001-2002), betonte aber, dass bei der Berechnung auch traditionell instruierte Kurse berücksichtigt worden seien.

#### Bewertung der motivationalen Einstellungen der Studenten

Trotz einer noch recht dünnen Datendecke glaubt MZUMARA von einem positiven Effekt des JiTT-Verfahrens auf die motivationalen Einstellungen der Studenten ausgehen zu können (MZUMARA, 2001, S. 11). Auf Studentenstatements Bezug nehmend, sieht er Indizien für den Umstand, dass sich in den Augen der Lernenden die Effizienz des Verfahrens besonders darin zeige, dass das analytische Denkvermögen ausgebildet, die Abschätzungsfähigkeiten entwickelt sowie der Umgang mit schlecht definierten Problemstellungen geschult würde.

NOVAK et al. (1998, S. 3) sehen im Rückgang der Abbrecherquoten, den die Einführungsveranstaltungen der Mechanik beziehungsweise Elektrodynamik zu verzeichnen hatten, den augenscheinlichsten Beweis für die Wirksamkeit des JiTT-Verfahrens:

„At IUPUI, one of the clearest quantitative indicators of the effect of the JiTT strategy is in the calculus-based introductory course attrition rates, which have fallen from 47% to 32% in the first semester course and from 37% to 18% in the second semester course, averaged over the three semesters of JiTT implementation”.

In HAKES Evaluationspapier zum JiTT-Verfahren findet sich im Hinblick auf die an der IUPUI ermittelten HAKE-Indizes  $g$  folgender Kommentar:

“Somewhat less impressive are the normalized gains  $\langle g \rangle = ,3$  on the FCI, as compared to the average ,48 for 48 interactive engagement courses in my survey” (HAKE, 2001, S. 14).

HAKES Untersuchung aus dem Jahre 1998, in die 6542 Studenten in insgesamt 62 Mechanikkursen involviert waren, erbrachte einen mittleren HAKE-Index  $g = ,48$  für sogenannte „Interactive Engagement - Veranstaltungen“; ihm stand ein mittlerer  $g$ -

---

<sup>43</sup> Beim Hake-Index „ $g$ “ handelt es sich um eine Größe, die den relativen Zugewinn abbildet:  
$$g = \frac{NT - VT}{100\% - VT}$$
, mit: VT, NT = kursbezogene, durchschnittliche Vortest-, Nachtestscores in Prozent

<sup>44</sup> siehe URL: [webphysics.iupui.edu/adg/education.html](http://webphysics.iupui.edu/adg/education.html); Zugriff am 10.11.2008

Wert von lediglich ,23 für die vierzehn, nach traditionellem Muster unterrichteten Kurse gegenüber.<sup>45</sup>

Kritische Stimmen mahnen einen vorsichtigen Umgang mit der HAKE-Studie an<sup>46</sup>, wobei drei Argumente von besonderer Relevanz zu sein scheinen:

- 1) Den Erläuterungen des Kapitels „Vorwissen“ folgend, sollte der Prozess der Vertiefung vorhandenen Wissens umso reibungsfreier vonstatten gehen, je umfangreicher und vernetzter domänenspezifisches Know How bereits vorhanden ist. Es bleibt unklar, ob beziehungsweise inwieweit der HAKE-Index dieses Phänomen in gebührendem Maße berücksichtigt. In diesem Zusammenhang erscheint der Umstand interessant, dass HESTENES (1998) HALLOUN (1997) und andere auf Grundlage eigener Studien von einer positiven Korrelation zwischen Vortestscore und HAKE-Index ausgehen.
- 2) Mechanikunterricht umfasst, der Sichtweise HAKES zufolge, das, was man „die klassische Newtonsche Lehre“ nennen könnte (Newtonsche Axiome, Grundgleichung der Mechanik o.ä.) sowie die Gebiete „Energie“ und „Impulserhaltung“ (HAKE, 1998a, S. 13). Letztgenannte Themenbereiche werden vom FCI nicht erfasst. Ob Aspekte wie „Gravitation“, „Rotationsbewegungen“, „Strömungslehre“ oder „Trägheitskräfte“ (ebenfalls allesamt hinsichtlich des FCI ohne Relevanz) in den evaluierten Kursen behandelt wurden und in welchem Ausmaß, bleibt unklar. Zusammenhänge zwischen der zeitlichen Dauer einer Instruktion und dem Unterrichtsoutput sind hinlänglich bekannt und eher trivialer Natur. Ohne eine exakte Beschreibung des Unterrichtsgegenstandes erscheint daher ein Vergleich von Unterrichtsprozessen – und ergebnissen (durch simple Angabe des HAKE-Indexes) bedenklich. Die Relevanz dieser Argumentation wächst, wenn bedacht wird, *das IE-Methoden Unterrichtszeit kosten*, weshalb es kaum verwundern würde, wenn sich herausstellte, dass in den traditionellen Veranstaltungen erheblich mehr „Stoff“ behandelt worden ist – mit welcher Effizienz auch immer. Zu behaupten, die IE-Strategie sei erfolgreicher, weil ein höheres *g* erreicht worden sei, erscheint bedenklich, da man es also mit der Konfundierung von Effekten mindestens zweier Prädiktoren, der *Instruktionsform* sowie der *Instruktionsdauer*, zu tun hätte.

---

<sup>45</sup> Weitere Informationen zum IE – Ansatz im Unterkapitel „Das JiTT – Verfahren“

<sup>46</sup> Aus den geschilderten Gründen wird auf die Berechnung und Diskussion des Hake-Index *g* für die einzelnen Teilstudien dieser Arbeit verzichtet.

- 3) In manchen „IE-Kursen“ der HAKE-Studie wurden fortgeschrittene Studenten als Tutoren eingesetzt, mitunter kam das Konzept des Team-Teachings zum Einsatz. Da beide Verfahren die effektive Summe der auf einen Dozenten entfallenden Studenten verringern, wäre eine Verbesserung des Unterrichtsoutputs jenseits diverser IE- oder traditioneller Strategien denkbar. Ähnlich ist hinsichtlich des Umstandes zu argumentieren, dass manche IE-Kurse täglichen, fünf bis achttündigen Support durch Dozenten und / oder Tutoren anboten (HAKE, 1998a, S. 11). Ein solches Prozedere erhöht die effektive Unterrichtszeit in bedeutendem Maße und macht daher eine objektivierte Vergleichsanalyse zwischen traditionellen und IE-Veranstaltungen nur schwer möglich.

Solcherlei Argumente legen den Verdacht nahe, dass es bei den auf Grundlage der HAKE -Studie ermittelten, durchschnittlichen Indizes um Werte handelt, die nur in ganz bedingtem Maße taugen, um Kurse hinsichtlich ihrer Effizienz zu beurteilen. Zum einen dürfte insbesondere der *g*-Wert für die IE-Kurse zu hoch liegen, zum anderen kann mit einiger Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass auch die Differenz der Indizes für die beiden Kurstypen in Wirklichkeit nicht das in den HAKE-Veröffentlichungen geschilderte Ausmaß hat. HAKE räumt ein, dass sein Datenmaterial ein gewisses Maß an Verzerrung zugunsten effektiver IE-Kurse aufweist: „...the method of data solicitation had a built – in bias towards relatively effective IE courses“ (HAKE, 1998b, S. 1)<sup>47</sup>. Hake verweist in diesem Zusammenhang auf die grundlegende Zielsetzung seiner Studie: „We do *not* attempt to access the average effectiveness of introductory mechanics courses. Instead we seek to answer the question of considerable practical interest to physics teachers: *Can the classroom use of IE-methods increase the effectiveness of introductory mechanics courses well beyond that attained by traditional methods?*“ (HAKE, 1998a, S. 3).

Im Hinblick auf die JITT-Evaluation an der IUPUI erscheint mir daher der diesbezügliche, „zu klein geratene“ HAKE-Index von ,3 von untergeordneter Bedeutung. Bedauerlich ist eher, dass es die Evaluatoren versäumten, das Instruktionsprozedere auf möglichst exakte Weise zu dokumentieren. Eine Einbindung aller mutmaßlichen Einflussfaktoren zur Klärung der Varianz „mittlerer Nachtestscore - mittlerer Vortestscore (FCI)“ - und dies gekoppelt an ein adäquates, statistisches Verfahren - hätte sicherlich in bedeutendem Maße zur Beantwortung offener Fragen beitragen können.

---

<sup>47</sup> HAKE bezieht sich in diesem Zusammenhang auf das Problem, in besonders hohem Maße Datenmaterial solcher IE-Kurse erhalten zu haben, die für besonders effizient gehalten wurden.

### 2.10.2 Das "One - Minute Paper"

An der Illinois State University führten CHIZMAR und OSTROSKY in den Jahren 1992-1994 eine Evaluation des sogenannten „One-Minute Paper (OMP)“ - Konzeptes durch, einer Strategie, die einige Parallelen zum JiTT-Verfahren aufweist und daher an dieser Stelle beschrieben werden soll.

CROSS und ANGELO (1993) zufolge handelt es sich beim OMP um eine Idee, die so häufig wie keine andere von Dozenten im College-Bereich verwirklicht werde. Kern des Ansatzes bilden die vom Lehrer zwei Minuten vor Ende des Unterrichts gestellten Fragen nach dem wichtigsten Lernaspekt der zu Neige gehenden Instruktionsphase beziehungsweise der größten, diesbezüglichen Unklarheit. Die Lernenden antworten in schriftlicher Form, sodass der Lehrkraft im Zuge der Vorbereitung der kommenden Unterrichtseinheit die Möglichkeit gegeben ist, die Klärung von Missverständnissen in der Planung zu berücksichtigen. CHIZMAR und OSTROSKY berichten von Vorgehensweisen, die Studenten ihre Antworten am Ende des Unterrichts via Mail an die Lehrkraft senden zu lassen. Auf diese Weise sei ein Feedback noch am gleichen Tage, „just in time“, möglich gewesen (CHIZMAR & OSTROSKY, 1998, S. 2).

#### Das Evaluationsprojekt

Zum Zwecke der Evaluation des OMP – Konzeptes initiierten CHIZMAR und OSTROSKY im Jahre 1992 ein Projekt, dass die Effizienz des Prozedere im Bereich der Ökonomie-Ausbildung belegen sollte. Die vier eingebundenen Dozenten unterrichteten jeweils einen Kontrollkurs sowie einen Experimentalkurs zur gleichen Thematik, in letzterem kam es zur Anwendung des OMP-Verfahrens, in ersterem wurde darauf verzichtet. Im Rahmen der statistischen Auswertung des 571 Studenten umfassenden Projektes wurde eine sequentielle Regressionsanalyse realisiert, die zugrundeliegende Regressionsgleichung hatte die Form:

$$NT = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot VT + \hat{\beta}_2 \cdot AL + \hat{\beta}_3 \cdot L_1 + \hat{\beta}_4 \cdot L_2 + \hat{\beta}_5 \cdot L_3 + \hat{\beta}_6 \cdot GR + \hat{\beta}_7 \cdot (GR \cdot L_1) + \hat{\beta}_8 \cdot (GR \cdot L_2) + \hat{\beta}_9 \cdot (GR \cdot L_3) + \hat{\beta}_{10} \cdot (GR \cdot AL3) + \hat{\beta}_{11} \cdot (GR \cdot AL2)$$

$NT$  = Nachtest -Score „Leistung in Ökonomie“

$VT$  = Vortest -Score „Leistung in Ökonomie“

$AL$  = Allgemeines Leistungsniveau

$L$  = Dozent

$GR$  = Kurszugehörigkeit

AL3 = Allgemeines Leistungsniveau; Wert 1, wenn AL überdurchschnittlich

AL2 = Allgemeines Leistungsniveau; Wert 1, wenn AL durchschnittlich

$\hat{\beta}_i$  = Regressionskoeffizienten

### Ergebnisse der Studie

CHIZMAR und OSTROSKY (s.o., S. 6) diskutieren drei Regressionsmodelle, die hinsichtlich der Anzahl der aufgenommenen Prädiktoren variieren:

#### Modell 1

Die erste Variante verfügt über alle, in der Regressionsgleichung aufgeführten Prädiktoren. Die Regressionsanalyse ergibt für alle Interaktionsterme nichtsignifikante Regressionskoeffizienten. Das Gesamtmodell erhält einen Determinationskoeffizienten<sup>48</sup> von  $R^2 = ,257$ , es werden also lediglich etwa 26% der kompletten Varianz ausgeschöpft. Der Regressionskoeffizient des Prädiktors „Kurszugehörigkeit“ ist positiv und signifikant von Null verschieden (Irrtumswahrscheinlichkeit  $p = ,025$ ), allerdings fehlen hier (und auch an anderen Stellen) Angaben zur Effektstärke, sodass eine Einschätzung der Bedeutung des Prädiktors nur schwerlich möglich ist<sup>49</sup>.

#### Modell 2

Die Regressionsanalyse wurde nun unter Ausschluss der Interaktionsterme durchgeführt. Von Bedeutung erscheint neben dem weiterhin sehr geringen Wert für den Determinationskoeffizienten ( $R^2 = ,247$ ) insbesondere der Umstand, dass der Regressionskoeffizient der Kurszugehörigkeit nunmehr lediglich 25% des Wertes von Modell 1 beträgt ( $p = ,048$ ), was auf ein hohes Maß an Instabilität hinweist.

In beiden Modellen liegt der Wert für den Regressionskoeffizienten des domänenspezifischen Vorwissens stabil bei ,556 beziehungsweise ,570 ( $p = ,000$ ).

#### Modell 3

Statistische Überlegungen bezüglich der Relevanz des Prädiktors „domänenspezifisches Vorwissen VT“ dienten als Rechtfertigung dafür, die AV „Nachttest-Score in Ökonomie“ zu ersetzen durch den Zuwachs „Nachttest-Score - Vortest-Score“ (bei Wegfall der uV „VT“). Obwohl die Analyse einen nicht signifikant von Null verschiedenen Regressionskoeffizienten für den Prädiktors „Kurszugehörigkeit“ ergibt, werten sie den zahlenmäßig nahezu unveränderten Wert des Koeffizienten als Indiz für die

---

<sup>48</sup> „Determinationskoeffizient“ und „Bestimmungsmaß“ werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

<sup>49</sup> Hinzu kommt, dass m.E. nicht ganz klar wird, ob es sich bei den angegebenen Regressionskoeffizienten um die standardisierten Werte handelt. Nur dann wäre (mit Einschränkungen) ein interner Vergleich der Regressionskoeffizienten möglich.

„Stabilität des Effektes“ und begründen das nichtsignifikante Resultat mit der gesunkenen Motivation der Studenten.

#### Kritische Betrachtung der Evaluationsstudie

Zunächst stellt sich die Frage, weshalb es unterlassen worden ist, die Einflussfaktoren „Geschlecht“ beziehungsweise „Motivation“ in das Modellschema zu integrieren. Andererseits bleibt unklar, aus welchem Grunde das allgemeine Leistungsniveau der Studenten auch dann nicht als Prädiktor entfernt wurde, als mit der Regression gemäß des Modells 1 seine Nichtsignifikanz augenscheinlich wurde. In meinen Augen kann der Einschätzung nicht gefolgt werden, beim Prädiktor „Kurszugehörigkeit“ handele es sich um einen stabilen Einflussfaktor, vielmehr stände zu befürchten, dass bei *hierarchischer*, sequentieller Regression und vorheriger Aufnahme der Aspekte „Geschlecht“ und „Motivation“ das zu testende Verfahren weiter an Bedeutung verlieren würde<sup>50</sup>.

Auch wenn dem nicht so sein sollte, bleibt zu konstatieren, dass das Evaluationsergebnis massiven Anlass zu der Vermutung gibt, dass Prädiktoren wie „Vorwissen“ beziehungsweise „Lehrperson“ den Unterrichtsoutput in erheblich stärkerem Maße tangieren als das Unterrichtsverfahren.

### 2.10.3 *Das JiTT-Verfahren im Ökonomie-Unterricht der North Carolina Agricultural and Technical State University*

SIMKINS und MAIER begannen im Jahre 2002 mit der Erprobung des JiTT-Ansatzes in Einführungskursen zur Makroökonomie (SIMKINS & MAIER, 2004, S. 445). Kern des Prozedere bildeten netzbasierte Aufgaben zur Unterrichtsthematik, die von den Studenten zu bearbeiten und an den Dozenten zu senden waren. Die durchschnittlich einmal pro Woche anzufertigenden JiTT-Ausarbeitungen wurden unter Zuhilfenahme eines Kurs-Management-Programms (*Blackboard*, *WebCT*) gesichtet. Die daraufhin vom Dozenten ausgewählten, mittels OH-Folie oder Computer-Beamer-System präsentierten Statements bildeten Diskussionsgrundlage des folgenden Unterrichts beziehungsweise Ausgangspunkt weiterer unterrichtlicher Aktivitäten. Die JiTT-Ausarbeitungen gingen zu 5% in die Endnote ein, die Beteiligung der Lernenden lag bei 80%-90% (s.o., S. 447).

---

<sup>50</sup> Insofern wäre das meines Erachtens zu positive Urteil BECKERS bezüglich der Güte des von CHIZMAR und OSTROSKY durchgeführten inferenzstatistischen Verfahrens zu relativieren (HAKE, 2002).

Im Zuge der Evaluation des JiTT-Verfahrens teilte man die Studenten zweier Sektionen nach dem Zufallsprinzip in zwei Gruppen A und B ein. Der Umfang der Stichprobe sank im Laufe der Durchführung von  $N = 56$  auf  $N = 36$  ab. Zum Zwecke der Bestimmung des Einflusses von JiTT auf die Leistung in Makroökonomie zog man Scores dreier Examina heran, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten während des Semesters durchgeführt wurden. Während Gruppe A als Treatmentgruppe im Vorfeld des ersten Examens vier JiTT-Aufgaben zu bearbeiten hatte, wurden in Gruppe B (Kontrollgruppe) drei alternative Aufgaben eingesetzt. Nach Abschluss des ersten Examens kam es zu einem „Switching“: A und B wechselten ihre Rollen als Kontrollgruppe beziehungsweise Treatmentgruppe. In dieser Phase kamen erneut drei JiTT-Aufgaben zum Einsatz, Gruppe A wurde mit alternativen Problemstellungen versorgt. Im Vorfeld des letzten, dritten Examens wechselten die Studentengruppen erneut die Rollen, sodass sich A, nun wieder Treatmentgruppe, wie zu Beginn mit JiTT-Aufgaben (drei an der Zahl) zu beschäftigen hatte. Die Lernenden von Gruppe B erhielten alternative Problemstellungen (s.o., S. 451).

Zum Zwecke der Regression der Examensscores der Studenten wurden folgende Daten erhoben: Alter, Geschlecht, SAT-Score<sup>51</sup> zur Abschätzung des Vorwissens.

Die der Feldstudie zugrundeliegende Hypothese wurde von SIMKINS und MAIER folgendermaßen formuliert:

„The null hypothesis<sup>52</sup> is that students who completed the JiTT assignments during the period leading up to particular exam will perform better on that exam” (s.o., S. 451).

Ergebnisse der Evaluation

Abhängige Variable: Score des ersten Examens

Die Regression unter Berücksichtigung der genannten Prädiktoren schöpft  $R^2 = 58\%$  der insgesamt vorhandenen Varianz aus. Die Regressionskoeffizienten für den SAT-Score sowie das Unterrichtsverfahren sind signifikant von Null verschieden, es ergeben sich die Werte  $\beta_{SAT} = ,08$  ( $p = ,000$ ) beziehungsweise  $\beta_{Unver} = 6,7$  ( $p = 0,054$ ).

Abhängige Variable: Score des zweiten Examens

Die von SIMKINS und MAIER realisierte Regression bindet in diesem Falle  $R^2 = 43\%$  der Gesamtvarianz. Einziger verbleibender Prädiktor mit signifikantem Einfluss ist der

---

<sup>51</sup> SAT = **S**cholastic **A**ptitude **T**est; ein vom College Board in den USA durchgeführter Test zur Abschätzung des kritischen Denkvermögens, das als Voraussetzung gilt für das erfolgreiche Absolvieren einer College-Laufbahn.

<sup>52</sup> Statistischen Standards folgend, müsste dies eigentlich die Alternativhypothese  $H_1$  sein. Es ist wohl davon auszugehen, dass es sich hierbei um einen Druckfehler handelt.

SAT-Score mit einem  $\beta_{SAT} = ,07$  ( $p = ,000$ ).  $\beta_{Unver}$  fällt auf den Wert ,27 ab und wird hochgradig nichtsignifikant ( $p = ,95$ ).

Abhängige Variable: Score des dritten Examens

Für diese letzte Phase der Feldstudie ergibt sich eine Regression, die  $R^2 = 61\%$  der Streuung ausschöpft. Wie im Falle des ersten Examens ergeben sich zwei signifikant von Null verschiedene Regressionskoeffizienten für die Prädiktoren „SAT-Score“ sowie „Unterrichtsverfahren“:  $\beta_{SAT} = ,1$  ( $p = ,045$ ) beziehungsweise  $\beta_{Unver} = 11,73$  ( $p = ,000$ ).

Motivationale Einstellungen der Studenten

Die Statements der Studenten zu JiTT weisen das Verfahren als eine erfolgversprechende Methode zum Erlernen und Durchdringen des Unterrichtsstoffes aus. Dem Konzept wird in diesem Zusammenhang etwa die gleiche Effizienz zugesprochen wie beispielsweise den Kursvorlesungen (class lectures) sowie den „gewöhnlichen“ Hausaufgaben. Des weiteren stellt die Realisierung von JiTT - den Studenten zufolge - einen mittelhohen (also tolerablen) Arbeitsaufwand dar.

Kritische Betrachtung der Evaluationsstudie

SIMKIN und MAIER sehen den positiven Effekt des JiTT-Verfahrens auf den domänen-spezifischen Leistungsstand der Lernenden durch ihre Studie bestätigt: “Our classroom-based results suggest that there is a measurable, positive effect on cognitive learning with the JiTT-based pedagogy” (SIMKIN & MAIER, s.o., S. 454).

Es ist zu bedauern, dass es die Autoren versäumten, die prädiktorenspezifischen Effektstärken zu liefern. Diese wären im Hinblick auf die Einschätzung des tatsächlichen JiTT-Einflusses auf den Unterrichtoutput sicherlich von großem Nutzen gewesen. Letztlich muss in jedem Falle konstatiert werden, dass sich der Verzicht auf einen standardisierten Leistungsprä- und posttest sehr kontraproduktiv auf eine effiziente Kontrolle des überaus wichtigen Faktors „Vorwissen“ ausgewirkt haben dürfte. Natürlich stellt sich angesichts der extrem differierenden Effizienz des Konzeptes in den beiden Gruppen die Frage nach der Ursache dieses Faktums. Ein Erklärungsmuster wäre der Umstand, dass die Tauglichkeit der Strategie in höchstem Maße von der zugrundeliegenden Teilthematik abhängig ist. Vielleicht ist aber noch wahrscheinlicher, dass beide Gruppen von verschiedenen Dozenten unterrichtet wurden. Leider findet man in der Veröffentlichung von SIMKIN & MAIER keine diesbezüglichen Informationen. Sollte die Vermutung zutreffen, wäre nicht auszuschließen, dass JiTT sei-

nen massiven Einfluss (Gruppe A) durch Aufnahme des Prädiktors „Lehrkraft“ und Auspartialisierung diverser Korrelationen verlieren würde.

#### 2.10.4 *Das JiTT – Verfahren im Geologie – Unterricht der Western Washington University (WWU)*

LINNEMAN and PLAKE verbanden mit der Realisierung des JiTT-Verfahrens in ihren Kursen die Hoffnung, die Studenten der großen Einführungsveranstaltungen der Geologie auf bessere Weise in den Instruktionsprozess einbinden zu können (LINNEMAN & PLAKE, 2006, S. 18). Im Herbst 2000 begann man mit dem Einsatz von *WarmUp Exercises* sowie *open-ended Puzzles* und nutzte in diesem Zusammenhang das Kurs-Management-System *Blackboard*. Die Statements der Studenten mussten bis vier Stunden vor Beginn der folgenden Lehrveranstaltung an den Dozenten gesandt worden sein, repräsentative Ausarbeitungen wurden daraufhin dem Kurs im Rahmen einer PowerPoint-Präsentation vorgestellt und besprochen. Obwohl das Bearbeiten der Aufgaben lediglich mit maximal 10% in die Gesamtnote einfluss, lag die Teilnahmequote stets bei etwa 90%.

##### Die Feldstudie

Um den positiven Einfluss des Verfahrens auf die domänenspezifische Performanz statistisch abgesichert zu belegen, bildete man eine Kontrollgruppe sowie eine Treatmentgruppe von jeweils etwa 120 Studenten, die den Einführungskurs in die Geologie zu absolvieren hatten (s.o., S. 19). Im Rahmen der jeweils 10 Wochen dauernden Instruktionsphase kam es im Falle der Treatmentgruppe zum Einsatz von insgesamt 22 *WarmUp-Exercises* beziehungsweise *Puzzles*. Abhängig von den in den Statements demonstrierten Verständnisseleistungen wurden die folgenden Unterrichtsaktivitäten geplant und realisiert. Die den Instruktionen zugrundeliegenden Lernziele sowie die drei im Semesterverlauf zu absolvierenden Examina waren in beiden Gruppen identisch, allerdings kamen zwei verschiedene Lehrkräfte zum Zuge. Um weitere, bezüglich des Leistungsstandes relevante Einflussfaktoren kontrollieren zu können, hatten die Studenten zu Beginn des Semesters eine schriftliche „Erst-Tags-Befragung“ zu durchlaufen, mit deren Hilfe Informationen zum geologischen Vorwissen sowie zu motivationalen Einstellungen gesammelt wurden. Zum Zwecke der Abschätzung des Leistungsstandes der Studenten wurden die Einzelscores der drei Semesterexamina sowie ein gemittelter Score verwendet. Schließlich hatten die

Studenten der Treatmentgruppe am Ende der Instruktion einen Fragebogen auszufüllen, in dem nach affektiven Einstellungen bezüglich JiTT gefragt wurde.

Im Rahmen der realisierten, multiplen Regressionsanalyse berechneten LINNEMAN und PLAKE vier Modelle, die sich hinsichtlich der Anzahl der aufgenommenen Prädiktoren voneinander unterschieden (s.o., S. 21). In jedes dieser Modelle waren zunächst die Scores der drei Semesterexamina als abhängige Variablen eingebunden; abschließend wurde auch eine Regression des gemittelten Examensscores durchgeführt.

#### Ergebnisse der Feldstudie

Lediglich im Falle der Betrachtung des Scores von Examen 1 als abhängiger Variablen ergibt sich für den Prädiktor „Gruppenzugehörigkeit“ ein von Null verschiedener Regressionskoeffizient ( $p < 0,05$ ) bei einer sehr geringen Effektstärke  $\varepsilon = 0,02$ . Allerdings trifft dies nur solange zu, wie der Faktor „Vorwissen“ noch nicht berücksichtigt ist. Ein Modell, das auch diesen Prädiktor aufnimmt, verwandelt die „Gruppenzugehörigkeit“ in einen Einflussfaktor ohne statistische Relevanz. Der Regressionskoeffizient der unabhängigen Variablen „Vorwissen“ ist höchstsignifikant von Null verschieden ( $p < ,001$ ) und weist eine kleine bis mittlere Effektstärke von  $f^2 = ,14$  auf. Allerdings schöpft auch dieses umfangreichste Modell lediglich  $R^2 = 19\%$  der insgesamt vorhandenen Varianz aus.

In keinem weiteren Modell ergibt sich erneut ein statistisch signifikanter Einfluss des JiTT-Verfahrens auf einen der relevanten Examensscores. Einzig der Faktor „Vorwissen“ weist einen, über die diversen Modellausprägungen und Leistungsscores hinweg, stabilen, hoch bis höchstsignifikanten Einfluss auf.

Im Hinblick auf affektive Einstellungen der Studenten bezüglich des JiTT-Verfahrens berichten LINNEMAN und PLAKE von positiven beziehungsweise sehr positiven Evaluationsergebnissen (s.o., S. 22). So schrieben Studenten, dass sie in ihrer Entscheidung, an der Vorlesung teilzunehmen, durch den Gedanken beeinflusst wurden, ihr Statement könnte eventuell präsentiert werden. JiTT-Aufgaben seien zwar vergleichsweise zeitintensiv, jedoch von großem Nutzen, wenn es um die Aneignung der Thematik gehe.

#### Kritische Betrachtung der Evaluationsstudie

LINNEMAN und PLAKE fanden, ihren eigenen Worten zufolge, keine statistisch belastbaren Belege für die Effizienz des JiTT-Verfahrens. Angesichts des präsentierten Datenmaterials muss dieser Feststellung gefolgt werden. Welchen Einfluss der Um-

stand unterschiedlicher Lehrpersonen in Kontroll- und Treatmentgruppe auf die Examensergebnisse hatte, bleibt allerdings unklar. Das domänenspezifische Vorwissen macht sich auf theoriekonforme Weise im Zuge der Regression der Leistungsscores bemerkbar. Der Umstand, dass keines der gerechneten Modelle auf mehr als etwa 20% an ausgeschöpfter Varianz kommt, relativiert ihre Erklärungsgüte allerdings beträchtlich. In diesem Zusammenhang wäre der Einsatz eines standardisierten, validen Vor- beziehungsweise Nachtestinventars von großem Nutzen gewesen. Ein solches Instrument wurde für den Bereich der Geologie leider erst im Jahre 2005 entwickelt (s.o., S. 23).

#### 2.10.5 *Just-in-Time Teaching und Eric Mazurs Peer Instruction (PI)*

Überzeugt von der Ineffizienz des traditionellen Vorlesungsformates, begann Eric MAZUR Anfang der neunziger Jahre, dem momentanen Kenntnisstand beziehungsweise den vorhandenen Misskonzepten der Lernenden der physikalischen Anfängerkurse auf systematische Weise Rechnung zu tragen. Kernelement des von Mazur entwickelten Verfahrens der *Peer Instruction* stellen die sogenannten *ConceptTests* dar (CROUCH & MAZUR, 1991). Es handelt sich dabei um Konzeptaufgaben, die von den Studenten in verschiedenen Phasen des unterrichtlichen Geschehens schriftlich zu beantworten beziehungsweise mit anderen Studienkollegen zu diskutieren sind. Die PI-Strategie propagiert den Einsatz von Lesetexten, die die Studenten im Vorfeld der kommenden Veranstaltung mit der Thematik vertraut machen sollen. Zum Zwecke der Effizienzsteigerung dieser Recherchearbeit sind seit dem Jahr 1998 textspezifische WarmUp-Exercises zu bearbeiten. Die Lernenden beschäftigen sich in solchen Übungen mit zwei themenbezogenen Problemstellungen und haben außerdem die Möglichkeit, sich bezüglich bestehender Unklarheiten oder besonders interessanter Aspekte zu äußern. Die Ergebnisse werden bis zum Beginn der folgenden Unterrichtseinheit per Mail an den Dozenten gesandt und im Zuge der Planung der anstehenden Klassenaktivitäten angemessen berücksichtigt.

Zum Zwecke der Evaluation der Peer Instruction wird seit 1990 das Force Concept Inventory (FCI) als Vor- beziehungsweise Nachtest eingesetzt. Den Darstellungen CROUCHS und MAZURS zufolge hat sich der auf Basis des FCI-Datenmaterials berechnete HAKE-Index seit Einführung des Verfahrens beinahe verdreifacht (s.o., Table 1). Allerdings wurden bis zum Jahre 1998 ausschließlich die sogenannten „calculus – based“ Veranstaltungen zur Evaluation herangezogen. Die in den Folgejahren 1998-2000 auf FCI -Basis getesteten „algebra-based“ Kurse erbrachten eine

Verdoppelung des HAKE-Index. Der Anteil des seit dem Jahre 1998 praktizierten JiTT-Verfahrens (WarmUp-Exercises) am Erfolg der modifizierten Instruktion bleibt jedoch infolge der möglichen Konfundierung verschiedener Effekte unklar.

### 2.10.6 Überblick über weitere Evaluationsbemühungen

HOWARD (2004) berichtet von Erfolgen beim Einsatz der JiTT-Strategie in seinen Soziologiekursen für Anfänger an der IUPUI. Die Nutzung internetbasierter WarmUp-Übungen habe den Anteil der Studenten, die sich im Vorfeld einer Veranstaltung mit den relevanten Passagen des Arbeitsbuches beschäftigen, von 69% auf 98% anwachsen lassen.

GUERTIN, ZAPPE und KIM testeten das JiTT-Verfahren im Jahre 2005 in einem Geologiekurs für Anfänger an der Penn State Delaware County (GUERTIN et al., 2007). Die Studenten waren aufgefordert, in elektronischer Form auf drei internetbasierte Aufgaben zu antworten. Hierfür war die Recherche relevanter Passagen des eingeführten Arbeitsbuches vonnöten. Die Auswertung des zu Beginn beziehungsweise am Ende der Instruktionsphase eingesetzten Instrumentes zur Leistungsmessung ergab einen absoluten Zugewinn an korrekten Antworten von etwa 30%. Bedauerlicherweise war es den Evaluatoren nicht möglich, eine Kontrollgruppe in das Studiendesign einzubeziehen, sodass ein möglicher, eindeutig auf JiTT zurückführbarer Effekt nicht ermittelt werden konnte.

COOKMAN, MANDEL and LYONS setzten das JiTT-Verfahren im Rahmen eines Kurses zur Geschichte der Photographie des 20. Jahrhunderts an der Indiana University ein (COOKMAN et al., 2006). Mit Hilfe sogenannter *Thinking about Readings* - Übungen (TARs), die die Studierenden im Internet vorfanden, verfolgten die Dozenten das Ziel, die Fähigkeit der Lernenden zu kritischem Denken zu verbessern. Auf Basis studentischer Einschätzungen versuchte man in unterschiedlichen Phasen des Kursverlaufs, einen Eindruck vom gewachsenen kritischen Denkvermögen zu erhalten (Beispiel für ein Inventar - Item: „Do the TARs questions help you think critically?“). Cookman et al. gehen von folgendem Ergebnis ihrer Studie aus: „We believe that the most profound benefit of JiTT pedagogy in humanities courses is the continual opportunity to foster critical thinking at a higher cognitive level“ (s.o., S. 19).

BENEDICT und ANDERTON brachten das JiTT-Verfahren in einem Anfängerkurs für psychologische Statistik (psychological statistics) an der James Madison University zur Anwendung (BENEDICT & ANDERTON, 2004). Während sich die Treatmentgruppe mit wöchentlichen, internetbasierten *Pre-Class-Questions* zu beschäftigen hatte, ka-

men in der Kontrollgruppe sogenannte *In-Class Multiple Choice Quizzes* zum Einsatz. Den Autoren zufolge lag die JiTT – Gruppe im Abschlussexamen des Semesters signifikant besser als die Kontrollgruppe, was zum Anlass genommen wird, von einem empirischen Beleg für die Effizienz des JiTT – Verfahrens zu sprechen. Leider verzichteten die Evaluatoren auf die Erhebung des Leistungsstandes zu Beginn der Evaluation, sodass der optimistischen Einschätzung BENEDICTS und ANDERTONS nur schwerlich gefolgt werden kann.

KAUTZ (2006) berichtet vom Einsatz der JiTT-Strategie in einer Anfängerveranstaltung „Physik für Studierende der Elektrotechnik“ im Wintersemester 2004 / 2005 der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Mit Hilfe der Internetplattform *WebCT* wurden den Studierenden WarmUp-Aufgaben zugänglich gemacht, die teils im Multiple Choice -, teils im Freistilformat konzipiert waren. Repräsentative Bearbeitungen wurden in der darauffolgenden Veranstaltungen vom Dozenten aufgegriffen und im Kurs erneut zur Diskussion gestellt (ConceptTest - Methode der Peer Instruction). Im Rahmen der wöchentlich stattfindenden Übungen wurde Mc Dermotts Ansatz der Tutorials in Introductory Physics praktiziert und daraus entlehntes, adaptiertes Material genutzt. Wie KAUTZ bedauernd feststellt, sank die Beteiligung der Studenten am JiTT-Baustein des Gesamtprozesses von anfangs 70% auf am Ende 20% ab und macht hierfür insbesondere den Umstand verantwortlich, dass die Bearbeitung der Vortests keinen Einfluss auf die Gesamtnote hatte. Des weiteren deutet, so KAUTZ, die Evaluation der gesammelten FCI-Daten am Ende der Instruktion zwar auf eine Steigerung des konzeptionellen Verständnisses hin, wegen der geringen Beteiligung müsse allerdings davon ausgegangen werden, dass sich keine wesentliche Verbesserung des Lernerfolgs durch die Vortests eingestellt habe.

POTH und GRÖBER setzten in den Jahren 2003-2005 das JiTT-Verfahren im Rahmen der Realisierung des sogenannten MultiMechanics Projects ein (POTH & GRÖBER, 2006). Das Konzept bezog sich auf den Physikunterricht auf Leistungskursniveau der bundesdeutschen gymnasialen Oberstufe und propagierte computerunterstütztes Experimentieren und Modellieren in Kleingruppen. Es kam zum Einsatz kleiner Java-Applets zur Visualisierung physikalischer Problemstellungen, auch „Physlets“ genannt. Die Lernenden hatten in unregelmäßiger Reihenfolge physletbasierte WarmUps beziehungsweise Puzzles zu bearbeiten, die sie im Internet vorfanden. Die den Lehrkräften auf elektronischem Wege zugesandten Statements waren Grundlage vieler, als fruchtbar empfundener Gruppendiskussionen. Laut POTH & GRÖBER

hatte das JiTT-Prozedere einen besonders positiven Einfluss auf die Fähigkeit der Lernenden, Bewegungsdiagramme zu interpretieren.

### *2.10.7 JiTT – Evaluationen: Abschließende Bemerkungen*

Leider ist zu konstatieren, dass gegenwärtig keine statistisch belastbare Interventionsstudie existiert, mit der man den positiven Einfluss der Just-in-Time Teaching - Strategie auf die domänenspezifische Leistungsfähigkeit belegen könnte. Vielmehr ist zu vermerken, dass die einzige, unter statistischen Gesichtspunkten als respektabel zu bezeichnende Studie (LINNEMAN & PLAKE, 2006, Western Washington University) die Beibehaltung der Nullhypothese zum Ergebnis hatte.

### KAPITEL 3: HAUPTSTUDIE - JITT IN DER GYMNASIALEN OBERSTUFE

#### 3.1 Hypothesen der Interventionsstudie

##### 3.1.1 Wirkungsgefüge - Modell

Ziel dieser Interventionsstudie war es, einen statistisch verlässlichen Nachweis der Effizienz des Just-in-Time Teaching - Verfahrens zu erbringen. Den Entwicklern des Konzeptes zufolge hat JiTT sowohl hinsichtlich des erzielten Leistungsoutputs als auch bezüglich des Motivationslevels der Lernenden einen förderlichen Einfluss. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass es (neben dem Unterrichtsverfahren) weitere Faktoren (Variablen) gibt, die Performanz und Motivationsgrad beeinflussen und keinesfalls vernachlässigt werden dürfen.

Auf Grundlage der im Theorieteil dieser Arbeit erläuterten Konzepte und empirischen Befunde wurde das in Abbildung 8 dargestellte, graphische Wirkungsgefüge für die Interventionsstudie entwickelt. Es wirkte sich prägend auf das Design des Projektes sowie die zum Zuge kommenden statistischen Auswertungsverfahren aus.

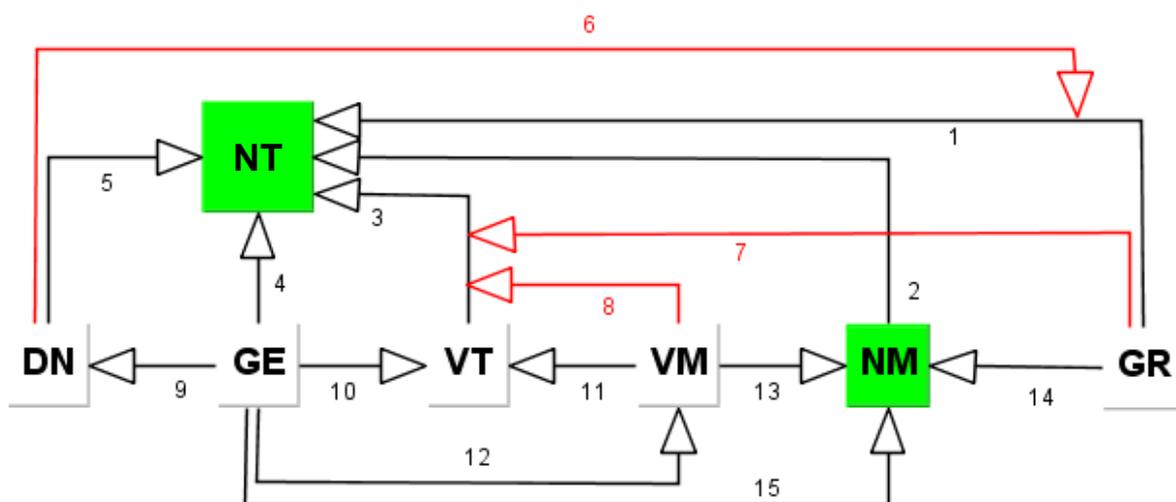


Abb.8: Das aus theoretischen Überlegungen abgeleitete Modellschema der Interventionsstudie.

Anmerkung:

Buchstabenkombinationen, Pfeilnummern sowie Farben von Pfeilen und Knoten sind im Text erläutert.

#### Beschreibung des Wirkungsgefüges

Mit den in der Graphik aufgeführten Buchstabenkombinationen wurden die im Zuge der Operationalisierung relevanter theoretischer Konstrukte gebildeten Variablen erfasst. Über die Bedeutungen der Kombinationen informiert Tabelle 1. Des Weiteren ist dort aufgeführt, um welchen Typ Variable (abhängig, unabhängig, Moderator, Me-

diator<sup>53</sup>) es sich bei der entsprechenden Größe handelt. Schließlich finden sich in der letzten Spalte der Aufstellung Hinweise auf die Kapitel des Theorieteils dieser Arbeit, die zum Zwecke der Rechtfertigung des aufgeführten Pfeils (also des vermuteten Zusammenhangs) heranzuziehen sind.

Tab.1: Die Variablen des Modellschemas

Buchstabenkombination	Bedeutung (Operationalisierung von)	Variablentyp	Theoriekapitel
<i>NT</i>	Nachtestscore (Performanz)	aV	
<i>NM</i>	Nachtestscore (Motivation)	MeV	2.4.5 2.4.6 2.9.3
<i>GR</i>	Gruppenzugehörigkeit (Kontroll-, Treatmentgruppe)	MoV	2.3.1 2.4.1 2.5.2 2.6.6 2.7.3 2.8.2
<i>VT</i>	Vortestscore (Performanz; Vorwissen)	MeV	2.6.1 2.6.2
<i>GE</i>	Geschlecht	uV	2.9
<i>DN</i>	Deutschnote (Sprachkompetenz)	MeV/ MoV	2.1.1 2.2.2
<i>VM</i>	Vortestscore (Motivation)	MeV/ MoV	2.4.5 2.4.6 2.6.1 2.9.3

Anmerkung: MeV = Mediatorvariable; MoV = Moderatorvariable

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die interessierenden abhängigen Variablen im Modellschema grün dargestellt. Rot gezeichnete Pfeile weisen auf einen mo-

<sup>53</sup> Variablen, die als Produkt zweier Prädiktoren in die Regressionsgleichungen (siehe Unterkapitel 3.2.5.1) eingehen, stehen in Zusammenhang mit theoretisch vermuteten Interaktionseffekten. Jeweils einer der beiden Prädiktoren spielt in diesem Zusammenhang die Rolle eines *Moderators*. Ein Prädiktor B, der eine abhängige Variable C beeinflusst, aber selbst abhängig ist von einem weiteren Prädiktor A, nimmt eine vermittelnde Funktion zwischen A und C wahr. Solche Prädiktoren nennt man in diesem Kontext *Mediatoren*.

derierenden Einfluss der Ausgangsvariablen hin, während schwarz formatierte Pfeile von direkten Variablen ausgehen beziehungsweise Mediatoren berücksichtigen. Alle Pfeile sind mit Zahlen versehen, die im folgenden Unterkapitel zusammen mit einer Darstellung der begründungsrelevanten (theoretischen) Kontexte aufgeführt sind.

### 3.1.2 *Theoretische Begründung der im Wirkungsgefüge vermuteten Zusammenhänge*

Unter Rückgriff auf den in Kapitel 2 geschilderten allgemeinen Rahmen erfolgt nachstehend die theoretische Begründung der einzelnen, im Modellschema vermuteten Zusammenhänge.

Hypothese 1: Das Nachtestergebnis (Performanz) ist abhängig vom Unterrichtsverfahren.

Eine Lehrkraft, die das JiTT-Verfahren anwendet, hat in der Phase der Unterrichtsvorbereitung Kenntnis von den vorhandenen Präkonzepten der Schüler. Da die Lehrkraft diese Präkonzepte in der Unterrichtsplanung beispielsweise als *anchoring conceptions* berücksichtigt, unterrichtet sie adressatengerechter als im Falle ohne Kenntnis der Präkonzepte. JiTT stellt also eine besondere Form des *Adaptiven Unterrichts* (siehe Unterkapitel 2.5) dar.

***Da mit dem JiTT-Verfahren adressatengerechter unterrichtet werden kann als mit traditionellen Unterrichtsmethoden, ist das Lernergebnis (Abruf- und Transferleistung) mit dem JiTT-Verfahren besser als mit traditionellen Unterrichtsmethoden.***

Einige JiTT-Statements werden der Treatmentgruppe in schriftlicher Form präsentiert (also *veröffentlicht*) und ausgiebig diskutiert. Sie bilden den roten Faden des unterrichtlichen Geschehens. Aus diesem Grunde wird den JiTT-Hausaufgaben ein höheres Maß an Bedeutsamkeit beigemessen als traditionellen Hausaufgaben. Dies hat zur Konsequenz, dass JiTT-Hausaufgaben der *konzeptionellen Schriftlichkeit* näher stehen als traditionelle Hausaufgaben (siehe Abbildung 9; Unterkapitel 2.8.2).

***Da JiTT-Hausaufgaben der konzeptionellen Schriftlichkeit näher stehen als traditionelle Hausaufgaben, werden im Rahmen ihrer Anfertigung in höherem Maße kognitive und metakognitive Strategien angewandt. Dies führt zu einer höheren Verarbeitungstiefe und letztlich zu einem besseren Lernergebnis.***

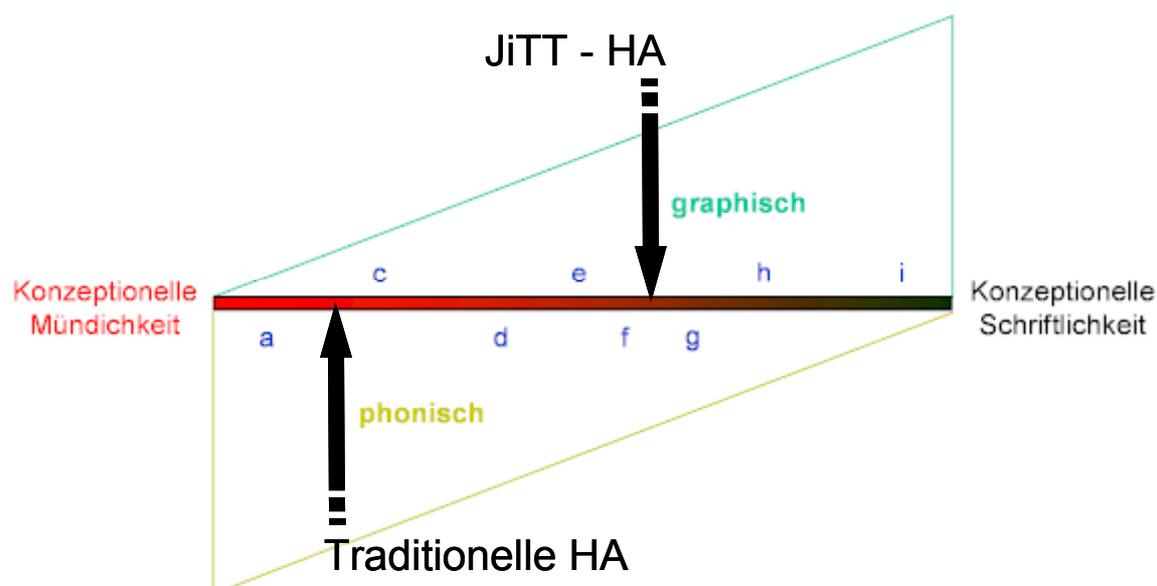


Abb.9: Verortung von JiTT-Hausaufgaben und traditionellen Hausaufgaben im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit / Schriftlichkeit

Die Lernenden begründen und verteidigen ihre veröffentlichten JiTT-Statements, schlüpfen also phasenweise in die Rolle der Lehrers. Somit kann konstatiert werden, dass es sich bei JiTT um eine Form des *Reciprocal Teaching* (siehe Unterkapitel 2.3) handelt.

***JiTT als eine Variante des Reciprocal Teaching fördert den Einsatz kognitiver und metakognitiver Strategien und wirkt sich daher positiv auf die Verarbeitungstiefe aus. Aus diesem Grunde führt JiTT zu einem besseren Lernergebnis als traditionelle Unterrichtsmethoden.***

Das JiTT-Verfahren weist gewisse Parallelen zum situierten Ansatz des *Cognitive Apprenticeship* (siehe Unterkapitel 2.7.3) auf: Lernende, die sich mit einer JiTT-Aufgabe beschäftigen, ein Statement formulieren und dieses im Gruppenrahmen intensiv diskutieren, realisieren in Zusammenarbeit mit der Lehrkraft Feedback-Schleifen, die ihrem Kompetenzerwerb zuträglich sind.

***Die intensive Auseinandersetzung mit den in veröffentlichten Statements artikulierten Vorstellungen in der Lernendengruppe unterstützt in besonderer Weise den Prozess des „Scaffoldings“. Daher erzielt man mit dem JiTT-Verfahren ein besseres Lernergebnis als mit traditionellen Unterrichtsverfahren.***

2. Hypothese: Das Nachtestergebnis (Performanz) ist abhängig von der Motivation am Ende der Instruktion.

Mittlerweile gilt als unbestritten, dass die motivationale Einstellung des Lernenden einen bedeutenden Einfluss auf die erbrachte Leistung hat (siehe Unterkapitel 2.4.6).

***Je höher die Motivation des Lernenden für den behandelten Lerngegenstand ist, desto besser ist das Lernergebnis.***

3. Hypothese: Das Nachttestergebnis (Performanz) ist abhängig vom Vorwissen (Vortestergebnis).

In jeder der fünf Verarbeitungssequenzen, die neue Informationen durchlaufen, spielen laut Informationsverarbeitungstheorie die bereits vorhandenen kognitiven Strukturelemente („Chunks“) eine bedeutende Rolle. In vielen Untersuchungen erwies sich das Vorwissen als mächtiger Prädiktor der gemessenen Leistung (siehe Kapitel 2.6).

***Je größer das Vorwissen des Lernenden ist, desto besser ist das Lernergebnis.***

4. Hypothese: Das Nachttestergebnis (Performanz) ist abhängig vom Geschlecht.

Empirische Studien belegen eine (wenn auch geringe) Überlegenheit des männlichen Geschlechts auf dem Felde der Physik. Als Begründungsmuster werden in diesem Kontext in erster Linie psychologische Ursachen diskutiert (siehe Unterkapitel 2.9.1). Zu beachten ist, dass der vermutete Zusammenhang zwischen Performanz und Geschlecht auch bei kontrolliertem Vorwissen bestehen sollte, da auch der Wissens- und Fähigkeitszuwachs geschlechtsabhängig sein könnte.

***Lernende männlichen Geschlechts erbringen ein besseres Lernergebnis als Lernende weiblichen Geschlechts.***

5. Hypothese: Das Nachttestergebnis (Performanz) ist abhängig von der Sprachkompetenz.

Da der JiTT-Aufgabentyp auf die Entwicklung der Konzeptualisierungsfähigkeiten der Lernenden abzielt, spielt deren sprachliche Performanz eine besondere Rolle (siehe Unterkapitel 2.2.2).

***Je höher die Sprachkompetenz des Lernenden, desto besser das Lernergebnis.***

6. Hypothese: Die Sprachkompetenz moderiert den Einfluss des Unterrichtsverfahrens auf das Nachttestergebnis (Performanz)<sup>53</sup>.

Kern des JiTT-Verfahrens bilden die schriftlichen Hausaufgaben-Statements, die konzeptioneller Schriftlichkeit näher stehen als traditionelle Hausaufgabenbearbeitungen. Daher erfordert das Verfassen (und Diskutieren) dieser Statements ein höheres Maß an Sprachkompetenz, mit der Konsequenz, dass der domänenspezifische Lernzuwachs beim JiTT-Verfahren in besonderem Maße von der Sprachkompetenz abhängen sollte (siehe Unterkapitel 2.2.2 und 2.8.2).

**Beim JiTT-Verfahren wirkt sich eine hohe Sprachkompetenz förderlicher auf das Lernergebnis aus als bei traditionellen Unterrichtsverfahren.**

7. Hypothese: Das Unterrichtsverfahren moderiert den Einfluss des Vorwissens auf das Nachtestergebnis (Performanz).

Unterrichtsverfahren stellen den aktiven Part einer Instruktion dar, das Vorwissen bildet letztlich eine (faktisch) unveränderliche Zustandsgröße, die die Lernenden in die Schule oder Universität mitbringen. Es erscheint legitim, vom Unterrichtsverfahren als dem steuernden Element (also der Moderatorvariablen) des Zusammenhangs auszugehen, da die Bedeutung des Vorwissens im Hinblick auf den Unterrichtsoutput in beträchtlichem Maße von Art, Struktur und Ausgestaltung der Instruktionsstrategie abhängen sollte (siehe Unterkapitel 2.6.6).

**Lernende, die eine JiTT-basierte Instruktion erfahren und über ein vergleichsweise hohes Maß an Vorwissen verfügen, sollten ein besonders gutes Lernergebnis erzielen.**

8. Hypothese: Die Motivation zu Beginn der Instruktion moderiert den Einfluss des Vorwissens auf das Nachtestergebnis (Performanz).

Es ist davon auszugehen, dass Ausmaß und Güte der Aktivierung domänenspezifischen Wissens (deklarativer und prozeduraler Art) von den motivationalen Einstellungen der Lernenden abhängen.

**Ein hohes Maß an Vorwissen sollte sich bei gleichzeitig vorhandener stark ausgeprägter Motivation besonders förderlich auf das Lernergebnis auswirken.**

9. Hypothese: Die Sprachkompetenz ist abhängig vom Geschlecht.

Empirischen Studien der vergangenen Jahrzehnte zufolge verfügen Frauen über ein geringfügig höheres Maß an Sprachkompetenz als Männer. Als Begründungsmuster werden in diesem Zusammenhang in erster Linie psychologische Ursachen ins Feld geführt (siehe Unterkapitel 2.9.1).

Die besondere Bedeutung der Sprachkompetenz für das Lernergebnis wurde in den zurückliegenden Abschnitten herausgestellt. Die Deutschnote spielt in diesem Kontext die Rolle eines Mediators (Vermittlers) zwischen dem Geschlecht des Lernenden und seinem Nachtestergebnis<sup>53</sup>.

**Lernende weiblichen Geschlechts verfügen über ein höheres Maß an Sprachkompetenz als solche männlichen Geschlechts. Sie sollten aus diesem Grunde ein besseres Lernergebnis erzielen.**

10. Hypothese: Das Vorwissen ist abhängig vom Geschlecht.

Die Rechtfertigung dieser Vermutung orientiert sich an der zu Punkt 4.

Das Vorwissen wäre somit ein Mediator (Vermittler) zwischen dem Geschlecht und dem Nachtestscore.

***Lernende männlichen Geschlechts verfügen über ein besseres Vorwissen als Lernende weiblichen Geschlechts.***

11. Hypothese: Das Vorwissen ist abhängig von der Motivation des Lernenden.

Die Rechtfertigung dieser Vermutung orientiert sich an der zu Punkt 2. Das Ausmaß an Interesse für eine Thematik sollte sich auf Quantität und Qualität des vorhandenen Vorwissens auswirken. In diesem Zusammenhang spielt also das Vorwissen die Rolle eines Mediators zwischen der Motivation zu Beginn der Instruktion und dem Lernergebnis (Nachtestscore).

***Je höher die Motivation des Lernenden für den behandelten Lerngegenstand ist, desto besser ist auch sein Vorwissen.***

12. Hypothese: Die Motivation zu Beginn der Instruktion ist abhängig vom Geschlecht.

Die Interessensstudie des IPN liefert Belege für den Umstand, dass das Interesse für die Physik, insbesondere für die Mechanik und Elektrizitätslehre, vom Geschlecht des Lernenden abhängt (siehe Unterkapitel 2.9.2). Da von einem bedeutenden Einfluss der Motivation auf das Lernergebnis zurückliegender Instruktionsprozesse auszugehen ist, fungiert die Motivation zu Beginn des Unterrichts als Mediator zwischen Geschlecht und Vorwissen (Vortestscore Performanz) sowie zwischen Geschlecht und Motivation am Ende der Instruktion.

***Lernende weiblichen Geschlechts sind zu Beginn der Instruktion in geringerem Maße für den Lerngegenstand motiviert als solche männlichen Geschlechts.***

13. Hypothese: Die Motivation am Ende der Instruktion hängt von der Motivation am Beginn ab.

Es wird davon ausgegangen, dass sich Inhalt und Realisierung des Instruktionsverfahrens nicht negativ auf die Motivation der Lernenden auswirken. Das Ausmaß an Motivationszuwachs sollte (auch) davon abhängen, wie groß das Interesse für die Thematik zu Beginn des Unterrichts gewesen ist. In diesem Kontext spielt die Motivation am Ende des Unterrichts die Rolle eines Mediators zwischen der Motivation zu Beginn und dem Lernergebnis (Nachtestscore Performanz).

***Je größer die Motivation zu Beginn der Instruktion ist, desto größer ist sie an ihrem Ende.***

14. Hypothese: Die Motivation am Ende der Instruktion ist abhängig vom Unterrichtsverfahren.

Im Rahmen des JiTT-Verfahrens orientiert sich der *Inhalt* des Unterrichts (durch Berücksichtigung der Statements in der Planungsphase) auf weitgehende Weise an den Interessen und Bedürfnissen der Lernenden. Des Weiteren bilden ausgewählte Statements den roten Faden des Instruktions*prozedere*. Infolge dieser Umstände empfinden die Lernenden ihren Lernprozess als in besonderem Maße selbstbestimmt. Gemäß richtungsweisender Motivationstheorien sollte dieses erhöhte Maß an inhaltlicher und prozeduraler Autonomie zu verstärkter, selbstregulierter Motivation führen (siehe Unterkapitel 2.4.6).

Auf den engen Zusammenhang zwischen Motivation und Performanz wurde in früheren Abschnitten hingewiesen. Somit fungiert die Motivation am Ende des Unterrichts als Mediator zwischen Unterrichtsverfahren und Lernergebnis (Nachtestscore Performanz).

***Da das JiTT-Verfahren ein höheres Maß an empfundener, inhaltlicher und prozeduraler Autonomie gewährt, sollte sich das Konzept positiver auf die Lernmotivation auswirken als traditionelle Unterrichtsverfahren.***

Da die Lernenden das eigene Statement mit all seinen Facetten (Semantik, Grammatik, fachlicher Gehalt) zu vertreten haben, empfinden sie sich und ihren Lernprozess als in besonderem Maße sozial eingebunden. Theoretischen Motivationskonzepten zufolge sollte dieser Umstand ein verstärktes Maß an selbstregulierter Motivation zur Folge haben.

***Da das JiTT-Verfahren dem Gefühl der sozialen Eingebundenheit in besonderem Maße zuträglich ist, sollte sich das Konzept förderlicher auf die Lernmotivation auswirken als traditionelle Unterrichtsverfahren.***

15. Hypothese: Die domänenspezifische Motivation am Ende des Instruktionsverfahrens ist abhängig vom Geschlecht.

Es wird davon ausgegangen, dass die Instruktion - unabhängig vom angewandten Verfahren - keinen negativen Effekt auf die Motivation hat. Da das Interesse der weiblichen Lernenden an Mechanik und Elektrodynamik gemeinhin geringer ist als das männlicher Personen, sollte auch der instruktionsbedingte Motivationszuwachs vom Geschlecht abhängen (siehe Unterkapitel 2.9.2). In diesem Kontext spielt die

Motivation am Ende des Unterrichts die Rolle eines Mediators zwischen Geschlecht und Lernergebnis (Nachtestscore).

***Das Ausmaß an Motivation am Ende der Instruktion ist bei männlichen Lernenden größer als bei weiblichen Lernenden.***

## 3.2 Material und Methoden

### 3.2.1 Stichprobe

#### *Stichprobenumfang*

Im Zuge der Planung einer Interventionsstudie sollte der Festlegung eines akzeptablen Stichprobenumfangs besondere Beachtung geschenkt werden. Unter statistischen Gesichtspunkten spielt diesbezüglich der Zusammenhang zwischen der Stärke  $\varepsilon$  des Effektes der Intervention, der Teststärke  $1-\beta^{54}$ , dem Signifikanzniveau  $\alpha$  und dem Stichprobenumfang  $N$  eine maßgebliche Rolle.

COHEN (2003) zufolge sollte bei sozialwissenschaftlichen Fragestellungen ein Signifikanzniveau von 5% sowie eine Teststärke von 80% eingefordert werden. Damit würde einerseits sichergestellt, dass ein empirisches Resultat zugunsten der Alternativhypothese  $H_1$  erst dann als statistisch signifikant zu bezeichnen wäre, wenn es (bei gültiger Nullhypothese  $H_0$ ) lediglich in fünf von hundert Stichprobenziehungen vorkäme; andererseits könne beim Einhalten der zweiten Forderung davon ausgegangen werden, dass bei gültiger Alternativhypothese diese in 80% der Fälle auch bestätigt würde.

Hauptanliegen der vorliegenden Studie ist der empirische Nachweis der unterrichtlichen Wirksamkeit der JiTT-Strategie.

Angesichts der euphorischen Kommentare aus den USA zum JiTT-Verfahren erscheint es vertretbar, dem Konzept einen mittleren Einfluss<sup>55</sup> ( $f^2 = ,2$ ) auf den Instructionserfolg zuzuschreiben. Die oben geschilderten, statistischen Zusammenhänge nutzend, ergibt sich somit ein optimaler Stichprobenumfang von  $N = 42^{56}$ .

Hinsichtlich anderer, theoretisch vermuteter Kausalzusammenhänge (man konsultiere in diesem Zusammenhang das Modellschema in Unterkapitel 3.1) muss von deutlich geringeren Effektstärken ausgegangen werden (man denke beispielsweise an den Einfluss des Geschlechtes auf den Unterrichtserfolg). Um in solchen Fällen auf eine akzeptable Teststärke zu kommen, wären weitaus größere Stichprobenumfänge vonnöten, die aber im Rahmen der beschriebenen Interventionsstudie nicht zu ver-

---

<sup>54</sup>  $\beta$  stellt in diesem Zusammenhang die Wahrscheinlichkeit dar, eine korrekte Alternativhypothese  $H_1$  irrtümlicherweise zugunsten der Nullhypothese  $H_0$  zu verwerfen (siehe auch BORTZ, S.500).

<sup>55</sup> Es werden die Effektstärken-Levels der multivariaten Regressionsanalyse zugrundegelegt: Schwacher Effekt ab  $f^2 = ,02$ , mittlerer Effekt ab  $f^2 = ,15$ , starker Effekt ab  $f^2 = ,35$  (siehe auch URBAN & MAYERL, 2006, S. 157).

<sup>56</sup> Der optimale Stichprobenumfang wurde mit Hilfe der Software „G\*power 3.0.8“ ermittelt. Download: <http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3/>; Zugriff am 20.3.2009  
Weitere Informationen zur Software bei FAUL et al. (2007).

wirklichen waren. Bezüglich solcher Prädiktoren ist zu konstatieren, dass bei eintretender statistischer Nichtsignifikanz noch immer von einem (eventuell doch vorhandenen) Effekt auszugehen wäre, der (im Rahmen statistischer Irrtumswahrscheinlichkeiten) jedoch nicht größer als  $f^2 = ,18$  ist.

#### *Zusammensetzung der Stichprobe*

Die Stichprobe setzte sich aus den Schülern zweier Leistungskurse Physik der elften und zwölften Klasse eines kleinstädtischen Gymnasiums im südlichen Rheinland-Pfalz zusammen. Die Schule verfügt über ein ländliches Einzugsgebiet, ihre Schülerschaft kann als diszipliniert und vergleichsweise lernwillig bezeichnet werden. Kurs A besuchten zum Zeitpunkt der Interventionsstudie (Mechanik) 22 Schüler, darunter drei Mädchen. Die Gruppenstärke des Kurses B betrug 23, es befanden sich in diesem Falle sieben Schülerinnen unter den Lernenden. Im Zuge des zweiten Teils der Studie (Elektrodynamik) umfassten beide Kurse jeweils 23 Schüler mit drei Mädchen in Kurs A und sechs Mädchen in Kurs B. Das quasi-experimentelle Design des Projektes sah ein „Switching“ der Rollenverteilung unter den Kursen vor: Im Zuge der Instruktionsphase zur Mechanik bildete Kurs A die Kontrollgruppe, während B die Rolle der Treatmentgruppe übernahm (Rotationsdesign). Die (zeitlich nachgelagerte) Elektrodynamik hingegen wurde in Kurs B auf „traditionelle“ Weise unterrichtet, während A nun eine Instruktion unter Einbeziehung des JiTT-Verfahrens erfuhr.

### *3.2.2 Instruktionsmaterial*

#### *JiTT-Material in der Mechanik*

Im Zuge der Realisierung des JiTT-Verfahrens in der Mechanik kam es zum Einsatz von insgesamt 22 internetbasierten Aufgaben, deren Bearbeitungen von den Schülern der Treatmentgruppe per Mail an die Lehrkraft zu senden waren. Zu finden sind diese Aufgaben in Anhang C dieser Arbeit. JiTT-Aufgabe 1 ist dort in kompletter Form (also mit Formularfenster und Absend-Button) dargestellt. Bei allen anderen Aufgaben wurde aus Platzgründen auf die Abbildung des (jeweils identischen) interaktiven Bereiches der Seite verzichtet.

Die Tabelle in Anhang A gibt Auskunft über die didaktischen Orte der im Mechanik-Unterricht eingesetzten JiTT-Aufgaben. Neben den Informationen zum Aufgabentyp finden sich außerdem kurze Bemerkungen zum Inhalt. Schließlich wird in den Spalten vier und fünf ein Bezug hergestellt zwischen den einzelnen JiTT-Aufgaben und den Items der beiden Mechanik-Leistungstests *FCI* und *FKB*. Somit kann konstatiert werden, dass die beiden Inventare valide sind, also in großem Maße solche The-

menbereiche abtesteten, in denen sich das JiTT-Verfahren prägend auf die Unterrichtsaktivitäten auswirkte.

In Tabelle 2 ist aufgeführt, welchen Kompetenzbereichen (gemäß der Vereinbarung über Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung; KMK, 2004) die einzelnen JiTT-Aufgaben zugeordnet werden können. Somit ist gewährleistet, dass der Aufgabenpool dem standardisierten Anforderungsprofil des deutschen Oberstufenunterrichtes im Fach Physik genügt.

Tab.2: Zuordnung der JiTT-Aufgaben Mechanik zu den Kompetenzbereichen der KMK

Kompetenzbereich	Fachkenntnis	Fachmethode	Kommunikation	Reflexion
WarmUp	1; 8; 9; 12; 13; 16; 20; ;23; 24; 29; 30; 31	2; 3; 4; 7; 25; 26	1; 6; 8; 9; 16; 24; 26	1; 2; 7; 12; 13; 20
Puzzle	14; 15; 17; 21; 27; 28	10; 11; 18; 19; 22	5; 21; 27; 28	5; 14; 15; 17; 18; 19; 22

### *JiTT-Material in der Elektrodynamik*

Die 24 JiTT-Aufgaben der Elektrodynamik finden sich in Anhang D dieser Arbeit. Diesbezügliche Informationen und Zuordnungen (in Analogie zu den Mechanikaufgaben) sind in der Tabelle von Anhang B dargestellt. Zu beachten ist, dass in diesem Teil der Interventionsstudie vier Leistungstests zum Einsatz kamen, weshalb die Tabelle um zwei Spalten erweitert werden musste. Auch in diesem Falle ist zu konstatieren, dass die Inventare über ein akzeptables Maß an Validität verfügen.

Die Verknüpfung der JiTT-Aufgaben mit den vier Kompetenzbereichen ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tab.3: Zuordnung der JiTT-Aufgaben Elektrodynamik zu den Kompetenzbereichen der KMK

Kompetenzbereich	Fachkenntnis	Fachmethode	Kommunikation	Reflexion
WarmUp	1; 2; 10; 14; 15; 17; 20; 21; 23	3; 8; 11;	1; 2; 10; 20; 21; 23	3; 8; 11; 14; 17;
Puzzle	4; 5; 6; 7; 18; 22; 24	9; 12; 13; 16; 19	6; 18; 24	6; 22

### 3.2.3 Design und Interventionsablauf

#### 3.2.3.1 Beschreibung des Unterrichtsganges

##### *Instruktion in Mechanik*

Um die Wirksamkeit eines Unterrichtskonzeptes im Vergleich zu anderen Ansätzen beurteilen zu können, erscheint eine detaillierte Beschreibung des Unterrichtsganges von grundlegender Bedeutung. Zu diesem Zwecke findet sich in Anhang F eine Übersicht über die elf (themenspezifischen) Instruktionssequenzen der Mechanikschulung, ergänzt um Informationen zu zentralen Zielsetzungen und Methoden sowie den benötigten Zeiten. In Klammern aufgeführte Zeitwerte beziehen sich auf die Treatmentgruppe.

Grundsätzlich ist für die Mechanik (und die Elektrodynamik) zu konstatieren, dass Lernziele, thematische Unterrichtsinhalte und methodische Vorgehensweisen (abgesehen vom Einsatz des JiTT-Konzeptes) in Kontroll- und Treatmentgruppe identisch waren.

Auf Grundlage der in der Physikdidaktik gängigen Kategorisierung von Unterrichtsformen und -verfahren<sup>57</sup> wurde der Versuch unternommen, den im Zuge der Instruktion realisierten Kategorien unterrichtliche Zeiträume zuzuordnen (siehe Tabelle von Anhang G). Die in der dritten Spalte aufgeführten Beispiele dienen der Verknüpfung der Formen und Verfahren an wichtige thematische Inhalte der verschiedenen Unterrichtssequenzen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Unterrichtsform *festigender Unterricht* sowohl *fragend-entwickelnde* als auch *entdeckende* Anteile enthält, die allerdings in den diesbezüglichen Spalten nicht aufgeführt sind. Es ist zu konstatieren, dass sich *fragend-entwickelnder* sowie *entdeckender Unterricht* im Hinblick zugeordnete Unterrichtszeiträume in etwa die Waage halten.

Im Zuge der Realisierung *entdeckender Unterrichtsphasen* (Anteil an der Gesamtunterrichtszeit etwa 20%) hatten die Schüler in Kleingruppen (drei bis fünf Jugendliche) zu arbeiten. Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Laptops konnten sowohl Realexperimente (über Interface und Messsensoren) als auch Videoanalysen durchgeführt werden. Die Software Coach 5 gestattete außerdem die Erstellung graphischer Wirkungsgefüge (Modellbildung<sup>58</sup>) sowie die anschließende Simulation der erstellten Modelle. Auf diese Weise war ein Vergleich des experimentell gewonnenen sowie des theoretischen (modellbasierten) Datenmaterials möglich.

---

<sup>57</sup> Weitere Informationen in Weltner (1999), S. 280ff

<sup>58</sup> Weitere Informationen zur Methode der Modellbildung in Goldkuhle (1997) und Schecker (1998).

Beim eingesetzten Schulbuch handelte es sich um den Band „Metzler Physik“ des Schrödel Verlages.

#### Instruktion in Elektrodynamik

Die Anhänge H und I liefern Informationen zu den zehn themenspezifischen Unterrichtssequenzen sowie zur Verteilung der Unterrichtszeit auf die diversen Unterrichtsformen und -verfahren. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass der *fragend-entwickelnde Instruktionsstil* mit einem Anteil von 51% an der unterrichtlichen Gesamtzeit einen deutlichen Schwerpunkt bildet. Weiterhin ist bemerkenswert, dass lediglich etwa ein Fünftel der Gesamtzeit zur Festigung erarbeiteten Wissens genutzt wurde (im Mechanikbereich waren es 40%).

Die Schüler der Kurse arbeiteten in der Phase der Elektrodynamikschulung mitunter in Kleingruppen. Wie in der Mechanik auch, hatten die Lernenden computerunterstützte Realexperimente durchzuführen und auf diese Weise gesammeltes Datenmaterial mit theoretischen Werten aus der Modellbildung in Beziehung zu setzen. Auch in der Elektrodynamik handelte es sich beim eingesetzten Schulbuch um den Band „Metzler Physik“ des Schrödel Verlages.

#### 3.2.3.2 Beschreibung des JiTT-Einsatzes

Im Rahmen der Mechanik-Instruktion kamen 22 JiTT-Aufgaben zur Anwendung, im Falle der Elektrodynamik waren es 24. Während die Lernenden der Kontrollgruppe ihre Bearbeitung auf traditionelle Weise bis zum Beginn der folgenden Stunde in ihr Heft zu schreiben hatten, oblag es der Treatmentgruppe, die Statements bis 18 Uhr beziehungsweise 20 Uhr am Vortage der nächsten Unterrichtseinheit an die Lehrkraft per Mail zu senden. Im Zuge der nun einsetzenden Instruktionsüberlegungen wurden zunächst alle Statements gesichtet und auf ihren unterrichtsrelevanten Gehalt hin sondiert. Artikulierte Missverständnisse (oder auch wegweisende Ideen) fanden Eingang in die Detailplanung des Unterrichts. In diesem Zusammenhang kam es des weiteren zur Erstellung einer OH-Folie mit Schülerstatements, deren Diskussion im Kurs besonders lohnenswert erschienen und so den roten Faden des unterrichtlichen Geschehens bilden sollten.

Die Planung des Unterrichts in der jeweiligen Kontrollgruppe orientierte sich an den Beobachtungen der Lehrkraft in den vorhergehenden Schulstunden sowie den bekannten, in der Literatur dokumentierten, domänenspezifischen „Mainstream“-Präkonzepten.

Die Bearbeitung der netzbasierten JiTT-Aufgaben ging zu etwa 10% in die individuelle Endnote des Schülers ein.

### 3.2.3.3 Beschreibung einer JiTT-Stunde im Bereich „Mechanik“

Thema der Hausaufgabe: Alltagsvorstellungen und physikalische Vorstellungen vom Begriff „Geschwindigkeit“.

#### *Lernziele*

Die Schülerinnen und Schüler

- sind fähig, in veröffentlichten Statements dargelegte Argumentationen und Gedankengänge zu verbalisieren und zu diskutieren;
- kennen die Bedeutung der Begriffe „Ortsänderungsvektor“, „Distanz (Strecke)“, „Durchschnittsgeschwindigkeit“, „Momentangeschwindigkeit“;
- wissen, dass es sich bei der physikalischen Größe „Geschwindigkeit“ um eine vektorielle Größe handelt;
- wissen, dass physikalische Aussagen über Bewegung abhängig von der Wahl des Bezugssystems sind;
- wissen, dass der Begriff „Geschwindigkeit“ im Alltag häufig auch in bewegungsfernen Kontexten verwendet wird;
- erkennen, dass sich die Alltagsvorstellungen vom Begriff „Geschwindigkeit“ von den physikalischen maßgeblich unterscheiden;
- entwickeln die Bereitschaft, in Lebenssituationen bewusst zu entscheiden, ob sie auf Alltagskonzepte oder physikalische Denkmuster zurückgreifen.

#### *Fachspezifische Bemerkungen*

In den vorangegangenen Stunden beschäftigte sich der Kurs mit den Inhaltssequenzen eins und zwei (siehe Anhang F). In diesem Zusammenhang wurde unter anderem die Durchschnittsgeschwindigkeit als zweidimensionale Pfeilgröße mit der Richtung des Ortsänderungsvektors eingeführt, ihr Betrag als der des Ortsänderungsvektors dividiert durch das entsprechende Zeitintervall definiert. Zur Momentangeschwindigkeit gelangte der Kurs, indem man sich ein immer kleiner werdendes Zeitintervall und den zugehörigen Ortsänderungsvektor vorstellte. Auf den Einsatz von Computeranimationen wurde an dieser Stelle verzichtet. Ziel der besprochenen Beispiele und Übungsaufgaben war insbesondere, den Schülern den vektoriellen Charakter der physikalischen Größe „Geschwindigkeit“ zu verdeutlichen.

### *Begründung der methodischen Entscheidungen*

#### Die JiTT-Aufgabe

Die zum Einsatz kommende Aufgabe 5 (siehe Anhang D) gehört der Kategorie „Puzzle“ an und soll offen legen, in welchem Maße die Lernenden physikalische Konzepte zur „Geschwindigkeit“ internalisiert haben und in der Lage sind, sie von Alltagskonzepten zu unterscheiden.

#### Auswahl der Statements

Statement 1 der im Unterricht eingesetzten OH-Folie (siehe Anhang J) thematisiert Alltagsvorstellungen vom Begriff „Geschwindigkeit“ und bildet den Einstieg in die Stunde.

Statement 2 bietet die Gelegenheit, die Aspekte „Bezugssystem“ sowie „Gerichtetheit“ der physikalischen Dimension des Begriffes anzusprechen und zu vertiefen. Schließlich kann über die Alltags- beziehungsweise die physikalische Bedeutung des Begriffes „Strecke“ reflektiert werden.

In Statement 3 wird deutlich, dass dem Verfasser (trotz der Instruktion der vergangenen Wochen) die Begriffe „Durchschnittsgeschwindigkeit“ sowie „Momentangeschwindigkeit“ sowie der Vektorcharakter der betrachteten Größe massive Probleme bereiten. Diesbezügliche Missverständnisse traten bei etwa 40% der Kursteilnehmer auf, sodass der Diskussion dieses Statements vergleichsweise viel Zeit eingeräumt wurde.

#### Material

In der zweiten Hälfte der Stunde kam eine kleine Animation zum Einsatz, mit deren Hilfe die beiden voneinander zu unterscheidenden Geschwindigkeitstypen visualisiert wurden (Screenshots siehe Anhang K).

### *JiTT-Instruktion und traditionelle Instruktion im Vergleich*

Während alle Schüler der Treatmentgruppe die Netzaufgabe bearbeiteten, musste im Zuge der Instruktion der Kontrollgruppe festgestellt werden, dass zirka ein Viertel des Kurses die Hausaufgabe nicht gemacht hatte. In letzterem Falle bildete die Diskussion des Vektorcharakters den zeitlichen Schwerpunkt des Geschehens. Bei keiner der drei verlesenen Hausaufgaben-Bearbeitungen ergaben sich dahingehend Verdachtsmomente, dass Verständnisschwierigkeiten bezüglich der beiden Geschwindigkeitstypen vorliegen könnten. Daher wurde dieser Aspekt im Unterricht nicht (erneut) thematisiert.

Die Bearbeitung der JiTT-Aufgabe im traditionellen Unterricht dauerte etwa 25 Minuten, ihre Besprechung im Rahmen des JiTT-Verfahrens etwa 40 Minuten.

#### 3.2.3.4 Beschreibung einer JiTT-Stunde im Bereich „Elektrodynamik“

Thema der Hausaufgabe: „Einfluss eines Nichtleiters (Dielektrikums) auf die Kapazität eines Kondensators“.

##### *Lernziele*

Die Schülerinnen und Schüler

- kennen die Dielektrizitätszahl als charakteristische Größe zur Unterscheidung von Dielektrika;
- kennen die Modellvorstellung der Äquipotentiallinien und wissen, dass es sich dabei um ein abstraktes Konstrukt zur energetischen Betrachtung von (elektrischen) Feldern handelt;
- kennen die Modellvorstellung der Feldlinien und wissen, dass es sich dabei um ein abstraktes Konstrukt zur dynamischen Betrachtung von (elektrischen) Feldern handelt;
- kennen den Unterschied zwischen den Phänomenen „Polarisation“ und „Influenz“;
- sind fähig, die schwächende Wirkung des Dielektrikums auf das Kondensatorfeld in Verbindung zu bringen mit dem Phänomen der Polarisation (Transfer);
- erkennen, dass Dielektrika mit vergleichsweise weit auseinanderliegenden Äquipotentiallinien das elektrische Feld besonders stark schwächen (Transfer);
- sind sich darüber im Klaren, dass es sich bei den Begriffen „elektrische Feldstärke“ und „Potentialgefälle“ um die gleiche physikalische Größe handelt;
- sind fähig, die Größen „Potentialdifferenz“ und „Potentialgefälle“ voneinander zu unterscheiden (Transfer).

##### *Fachspezifische Bemerkungen*

Im Rahmen der Behandlung der Unterrichtssequenzen zwei und drei (siehe Anhang H ) war es zur Erörterung der Phänomene „Influenz“ und „Polarisation“ gekommen. Im Zuge energetischer Betrachtungen elektrischer Felder legte das Instruktionkonzept besonderen Wert auf klare Abgrenzung hin zu Größen und graphischen Konstrukten zur dynamischen Beschreibung der Felder. Als ein verbindendes Element beider Betrachtungsweisen wurde das Potentialgefälle (die Feldstärke) herausgestellt. Schwerpunkt der vierten Unterrichtssequenz bildete schließlich die Thematisie-

rung des Kondensators als Spannungsquelle und die Entwicklung einer charakteristischen Größe zur Unterscheidung von Kondensatoren, der Kapazität.

In einem ersten Hausaufgabenteil zur JiTT-Stunde hatten sich die Lernenden im Rahmen einer Textrecherche mit der grundsätzlichen Wirkungsweise eines Dielektrikums zu beschäftigen.

### *Begründung der methodischen Entscheidungen*

#### Die JiTT-Aufgabe

Die zum Einsatz kommende Aufgabe 16 (siehe Anhang D; sie bildete den zweiten Teil der Hausaufgabe zur JiTT-Stunde) entstammt der Kategorie „Puzzle“ und soll offen legen, in welchem Maße die Lernenden physikalische Konzepte zum elektrischen Feld und dem Kondensator internalisiert haben.

#### Auswahl der Statements

Die erstellte OH-Folie befindet sich in Anhang L.

Statement 1 bietet die Gelegenheit, dynamische und energetische Ansätze zur Analyse von elektrischen Feldern zu thematisieren. Die Diskussion der im Statement verwendeten Fachbegriffe bietet diesbezüglich eine Einstiegsmöglichkeit. Schließlich kann die Frage nach der internen Konsistenz der Argumentation des Statements („Spannung verursacht schwächeres Feld“) aufgeworfen werden.

In Statement 2 entwirft der Verfasser eine Hypothese bezüglich unterschiedlicher Dielektrizitätszahlen der drei Dielektrika. In den ersten Zeilen wird eine physikalisch tragfähige und anschauliche Deutung der Äquipotentiallinien sowie ihrer Abstände geliefert, deren Diskussion im Unterricht besonders lohnenswert erscheint.

Statement 3 wurde ausgewählt, da hier Vermutungen hinsichtlich der physikalischen Ursachen für den schwächenden Einfluss von Dielektrika auf elektrische Felder geäußert werden. Der nicht korrekte Bezug auf das Phänomen „Influenz“ bietet die Chance, die Verhaltensweisen unterschiedlicher Stoffe (Leiter, Nichtleiter) in elektrischen Feldern noch einmal grundlegend zu erörtern.

Statement 4 wirft ein (sehr interessantes) Problem auf, dessen Klärung den Rückgriff auf die Konzeptvorstellungen „Potentialdifferenz“ und „Potentialgefälle“ nötig macht.

Die *Potentialdifferenz* zwischen den beiden Platten ist unabhängig von den Messorten, etwaige hypothetische Ladungsdifferenzen *auf einer Platte* würden sich sofort ausgleichen, da es sich um einen elektrischen Leiter handelt. Zu beachten ist, dass zwischen den Enden eines Dielektrikums der Abbildung und der gegenüberliegenden Platte ein anderes *Potentialgefälle* herrscht als innerhalb des Nichtleiters. In jedem

Falle wäre die Kondensatorspannung ohne Dielektrikum größer als mit einem Nichtleiter (auch wenn dieser den zur Verfügung stehenden Raum nur teilweise ausfüllen würde), da das Feld Energie infolge der Ausrichtung der elektrischen Dipole verlieren würde.

#### *JiTT-Instruktion und traditionelle Instruktion im Vergleich*

Während alle Schüler der Treatmentgruppe die Netzaufgabe bearbeiteten, musste im Zuge der Instruktion der Kontrollgruppe festgestellt werden, dass zirka ein Fünftel des Kurses die Hausaufgabe nicht gemacht hatte. In letzterem Falle bildete die Erörterung der Äquipotentiallinien-Darstellung den Schwerpunkt des unterrichtlichen Geschehens. Es dauerte eine Weile, bis der Zusammenhang zur Stärke des Feldes erarbeitet war. Ein erneutes Eingehen auf den Unterschied zwischen „Polarisation“ und „Influenz“ entfiel, da in keiner der sechs (teils nur partiell) verlesenen Hausaufgaben darauf Bezug genommen wurde. Aus gleichen Gründen kam es auch zu keiner eingehenden nochmaligen Behandlung der Begriffe „Potentialdifferenz“ und „Potentialgefälle“.

Sicherlich muss bezweifelt werden, ob beziehungsweise in welchem Ausmaß alle Schüler der Treatmentgruppe der Erörterung von Statement 4 folgen konnten. Es dürfte aber kein Zweifel an dem Umstand bestehen, dass die Arbeit mit den JiTT-Statements eine tiefgreifendere und fundiertere Diskussion der Problematik ermöglichte als die auf Grundlage der traditionell angefertigten Hausaufgaben.

Die Bearbeitung der JiTT-Aufgabe im traditionellen Unterricht nahm in etwa die gleiche Zeitdauer in Anspruch wie ihre Besprechung im Rahmen des JiTT-Verfahrens (40 Minuten).

#### **3.2.4 Instrumente**

##### Performanz Mechanik

Der *Force Concept Inventory (FCI)* (siehe Anhang M), ein weltweit eingesetzter Test zur Messung von Lernwirkungen, wurde im Jahre 1992 von HESTENES et al. zum Zwecke der Diagnose der Konzeptualisierungsfähigkeit im Bereich Mechanik entwickelt (HESTENES, 1992). Ein korrektes Beantworten der Items des *FCI* setzt ein gefestigtes Basiswissen von Begriffen wie „Kraft“ oder „Trägheit“ voraus – mathematische Kenntnisse sind dafür nicht vonnöten. Die Items des Instrumentes beziehen sich auf folgende physikalische Themenbereiche:

- Kinematik (Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung; Bahnkurven bei konstanter Beschleunigung, Fall, Wurf);
- Erstes Newtonsches Axiom;
- Zweites Newtonsches Axiom;
- Überlagerung von Kräften;
- „Spezielle“ Kräfte (Reibung; Gewichtskraft).

Bei zwei der insgesamt 29 Items stehen dem Probanden vier Antworten zur Auswahl, in den übrigen Fällen sind es fünf. SCHECKER und GERDES (1999, S. 87) raten von einer Evaluation des *FCI* auf Subskalenniveau infolge mangelnder Reliabilitäten ab und vertreten den Standpunkt, dass lediglich der Gesamtscore des Instrumentes zur Abschätzung des (globalen) Unterrichtserfolges herangezogen werden könne. In diesem Zusammenhang ermittelten die beiden Didaktiker eine Reliabilität des Gesamtinventars  $\alpha_{KR}^{59} = ,77$ . Zieht man das Datenmaterial der vorliegenden Feldstudie heran, ergibt sich ein  $\alpha_{KR} = ,7$ .

Der Test *Fragen zu Kraft und Bewegung (FKB)*; siehe Anhang N) geht auf den Physikdidaktiker THORNTON (Tufts University, USA) zurück und wurde 1992 von WILHELM ins Deutsche übersetzt beziehungsweise im Hinblick auf Bebilderung sowie Klarheit der Darstellung grundlegend überarbeitet (WILHELM, 2005, S. 165f). Die Items beziehen sich auf die Kinematik und die Dynamik eindimensionaler Bewegungen und messen das Ausmaß an Konsistenz, mit der Lernende relevante Konzepte in unterschiedlichen Situationen auf gleiche physikalische Sachverhalte anwenden. Die Fragestellungen des *FKB* können als *Zuordnungsaufgaben* bezeichnet werden, da jedem Item eines Blocks eine Antwortmöglichkeit zugewiesen werden soll. Eine von WILHELM realisierte Faktorenanalyse brachte das Ergebnis, dass die Items des Inventars auf Faktoren laden, deren Anzahl im Wesentlichen den konzeptionell realisierten Aufgabengruppen (Kraft, Beschleunigung, text- beziehungsweise graphenbasierte Realisierung) entsprechen (WILHELM, s.o.). Durchgeführte Reliabilitätsuntersuchungen erbrachten einen KR 20 - Wert  $\alpha_{KR} = ,84$ .

### Motivation

Im Zuge der Erfassung motivationaler Einstellungen der Schüler kam es zum Einsatz von drei Motivationsinventaren:

---

<sup>59</sup> Zum Zwecke der Bestimmung der Messgenauigkeit bei dichotom auszuwertenden Inventaren verwendet man den Kuder-Richardson 20 - Wert „ $\alpha_{KR}$ “.

Grundlage des *Reflexionsbogens 1* (siehe Anhang O) bildet der von KUHN im Rahmen einer Pilotstudie zum MAI-Konzept erstellte Motivationstest. Dieser, aus 29 sechsstufigen Items bestehende Bogen orientiert sich an gut validierten Motivationsinventars des IPN (HOFFMANN ET AL., 1997, S. 62). Im Rahmen der Adaption des Tests von Kuhn an die vorliegende Interventionsstudie wurden die Fragen zu „Differenzfragen“ umgestaltet, sodass nunmehr Unterschiede zwischen aktuellen motivationalen Einstellungen und solchen vergangener Unterrichtsphasen gemessen werden konnten. Des weiteren wurde der Bogen um die Items gekürzt, die sich auf die Aspekte „Alltagsbedeutung“ beziehungsweise „Aufgaben im Physikunterricht“ beziehen. Das Datenmaterial der vorliegenden Feldstudie ergab ein Cronbachs  $\alpha = ,88$ .

Mit dem Einsatz des (eigens für die Interventionsstudie erstellten) aus 18 sechsstufigen Items bestehenden *Reflexionsbogens 2* (siehe Anhang O) wurde das Ziel verfolgt, auf möglichst detaillierte Weise zu erfassen, in welchem Ausmaß die JiTT-Aufgaben beziehungsweise das JiTT-Prozedere bei den Lernenden auf Akzeptanz gestoßen sind. In diesem Zusammenhang interessierte insbesondere auch die Frage, inwieweit Schüler den JiTT-Aufgaben beziehungsweise den traditionellen Hausaufgaben unterschiedliche Bedeutungen beimessen. Die Reliabilitätsuntersuchungen ergaben ein Cronbachs  $\alpha = ,77$ .

Mit dem in der vorliegenden Feldstudie eingesetzten *Maryland Physics Expectations Survey (MPEX)* ging es REDISH, SAUL und STEINBERG im Jahre 1998 um die Erstellung eines Inventars zur Erfassung von epistemologischen Grundüberzeugungen der Lernenden. WILHELM, der eine deutsche Version des Bogens erstellte, nennt sechs Dimensionen, auf die die Items bezug nehmen:

- Unabhängigkeit des Lerners (eigenverantwortliche Konstruktion von Wissen);
- Zusammenhang (Physik ist ein vernetztes Konstrukt);
- Konzepte (Priorisierung konzeptionellen Denkens);
- Realitätsbezug;
- Mathematik – Verbindung (Beziehung zwischen Mathematik und Physik);
- Anstrengung (Bemühung um sinnhafte Integration neuer Informationen).

Obwohl es sich beim *MPEX* also nicht um ein Inventar zur Messung motivationaler Einstellungen handelt, ergab ein unabhängiges Expertenrating, dass folgende acht Items in letzterem Sinne einsetzbar sind:

- Ich verbringe viel Zeit damit, wenigstens einige Herleitungen oder Beweise, die im Unterricht oder im Schulbuch vorkommen, zu verstehen.
- Ich lese Texte (Heft/Schulbuch) im Detail und arbeite viele vorgestellte Beispiele durch.
- Physikalische Gesetze haben wenig Beziehung zu dem, was ich in der realen Welt erfahre.
- Ein gutes Verständnis der Physik ist für mich nötig, um meine beruflichen Ziele zu erreichen. Eine gute Note in diesem Fach ist nicht genug.
- Um Physik zu verstehen, denke ich manchmal über meine persönlichen Erfahrungen nach und beziehe sie auf das Thema, das ich untersuche.
- Physiklernen hilft mir, Situationen im täglichen Leben zu verstehen.
- Während ich die meisten Probleme in Prüfungen oder Hausaufgaben löse, denke ich explizit über die Strukturen nach, die der Aufgabe zugrunde liegen.
- Viel Zeit (halbe Stunde oder mehr) für die Arbeit an einer Aufgabe aufzuwenden ist Zeitverschwendung. Wenn ich nicht schnell Erfolg habe, bin ich besser dran, wenn ich jemanden frage, der mehr weiß als ich.

Zieht man das Datenmaterial dieser Items zur Bestimmung der Reliabilität heran, ergibt sich ein Cronbachs  $\alpha = ,7$ .

### Performanz Elektrodynamik

Der von MALONEY, O'KUMA, HIEGELKE und VAN HEUVELEN in der zweiten Hälfte der neunziger Jahre entwickelte *Concept Survey of Electricity and Magnetism (CSEM)* dient dem Zweck, unterschiedliche (globale) Unterrichtskonzepte bezüglich ihrer Wirksamkeit auf den Leistungsausgang vergleichen zu können (MALONEY ET AL., 2001, S.12). In diesem Zusammenhang zielt der CSEM auf das Offenlegen von auf Schülerseite vorhandenen Präkonzepten ab; die korrekte Beantwortung einiger Items setzt jedoch zudem die Anwendung diverser formaler, physikalischer Kenntnisse voraus. Diesen Umstand berücksichtigend, wäre also folgender Einschätzung der Autoren zu folgen: „The test is a combination of questions probing students' alternative conceptions and questions that are more realistically described as measuring students' knowledge of aspects of the formalism“ (s.o., S. 15). Die Items des Inventars beziehen sich auf folgende, physikalische Themenbereiche:

- Ladungsverteilung auf elektrischen Leitern / Nichtleitern;
- Gesetz von Coulomb;
- Elektrische Kraft und Überlagerung von Feldern;
- Kraft, die von einem elektrischen Feld erzeugt wird;
- Arbeit, elektrisches Potential, Feld und Kraft;
- Influenzierte Ladung und elektrisches Feld;

- Magnetische Kräfte;
- Elektrische Ströme und Magnetfelder;
- Überlagerung magnetischer Felder;
- Elektromagnetische Induktion;
- Newtons Drittes Axiom.

Bei allen Items hat der Proband zwischen fünf Antwortoptionen zu entscheiden. Eine von MALONEY et al. realisierte Faktorenanalyse zeigte, dass eine Analyse des *CSEM* auf Subskalenniveau nicht zu empfehlen ist (s.o., S. 14f). Demgegenüber verfügt der Test über eine akzeptable (Gesamt-) Reliabilität mit einem KR 20 - Wert  $\alpha_{KR} = 0,75$ . Der *CSEM* wurde im Jahre 2006 an der Universität Landau ins Deutsche übersetzt und im Zuge der vorliegenden Feldstudie aus Praktikabilitätsgründen als *CSE* (*Concept Survey on Electricity*; siehe Anhang Q) beziehungsweise als *CSM* (*Concept Survey on Magnetism*; siehe Anhang R) eingesetzt. Das vorliegende Datenmaterial ergab die KR 20 - Werte  $\alpha_{KR} = ,75$  (*CSE*) sowie  $\alpha_{KR} = ,7$  (*CSM*).

Der von VON RHÖNECK beschriebene *Konzepttest in Elektrizitätslehre* (*KTE*; siehe Anhang S) versucht, den auf Schülerseite vorhandenen, domänenspezifischen Alltagsvorstellungen auf die Spur zu kommen (VON RHÖNECK, 1986, S. 167ff). Obgleich VON RHÖNECK zu diesem Zwecke den Test auf Itemebene evaluiert, wurde er im Rahmen der vorliegenden Feldstudie als „Global - Messinstrument“ zur Abschätzung der Effizienz der beiden Unterrichtsvarianten eingesetzt<sup>60</sup>. Thematisch beziehen sich die Fragen auf folgende Bereiche:

- Serieller Stromkreis;
- Paralleler Stromkreis;
- Stromstärke;
- Spannung;
- Widerstand.

Das vorliegende Datenmaterial liefert den KR 20 - Wert  $\alpha_{KR} = ,7$ , sodass der *KTE* als ausreichend reliabel zu bezeichnen ist.

Der *Electric Circuit Conceptual Evaluation Test* (*ECCE*; siehe Anhänge T und U) wurde im Jahre 2000 von SOKOLOFF entwickelt und im Jahre 2006 an der Universität Landau ins Deutsche übersetzt. Er dient der Überprüfung von grundlegendem Konzeptverständnis in der Elektrizitätslehre. Schwerpunktmäßig bezieht sich der *ECCE*

---

<sup>60</sup> Der Einsatz des *KTE* als globalem Messinstrument erscheint kritisch, da beispielsweise die Anzahl der Antwortoptionen von Item zu Item variiert.

auf die gleichen Aspekte wie der *KTE*, allerdings finden sich am Ende sieben weiterführende Items, die Zuordnungsaufgaben zu Wechselstromkreisen beinhalten. Im Falle der vorliegenden Feldstudie wurde der *ECCE* ohne die letzten sieben Items als Vor- und Nachtest eingesetzt. Das Datenmaterial lieferte einen KR 20 - Wert  $\alpha_{KR} = ,77$ , es kann also von akzeptabler Reliabilität des Inventars ausgegangen werden. Die Fragestellungen zur Wechselstromlehre wurden der Kontroll- und der Treatmentgruppe am Ende der jeweiligen Instruktionsphase zur Beantwortung ausgehändigt. Auch hier ergab sich ein passabler KR 20 - Wert  $\alpha_{KR} = ,7$ . Die Aussagekraft des *ECCE* wird durch den Umstand geschmälert, dass die Anzahl der Antwortoptionen itemabhängig zwischen drei und zehn variiert.

Die letzten sieben Items des *ECCE* beziehen sich auf Aspekte der Wechselstromlehre, eine Thematik, mit der die Schüler zu Beginn der zwölften Klasse noch keinen Kontakt hatten. Aus diesem Grunde wurde das Inventar in die Teile *ECCE I* (Items 1-38) und *ECCE II* (Items 39-45) gesplittet. Der *ECCE I* wurde auf herkömmliche Weise als Vor- beziehungsweise Nachtestinstrument eingesetzt, der *ECCE II* kam lediglich am Ende der Instruktionsphase zum Einsatz. Die beiden Tests wurden separat evaluiert.

#### Erfassung weiterer Merkmale

Zum Zwecke der Messung der vorhandenen *Sprachkompetenz* wurde die Deutschnote am Ende der zehnten Klasse erhoben. Des weiteren hatten die Schüler ihr Geschlecht sowie die Physiknote im Endzeugnis der Mittelstufe anzugeben. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die Schulnoten („1“ = sehr gut bis „6“ = ungenügend) im Zuge der Evaluation des Datenmaterials nicht transformiert wurden. An diesen Umstand ist insbesondere im Zuge der Interpretation der Vorzeichen von Korrelationskoeffizienten u.ä. zu denken.

### 3.2.5 Statistische Auswertungsverfahren

#### 3.2.5.1 Statistische Modellierung der vermuteten Kausalbeziehungen

Bei dem in den Unterkapiteln 3.1 und 4.1 beschriebenen Modellkonstrukt handelt es sich um ein *gemischtes* Modell (es finden sich kategoriale sowie metrisch skalierte Variablen), das von *Interaktionseffekten* ausgeht. Diese Umstände rechtfertigen den Einsatz einer *multivariaten, hierarchischen Regressionsanalyse* zum Zwecke der statistischen Modellierung der vermuteten Kausalbeziehungen.

Im Rahmen der klassischen Regression werden Veränderungen der abhängigen Variablen (aV) auf den Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen (uV) zurückgeführt<sup>61</sup>, wobei diesbezüglich von einem (oder diversen) linearen Zusammenhängen ausgegangen wird.

Im multivariaten Fall (eine aV, mehrere uV) hat die Regressionsgleichung in ihrer allgemeinen Form folgendes Aussehen<sup>62</sup>:

$$Y_i = \hat{Y}_i + U_i = a + \sum_{k=1}^m b_k X_{ki} + U_i, \text{ mit}$$

- $m =$  Anzahl der uV (Prädiktoren)
- $Y_i =$  i-te Beobachtung
- $\hat{Y}_i =$  i-ter Schätzwert
- $a =$  Achsenabschnitt
- $b_k =$  k-ter partieller Regressionskoeffizient
- $X_{ki} =$  k-ter Prädiktor der i-ten Beobachtung
- $U_i =$  i-tes Residuum (Störgröße)

Achsenabschnitt  $a$  und partielle Regressionskoeffizienten  $b_k$  stellen in diesem Kontext Schätzwerte der „wahren“ Populationsparameter  $\alpha$  und  $\beta_k$  dar.

Da die Änderungen der aV nicht ausschließlich durch modellierbare Einflussgrößen verursacht, sondern in gewissem Maße auch vom Zufall geprägt sind, weist die Regressionsgleichung den Störterm  $U_i$  auf und wird dadurch zu einem Konstrukt, auf das stochastische Regeln anzuwenden sind.

Um eine Regressionsgleichung zu erhalten, die die Verteilung der Beobachtungen auf möglichst effiziente Weise beschreibt (und so auch zu Prognosezwecken eingesetzt werden kann), hat man nun im Zuge der Durchführung der *Ordinary-Least-Squares (OLS) - Methode* die Summe der Residuenquadrate zu minimieren:

$$S = \sum_{i=1}^N (Y_i - a - \sum_{k=1}^m b_k X_{ki})^2, \text{ mit}$$

$m =$  Summe der Prädiktoren

Zu diesem Zweck wird in vorhergehenden Regressionszyklen die betrachtete unabhängige Variable  $uV'$  um die Anteile bereinigt, die von anderen Regressoren beeinflusst sind<sup>63</sup>. Zwischen den übrigen Prädiktoren und dem so bestimmten  $uV'$ -

<sup>61</sup> In diesem Zusammenhang kann „Regression“ mit „Zurückführung“ übersetzt werden.

<sup>62</sup> Siehe Urban & Mayerl (2006), S. 85

<sup>63</sup> Dies ist das Verfahren der *Auspartialisierung*.

Residuum besteht nun Orthogonalität, also lineare Unabhängigkeit. Auf diese Weise ist es in einem nachfolgenden Regressionsschritt möglich, den „wahren“ Einfluss des Faktors  $uV'$  auf den Regressanden (bei konstant gehaltenen übrigen Prädiktoren) zu ermitteln.

Im trivariaten Fall (eine  $aV$ , zwei  $uV$ ) ergibt sich auf diese Weise eine Regressionsgleichung, die in einem dreidimensionalen Koordinatensystem eine Ebene darstellt (siehe Abbildung 10). Ihre Lage im Raum ist von der Art, dass die Summe der Abstandsquadrate der Beobachtungen  $Y_i$  minimal ist.

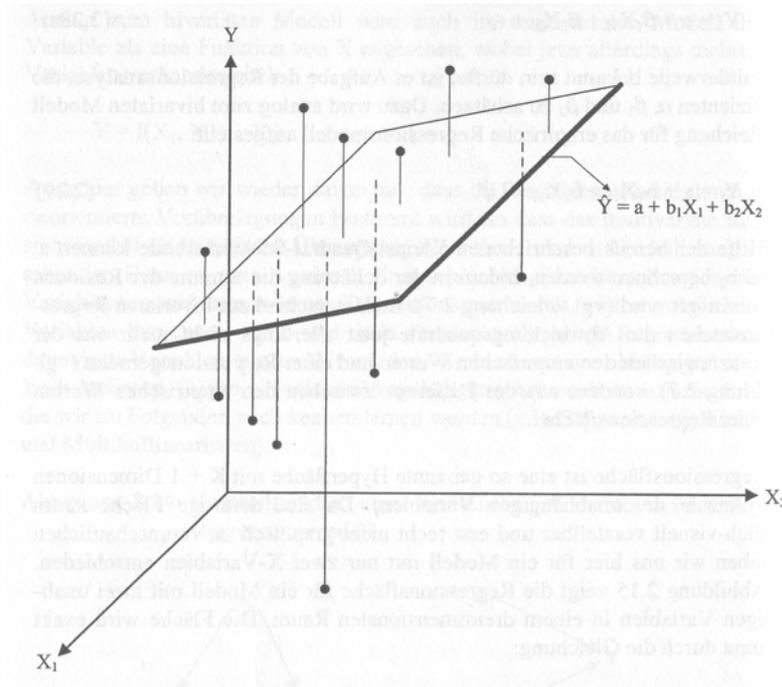


Abb.10: Regressionsebene im trivariaten Fall

Die im vorletzten Schritt der Auswertung der Feldstudie realisierte, multivariate Regressionsanalyse (Unterkapitel 3.3.1 ) ist als *hierarchisch* zu bezeichnen, da sich die Reihenfolge, mit der die Prädiktoren in das statistische Modell aufgenommen werden, nach der (theoretisch und empirisch begründbaren) Stärke ihres Einflusses auf die  $aV$  (hier: den Unterrichtserfolg) richtet. Diesem Ansatz folgend, findet zunächst das Vorwissen (Vortestscore Performanz) Berücksichtigung, gefolgt von dem Unterrichtsverfahren (Gruppenzugehörigkeit), der Motivation, der Sprachkompetenz (Deutschnote) und schließlich dem Geschlecht des Probanden<sup>64</sup>. Die sequentielle Vorgehensweise gestattet die Berechnung von für die Methoden spezifischen Effektstärken  $f^2$ , die als Maß heranzuziehen sind im Zuge der Abschätzung der prakti-

<sup>64</sup> Aus Gründen der Klarheit der Argumentation sind bei der geschilderten Hierarchisierung lediglich die direkten  $uV$  berücksichtigt.

schen Relevanz der verschiedenen Einflussfaktoren<sup>65</sup>. Die Berechnung der Effektstärke, die dem Prädiktor  $X_k$  zugeordnet wird, erfolgt gemäß folgender Formel:

$$f^2 = \frac{R_{YAB}^2 - R_{YA}^2}{1 - R_{YAB}^2}, \text{ mit}$$

$R_{YAB}^2$  = Determinationskoeffizient des Modells, das  $X_k$  beinhaltet;

$R_{YA}^2$  = Determinationskoeffizient des Modells, das  $X_k$  ausschließt.

Im Rahmen multivariater Regressionsanalysen bilden die  $f^2$ -Werte 0,02, 015, 0,35 die unteren Grenzen für schwache, mittlere beziehungsweise starke Effekte.

Unter Berücksichtigung der genannten Überlegungen und Vorgaben lässt sich das theoretische Modellschema der Interventionsstudie mit Hilfe der folgenden Regressionsgleichungen<sup>66</sup> darstellen:

$$NT = a + b_1 \cdot VT + b_2 \cdot GR + b_3 \cdot NM + b_4 \cdot DN + b_5 \cdot GR \cdot VT + b_6 \cdot VM \cdot VT + b_7 \cdot DN \cdot GR$$

$$NM = a + b_1 \cdot VM + b_2 \cdot GR + b_3 \cdot GE$$

$$VT = a + b_1 \cdot VM + b_2 \cdot GE$$

Tabelle 4 liefert eine Deutung der verwendeten Symbolik.

Im Hinblick auf das Evaluationsprozedere im Bereich Elektrodynamik ist zu beachten, dass die Größe „Motivation zu Beginn der Instruktion  $VM$ “ nicht gemessen wurde. Dies hat zur Konsequenz, dass obige Regressionsgleichungen folgendermaßen zu modifizieren sind:

$$NT = a + b_1 \cdot VT + b_2 \cdot GR + b_3 \cdot MOT + b_4 \cdot DN + b_5 \cdot GR \cdot VT + b_6 \cdot DN \cdot GR$$

$$MOT = a + b_1 \cdot GR + b_2 \cdot GE$$

$$VT = a + b \cdot GE$$

<sup>65</sup> Nähere Informationen zur Berechnung der Effektstärke bei URBAN & MAYERL, 2004, S. 167

<sup>66</sup> Alle Regressionskoeffizienten des empirischen Teils dieser Arbeit liegen in nichtstandardisierter Form vor, auf die Präsentation der standardisierten Varianten wird verzichtet. Zur Begründung siehe Urban & Mayerl, S. 44

Tab.4: *Symbolik der Regressionsgleichungen und deren Bedeutung (Schulstudie)*

<b>Buchstabenkombination</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Operationalisierung von</b>
<i>NT</i>	Nachtestscore (Performanz)	Unterrichtserfolg (Performanz)
<i>VT</i>	Vortestscore (Performanz)	Domänenspezifisches Vorwissen
<i>GR</i>	Gruppenzugehörigkeit	Unterrichtsverfahren
<i>NM</i>	Nachtestscore (Motivation)	Motivation am Ende der Instruktion
<i>VM</i>	Vortestscore (Motivation)	Motivation zu Beginn der Instruktion
<i>DN</i>	Deutschnote	Sprachkompetenz

Die Variable *MOT* fasst in diesem Zusammenhang den Zuwachs (oder Rückgang) an Motivation infolge des Instruktionsverfahrens in der Elektrodynamik<sup>67</sup>.

Im Rahmen der Auswertung der Reflexionsbögen 2 zum JiTT-Verfahren (siehe Unterkapitel 3.2.4) wird das t-Test - Verfahren mit Testgröße genutzt.

### 3.2.5.2 Bestimmung von Zusammenhangsmaßen

In Tabellen, die über statistische Korrelationen zwischen Variablenpaaren informieren, ist im Falle metrisch skalierten Größen der Korrelationskoeffizient nach Pearson  $r_{xy}$  aufgeführt.  $r_{xy}$  ergibt sich als Quotient aus der Kovarianz der beiden Variablen sowie dem Produkt der Standardabweichungen:

$$r_{xy} = \frac{s_{x,y}}{s_x s_y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Dort, wo die dichotomen (oder kategorialen) Prädiktoren „Geschlecht“ und „Gruppenzugehörigkeit“ eingebunden sind, wird die Größe  $\eta$  (*eta*) als Zusammenhangsmaß berechnet.  $\eta$  wird gemäß folgender Formel ermittelt:

<sup>67</sup> Man beachte in diesem Zusammenhang die Ausführungen zum Inventar „Reflexionsbogen 1“ in Unterkapitel 3.2.2.

$$\eta_{x,y} = \sqrt{\frac{QS_{ZW}}{QS_{GE}}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\bar{y}_m - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Diesbezüglich wird von einem kategorialen Prädiktor  $x$  mit  $m$  Ausprägungen sowie  $n$  Beobachtungen  $y_i$  ausgegangen.  $QS_{GE}$  steht für die Gesamtsumme der Abweichungsquadrate aller Werte  $y_i$  vom arithmetischen Mittel  $\bar{y}$ ,  $QS_{ZW}$  für die Summe der Abweichungsquadrate der  $m$  Ausprägungsmittelwerte vom Gesamtmittelwert  $\bar{y}$ .

$\eta$  führt also, bezogen auf jede Ausprägung der  $uV$ , einen Vergleich der Mittelwerte der  $aV$  durch. Quadriert man den Wert des Zusammenhangsmaßes, erhält man den prozentualen Anteil der  $y$ -Varianz, der durch die  $x$  gebunden wird.

### 3.2.6 Auswertungsprozedere

#### 3.2.6.1 Ordinary-Least-Squares - Verfahren, LOWESS-Verfahren, Suppressor-effekte

Möchte man etwas über die Verhältnisse in einer Population (Grundgesamtheit) erfahren, ist man in aller Regel auf die Informationen angewiesen, die Stichproben offenbaren. Somit liegt auf der Hand, dass es sich diesbezüglich stets nur um Schätzungen der „wahren“ Zustände in der Population handeln kann. Evaluationsverfahren, die in diesem Zusammenhang zum Einsatz kommen, liefern immer dann *unverzerrte* Schätzwerte (beispielsweise Regressionskoeffizienten  $a$ ,  $b_i$ ), wenn die Erwartungswerte dieser Schätzer identisch sind mit den „wahren“ Parametern  $\alpha$ ,  $\beta$  der Grundgesamtheit. Liegt des weiteren der Fall vor, dass die Verteilung des ermittelten Schätzwertes die geringste Varianz (Streuung) aller in Betracht kommender Schätzverteilungen aufweist, so spricht man von hinreichender *Effizienz* der Schätzung. Zieht man eine umfangreichere Stichprobe, sollte das zur Anwendung kommende Verfahren Schätzungen liefern, die ein höheres Maß an Unverzerrtheit und Effizienz aufweisen, also der Forderung nach akzeptabler *Konsistenz* genügen.

Schätzwerte, die die drei erläuterten Bedingungen erfüllen, gehören der Kategorie „BLUE“ (**B**est **L**inear **U**nbiased **E**stimation) an (URBAN & MAYERL, 2006, S. 116f).

Dem *Gauss-Markov-Theorem* zufolge liefert das OLS-Verfahren unverzerrte, effiziente und konsistente (also BLUE-) Resultate, wenn das zugrundeliegende Datenmaterial folgende Charakteristika aufweist (Annahmen  $A_1$  bis  $A_4$  auf den folgenden Seiten):

Die Streuung der Residuen  $U_i$  ist bei allen Beobachtungswerten  $Y_i$  gleich groß:

$$A_1: \text{Var}(U_i) = \sigma_i^2 = \sigma^2 = \text{const}$$

Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so spricht man von *Heteroskedastizität* (Varianzheterogenität). Diese Eigenschaft des Datenmaterials führt zu einer Verzerrung der Varianz des betrachteten Regressionskoeffizienten, geht somit zu Lasten der *Effizienz* der erstellten Schätzung (s.o., S. 242).

Man überprüft die gleichmäßige Streuung der Residuen, indem man die Diagrammdarstellung „standardisierte Schätzwerte  $\hat{Y}_i'$  versus standardisierte Residuen  $U_i'$ “ in Augenschein nimmt. Bei etwaigen Verdachtsmomenten (wenn also die  $U_i'$  nicht in einem Korridor gleichbleibenden Durchmessers streuen beziehungsweise systematische Verteilungsmuster aufweisen sollten), kann der Levene-Test zur Entscheidungsfindung beitragen. Des weiteren liefert die Sichtung des Diagramms „ $X_{ki}$  versus partielle Residuen  $U_{ki}$ “ einen Eindruck davon, ob beziehungsweise in welchem Maße Heteroskedastizität vorliegen könnte.

Das Problem differierender Residuenvarianzen tritt häufig in solchen Fällen auf, in denen aggregierte Variablen (beispielsweise der durchschnittliche Leistungsstand) in unterschiedlichen Beobachtungseinheiten (zum Beispiel Schulklassen) von Bedeutung sind. Unterschiedliche Streuung der Störgrößen ist in diesem Zusammenhang eine direkte Folge differierender Klassenstärken (und nicht etwa einer mangelnden Spezifizierung des Modells).

Zur Milderung des geschilderten Problems kann die WLS (**W**eighted **L**east **S**quares)-Methode zur Anwendung kommen (s.o., S.249ff). Die Grundidee besteht darin, jedem Residuum einen Gewichtungsfaktor  $\sigma_i^2$  zuzuordnen, der sich als Funktion eines Prädiktors  $X_i$  ergibt und zur Relativierung der Residuen beiträgt, die in extremem Maße von der Norm abweichen:

$$\sigma_i^2 = f(X_i)$$

Die im Rahmen des OLS-Verfahrens zu minimierende Summe hat nun folgendes Aussehen:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2} (Y_i - a - \sum_{k=1}^m b_k X_{ki})^2$$

Wenn es sich bei den Residuen  $U$  (Störgrößen) um Zufallsprodukte handelt (bei korrekt spezifizierten Modellen ist das der Fall), sollten sich die Residuen in gleicher

Weise um die Regressionsgerade verteilen, was den Erwartungswert „Null“ zur Folge hätte:

$$A_2: E(U) = 0$$

Da es sich bei  $E(U)$  um einen Populationsparameter handelt, entzieht er sich einer empirischen Prüfung. Da sich eine Verletzung dieser Prämisse lediglich auf den Achsenabschnitt  $a$  auswirken würde (s.o., S. 124), muss ihr in der vorliegenden Studie keine weitere Beachtung geschenkt werden.

Das *Gauss-Markov-Theorem* geht von Schätzverfahren aus, die *lineare Einflussbeziehungen* voraussetzen:

$$A_3: Y_i = \hat{Y}_i + U_i = a + \sum_{k=1}^m b_k X_{ki} + U_i$$

Zur Überprüfung der Voraussetzung ist eine Sichtung des Diagramms „standardisierte Residuen  $U_i$ ’ versus standardisierte Schätzwerte  $\hat{Y}_i$ “ anzuraten.

Die Störgrößen des Residuen-Streudiagramms sollten keine erkennbare Regelmäßigkeit aufweisen und sich innerhalb der doppelten Standardabweichung befinden.

Des Weiteren ist die Sichtprüfung der Graphik „standardisierter Prädiktor  $X_k$ ’ versus standardisierte partielle Residuen  $U_{ki}$ ’“ zu empfehlen. In diesem Zusammenhang ergeben sich die partiellen Residuen als Summe aus dem normalen Residualwert sowie der linearen Komponente der partiellen Regression von  $Y$  auf  $X_k$ :

$$U_{ki} = U_i + b_k X_{ki}$$

Folgende Aspekte sind zu beachten:

- Wenn die Residuen  $U_i$  gegenüber den linearen Summanden  $b_k X_{ki}$  zu vernachlässigen sind, sollte das entsprechende  $U_{ki}$ -Streudiagramm einen Zusammenhang aufzeigen, der in hohem Maße linear ist;
- Die partiellen Residuen  $U_{ki}$  sollten im Idealfalle völlig zufällig um eine erstellte Regressionsgerade streuen;
- Wenn die Residuen  $U_i$  stark ins Gewicht fallen und dabei eine Verteilungssystematik aufweisen, liegt ein Spezifikationsfehler des Modells (z.B. Linearitätsannahme) vor.

Zum Zwecke der Sichtprüfung der partiellen Residuen-Streudiagramme kommt im Rahmen dieser Untersuchung das LOWESS (**L**ocally **W**eighted **S**catterplot **S**moothing)-Verfahren<sup>68</sup> zum Einsatz. LOWESS orientiert sich am Verlauf der Residuen-

---

<sup>68</sup> Das LOWESS-Verfahren geht auf CLEVELAND zurück, der es im Jahre 1979 erstmalig vorstellte (siehe FOX, 2000).

Prädiktor-Beziehungen, ohne einen bestimmten mathematischen Zusammenhang vorauszusetzen (siehe COHEN, 2003, S. 111). In einem ersten Schritt realisiert die Methode eine polynomiale Regression und ermittelt so eine erste Staffel von Schätzwerten und zugehörigen Residuen. Letztere werden zur Berechnung von Gewichtungsfaktoren verwendet, die in einem zweiten Regressionslauf genutzt werden, um den Einfluss extremer Beobachtungsfälle zu relativieren. Auf diese Weise lässt sich im Zuge mehrerer Iterationszyklen eine LOWESS-Kurve erzeugen, die das Aussehen der (eventuell variierenden) Zusammenhänge zwischen partiellen Residuen und Prädiktorausprägungen effizient abbildet.

In besonderen Fällen kann sich die Situation ergeben, dass der lineare Zusammenhang zwischen einem Prädiktor  $X$  und der abhängigen Variablen  $Y$  durch eine zweite  $uV X_S$  (*Suppressorvariable*) überdeckt wird. Charakteristisch für ein solches Szenario ist der Umstand, dass  $X_S$  nur sehr gering mit  $Y$ , aber in bedeutendem Maße mit  $X$  korreliert. Ein mit  $Y$  korrespondierender Varianzanteil von  $X$  würde in diesem Zusammenhang (zunächst) durch  $X_S$  überdeckt und erst dann sichtbar werden, wenn die „unbrauchbaren“  $X$ -Anteile im Zuge der Auspartialisierung von  $X_S$  aus  $X$  entfielen. Der Gefahr, infolge des *Suppressoreffektes* modellrelevante Prädiktoren irrtümlicherweise frühzeitig aus der Untersuchung auszuschließen, begegnet man, indem man auf der Grundlage einer bivariaten Korrelationsanalyse (alle  $uV$ ,  $aV$ ) nach Prädiktorpaaren sucht, die über potentielle Suppressorvariablen verfügen und diese dann einer Regressionsanalyse unterzieht. Ergeben sich keine signifikanten Regressionskoeffizienten, liegt auch kein Suppressoreffekt vor.

Sollte sich eine gravierende Abweichung von einem linearen Zusammenhang zwischen Prädiktor und abhängiger Variable ergeben, bleibt die Möglichkeit, eine Kurvenanpassung bei Annahme einer anderen mathematischen Beziehung (z.B. polynomiale Relation höheren Grades) anzuvisieren.

Die vierte und letzte Bedingung  $A_4$ , die das *Gauss-Markov-Theorem* im Hinblick auf BLUE-Schätzungen nennt, bezieht sich auf Residuen von Zeitreihenanalysen und behandelt das Problem der Autokorrelation. Dieses Phänomen spielt im Rahmen der vorliegenden Studie keine Rolle und soll daher an dieser Stelle auch nicht näher betrachtet werden.

### 3.2.6.2 Inferenzstatistische Analysen

Bedingungen zur Durchführung inferenzstatistischer Analysen sind die Normalverteilung der Residuen sowie die Abwesenheit von ausgeprägter Multikollinearität. Diese

beiden Anforderungen ( $A_5$  und  $A_6$ ) an das Datenmaterial werden im Folgenden näher beleuchtet.

### *Normalverteilung der Residuen*

Sind die oben erläuterten Bedingungen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass das OLS-Verfahren Schätzwerte liefert, die der BLUE-Kategorie angehören. Allerdings ist an dieser Stelle die Frage noch unbeantwortet, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein geschätzter Regressionskoeffizient einer bestimmten, zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeit angehört. Diesem Problem nehmen sich inferenzstatistische Betrachtungen an, die naturgemäß konservativ ausgerichtet sind: Ausgangspunkt ist die Nullhypothese  $H_0$ , also die Vermutung, dass der „wahre“ Regressionskoeffizient  $\beta_i$  (= Populationsparameter) den Wert Null hat. Erst wenn sich herausstellt, dass es sich beim Regressionskoeffizienten  $b_i$  der betrachteten Stichprobe um einen sehr seltenen Wert handelt, der - bei angenommener Korrektheit der  $H_0$  - nur in fünf von hundert Stichprobenziehungen auftritt (man spricht in diesem Kontext von einem *Signifikanzniveau*  $\alpha$  von 5%), darf die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese  $H_1$  verworfen werden. Auf diese Weise lässt sich auch die Signifikanz des statistischen Gesamtmodells ermitteln. In beiden Fällen muss allerdings die Voraussetzung erfüllt sein, dass die Residuen  $U_i$  des Regressionsmodells normalverteilt sind ( $A_5$ ; siehe URBAN & MAYERL, 2003, S. 145), eine Bedingung, die unter Zuhilfenahme des Kolmogoroff-Smirnov-Tests zu überprüfen ist. Hierbei wird die maximale, absolute Distanz der beobachteten von der theoretischen Kurve (Normalverteilung) bestimmt und auf diese Weise ein Testwert  $D$  (für Distanz) ermittelt. Der Test bestimmt die Wahrscheinlichkeit  $p$  eines Irrtums für den Fall, dass man die  $H_0$  („es liegt eine Normalverteilung vor“) verwirft.

Da man sich eine ideale Normalverteilung bildlich als symmetrische Kurve in Form eines Glockenquerschnitts vorstellen kann, werden außerdem die Maßzahlen „Schiefe  $S$ “ und „Kurtosis  $K$ “ (Steilheit) ermittelt. Die beiden Werte bringen zum Ausdruck, inwieweit die sich ergebende Residuenverteilung von der Glockenform einer (idealen) Normalverteilung abweicht:

$$\text{Schiefe } S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Y_i - \bar{Y}}{S_Y} \right)^3$$

$$\text{Kurtosis } K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Y_i - \bar{Y}}{S_Y} \right)^4 - 3$$

mit

- $\bar{Y}$  = Mittelwert der aV;
- $S_Y$  = Standardabweichung der aV

Die Beträge der Quotienten von Schiefe  $S$  und entsprechendem Standardfehler  $SEE_S$  sowie Kurtosis  $K$  und entsprechendem Standardfehler  $SEE_K$  sollten den Wert 2 nicht überschreiten.

### *Multikollinearität*

Da das Phänomen der *Multikollinearität* zu Lasten der Aussagekraft von Inferenztests gehen kann, ist im Vorfeld diesbezüglicher Betrachtungen zu eruieren, in welchem Ausmaße die eingebundenen Prädiktoren untereinander linear abhängig sind ( $A_6$ ).

Sind zwei (oder mehrere) Prädiktoren des statistischen Modells linear voneinander abhängig, so liegt Multikollinearität vor. Welche Gefahr sich in diesem Zusammenhang für die statistische Absicherung der ermittelten Regressionskoeffizienten ergibt, soll kurz am Beispiel des trivariaten Modells erläutert werden.

Bei zwei unabhängigen und einer abhängigen Variablen lässt sich die Varianz des Regressionskoeffizienten von Prädiktor 1 folgendermaßen bestimmen (URBAN, s.o., S.228):

$$\text{Var}(b_1) = \frac{\sigma^2}{N(\text{Var}(X_1)(1 - r_{12}^2))}, \text{ mit}$$

- $\sigma^2$  = Residuenvarianz
- $N$  = Stichprobenumfang
- $r_{12}$  = Korrelationskoeffizient der Prädiktoren 1 und 2

Je größer die Kollinearität zwischen den beiden uVs, desto größer ist die Varianz der Regressionskoeffizienten, was dazu führt, dass  $b_1$  (im Vergleich zu denen anderer Stichprobenziehungen) sehr instabil wird. Es wächst also der Standardfehler des Regressionskoeffizienten, mit der Konsequenz, dass die ihm anhaftende Irrtumswahrscheinlichkeit ebenfalls steigt. Generell kann konstatiert werden, dass ein sprunghafter Anstieg des Standardfehlers zu beobachten ist, sofern Korrelationskoeffizienten größer ,5 auftreten (URBAN & MAYERL, s.o., S. 230).

Zur Überprüfung des Datenmaterials auf Multikollinearität können zunächst einmal die bivariaten Korrelationen aller Prädiktoren gebildet werden. Allerdings ist zu beachten, dass im multivariaten Fall eventuelle lineare Abhängigkeiten erst nach Auspartialisierung anderer uVs zu Tage treten können. Daher müssen Regressionen der aV mit variabler Anzahl von Prädiktoren realisiert werden, die letztlich einen Ein-

druck von der Stabilität eines Regressionskoeffizienten (und des damit verbundenen Einflusses) vermitteln.

Schließlich wird zur Aufdeckung von Multikollinearität die Maßzahl „Toleranz“ ermittelt. Hierzu benötigt man den Determinationskoeffizienten<sup>69</sup>  $R^2$  der Regression der betrachteten uV auf alle anderen Prädiktoren. Die Toleranz ergibt sich dann als die Differenz  $1-R^2$ . URBAN & MAYERL empfehlen, ein Modell bei einem Toleranzwert kleiner ,25 zu überarbeiten (s.o., S. 232).

Modelle, die über Interaktionseffekte verfügen, sind im Hinblick auf die Kollinearitätsproblematik besonders anfällig. Allerdings kann man eventuellen Unwägbarkeiten bereits im Vorfeld aus dem Wege gehen, indem man die betroffenen Prädiktoren zentriert, bevor man die Interaktionsterme (durch Produktbildung) berechnet<sup>70</sup>. Die Zentrierung erfolgt gemäß der Berechnungsformel

$$uV_z = uV - uV_{MW} \text{ mit}$$

- $uV_z$  = zentrierte unabhängige Variable
- $uV_{MW}$  = Arithmetisches Mittel der betrachteten uV-Ausprägungen

Ausreißer (Outliers)

Die sich im Rahmen der Durchführung einer Regressionsanalyse ergebenden standardisierten Residuen sollten in der Umgebung von etwa +2 beziehungsweise –2 Standardabweichungen liegen. Ist dies nicht der Fall, so deutet dieser Umstand auf Stichproben- oder Messfehler hin und führt zu instabilen, verzerrten Parameterschätzungen. Urban & Mayerl empfehlen, solche Beobachtungseinheiten aus der Analyse auszuschließen<sup>71</sup> (Urban & Mayerl, 2004, S, 185).

### 3.2.7 Zeitplan

Tabelle 5 informiert über den zeitlichen Ablauf der Interventionsstudie in der gymnasialen Oberstufe. Die Instruktion in Mechanik des Leistungskurses A als Kontrollgruppe begann im Herbst 2005 mit der Durchführung der Leistungs- und Motivationsprätests.

<sup>69</sup> Die Begriffe „Determinationskoeffizient“ und „Bestimmungsmaß“ besitzen die gleiche Bedeutung, nämlich den Quotienten aus (vom Modell ausgeschöpfter) und insgesamt vorhandener Varianz.

<sup>70</sup> Die mathematische Beweisführung findet sich in AIKEN, 1991, S. 177ff

<sup>71</sup> Zum Aufspüren solcher Beobachtungsfälle stellt SPSS die Funktion „Fallweise Diagnose“ zur Verfügung.

Tab.5: Zeitplan des gymnasialen Teils der Interventionsstudie

Zeitpunkt/ Zeitraum	Kontrollkurs	Treatmentkurs	
09.05	Leistungsprätests FCI, FKB; Motivationsprätest MPEX		
09.05-02.06	Traditionelles Unterrichtsverfahren		
06.06	Leistungsposttests FCI, FKB; Motivationsposttest MPEX		
09.06		Leistungsprätests FCI, FKB; Motivationsprätest MPEX	Leistungsprätests KTE, ECCE, CSE, CSM
09.06-02.07		JiTT-Verfahren	JiTT-Verfahren
02.07		Reflexionsbogen 2	Reflexionsbogen 2
06.07		Leistungsposttests FCI, FKB; Motivationsposttest MPEX	Leistungsposttests KTE, ECCE, CSE, CSM, Reflexionsbogen 1
09.07	Leistungsprätests KTE, ECCE, CSE, CSM		
09.07-02.08	Traditionelles Unterrichtsverfahren		
06.08	Leistungsposttests KTE, ECCE, CSE, CSM, Reflexionsbogen 1		

Zu Beginn des darauffolgenden Schuljahres startete die Mechanischulung des Leistungskurses B als Treatmentgruppe, während Kurs A zeitlich parallel dazu - ebenfalls unter Einbeziehung des JiTT-Konzeptes - in Elektrodynamik instruiert wurde.

Den JiTT-spezifischen Reflexionsbogen 2 hatten die Schüler unmittelbar nach Abschluss der jeweiligen Instruktionsphase (im Februar 2007) auszufüllen.

Die Schulung von Kurs B als Kontrollgruppe in Elektrodynamik endete im Februar 2008. Wie in allen anderen Fällen auch, wurden die Leistungs- und Motivationsposttests zirka vier Monate nach Abschluss des Unterrichtes durchgeführt.

### 3.3 Auswertung „Mechanik“

#### 3.3.1 Struktur der Auswertung

Tabelle 6 gibt Auskunft über die durchgeführten Auswertungsschritte, die für alle eingesetzten Leistungs- und Motivationsinstrumente durchgeführt wurden. Des Weiteren liefert sie Informationen darüber, welche der Bedingungen  $A_1$  –  $A_6$  (siehe Kapitel 3.2.6) im Zuge der Realisierung des betrachteten Schrittes getestet wurde.

Tab.6: Abfolge der Auswertungsschritte im Zuge der Evaluation des gesammelten Datenmaterials

Schritt Nr.	Beschreibung	Begründung	Verfahren	Seite
1	Betrachtung der Beobachtungsfälle	Outliers	Sichtung des Datenmaterials	108
2	Zentrierung der Prädiktoren, die zur Bildung der Interaktionsvariablen herangezogen werden	$A_6$	Differenz	109
3	Bildung der Interaktionsvariablen	Interaktionseffekte	Produktbildung	109
4	Deskriptive Statistik	Überblick über das Datenmaterial	Mittelwerte; Standardabweichungen	109
5	Berechnung der Korrelationen	Hinweise auf bedeutendste uVs ; Suppressor-effekte	Korrelationsanalyse; Regressionsanalyse	112
6	Multiple Regression	$A_1$	Regressionsanalyse ; Levene-Test	117
7	Regression auf andere mathematische Zusammenhänge <sup>72</sup>	$A_3$	Kurvenanpassung	120
8	Transformation des Datenmaterials	$A_1$	WLS-Methode	121
9	Test der Residuenverteilung	$A_5$	Kolmogorov / Smirnov	123
10	Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen	$A_3$	Diagramm	124
11	Stabilitätstests (Multikollinearität)	$A_6$	Toleranz; Regressionsanalyse	124

<sup>72</sup> SPSS bietet u.a. die Modelle „quadratisch“, „kubisch“, „logarithmisch“, „exponentiell“ an.

Schritt Nr.	Beschreibung	Begründung	Verfahren	Seite
12	Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren	$A_1; A_3$	LOWESS	128
13	Bestimmung der Effektstärke	Praktische Relevanz	Hierarchische, sequentielle Regression ( $f^2$ )	130
14	Mediatoreffekte		Korrelationsanalyse; Regressionsanalyse	131

Bemerkungen: Schritt 7 erfolgt in Abhängigkeit von  $R^2$  (bei linearem Modell).  
 Schritt 8 erfolgt in Abhängigkeit der Ergebnisse der Schritte 6 und 7.

### 3.3.2 Regression der Nachtestscores Mechanik (Lernergebnis): FCI; FKB; FCI/FKB (gemittelt)

Schritt 1: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Bei einem Stichprobenumfang von  $N' = 45$  Schülern wurden vier Beobachtungsfälle ausgeschlossen, deren Leistungsscores in extremer Weise von den anderen unterschieden. Zwei Schüler waren in der Phase der Nachtests wegen eines Kanadaaufenthaltes nicht anwesend, in zwei Fällen (16,33) wurden Nachtestscores erzielt, deren standardisierte Residuen in einem Abstand von jeweils etwa zwei Standardabweichungen lagen (siehe Tabelle 7). Diese Schüler (ein Jugendlicher männlichen beziehungsweise ein Jugendlicher weiblichen Geschlechts) verließen zum Ende des Schuljahres (also etwa drei Wochen nach Absolvierung des Nachtests) das Gymnasium.

Tab.7: Standardisierte Residuen und Nachtestscores (Performanz) der ausgeschlossenen Fälle für die drei Regressionsvarianten FCI, FKB, FCI/FKB

Fallnummer	GE	FCI		FKB		FCI/FKB (gemittelt)	
		Stand. Residuum	NT	Stand. Residuum	NT	Stand. Residuum	NT
16	♂	-1,94	,52	-1,94	,31	-2,08	,42
33	♀	-2,02	,45	-2,13	,31	-1,95	,38

Die nachfolgenden deskriptiven und inferenzstatistischen Analysen wurden also auf Grundlage eines effektiven Stichprobenumfanges von  $N = 41$  durchgeführt.

Schritt 2: Zentrierung der Prädiktoren, die zur Bildung der Interaktionsvariablen herangezogen werden

Schritt 3: Konstruktion der Interaktionsvariablen

Dem theoretischen Wirkungsgefüge folgend wurden durch Produktbildung der Ausgangs-uVs die Interaktionsvariablen *VM\_VT*, *GR\_VT* sowie *DN\_GR* gebildet.

Schritt 4: Deskriptive Statistik

### *Physiknote und Deutschnote am Ende der Sekundarstufe I*

Tabelle 8 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen Leistungsstandes in den Fächern Physik und Deutsch zum Ende der Sekundarstufe I. Eine Zentrierung wurde noch nicht durchgeführt.

*PN*- und *DN*-Werte stellen Schulnoten im Wertebereich 1 (sehr gut) und 6 (ungenügend) dar.

Tab.8: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nichtzentrierten Schulnoten *PN* und *DN*

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b><i>PN</i></b>	41	1	4	2	,7
<b><i>DN</i></b>	41	1	4	2	,8

Abbildung 11 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 8.

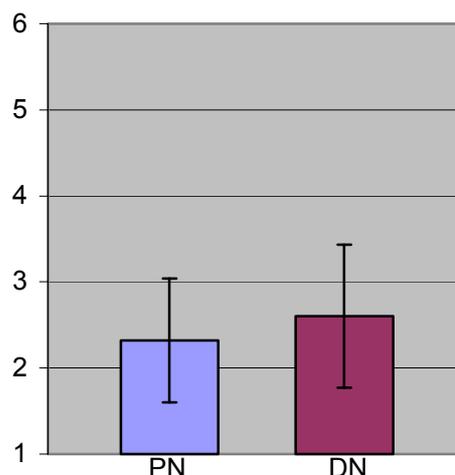


Abb.11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schulnoten Physik und Deutsch

### *Motivationsinventar*

Tabelle 9 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen (nichtzentrierten) Datenmaterials zur Motivation zu Be-

ginn und am Ende der Instruktion. Die VM- und NM-Werte beziehen sich auf eine Skala mit den Stufen 0 (nicht motiviert) bis 5 (überaus motiviert).

Tab.9: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nichtzentrierten Datenmaterials zur Motivation

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VM</b>	41	2,60	4,38	3,47	,44
<b>NM</b>	41	1,63	4,38	3,38	,51

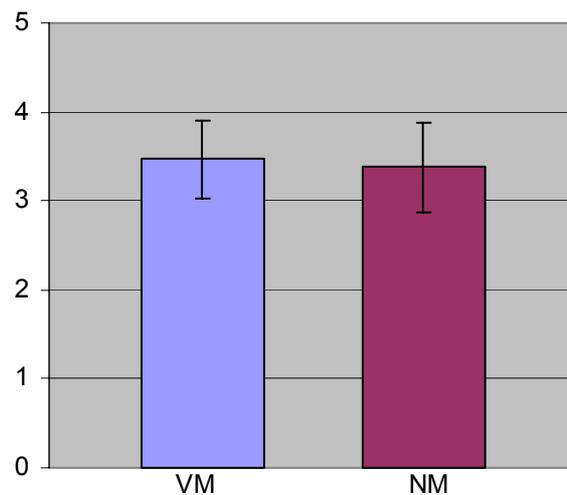


Abb.12: Mittelwerte und Standardabweichungen der Scores zur Motivation zu Beginn und am Ende der Instruktion

Abbildung 12 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 9.

Tabelle und Abbildung belegen, dass sich der Mechanik-Unterricht mit einiger Wahrscheinlichkeit weder signifikant positiv noch signifikant negativ auf die Motivation der Schüler auswirkte.

Der motivationale Aspekt wird in detaillierter Form in Schritt 14 analysiert.

### *Leistungsinventar*

Tabelle 10 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen (nichtzentrierten) Datenmaterials zur Performanz in Mechanik.

Die Zeile „FCI/FKB“ weist die Ergebniswerte der Regression bei gemittelten FCI- beziehungsweise FKB-Scores auf. Die Vorgehensweise kann durch den Umstand gerechtfertigt werden, dass die Vortests wie auch die Nachtests der jeweiligen Inventare in akzeptablem Maße korrelieren ( $r_{VT} = ,52 / p < ,00$ ;  $r_{NT} = ,57 / p < ,00$ ).

Tab.10: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nichtzentrierten Datenmaterials zur Performanz

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VT</b>					
FCI	41	,17	,66	,40	,12
FKB	41	,16	,72	,31	,13
FCI/ FKB		,18	,67	,36	,11
<b>NT</b>					
FCI	41	,38	,86	,62	,13
FKB	41	,31	1	,74	,22
FCI/ FKB	41	,35	,91	,68	,16

Multipliziert man die VT- und NT-Werte mit 100, so erhält man den Anteil an korrekt beantworteten Items in Prozent.

Abbildung 13 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 10.

Man beachte, dass hier noch über beide Interventionsformen (KG; TG) gemittelt wurde.

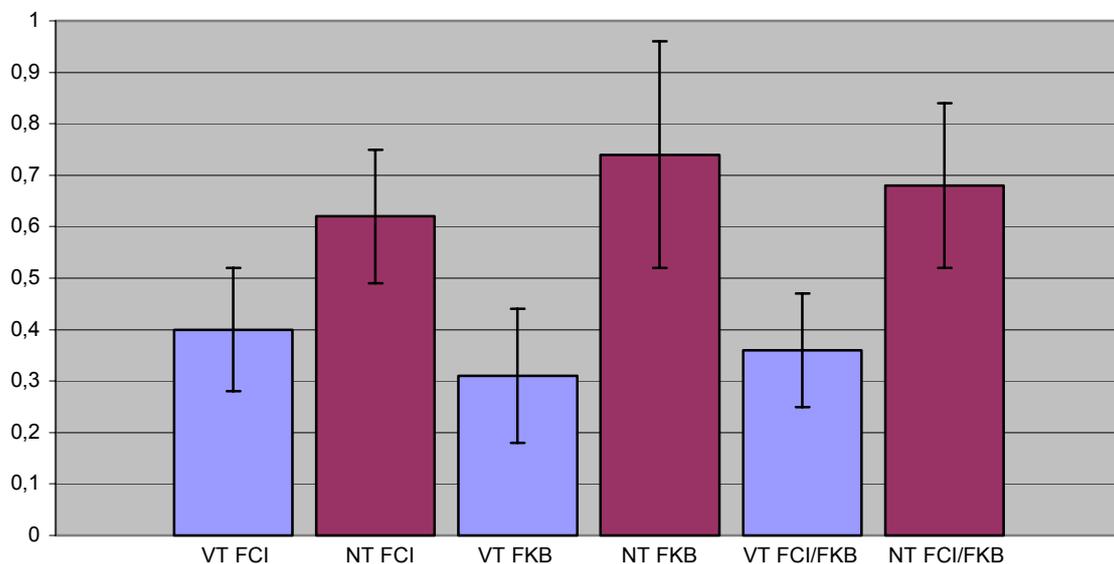


Abb.13: Mittelwerte und Standardabweichungen der Prädiktoren VT, NT (Performanz)

## Schritt 5: Berechnung der Korrelationen

## Leistungsinventar FCI

Tabelle 11 liefert eine Übersicht über die errechneten Zusammenhangsmaße<sup>73</sup>.

Tab.11: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta^2$ <sup>74</sup> bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen

VAR	PN	DN	GE	VT	VM	GR	NM	VM_VT	GR_VT	GR_DN	NT
<b>PN</b>	1	,27	-,33*	-,02	,01	-,14	,05	,08	-,24	-,38*	-,18
<i>p</i>	.	,09	,03	,90	,54	,40	,75	,61	,13	,01	,26
<b>DN</b>	,27	1	-,19	-,24	-,08	,28	-,07	-,17	,17	-,04	-,10
<i>p</i>	,09	.	,24	,13	,62	,08	,69	,30	,28	,83	,55
<b>GE<sup>75</sup></b>	-,33*	-,19	1	-,32*	-,16	,19	-,10	,11	,01	,25	-,37*
<i>p</i>	,034	,24	.	,04	,32	,24	,56	,50	,96	,12	,02
<b>VT</b>	-,02	-,24	-,32*	1	,02	,16	-,11	-,07	,04	-,17	,70***
<i>p</i>	,90	,13	,04	.	,89	,33	,48	,65	,81	,29	,00
<b>VM</b>	,10	-,08	-,16	,02	1	-,09	,29*	,21	-,22	-,29	-,10
<i>p</i>	,54	,62	,32	,89	.	,59	,07	,20	,17	,07	,53
<b>GR<sup>75</sup></b>	-,14	,28	,19	,16	-,09	1	-,31*	-,23	,01	,04	-,10
<i>p</i>	,40	,08	,24	,33	,59	.	,05	,15	,97	,78	,52
<b>NM</b>	,05	-,07	-,10	-,11	,29*	-,31*	1	,10	,10	-,07	,07
<i>p</i>	,75	,69	,56	,48	,07	,05	.	,52	,54	,66	,69
<b>VM_VT</b>	,08	-,17	,11	-,07	,21	-,23	,10	1	-,30	,15	-,06
<i>p</i>	,61	,30	,50	,65	,20	,15	,52	.	,06	,36	,73
<b>GR_VT</b>	-,24	,17	,01	,04	-,22	,01	,10	-,30	1	,33*	,05
<i>p</i>	,13	,28	,96	,81	,17	,97	,54	,06	.	,04	,78
<b>GR_DN</b>	-,38*	-,04	,25	-,17	-,29	,04	-,07	,15	,33*	1	-,10
<i>p</i>	,01	,83	,12	,29	,07	,78	,66	,36	,04	.	,55
<b>NT</b>	-,18	-,10	-,37*	,70***	-,10	-,10	,07	-,06	,05	-,10	1
<i>p</i>	,26	,55	,02	,00	,53	,52	,69	,73	,78	,55	.

## Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachtstergebnisses NT werden die Prädiktoren Vortestergebnis VT und Geschlecht GE (potentiell) signifikant (Hypothesen 3, 4). Die Einflüsse von Gruppenzugehörigkeit GR sowie Motivation NM werden zwar nicht signifikant, finden infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothesen 1, 2);

<sup>73</sup> Es ist zu beachten, dass *alle* p-Werte, die in dieser Arbeit zu finden sind, mit Hilfe einer zweiseitigen Testung ermittelt wurden.

<sup>74</sup> Zur Bestimmung der bivariaten Korrelationen unter metrisch skalierten Variablen wird der *Korrelationskoeffizient nach Pearson r* berechnet. Zur Betrachtung hypothetischer Zusammenhänge zwischen kategorialen und metrischen Variablen dient die Kalkulation der Maßzahl  $\eta$  (siehe Unterkapitel 3.2.5.2).

<sup>75</sup> Hinsichtlich der kategorialen Variablen Geschlecht und Gruppenzugehörigkeit ist zu beachten, dass „männlich“ beziehungsweise „Kontrollgruppe“ die Referenzkategorien bilden.

- Interaktionseffekte zeigen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachtstergesult (Hypothesen 6,7,8);
- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 12 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.12: Ergebnisse der Regressionen der  $aV_{„NT“}$  zum Aufspüren von Suppressoreffekten

Regression Nr.	Prädiktor	Potentieller Suppressor
1	DN $b_{DN} = 0,66; p = 0,66$	GR $b_{GR} = -0,02; p = 0,62$
2	VM_VT $b_{VM\_VT} = -0,12; p = 0,79$	GR_VT $b_{GR\_VT} = 0,065; p = 0,86$
3	GR_DN $b_{GR\_DN} = -0,065; p = 0,47$	GR_VT $b_{GR\_VT} = 0,18; p = 0,62$

Anmerkung:

Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

- Die Physiknote am Ende der Sekundarstufe I verhält sich hinsichtlich der Geschlechtsabhängigkeit nicht theoriekonform (Hypothese 10). Sie ist für das Nachtstergesult (wie für das Vortestergesult auch) ohne Bedeutung;
- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9);
- Die Prädiktoren GE und VT hängen in theoriekonformer, signifikanter Weise zusammen (Kollinearität!; Hypothese 10);
- Die Motivation zu Beginn der Instruktion und die am Ende korrelieren signifikant gemäß den Erwartungen der Theorie (Hypothese 13);
- Die Motivation am Ende der Instruktion ist in der Experimentalgruppe signifikant schlechter als in der Kontrollgruppe (Hypothese 14).

## Leistungsinventar FKB

Tab.13: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	VM	GR	NM	VM_VT	GR_VT	GR_DN	NT
<b>PN</b>	1	,27	-,33*	-,09	,10	-,14	,05	-,04	,19	-,38**	,00
<i>P</i>	.	,09	,03	,58	,54	,40	,75	,79	,24	,01	,99
<b>DN</b>	,27	1	-,19	,04	-,08	,28	-,07	-,07	,14	-,04	,05
<i>P</i>	,09	.	,24	,81	,62	,08	,69	,66	,40	,83	,76
<b>GE<sup>75</sup></b>	-,33*	-,19	1	-,26	-,16	,19	-,10	,01	,07	,25	-,38**
<i>P</i>	,03	,24	.	,10	,32	,24	,56	,95	,68	,12	,01
<b>VT</b>	-,09	,04	-,26	1	-,04	-,12	,06	-,04	-,20	-,14	,61***
<i>P</i>	,58	,81	,10	.	,81	,46	,70	,82	,22	,37	,00
<b>VM</b>	,10	-,08	-,16	-,04	1	-,09	,29*	,34*	-,13	-,29	-,07
<i>P</i>	,54	,62	,32	,81	.	,59	,07	,03	,44	,07	,64
<b>GR<sup>75</sup></b>	-,14	,28	,19	-,12	-,09	1	-,31*	-,11	,02	,04	,05
<i>P</i>	,40	,08	,24	,46	,59	.	,05	,52	,90	,78	,76
<b>NM</b>	,05	-,07	-,10	,06	,29*	-,31*	1	-,08	,18	-,07	,26*
<i>P</i>	,75	,69	,56	,70	,07	,05	.	,61	,27	,66	,10
<b>VM_VT</b>	-,04	-,07	,01	-,04	,34*	-,11	-,08	1	-,39*	,02	-,09
<i>P</i>	,79	,66	,95	,82	,03	,52	,61	.	,01	,90	,58
<b>GR_VT</b>	,17	,14	,07	-,20	-,13	,02	,18	-,39**	1	-,05	-,12
<i>P</i>	,24	,40	,68	,22	,44	,90	,27	,01	.	,75	,44
<b>GR_DN</b>	-,38**	-,04	,25	-,14	-,29	,04	-,07	,02	-,05	1	-,26
<i>P</i>	,01	,83	,12	,37	,07	,78	,66	,90	,75	.	,30
<b>NT</b>	,00	,05	-,38**	,61***	-,07	,05	,26*	-,09	-,12	-,26	1
<i>P</i>	,99	,76	,01	,00	,64	,76	,10	,58	,44	,30	.

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses NT werden die Prädiktoren Vortestergebnis VT, Geschlecht GE und Nachmotivation NM (potentiell) signifikant (Hypothesen 2,3,4). Der Einfluss der Gruppenzugehörigkeit GR wird zwar nicht signifikant, findet infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothese 1);
- Interaktionseffekte zeigen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachttestergebnis (Hypothesen 6,7,8);
- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 14 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.14: Ergebnisse der Regressionen der  $aV_{„NT“}$  zum Aufspüren von Suppressoreffekten

Regression Nr.	Prädiktor	Potentieller Suppressor
1	VM_VT $b_{VM\_VT} = -,22; p = ,68$	VM $b_{VM} = -,03; p = ,77$
2	VM_VT $b_{VM\_VT} = -,5; p = ,35$	GR_VT $b_{GR\_VT} = -,61; p = ,29$
3	GR_DN $b_{GR\_DN} = -,28; p = ,66$	VM $b_{VM} = -,08; p = ,32$

Anmerkung:

Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

- Die Physiknote am Ende der Sekundarstufe I verhält sich hinsichtlich der Geschlechtsabhängigkeit nicht theoriekonform (Hypothese 10). Sie für das Nachtestergebnis (wie für das Vortestergebnis auch) ohne Bedeutung;
- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9);
- Die Prädiktoren GE und VT hängen in theoriekonformer, signifikanter Weise zusammen (einseitige Testung; Kollinearität!; Hypothese 10);
- Die Motivation zu Beginn der Instruktion und die am Ende korrelieren signifikant gemäß den Erwartungen der Theorie (Hypothese 13);
- Die Motivation am Ende der Instruktion ist in der Experimentalgruppe signifikant schlechter als in der Kontrollgruppe (Hypothese).

#### Gemittelte Leistungsinventare FCI/FKB

Tab.15: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	VM	GR	NM	VM_VT	GR_VT	GR_DN	NT
PN	1	,27	-,33*	-,07	,10	-,14	,05	,01	-,02	-,38**	-,07
$p$	.	,09	,03	,69	,54	,40	,75	,96	,93	,01	,65
DN	,27	1	-,19	-,11	-,08	,28	-,07	-,12	,17	-,04	-,00
$p$	,09	.	,24	,50	,62	,08	,69	,45	,29	,83	,98
GE <sup>5</sup>	-,33*	-,19	1	-,33*	-,16	,19	-,10	,06	,04	,25	-,42**
$p$	,03	,24	.	,04	,32	,24	,56	,71	,80	,12	,01
VT	-,07	-,11	-,33*	1	-,01	,02	-,03	-,04	-,13	-,18	,74***
$p$	,69	,50	,04	.	,95	,92	,88	,78	,41	,26	,00
VM	,10	-,08	-,16	-,01	1	-,09	,29*	,30	-,19	-,29	-,09
$p$	,54	,62	,32	,95	.	,59	,07	,06	,24	,07	,56
GR <sup>5</sup>	-,14	,28	,19	,02	-,09	1	-,31*	-,18	-,00	,04	-,01
$p$	,40	,08	,24	,92	,59	.	,05	,28	,99	,78	,96
NM	,05	-,07	-,10	-,03	,29*	-,31*	1	-,01	,16	-,07	,21
$p$	,75	,69	,56	,88	,07	,05	.	,95	,31	,66	,18
VM_VT	,01	-,12	,06	-,04	,30	-,18	-,01	1	-,39**	,09	-,11
$p$	,96	,45	,71	,78	,06	,28	,95	.	,01	,59	,50

VAR	PN	DN	GE	VT	VM	GR	NM	VM_VT	GR_VT	GR_DN	NT
GR_VT	-,02	,17	,04	-,13	-,19	-,00	,16	-,39**	1	,15	-,08
p	,93	,29	,80	,41	,24	,99	,31	,01	.	,37	,61
GR_DN	-,38**	-,04	,25	-,18	-,29	,04	-,07	,09	,15	1	-,22
p	,01	,83	,12	,26	,07	,78	,66	,59	,37	.	,26
NT	-,07	-,00	-,42**	,74***	-,09	-,01	,21	-,11	-,08	-,22	1
p	,65	,98	,01	,00	,56	,96	,18	,50	,61	,26	.

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses NT werden die Prädiktoren Vortestergebnis VT und Geschlecht GE (potentiell) signifikant (Hypothesen 3,4). Die Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit GR sowie der Nachmotivation NM werden zwar nicht signifikant, finden infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothesen 1,2);
- Interaktionseffekte zeigen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachttestergebnis (Hypothesen 6,7,8);
- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 16 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.16: Ergebnisse der Regressionen der  $\Delta$  „NT“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten

Regression Nr.	Prädiktor	Potentieller Suppressor
1	VM_VT $b_{VM\_VT} = -,25; p = ,6$	VM $b_{VM} = -,024; p = ,69$
2	VM_VT $b_{VM\_VT} = -,47; p = ,35$	GR_VT $b_{GR\_VT} = -,4; p = ,4$
3	GR_DN $b_{GR\_DN} = -,17; p = ,3$	VM $b_{VM} = -,06; p = ,3$

Anmerkung:

Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

- Die Physiknote am Ende der Sekundarstufe I verhält sich hinsichtlich der Geschlechtsabhängigkeit nicht theoriekonform (Hypothese 10). Sie ist für das Nachttestergebnis (wie für das Vortestergebnis auch) ohne Bedeutung;

- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9);
- Die Prädiktoren GE und VT hängen in theoriekonformer, signifikanter Weise zusammen (einseitige Testung; Kollinearität!; Hypothese 10);
- Die Motivation zu Beginn der Instruktion und die am Ende korrelieren signifikant gemäß den Erwartungen der Theorie (Hypothese 13);
- Die Motivation am Ende der Instruktion ist in der Experimentalgruppe signifikant schlechter als in der Kontrollgruppe (Hypothese 14).

Eingehende, weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

Schritt 6: Multiple Regression des Nachtestescores (Performanz)

Tabelle 17 informiert über globale Gütemaße der ausgeführten Regressionen. Die Variante auf Grundlage der gemittelten Tests weist den größten korrigierten Determinationskoeffizienten  $R_K^2$  auf<sup>76</sup>, knapp 60% der insgesamt vorhandenen Varianz werden in diesem Falle gebunden. Der Standardschätzfehler *SEE* beträgt 0,16, der durchschnittliche Fehler bei einer Schätzung liegt also bei 15% des Mittelwertes der abhängigen Variablen (zum Vergleich: Die FKB-Variante weist einen mittleren Schätzfehler von 22% auf).

Tab.17: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse. Abhängige Variable: NT

	$R^2$	$R_K^2$	<i>SEE</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<b>FCI</b>	,55***	,50	,09	10,83	,00
<b>FKB</b>	,52***	,47	,16	9,8	,00
<b>FCI/FKB</b>	,64***	,60	,10	15,64	,00

Anmerkung:

\*\*\* Der Determinationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 signifikant.

Es ist zu konstatieren, dass infolge der Mittelung der beiden Inventare letztlich eine Regression realisiert werden konnte, die die Zusammenhänge zwischen dem Nachtestergebnis *NT* und den Prädiktoren auf deutlich effizientere Weise abbildet.

Tabelle 18 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige lokale Gütemaße auf. Vorbehaltlich der Ergebnisse der noch zu realisierenden Verteilungs- und Stabilitätstests können an dieser Stelle folgende, vorläufige Resultate genannt werden:

<sup>76</sup>  $R_K^2$  stellt den um die Stichprobengröße und die Anzahl der Prädiktoren bereinigten Determinationskoeffizienten dar.

- Der Einfluss des Leistungsvortests wird in allen drei Analysen höchstsignifikant (Hypothese 3);
- Der Einfluss der Gruppenzugehörigkeit wird lediglich im Falle der FKB-basierten Analyse signifikant (Hypothese 1). Dass dies bei den anderen Regressionsvarianten nicht der Fall ist, kann als erstes Anzeichen für diesbezügliche Instabilitäten gewertet werden;
- Die Motivation am Ende der Instruktionsphase beziehungsweise das Geschlecht stellen Einflussfaktoren dar, die im Rahmen der FKB- sowie der FCI/FKB-Untersuchung signifikant werden (Hypothesen 2,4).

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass an dieser Stelle jedoch noch keine Aussage über die praktische Bedeutsamkeit dieser Prädiktoren getätigt werden kann.

Tab.18: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression

		<b>VT</b>	<b>GR</b>	<b>NM</b>	<b>GE</b>
<b>FCI</b>	<i>b</i>	,71***	-,04	,02	-,03
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,13	,03	,03	,04
	<i>t</i>	5,7	-1,38	,69	-,85
	<i>p</i>	,00	,18	,49	,40
<b>FKB</b>	<i>b</i>	,90***	,11*	,12*	-,13*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,19	,05	,05	,06
	<i>t</i>	4,62	2,03	2,31	-2,14
	<i>p</i>	,00	,03	,02	,02
<b>FCI/FKB</b>	<i>b</i>	,94***	,03	,07(*)	-,07*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,15	,03	,03	,04
	<i>t</i>	6,37	0,84	2,26	-1,74
	<i>p</i>	,00	,41	,02	,05

Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

### Überprüfung auf Heteroskedastizität

Die Sichtprüfung der Diagramme, in denen die standardisierten Residuen der Regressionen gegen die standardisierten Schätzwerte aufgetragen sind, liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorhandener Varianzinhomogenitäten (siehe Unterkapitel 3.2.6.1):

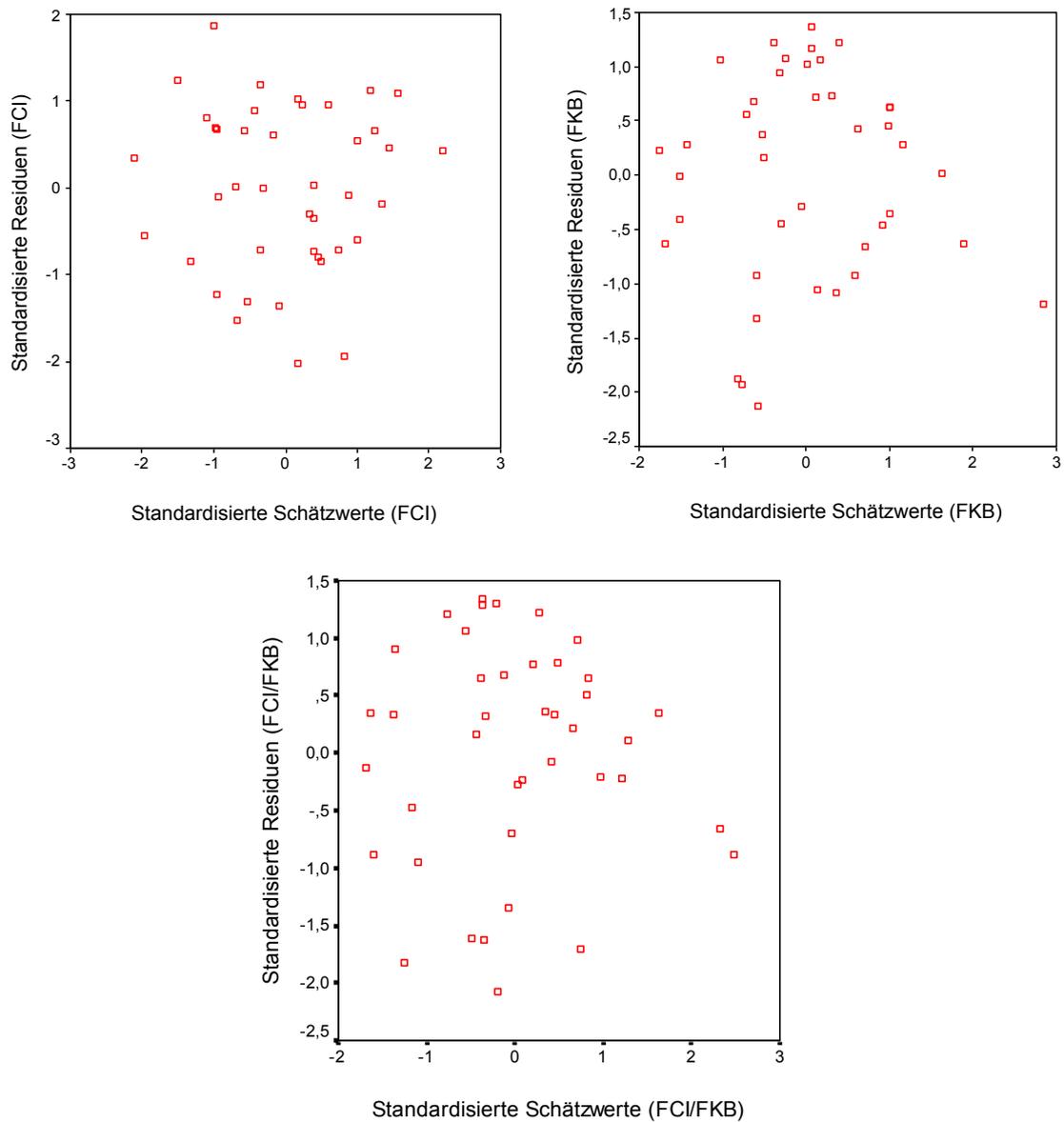


Abb.14: Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“

Zur Durchführung des Levene-Tests auf Homoskedastizität (diesbezüglich die Nullhypothese  $H_0$ ) werden jeweils die Residuen Gruppen  $\hat{Y} \geq 0$  sowie  $\hat{Y} < 0$  gebildet. Tabelle 19 informiert über Prüfgrößen und Irrtumswahrscheinlichkeiten:

Tab.19: Levene-Test zur Homoskedastizität für die drei Regressionsvarianten

	Levene- Prüfgröße	<i>p</i>
<b>FCI</b>	,24	,63
<b>FKB</b>	,45	,50
<b>FCI/FKB</b>	8,17**	,01

Anmerkung:

\*\* Die Annahme der Heteroskedastizität ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant.

Es ist zu konstatieren, dass im Falle der Analyse der gemittelten Inventare mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Heterogenität der Residualstreuung auszugehen ist. Bei vorausgesetzter Gültigkeit der  $H_0$  erhielte man das Testergebnis lediglich in sieben von tausend Fällen. Somit ist die  $H_0$  abzulehnen.

Schritt 7: Regression auf andere Formen mathematischer Zusammenhänge (FCI/FKB)

Die bisherigen Evaluationsschritte förderten deutlich zu Tage, dass es sich beim Prädiktor *VT* (Vortestscore Performanz) um den mit Abstand bedeutendsten Einflussfaktor handelt. Das Diagramm in Abbildung 15 zeigt die Abhängigkeit der nicht zentrierten *aV NT* (Nachtstestscore Performanz) vom nicht zentrierten Parameter *VT*. Zur Orientierung wurde mit Hilfe des LOWESS-Iterationsverfahrens eine Verlaufskurve kreiert, die die lokalen Zusammenhänge zwischen *NT* und *VT* aufzeigt.

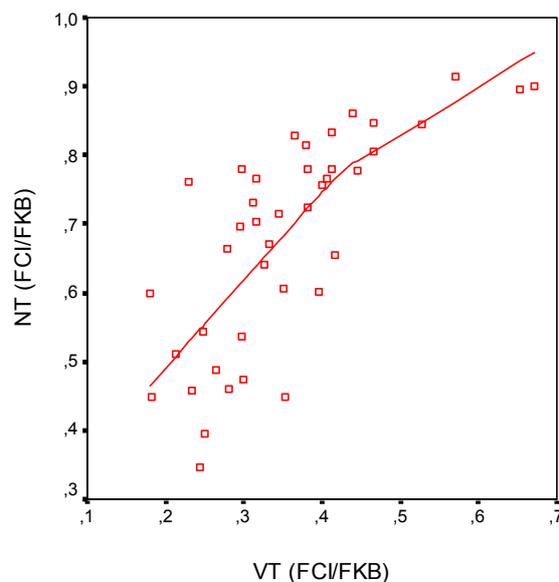


Abb.15: Nachtstestscore (Performanz) in Abhängigkeit vom Vortestscore (Performanz) und LOWESS-Kurve für die gemittelte Nachttestvariante „FCI/FKB“

Es zeigt sich ein deutlicher Knick der LOWESS-Kurve bei einem VT-Score von zirka 42%, sodass Zweifel an der globalen Linearität des Zusammenhangs zwischen VT und NT berechtigt erscheinen. Aus diesem Grunde werden an dieser Stelle Kurvenanpassungen unter der Annahme anderer mathematischer Zusammenhänge durchgeführt. Tabelle 20 präsentiert die Ergebnisse des Verfahrens.

Tab.20: Anpassung der Abhängigkeit Nachtestscore (Performanz) - Vortestscore (Performanz) bei Vorgabe unterschiedlicher mathematischer Modelle

Mathematischer Zusammenhang	$R^2$
linear	,55
quadratisch	,57
kubisch	,59
exponentiell	,49

Wie ersichtlich, ergibt sich im Falle eines unterlegten kubischen Zusammenhangs ein höheres Bestimmungsmaß  $R^2$ , die Steigerung gegenüber dem linearen Modell liegt jedoch lediglich bei 7%. Da ein kubischer Zusammenhang theoretisch nur schwerlich begründet werden könnte, erscheint die Idee wenig hilfreich, die Vorgabe einer linearen Beziehung aufzugeben.

#### Schritt 8: Transformation des Datenmaterials (FCI/FKB)

Um die Stabilität der zu berechnenden Regressionskoeffizienten zu gewährleisten, ist die Transformation der eingebundenen Variablen im Rahmen der sogenannten WLS-Methode (siehe Unterkapitel 3.2.6.1) anzustreben. Durch Neugewichtung der Residuen im Zuge der Einbindung einer Exponential-Gewichtungsfunktion  $\sigma_i^2$  wird das Ziel verfolgt, das Problem der (dem Modell anhaftenden) Heteroskedastizität zu relativieren<sup>77</sup>.

Die WLS-Methode sowie die im Anschluss daran erfolgte, modifizierte multiple Regressionsanalyse erbrachte die in Tabelle 21 dargestellten Resultate. Die gemittelte Regressionsvariante „FCI/FKB“ weist den höchsten Determinationskoeffizienten und den kleinsten Standardschätzfehler auf, sodass konstatiert werden kann, dass es sich hierbei um die statistisch stabilste der drei Regressionsvarianten handelt.

<sup>77</sup> Weitergehendere Informationen zur WLS-Methode siehe URBAN & MAYERL, 2004, S. 249ff

Tab.21: Ergebnisse der modifizierten, multiplen Regressionsanalyse (Variante „FCI/FKB“)

FCI/FKB	$R^2$	$R_K^2$	SEE	F	p
	,66***	,62	,04	16,67	,00
	Prädiktor	VT	GR	NM	GE
	b	,85***	,02	,06	-,07*
	$SEE_b$	,02	,03	,03	,04
	t	7,23	,64	1,67	-1,70
	p	,00	,53	,10(*)	,10

Anmerkungen:

Quellvariable: VT (nicht zentriert); Gewichtungvariable für die NT-Schätzung: wgt = 1,5

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Determinationskoeffizient beziehungsweise Regressionskoeffizient sind auf dem Niveau von 0,001 signifikant.

### Überprüfung auf Heteroskedastizität

Die Sichtprüfung der Diagramme, in denen die standardisierten Residuen der Regressionen gegen die standardisierten Schätzwerte aufgetragen sind, liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorhandener Varianzinhomogenitäten:

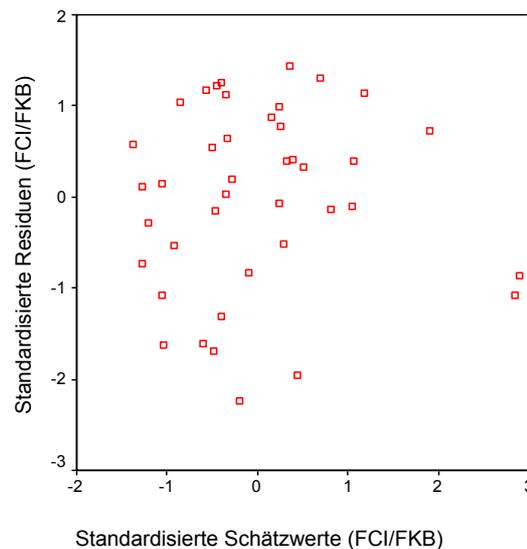


Abb.16: Standardisierte Schätzwerte versus standardisierte Residuen der modifizierten multiplen Regressionsanalyse (Variante „FCI/FKB“)

Infolge der Transformation des Datenmaterials ergibt sich nun im Rahmen des Levene-Tests ein Wert für die Prüfgröße, der die Beibehaltung der  $H_0$  rechtfertigt.

Tab.22: Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regressionsvariante „FCI/FKB“

	Levene- Prüfgröße	p
FCI/FKB	2,17	,15

### 9. Schritt: Test der Residuen auf Normalverteilung

Die Diagramme von Abbildung 17 zeigen die Residuen-Histogramme (mit Normalverteilungskurven) für die drei Regressionsvarianten. Tabelle 23 führt die Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov-Tests auf, die in allen drei Fällen im Sinne einer vermuteten Normalverteilung ausfallen. Bezugnehmend auf die FKB-Variante, würde sich beispielsweise eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 64% ergeben, wollte man die Annahme einer Normalverteilung verwerfen. Die Prüfgrößen hinsichtlich Schiefe und Kurtosis bleiben betragsmäßig stets kleiner als zwei, sodass man (im Rahmen statistischer Unwägbarkeiten) von Normalverteilungen der Residuen bei allen drei Regressionsvarianten ausgehen kann (Erläuterungen finden sich in Unterkapitel 3.2.6.1).

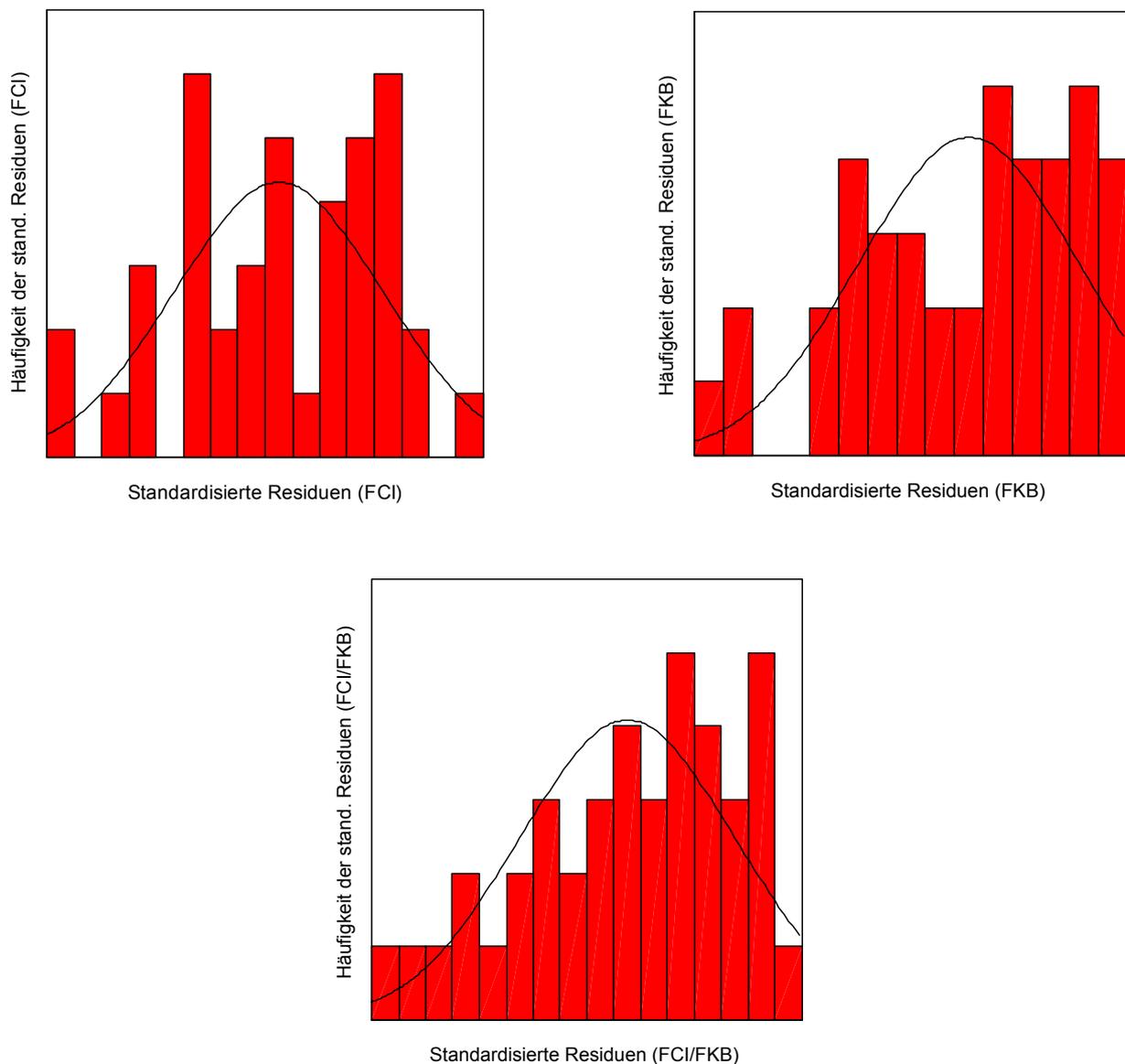


Abb. 17: Residuenhistogramme mit theoretischen Normalverteilungskurven für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“

### 10. Schritt: Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen

Die Diagramme der Abbildungen 14 und 16 (S.119 und 122), in denen die standardisierten Residuen in Abhängigkeit von den standardisierten Schätzwerten zu sehen sind, weisen keine auffälligen Zusammenhänge auf. Die Korrelationsanalysen für die drei Regressionsvarianten (Tabelle 24a) bestätigen diese Vermutung. Somit kann von einer akzeptablen Effizienz des linearen Regressionsmodells ausgegangen werden.

Tab.23: Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis

	Kolmogorov-Smirnov		Schiefe			Kurtosis		
	$D$	$p$	$S$	$SEE_S$	$\frac{S}{SEE_S}$	$K$	$SEE_K$	$\frac{K}{SEE_K}$
FCI	,74	,64	-,32	,37	-,87	-,67	,72	-,92
FKB	,68	,75	-,53	,37	-1,4	-,59	,72	-,82
FCI/FKB	,65	,80	-,55	,37	-1,49	-,64	,72	-,89

Tab.24a: Korrelationskoeffizienten  $r$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  von standardisierten Residuen (Beträge)<sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die drei Regressionsvarianten

		$ \hat{u}' $	
$\hat{y}'$	FCI	$r$	-,09
		$p$	,56
	FKB	$r$	-,06
		$p$	,73
	FCI/FKB	$r$	,04
		$p$	,80

### 11. Schritt: Stabilitätstests (Multikollinearität)

Tabelle 24b informiert über Toleranz-Maßzahlen, die sich für die relevanten Prädiktoren der drei verschiedenen Regressionsvarianten ergeben.

Tab.24b: Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“

	<b>VT</b>	<b>GR</b>	<b>NM</b>	<b>GE</b>
<b>FCI</b>	,84	,85	,90	,84
<b>FKB</b>	,93	,91	,90	,88
<b>FCI/FKB</b>	,93	,89	,93	,88

<sup>78</sup> Zur Begründung konsultiere man URBAN & MAYERL, 2004, S. 224

Alle Maßzahlen sind deutlich größer als 0,25, was als erster Hinweis darauf gewertet werden kann, dass das Problem der Multikollinearität von untergeordneter Bedeutung ist (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Die nun folgenden Stabilitätstests sind nach der Anzahl der maximal eingebundenen Prädiktoren sowie nach Regressionsvariante geordnet und dienen dem Zweck, die Regressionskoeffizienten auf ihre Änderungsanfälligkeit bei Aufnahme weiterer Regressoren hin zu untersuchen. Auf diese Weise kann des weiteren eine eventuell vorhandene Multikollinearität unabhängiger Variablen aufgedeckt werden (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

In Tabelle 25 sind Regressionskoeffizienten  $b$  sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  für alle denkbaren Regressionsmodelle aufgeführt. Sie unterscheiden sich in der Anzahl der aufgenommenen, relevanten Prädiktoren.

Regressionsvariante „FCI“

Tab.25: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „FCI“

uV	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p
<b>VT</b>	<b>,71***</b>	<b>,00</b>	<b>,75***</b>	<b>,00</b>	<b>,73***</b>	<b>,00</b>	<b>,66***</b>	<b>,00</b>	<b>,75***</b>	<b>,00</b>	<b>,71***</b>	<b>,00</b>	<b>,68***</b>	<b>,00</b>
GR			-,06*	,06					-,05	,11	-,05*	,06		
NM					,04	,21			,02	,45			,03	,28
GE							-,05	,19			-,03	,37	-,04	,25
$R^2_K$	,47		,51		,48		,48		,50		,50		,48	
VT			<b>,75***</b>	<b>,00</b>					<b>,75***</b>	<b>,00</b>	<b>,71***</b>	<b>,00</b>		
<b>GR<sup>75</sup></b>	<b>-,03</b>	<b>,52</b>	<b>-,06</b>	<b>,06</b>	<b>-,02</b>	<b>,59</b>	<b>-,01</b>	<b>,81</b>	<b>-,05</b>	<b>,11</b>	<b>-,05</b>	<b>,06</b>	<b>-,01</b>	<b>,85</b>
NM					,01	,83			,02	,45			,01	,89
GE							-,11*	,02			-,03	,37	-,11*	,03
$R^2_K$	-,01		,51		-,04		,09		,50		,50		,07	
VT			<b>,73***</b>	<b>,00</b>					<b>,75***</b>	<b>,00</b>			<b>,68***</b>	<b>,00</b>
GR							-,02	,59	-,05	,11	-,01	,85		
<b>NM</b>	<b>,02</b>	<b>,69</b>	<b>,04</b>	<b>,21</b>	<b>,01</b>	<b>,84</b>	<b>,01</b>	<b>,83</b>	<b>,02</b>	<b>,45</b>	<b>,01</b>	<b>,89</b>	<b>,03</b>	<b>,28</b>
GE					-,11*	,02					-,11*	,03	-,04	,25
$R^2_K$	-,02		,48		,09		-,04		,50		,07		,48	
VT			<b>,66***</b>	<b>,000</b>							<b>,71***</b>	<b>,000</b>	<b>,68***</b>	<b>,000</b>
GR					-,01	,81			-,01	,85	-,05*	,06		
NM							,01	,84	,01	,89			,032	,28
<b>GE<sup>75</sup></b>	<b>-,11*</b>	<b>,02</b>	<b>-,05</b>	<b>,19</b>	<b>-,11*</b>	<b>,02</b>	<b>-,11*</b>	<b>,02</b>	<b>-,11*</b>	<b>,03</b>	<b>-,03</b>	<b>,37</b>	<b>-,04</b>	<b>,25</b>
$R^2_K$	,11		,48		,09		,09		,07		,50		,48	

Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

## Regressionsvariante „FKB“

Tab.26: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „FKB“

uV	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p
VT	,99***	,00	1,0***	,00	,96***	,00	,89***	,00	1,0***	,00	,91***	,00	,87***	,00
GR			,05	,34					,09*	,05	,07	,19		
NM					,10	,08*			,12*	,03			,09*	,09*
GE							-,12*	,07			-,14*	,04	-,11*	,08*
$R^2_K$	,35		,35		,39		,39		,42		,41		,42	
VT			1,0***	,00					1,0***	,00	,91***	,00		
GR <sup>75</sup>	,02	,76	,05	,34	,06	,38	,05	,42	,09*	,05	,07	,19	,09	,17
NM					,13*	,07			,12*	,03			,12*	,06
GE							-,20*	,01			-,14*	,04	-,20*	,01
$R^2_K$	-,02		,35		,04		,12		,42		,41		,18	
VT			,96***	,00					1,0***	,00			,87***	,00
GR							,06	,38	,09*	,05	,09	,17		
NM	,11*	,10	,10*	,08	,10	,13	,13*	,07	,12*	,03	,12*	,06	,09*	,09
GE					-,18*	,02					-,20*	,01	-,11*	,08
$R^2_K$	,05		,39		,16		,04		,42		,18		,42	
VT			,89***	,00							,91***	,00	,87***	,00
GR					,05	,42			,09	,17	,07	,19		
NM							,1	,13	,12*	,06			,09*	,09
GE <sup>75</sup>	-,19*	,01	-,12*	,07	-,20*	,01	-,18*	,02	-,20*	,01	-,14*	,04	-,11*	,08
$R^2_K$	,12		,39		,12		,16		,18		,41		,42	

## Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Die in den Tabellen 25, 26 und 27 aufgeführten Werte geben Anlass zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Beim Prädiktor „Vortestscore (Performanz)“ handelt es sich mit Abstand um den einflussreichsten Einflussfaktor;
- Die Auswirkung der Gruppenzugehörigkeit wird lediglich dann signifikant, wenn der Vortestscore und die Motivation (Variante „FKB“) als „Suppressorvariablen“ berücksichtigt werden. Bei gemittelter Variante (diese weist das höchste Maß an Stabilität auf) wird GR in keinem Fall signifikant;
- Der Einfluss der Motivation wird im Falle der FCI-Variante in keinem Szenario signifikant. Die FKB- Variante lässt den Prädiktor in sechs von sieben Modellen

signifikant werden. Die Analyse der gemittelten Inventare belegt, dass *NM* nur dann signifikant wird, wenn man gleichzeitig auch *VT* berücksichtigt;

- Das Geschlecht weist im Rahmen der gemittelten Variante den stabilsten Einfluss auf. Während beim FKB-Prozedere ebenfalls durchgehende Signifikanz (auf schwächerem Level) konstatiert werden kann, wird der Prädiktor bei der FCI-Variante in drei von sieben Modellen nicht signifikant. Dies deutet in diesem Falle auf ein hohes Maß an Kollinearität zwischen den beiden Variablen hin - ein Umstand, der von der Tendenz her als theoriekonform zu bezeichnen ist.

Regressionsvariante "FCI/FKB"

Tab.27: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „FKB“

uV	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p
<b>VT<sup>79</sup></b>	<b>,89***</b>	<b>,00</b>	<b>1,02***</b>	<b>,00</b>	<b>1,0***</b>	<b>,00</b>	<b>,93***</b>	<b>,00</b>	<b>1,0***</b>	<b>,00</b>	<b>,92***</b>	<b>,00</b>	<b>,94***</b>	<b>,00</b>
GR			-0,01	,86					,02	,60	,01	,86		
NM					,07*	,03			,08*	,03			,06*	,04
GE							-,07*	,08			-,07*	,09	-,06*	,11
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,59		,53		,58		,56		,57		,55		,60	
VT			1,02***	,00					1,0***	,00	,92***	,00		
<b>GR<sup>75</sup></b>	<b>-,00</b>	<b>,96</b>	<b>-0,01</b>	<b>,86</b>	<b>,02</b>	<b>,71</b>	<b>,02</b>	<b>,63</b>	<b>,02</b>	<b>,60</b>	<b>,01</b>	<b>,86</b>	<b>,04</b>	<b>,38</b>
NM					,07	,17			,08*	,03			,07	,17
GE							-,15*	,01			-,07*	,09	-,15**	,01
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	-,03		,53		-,00		,14		,57		,55		,16	
VT			1,0***	,00					1,0***	,00			,94***	,00
GR							,02	,71	,02	,60	,04	,38		
<b>NM</b>	<b>,06</b>	<b>,18</b>	<b>,07*</b>	<b>,03</b>	<b>,05</b>	<b>,24</b>	<b>,07</b>	<b>,17</b>	<b>,08*</b>	<b>,03</b>	<b>,07</b>	<b>,17</b>	<b>,06*</b>	<b>,04</b>
GE					-,14*	,01					-,15**	,01	-,06*	,11
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,02		,58		,17		-,00		,57		,16		,60	
VT			,93***	,00							,92***	,00	,94***	,00
GR					,02	,63			,04	,38	,01	,86		
NM							,05	,24	,07	,17			,06*	,04
<b>GE<sup>75</sup></b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,07*</b>	<b>,08</b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,14*</b>	<b>,01</b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,07*</b>	<b>,09</b>	<b>-,06*</b>	<b>,11</b>
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,16		,56		,14		,17		,16		,55		,60	

Anmerkungen:

- \* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.
- \*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.
- \*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

<sup>79</sup> Variablen wurden gemäß der WLS-Methode transformiert.

## 12. Schritt: Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren

Abbildung 18 zeigt die Streudiagramme der partiellen Residuen des Prädiktors „Vor-testscore (Performanz) VT“ in Abhängigkeit von VT für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“. Die eingezeichneten Kurven wurden mit Hilfe des LOWESS-Verfahrens erstellt und visualisieren die (variierenden) Zusammenhänge zwischen Prädiktor und partiellen Residuen (weitere Erläuterungen siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

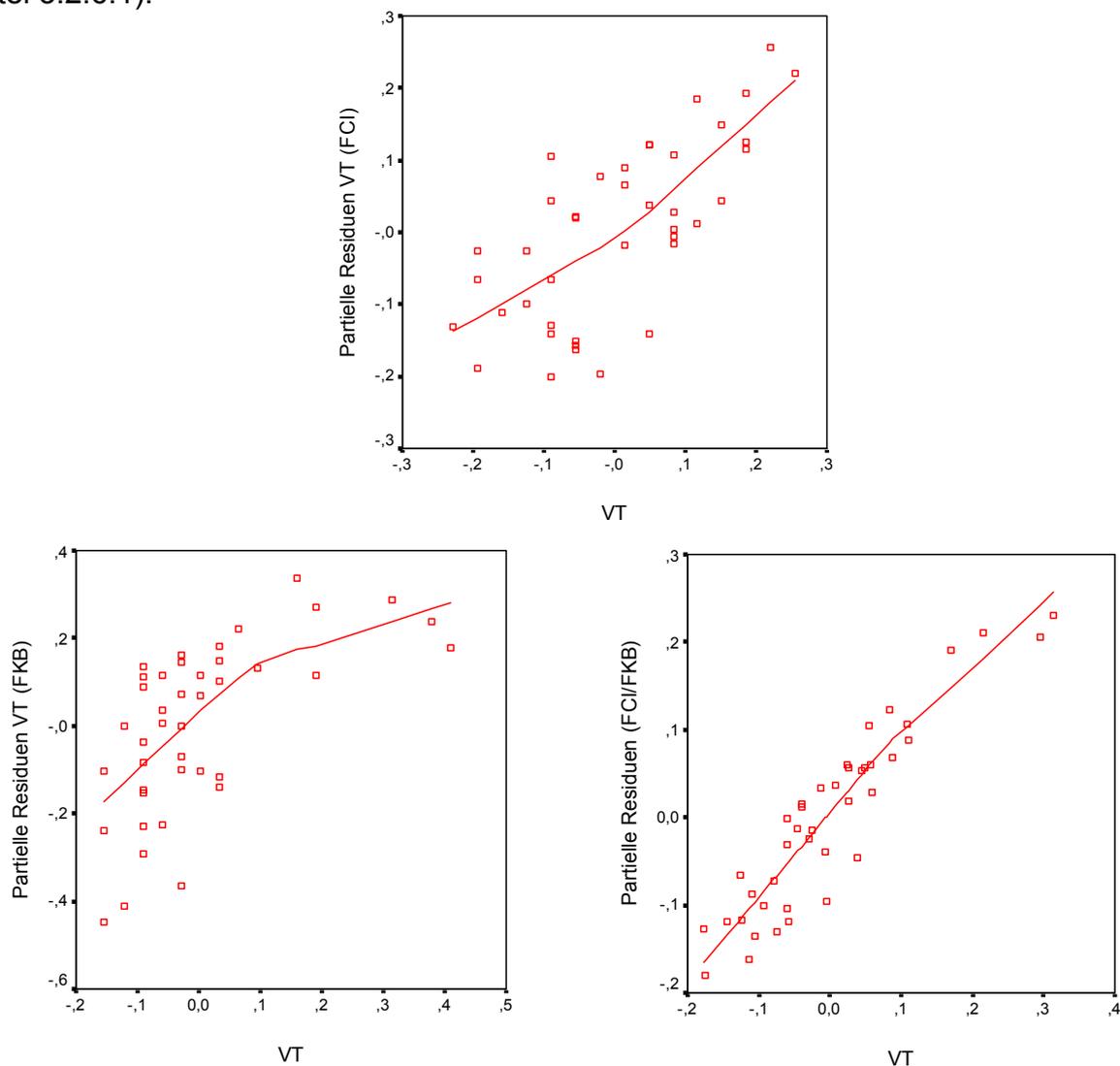


Abb.18: Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „VT“

Es ist zu erkennen, dass sich im Falle der gemittelten Regressionsvariante der klarste lineare Zusammenhang ergibt. Ähnliches lässt sich hinsichtlich der geforderten zufälligen Streuung der Residuen konstatieren.

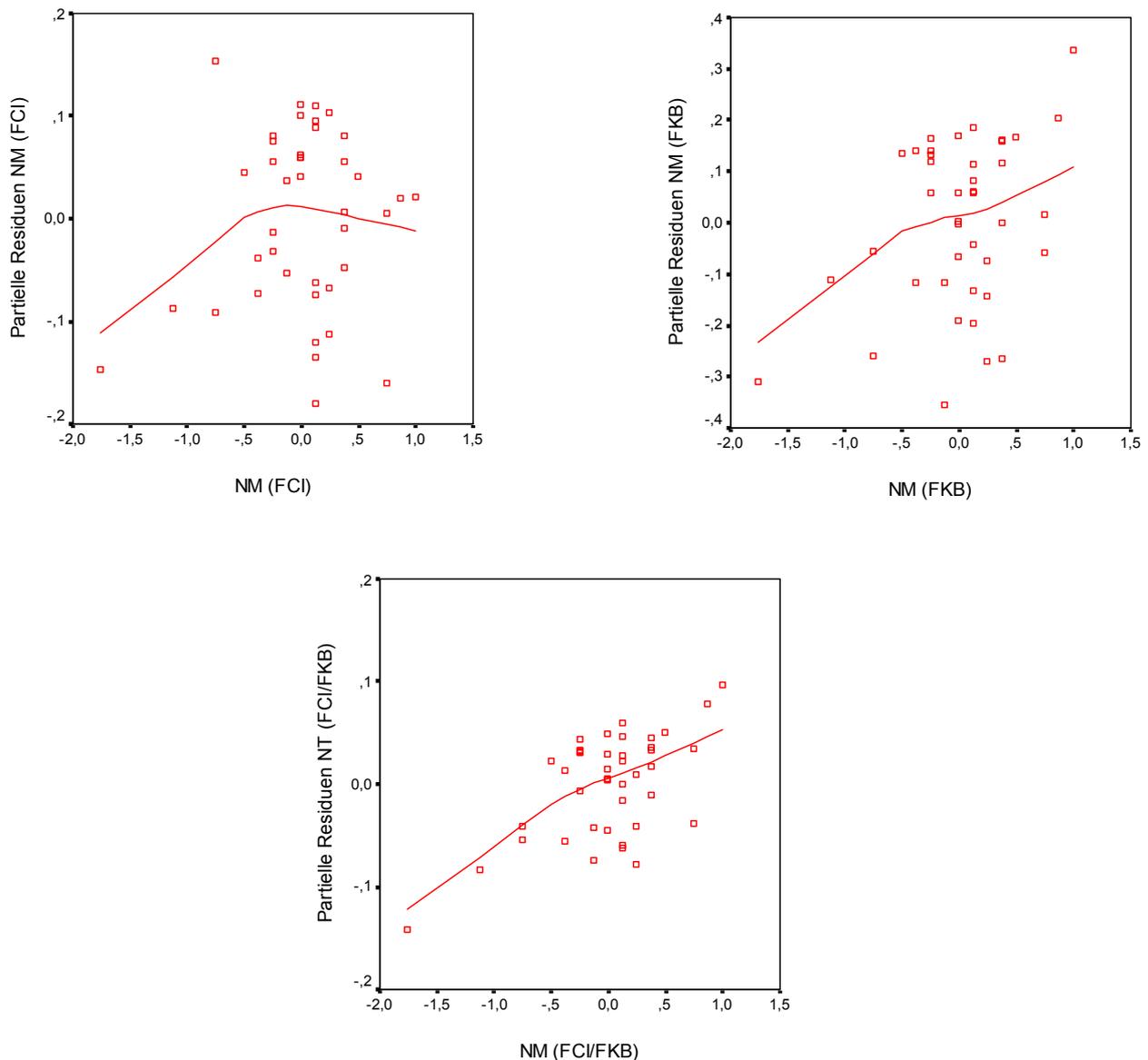


Abb.19: Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „NM“ (Variante „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“)

Abbildung 19 zeigt die Streudiagramme der partiellen Residuen des Prädiktors „Nachmotivation NM“ in Abhängigkeit von NM für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“.

Auch in diesem Falle offenbart sich das größte Maß an Linearität beziehungsweise zufälliger Streuung der Residuen bei Betrachtung der gemittelten Regressionsvariante „FCI/FKB“.

Da es sich bei den Prädiktoren „Gruppenzugehörigkeit GR“ „Geschlecht GE“ um eine dichotome Variable handelt, wird auf die Berechnung der partiellen Residuen verzichtet.

### 13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärken, die den vier Prädiktoren zugeordnet sind, werden für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ hierarchische, multiple Regressionsanalysen durchgeführt.

Tabelle 28 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  der verschiedenen Modelle auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ , die Auskunft geben über die Mächtigkeit der einzelnen Prädiktoren (siehe Unterkapitel 3.2.5.1)<sup>80</sup>.

Tab.28: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der  $\Delta V$  „Nachtstestscore (Performanz)“ für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“

	Modell uV	1		2		3		4		$f^2$
		$b$	$p$	$b$	$p$	$b$	$p$	$b$	$p$	
<b>FCI</b>	VT	,71***	,00	,75***	,00	,75***	,00	,71***	,00	<b>,92</b>
	GR			-,06*	,06	-,05	,11	-,04	,18	<b>,11</b>
	NM					,02	,45	,02	,49	<b>,02</b>
	GE							-,03	,40	<b>,02</b>
	$R^2$	,48		,53		,54		,55		
<b>FKB</b>	VT	,99***	,00	,74***	,00	,74***	,00	,90***	,00	<b>,59</b>
	GR			,05	,34	,09*	,10	,11*	,05	<b>,03</b>
	NM					,12*	,03	,12*	,03	<b>,13</b>
	GE							-,13*	,04	<b>,13</b>
	$R^2$	,37		,39		,46		,52		
<b>FCI/FKB</b>	VT	,89***	,00	,89***	,00	,90***	,00	,85***	,00	<b>1,5</b>
	GR			-,01	,87	,01	,77	,02	,53	<b>0</b>
	NM					,06*	,09	,06*	,10	<b>,08</b>
	GE							-,07*	,01	<b>,09</b>
	$R^2$	,60		,60		,63		,66		

Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Im Hinblick auf die ermittelten Effektstärken erscheinen folgende Aspekte von besonderer Relevanz:

<sup>80</sup> Aus der Tabelle geht hervor, dass auch in den Fällen Effektstärken berechnet wurden, in denen die Regressionskoeffizienten nicht signifikant von Null abwichen. Dies ist statistisch legitim, darf aber nicht den Umstand verschleiern, dass davon ausgegangen werden muss, dass die Verschiedenheit des empirischen  $b$ -Wertes von Null mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit auf den Zufall zurückzuführen ist.

- Der Prädiktor „Vortestscore (Performanz) VT“ verfügt in allen drei Regressionsvarianten über eine sehr hohe Effektstärke;
- Der Gruppenzugehörigkeit GR kann bestenfalls eine kleine Effektgröße zuerkannt werden. Die Analyse mit den stabilsten Ergebnissen (FCI/FKB-Variante) konnte keine Wirkung der Gruppenzugehörigkeit feststellen;
- Motivation am Ende der Instruktion NM sowie Geschlecht GE zeigen jeweils einen kleinen Effekt auf den Nachtestscore (Performanz) NT.

#### 14. Schritt: Mediatoreffekte

*Die Deutschnote DN ist Mediatorin des Einflusses des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 5,9).*

Verfahren: Korrelationsanalyse<sup>81</sup>

Für die Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ ergeben sich bezüglich des Zusammenhangs *DN-NT* die nicht signifikant werdenden Korrelationskoeffizienten  $r = -,10; ,05; -,00$  (Tabellen 11,13,15).

Das Zusammenhangsmaß  $\eta$  von *DN* und *GE* beträgt lediglich 0,19 und wird nicht signifikant ( $p = 0,24$ ; siehe Tabelle 11).

Aus diesen beiden Gründen wird die Hypothese nicht bestätigt<sup>53</sup>.

*Die Motivation zu Beginn der Instruktion VM ist Mediatorin des Einflusses des Geschlechtes auf den Vortestscore (Performanz) VT und auf die Motivation am Ende der Instruktion NM (Hypothesen 12,13).*

Verfahren: Korrelationsanalyse<sup>81</sup>

Für die Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ ergeben sich bezüglich des Zusammenhangs *VM-VT* die nicht signifikant werdenden Korrelationskoeffizienten  $r = ,02; -,04; -,01$  (Tabellen 11,13,15).

Hinsichtlich des Zusammengangs *VM-NM* wurde der signifikant werdende Wert  $r = ,29$  ermittelt (Tabelle 11).

Der Korrelationskoeffizient  $r$  von *VM* und *GE* beträgt lediglich  $-,16$  und wird nicht signifikant ( $p = ,32$ ; siehe Tabelle 11).

Aus diesen Gründen kann nicht davon ausgegangen werden, dass es sich bei *VM* im beschriebenen Kontext um eine Mediatorvariable handelt.

<sup>81</sup> Auf eine Regressionsanalyse wird hier verzichtet, da der Korrelationskoeffizient nach Pearson  $r$  identisch ist mit der Wurzel des Determinationskoeffizienten des bivariaten Modells. Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  der Korrelationsanalyse sowie Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  des Regressionskoeffizienten sind identisch (weitere Informationen findet man in URBAN & MAYERL, 2004, S. 76).

---

*Der Vortestscore (Performanz) VT ist Mediator der Einflüsse von Geschlecht GE und Motivation zu Beginn der Instruktion VM auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 10,11).*

VT und NT korrelieren höchstsignifikant in allen drei Regressionsvarianten (Tabellen 11,13,15). Um zu ermitteln, ob es sich bei VT tatsächlich um einen Mediator handelt, wird der Zusammenhang zwischen VT und VM beziehungsweise VT und GE untersucht<sup>53</sup>.

Verfahren: Trivariate Regressionsanalyse

Das Evaluationsprozedere orientiert sich an den ersten dreizehn Schritten von Tabelle 6.

1. Schritt: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Vier Fälle wurden ausgeschlossen. Begründung siehe S. 108.

2. Schritt: Zentrierung der Prädiktoren

Siehe S. 109.

3. Schritt: Bildung der Interaktionsvariablen

Es werden keine Interaktionsvariablen gebildet.

4. Schritt: Deskriptive Statistik

Vortestscore (Motivation) VM versus Vortestscore (Performanz) VT

Die Diagramme von Abbildung 20 zeigen die Vortestcores VT in Abhängigkeit von den Vortestcores VM für die drei Varianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“. Es deuten sich keinerlei systematische Zusammenhänge zwischen den beiden Größen an.

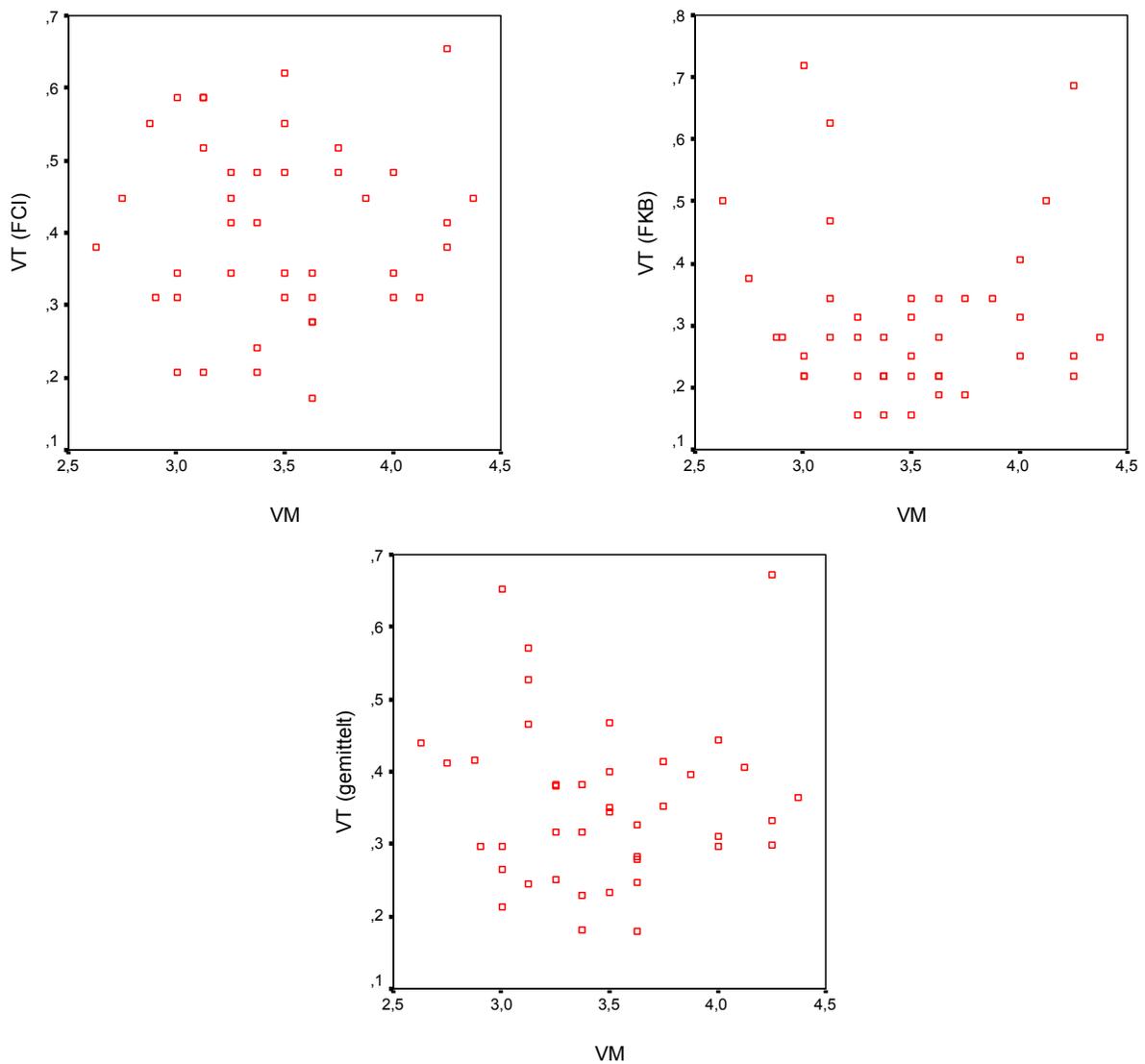


Abb.20: Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit von den Vortestscores (Motivation) für die drei Varianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“ (nichtzentrierte Variablen)

### Vortestscore (Performanz) VT versus Geschlecht GE

Tabelle 29 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Vortestscores VT in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Tab.29: Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VT: ♂</b>					
FCI	31	,21	,66	,43	,11
FKB	31	,16	,72	,33	,14
FCI/ FKB	31	,18	,67	,38	,11
<b>VT: ♀</b>					
FCI	10	,17	,59	,34	,14
FKB	10	,16	,47	,25	,09
FCI/FKB	10	,18	,53	,29	,1

Die Histogramme von Abbildung 21 zeigen den Vortestscore (Performanz) VT in Abhängigkeit vom Geschlecht GE:

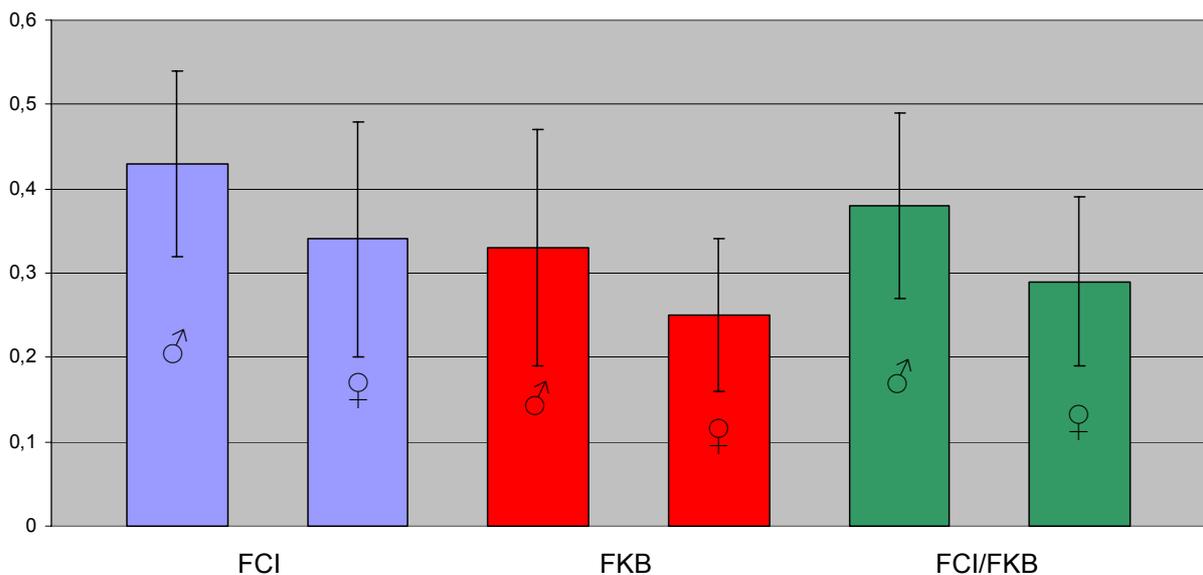


Abb.21: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen Vortestscore (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“

#### 5. Schritt: Berechnung der Korrelationen

Tabelle 30 liefert eine Übersicht über die errechneten Zusammenhangsmaße  $r$  (VT-GE) beziehungsweise  $\eta$  (VT-VM) sowie zugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$ :

Tab.30: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten der Variablenpaare VT-GE sowie VT-VM

		<b>VM</b>	<b>GE<sup>75</sup></b>
<b>FCI</b>	<b>VT</b>	,023	-,32*
	<i>p</i>	,89	,04
<b>FKB</b>	<b>VT</b>	-,04	-,26*
	<i>p</i>	,81	,10
<b>FCI/FKB</b>	<b>VT</b>	-,01	-,33*
	<i>p</i>	,95	,04

Anmerkung:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Bereits an dieser Stelle zeichnet sich ab, dass es sich bei VT angesichts des durchgehend signifikanten Zusammenhangs mit GE tatsächlich um eine Mediatorgröße handeln könnte. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sollte dies im Hinblick auf NM nicht gelten.

Weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

#### 6. Schritt : Multiple Regression des Vortestscores (Performanz)

Tabelle 31 präsentiert die globalen Gütemaße der ausgeführten Regressionen. Es ist bemerkenswert, dass keine der drei Regressionsvarianten Determinationskoeffizienten liefert, deren Beträge signifikant werden, ein Umstand, der im Hinblick auf die Effizienz der Gesamtmodelle nachdenklich stimmt.

Tab.31: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalysen (FCI; FKB; FCI/FKB) mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen

	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>K</sub><sup>2</sup></b>	<b>SEE</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>FCI</b>	,10	,06	,12	2,19	,13
<b>FKB</b>	,07	,02	,13	1,5	,24
<b>FCI/FKB</b>	,11	,07	,11	2,42	,10

Tabelle 32 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige, lokale Gütemaße auf. Es ist zu konstatieren, dass der Prädiktor „Geschlecht“ in allen drei Regressionsvarianten einen signifikanten Einfluss erhält. Somit bestätigt sich die Vermutung, dass es sich bei der uV „Vortestscore VT“ um eine Mediatorvariable handelt, die zwischen Geschlecht und Nachtestscore NT vermittelt<sup>53</sup>.

Tab.32: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen (FCI, FKB, FCI/FKB) mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen

		<b>VM</b>	<b>GE<sup>75</sup></b>
<b>FCI</b>	<i>b</i>	-,01	-,09*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,04	,05
	<i>t</i>	-,19	-2,09
	<i>p</i>	,85	,04
<b>FKB</b>	<i>b</i>	-,03	-,08*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,05	,05
	<i>t</i>	-,52	-1,71
	<i>p</i>	,61	,1
<b>FCI/FKB</b>	<i>b</i>	-,02	-,09*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,04	,04
	<i>t</i>	-,42	-2,20
	<i>p</i>	,68	,03

Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant

Auf Grundlage des gesammelten Datenmaterials lässt sich kein Zusammenhang zwischen Vortestscore (Performanz) und Vortestscore (Motivation) herstellen.

Auf die Durchführung der Schritte 9 bis 12 wird infolge der Ineffizienz des Gesamtmodells verzichtet.

### 13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärke  $f^2$  (siehe Unterkapitel 3.2.5.1), die dem Geschlecht zugeordnet werden kann, werden für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ hierarchische, multiple Regressionen durchgeführt. Tabelle 33 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ . Alle drei Varianten weisen das Geschlecht als einen Prädiktor mit eher schwachem Einfluss auf den Vortestscore (Performanz) aus.

Tab.33: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der *aV* Vortestscore (Performanz) für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“

	Modell uV	1		2		$f^2$
		<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	
FCI	VM	,01	,89	-,01	,85	<b>0</b>
	GE <sup>75</sup>			-,09*	,04	<b>,11</b>
	R <sup>2</sup>	,00		,10		
FKB	VM	-,01	,81	-,03	,61	<b>0</b>
	GE			-,08*	,10	<b>,08</b>
	R <sup>2</sup>	,00		,07		
FCI/FKB	VM	-,00	,95	-,02	,68	<b>0</b>
	GE			-,09(*)	,03	<b>,12</b>
	R <sup>2</sup>	0,00		,11		

Anmerkung:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant

Die Motivation am Ende der Instruktionsphase NM ist Mediatorin der Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit GR, der Motivation am Beginn der Instruktion VM und des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 13,14,15) .

Es ist zu konstatieren, dass sich lediglich im Falle der Regressionsvariante „FKB“ für den Zusammenhang NM-NT ein signifikant werdender Korrelationskoeffizient  $r = ,26$  ergibt. Für dieses Szenario wird im Folgenden untersucht, ob es bei NM tatsächlich um eine Mediatorvariable handelt. Dies geschieht durch Untersuchung der Zusammenhänge GR-NM, VM-NM sowie GE-NM<sup>53</sup>.

Verfahren: Multiple Regressionsanalyse

Das Evaluationsprozedere orientiert sich an den dreizehn Schritten von Tabelle 6.

1. Schritt: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Vier Fälle wurden ausgeschlossen. Begründung siehe S. 108.

2. Schritt: Zentrierung der Prädiktoren

Siehe S. 109.

3. Schritt: Bildung der Interaktionsvariablen

Es werden keine Interaktionsvariablen gebildet.

4. Schritt: Deskriptive Statistik

Nachtestscore (Motivation) NM versus Vortestscore (Motivation) VM

Das Diagramm von Abbildung 22 zeigen die Nachtestcores NM in Abhängigkeit von den Vortestcores VM.

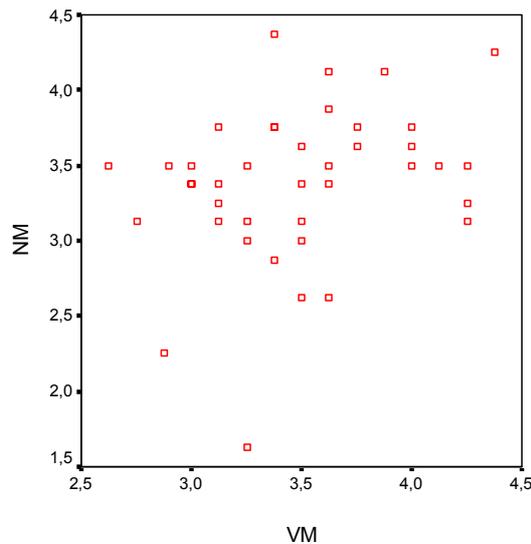


Abb.22: Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit vom Vortestscore (Motivation; nichtzentrierte Variablen)

Das Diagramm weist eine vergleichsweise große Streuung der Beobachtungsfälle auf. Tendentiell wächst der Nachtestscore mit größer werdendem Vortestscore an.

Nachtestscore (Motivation) *NM* versus Gruppenzugehörigkeit *GR*

Tabelle 34 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Nachtestscores *NM* in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit.

Tab.34: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Nachtestscores (Motivation) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit<sup>75</sup>

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>NM; KG</b>	19	3,13	4,38	3,55	,31
<b>NM; TG</b>	22	1,63	4,25	3,23	,61

Anmerkung:

„KG“ : Kontrollgruppe; „TG“: Treatmentgruppe

Die Histogramme von Abbildung 23 zeigen den Nachtestscore (Motivation) *NM* in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit *GR*.

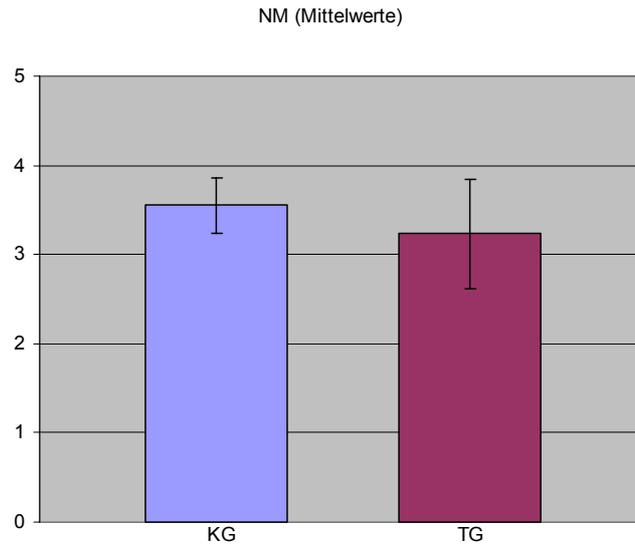


Abb.23: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit.

Geschlecht *GE* versus Nachtestscore (Motivation) *NM*

Tabelle 35 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Nachtestscores *NM* in Abhängigkeit von der Geschlecht.

Tab.35: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Nachtestscores (Motivation) in Abhängigkeit vom Geschlecht

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>NM; ♂</b>	31	1,63	4,38	3,41	,56
<b>NM; ♀</b>	10	2,63	3,88	3,3	,34

Die Histogramme von Abbildung zeigen den Nachtestscore (Motivation) *NM* in Abhängigkeit vom Geschlecht *GE*.

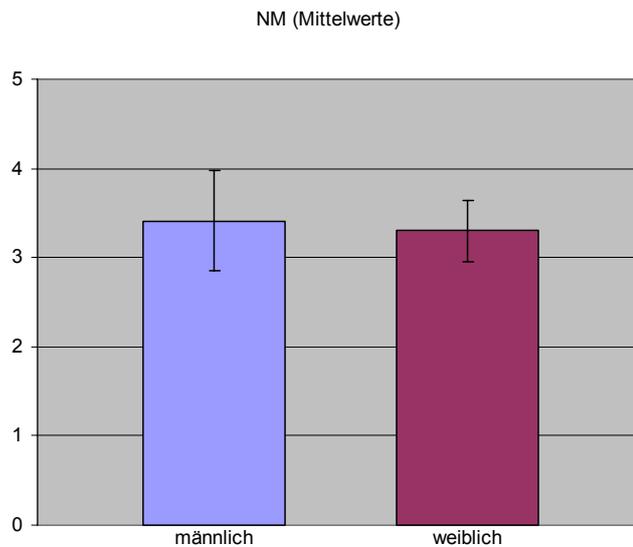


Abb.24: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit vom Geschlecht

5. Schritt: Berechnung der Korrelationen

Tabelle 36 liefert eine Übersicht über die errechneten Zusammenhangsmaße  $r$  (NM-VM) beziehungsweise  $\eta$  (NM-GR; NM-GE) sowie zugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$ :

Tab.36: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  der Variablenpaare NM-VM, NM-GR sowie NM-GE<sup>74</sup>

	VM	GR <sup>75</sup>	GE <sup>75</sup>
<b>NM</b>	,29*	-,31*	-,10
<i>p</i>	,07	,05	,56

Anmerkung:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Bereits an dieser Stelle zeichnet sich ab, dass es sich bei NM angesichts der signifikanten Zusammenhänge mit VM und GR tatsächlich um eine Mediatorgröße handeln könnte. Im Hinblick auf GE ist dies mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen.

Weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

6. Schritt: Multiple Regression des Nachtestscores (Motivation)

Tabelle 37 präsentiert die globalen Gütemaße der ausgeführten Regression. Der Determinationskoeffizient wird nicht signifikant, ein Umstand, der im Hinblick auf die Effizienz der Gesamtmodells nachdenklich stimmt.

Tab.37: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen

$R^2$	$R_K^2$	SEE	F	p
,16	,10	,49	2,42	,08

Tabelle 38 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige, lokale Gütemaße auf.

Tab.38: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen

	VM	GR <sup>75</sup>	GE <sup>75</sup>
b	,30*	-,29*	,00
SEE <sub>b</sub>	,09	,16	,18
t	1,72	-1,87	,01
p	,09	,07	1

Anmerkung:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Es bestätigt sich die Vermutung, dass es sich bei der Motivation am Ende der Instruktion NM um eine Mediatorin handelt, die zwischen Vormotivation VM und Nachtestscore NT vermittelt. Im Hinblick auf die Zusammenhänge „GR-NT“ sowie „GE-NT“ kann die Mediatorhypothese nicht belegt werden.

Auf die Durchführung der Schritte 9 und 12 wird infolge der Ineffizienz des Gesamtmodells verzichtet.

### 13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärke  $f^2$ , die dem Vortestscore (Motivation) sowie der Gruppenzugehörigkeit  $f^2$  zugeordnet werden kann, wird eine hierarchische, multiple Regression (siehe Unterkapitel 3.2.5.1) durchgeführt. Tabelle 39 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ .

Tab.39: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regression der aV Nachtestscore (Motivation)

Modell	1		
	b	p	$f^2$
uV			
VM	,33*	,07	,09
$R^2$	,08		

Anmerkung:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

---

Die Analyse weist den Vortestscore (Motivation) als Prädiktor mit eher schwachem Einfluss auf den Nachtestscore (Motivation) aus.

### 3.4 Auswertung „Elektrodynamik“

#### 3.4.1 Struktur der Auswertung

Die folgende Tabelle 40 gibt Auskunft über die durchgeführten Auswertungsschritte, die für alle eingesetzten Leistungs- und Motivationsinstrumente durchgeführt wurden. Des Weiteren liefert sie Informationen darüber, welche der Bedingungen  $A_1 - A_6$  (siehe Unterkapitel 3.2.6) im Zuge der Realisierung des betrachteten Schrittes abgetestet wurde.

Tab.40: Abfolge der Auswertungsschritte im Zuge der Evaluation des gesammelten Datenmaterials

Schritt Nr.	Beschreibung	Begründung	Verfahren	Seite
1	Betrachtung der Beobachtungsfälle	Outliers	Sichtung des Datenmaterials	144
2	Zentrierung der Prädiktoren, die zur Bildung der Interaktionsvariablen herangezogen werden	$A_6$	Differenz	145
3	Bildung der Interaktionsvariablen	Interaktionseffekte	Produktbildung	145
4	Deskriptive Statistik	Überblick über das Datenmaterial	Mittelwerte; Standardabweichungen	145
5	Berechnung der Korrelationen	Hinweise auf bedeutendste uVs; Suppressor-effekte	Korrelationsanalyse; Regressionsanalyse	149
6	Multiple Regression	$A_1$	Regressionsanalyse; Levene-Test	157
7	Regression auf andere mathematische Zusammenhänge <sup>82</sup>	$A_3$	Kurvenanpassung	–
8	Transformation des Datenmaterials	$A_1$	WLS-Methode	–
9	Test der Residuenverteilung	$A_5$	Kolmogorov / Smirnov	160
10	Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen	$A_3$	Diagramm	161

<sup>82</sup> SPSS bietet u.a. die Modelle „quadratisch“, „kubisch“, „logarithmisch“, „exponentiell“ an.

Schritt Nr.	Beschreibung	Begründung	Verfahren	Seite
11	Stabilitätstests (Multikollinearität)	$A_6$	Toleranz; Regressionsanalyse	162
12	Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren	$A_1; A_3$	LOWESS	165
13	Bestimmung der Effektstärken	Praktische Relevanz	Hierarchische, sequentielle Regression ( $r^2$ )	167
14	Mediatoreffekte		Korrelationsanalyse; Regressionsanalyse	169

Bemerkungen: Schritt 7 erfolgt in Abhängigkeit von  $R^2$  (bei linearem Modell).

Schritt 8 erfolgt in Abhängigkeit der Ergebnisse der Schritte 6 und 7.

### 3.4.2 Regression der Nachtestscores Elektrodynamik (Performanz): KTE; ECCE I, ECCE II, CSE, CSM

Schritt 1: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Bei einem Stichprobenumfang von  $N' = 46$  wurden - abhängig von der Regressionsvariante „KTE“, „ECCE I“, „ECCE II“, „CSE“ oder „CSM“ - diverse Beobachtungsfälle ausgeschlossen, deren Leistungsscores sich in extremer Weise von den anderen unterschieden:

- Der Proband war am Tage der Nachtesterhebung nicht anwesend (NT-Score = 0);
- Das einem NT-Score zugeordnete standardisierte Residuum hat einen (negativen) Abstand, der in etwa zwei Standardabweichungen beträgt oder gar darüber liegt. Dieser Umstand lässt sich auf ein Nachtestergebnis zurückführen, das deutlich unter dem Durchschnittsscore liegt (siehe **Tabelle**). In diesen Fällen handelte es sich um Schüler, die am Ende des Schuljahres aus Notengründen die Schule verließen oder die zwölfte Jahrgangsstufe wiederholen mussten.

Tab.41: Standardisierte Residuen und Nachtestscores (Performanz) der ausgeschlossenen Fälle für die fünf Regressionsvarianten „KTE“, „ECCE I+II“, „CSE“ und „CSM“

Fall- nr	GE	KTE		ECCE I		ECCE II		CSE		CSM	
		St. Res.	NT								
23	♂		,00								
31	♂	-2,02	,31								
2	♀				,00						
23	♂				,00						
2	♀						,00				
14	♂						,00				
23	♂						,00				
23	♂								,00		
45	♂							-2,27	,17		
3	♂										,00
23	♂										,00

Schritt 2: Zentrierung der Prädiktoren, die zur Bildung der Interaktionsvariablen herangezogen werden

Schritt 3: Konstruktion der Interaktionsvariablen

Dem theoretischen Wirkungsgefüge folgend wurden durch Produktbildung der Ausgangs-uVs die Interaktionsvariablen *GR\_VT* sowie *DN\_GR* gebildet. Da im Zuge der Realisierung der Elektrodynamik-Phase der Studie kein Vortest (Motivation) eingesetzt wurde, konnte auch keine Interaktionsvariable *VM\_VT* berechnet werden.

Schritt 4: Deskriptive Statistik

Physiknote und Deutschnote am Ende der Sekundarstufe I

Tabelle 42 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen Leistungsstandes in den Fächern Physik und Deutsch zum Ende der Sekundarstufe I. Eine Zentrierung wurde noch nicht durchgeführt.

*PN*- und *DN*-Werte stellen Schulnoten im Wertebereich 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) dar.

Tab.42: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Schulnoten PN und DN

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>PN</b>	46	1	4	2,2	,8
<b>DN</b>	46	1	4	2,6	,8

Abbildung 25 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 42.

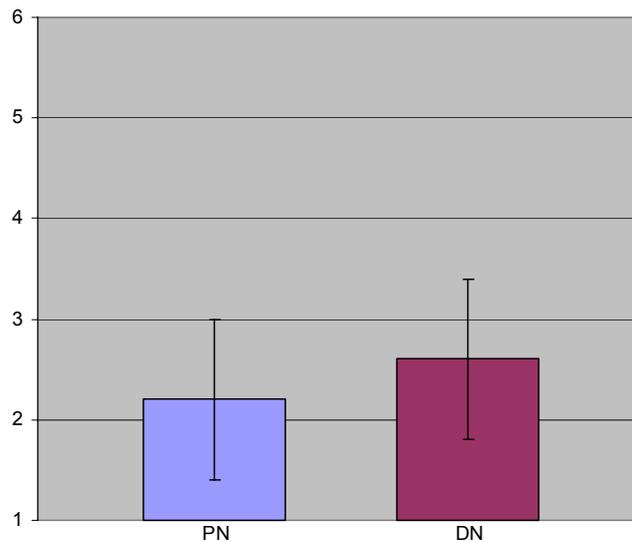


Abb.25: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schulnoten Physik und Deutsch

### Motivationsinventar

Es ist zu beachten, dass das Motivationsinventar zur Messung von Differenzen naturgemäß am Ende der Instruktionsphase zum Einsatz kam. Eine Erhebung motivationaler Befindlichkeiten zu Beginn des Unterrichts wurde nicht durchgeführt.

Tabelle 43 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen (nichtzentrierten) Datenmaterials zum Motivationszuwachs am Ende der Instruktion. Die Motivations-Werte beziehen sich auf eine Skala mit den Stufen 0 (keinesfalls stärker motiviert als in früheren Unterrichtsphasen) bis 5 (viel stärker motiviert als in früheren Unterrichtsphasen).

Tab.43: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nichtzentrierten Datenmaterials zum Motivationszuwachs

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>MOT</b>	46	1,2	3,93	2,60	6,47

Der sich ergebende Mittelwert von 2,6 kann dahingehend interpretiert werden, dass sich der Elektrodynamik-Unterricht in motivationaler Hinsicht von vorhergehenden Unterrichtserfahrungen der Schüler weder auf besonders positive noch besonders negative Weise unterschied. Der motivationale Aspekt wird in detaillierter Form in Schritt 14 analysiert.

### Leistungsinventar

Tabelle 44 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen (nichtzentrierten) Datenmaterials zur Performanz in Elektrodynamik. Es ist zubeachten, dass der ECCE II (Wechselstromkreise) lediglich als Nachtest eingesetzt werden konnte, da die Schüler zuvor noch nie mit der angesprochenen Thematik in Berührung gekommen waren.

Tab.44: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nichtzentrierten Datenmaterials zur Performanz

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VT</b>					
KTE	44	,13	,75	,40	,15
ECCE I	44	,19	,63	,40	,12
ECCE II	43				
CSE	44	,17	,63	,41	,12
CSM	44	,00	,79	,20	,21
<b>NT</b>					
KTE	44	,25	,88	,62	,18
ECCE I	44	,31	,94	,62	,14
ECCE II	43	,14	1	,62	,27
CSE	44	,25	,83	,60	,16
CSM	44	,07	,79	,41	,21

Multipliziert man die VT- und NT-Werte mit 100, so erhält man den Anteil an korrekt beantworteten Items in Prozent.

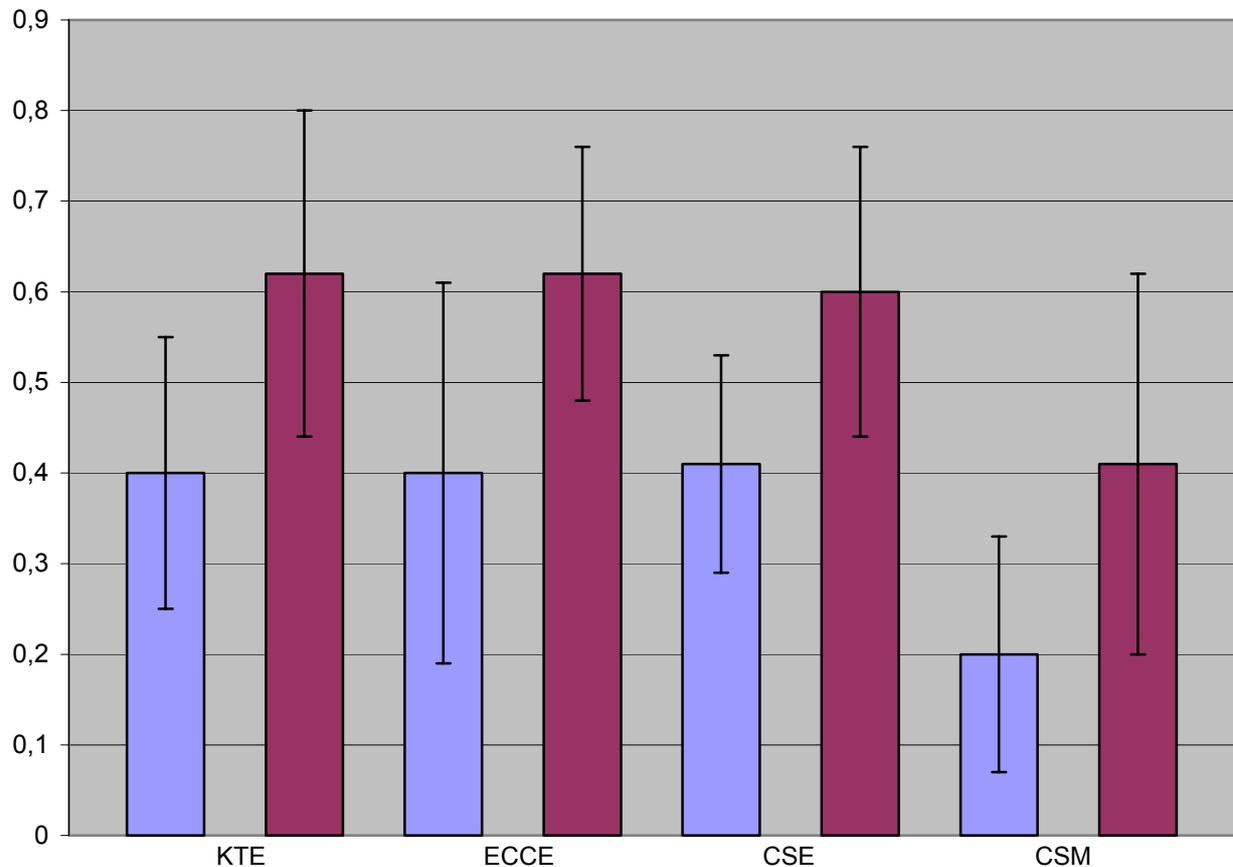


Abb.26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen VT, NT (Performanz) für die Regressionsvarianten „KTE“, „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“

Abbildung 26 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 44 für die vier Regressionsvarianten „KTE“, „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“.

Auf die Mittelung zweier thematisch zusammengehöriger Testinventare wurde aus Gründen zu geringer Korrelationen beziehungsweise thematischer Unterschiede verzichtet (siehe Tabellen 45 und 46): Obwohl die Inventare „KTE“ und „ECCE“ den gleichen thematischen Bezug haben, ergibt sich weder bei den Vor- noch den Nachtests ein wechselseitiger, signifikanter Zusammenhang, ein Umstand, der Zweifel aufkommen lässt an der Fähigkeit der Instrumente, einen potentiellen Leistungszuwachs der Schüler auf effiziente Weise abzubilden.

Tab.45: Korrelationskoeffizienten nach Pearson und zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten für die im Rahmen der Elektrodynamikphase der Feldstudie eingesetzten Leistungsinstrumente (Vor-testwerte)

Inventar		KTE	ECCE	CSE	CSM
KTE	r	1	,19	,17	,22
	p		,29	,35	,20
ECCE	r	,19	1	,30*	,16
	p	,29		,08	,37
CSE	r	,17	,30*	1	,03
	p	,35	,08		,88
CSM	r	,22	,16	,03	1
	p	,20	,37	,88	

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tab.46: Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die im Rahmen der Elektrodynamikphase der Feldstudie eingesetzten Leistungsinstrumente (Nachttestwerte)

Inventar		KTE	ECCE	CSE	CSM
KTE	r	1	,25	,27	,56**
	p		,16	,12	,000
ECCE	r	,25	1	,34*	,48**
	p	,16		,04	,00
CSE	r	,27	,34*	1	,26
	p	,12	,04		,14
CSM	r	,56**	,48**	,26	1
	p	,00	,00	,14	

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

### Schritt 5: Berechnung der Korrelationen

#### Leistungsinventar KTE

Tab.47: Zusammenhangsmaße r und η bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	GR	MOT	GR_VT	GR_DN	NT
PN	1	,18	-,21	,01	-,03	,12	,14	-,01**	-,2
p		,25	,17	,94	,85	,45	,37	,01	,27
DN	,18	1	,24	,28	,27	,16	,07	,03	,00
p	,25		,12	,07	,07	,29	,65	,85	,98
GE <sup>75</sup>	-,21	,24	1	-,51***	,17	-,14	-,20	,28	-,24
p	,17	,12		,00	,27	,37	,19	,06	,12
VT	,01	,28	-,51***	1	,07	,22	,02	-,06	,34*
p	,94	,07	,00		,66	,15	,91	,73	,03
GR <sup>75</sup>	-,03	,27	,17	,07	1	,10	,06	,01	,12
p	,85	,07	,27	,66		,50	,68	,93	,44

<i>VAR</i>	<i>PN</i>	<i>DN</i>	<i>GE</i>	<i>VT</i>	<i>GR</i>	<i>MOT</i>	<i>GR_VT</i>	<i>GR_DN</i>	<i>NT</i>
<i>MOT</i>	,12	,16	-,14	,22	,10	1	,15	-,27	,35*
<i>p</i>	,45	,29	,37	,15	,50		,33	,08	,02
<i>GR_VT</i>	,14	,07	-,20	,02	,06	,15	1	-,26	,01
<i>p</i>	,37	,65	,19	,91	,68	,33		,09	,96
<i>GR_DN</i>	-,01**	,03	,28	-,06	,01	-,27	-,26	1	-,07
<i>p</i>	,01	,85	,06	,73	,93	,08	,09		,67
<i>NT</i>	-,17	,00	-,24	,34*	,12	,35*	,01	-,07	1
<i>p</i>	,27	,98	,12	,03	,44	,02	,96	,67	

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses *NT* werden die Prädiktoren Vortestergebnis (Performanz) und Motivation (potentiell) signifikant (Hypothesen 2,3). Die Einflüsse von Gruppenzugehörigkeit *GR* sowie Geschlecht *GE* werden zwar nicht signifikant, finden infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothesen 1,4);
- Interaktionseffekte gewinnen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachttestergebnis (Hypothesen 6,7,8);
- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 48 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.48: Ergebnisse der Regressionen der *aV* „*NT*“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten.

Regression Nr.	Prädiktor	Potentieller Suppressor
1	<i>DN</i> $b_{DN} = 0,01; p = 0,85$	<i>GR</i> $b_{GR} = -0,046; p = 0,43$
2	<i>GR_DN</i> $b_{VM_VT} = 0,05; p = 0,68$	<i>GR_VT</i> $b_{GR_VT} = 0,024; p = 0,95$

Anmerkung:

Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

- Die Physiknote am Ende der Sekundarstufe I verhält sich hinsichtlich der Geschlechtsabhängigkeit nicht theoriekonform (Hypothese 10). Sie ist für das Nachttestergebnis (Performanz; wie für das Vortestergebnis auch) ohne Bedeutung;

- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9);
- Die Prädiktoren *GE* und *VT* hängen in theoriekonformer, höchstsignifikanter Weise zusammen (Kollinearität!; Hypothese 10);
- Die Motivation am Ende der Instruktion in Kontrollgruppe und Experimentalgruppe hat das gleiche Level (Hypothese 14) .

### Leistungsinventar ECCE I

Tab.49: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	GR	MOT	GR_VT	GR_DN	NT
<b>PN</b>	1	,19	-,20	-,29	,01	,11	,38*	-,37*	-,20
<i>P</i>		,22	,21	,06	,97	,50	,01	,01	,20
<b>DN</b>	,19	1	-,23	-,04	,30*	,20	-,01	-,02	-,01
<i>P</i>	,22		,14	,82	,05	,21	,96	,91	,94
<b>GE<sup>75</sup></b>	-,20	-,23	1	-,25	,11	-,15	,23	,27	-,41**
<i>P</i>	,21	,14		,10	,49	,33	,13	,08	,01
<b>VT</b>	-,29	-,04	-,25	1	,06	,02	-,11	-,01	,54***
<i>P</i>	,06	,82	,10		,69	,91	,49	,96	,00
<b>GR<sup>75</sup></b>	,01	,30*	,11	,06	1	,14	-,00	,01	-,03
<i>P</i>	,97	,05	,49	,69		,38	,99	,93	,85
<b>MOT</b>	,11	,20	-,15	,02	,14	1	,13	-,28	,05
<i>P</i>	,50	,21	,33	,91	,38		,40	,07	,74
<b>GR_VT</b>	,38*	-,01	,23	-,11	-,00	,13	1	-,02	-,08
<i>P</i>	,01	,96	,13	,49	,99	,40		,91	,62
<b>GR_DN</b>	-,37*	-,02	,27	-,01	,01	-,28	-,02	1	-,13
<i>P</i>	,01	,91	,08	,96	,93	,07	,91		,39
<b>NT</b>	-,20	-,01	-,41**	,54***	-,03	,05	-,08	-,13	1
<i>P</i>	,20	,94	,01	,00	,85	,74	,62	,39	

#### Anmerkungen:

- \* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.
- \*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.
- \*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses *NT* werden die Prädiktoren Vortestergebnis *VT* und Geschlecht *GE* (potentiell) signifikant (Hypothesen 3,4). Die Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit *GR* und der Motivation werden zwar nicht signifikant, finden infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothesen 1,2);
- Interaktionseffekte gewinnen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachttestergebnis (Hypothesen 6,7,8);
- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 50 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Er-

gebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.50: Ergebnisse der Regressionen der  $aV_{„NT“}$  zum Aufspüren von Suppressoreffekten.

Regression Nr.	Prädiktor	Potentieller Suppressor
1	$DN$ $b_{DN} = -0,01; p = 0,94$	$GR$ $b_{GR} = -0,04; p = 0,54$
2	$GR\_DN$ $b_{GR\_DN} = -0,084; p = 0,50$	$MOT$ $b_{MOT} = -0,05; p = 0,24$

Anmerkung:

Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

- Physiknote und Vortestergebnis (Performanz) korrelieren positiv auf schwachem Niveau;
- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig;
- Die Prädiktoren  $GE$  und  $VT$  hängen in theoriekonformer, signifikanter Weise zusammen (einseitige Testung; Kollinearität!).

#### Leistungsinventar ECCE II

Bemerkung: Um das Vorwissen als Prädiktor im Rahmen der Evaluation dieses Inventars einbringen zu können, wird der Nachtestscore des ECCE I als Vortestscore für den nun folgenden Teil der Untersuchung verwendet.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse (Tabelle 51) erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachtestergebnisses  $NT$  wird keiner der Prädiktoren signifikant;
- Um eventuell vorhandene Suppressoreffekte weitgehend ausschließen zu können, wird in Schritt 6 eine multiple Regressionsanalyse mit den Prädiktoren  $VT$ ,  $GR$ ,  $MOT$  und  $GE$  durchgeführt;
- Interaktionseffekte gewinnen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachtestergebnis (Hypothesen 6,7,8);

Tab.51: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	GR	MOT	GR_VT	GR_DN	NT
<b>PN</b>	1	,22	-,27	-,14	-,02	,10	-,14	-,36*	-,09
P		,15	,09	,38	,92	,53	,38	,02	,58
<b>DN</b>	,22	1	-,23	-,02	-,26	,20	,22	-,06	,02
P	,15		,14	,89	,10	,19	,16	,68	,89
<b>GE<sup>75</sup></b>	-,27	-,23	1	-,40**	-,21	-,17	-,21	,37*	,11
P	,09	,14		,01	,19	,27	,18	,02	,49
<b>VT</b>	-,14	-,02	-,40**	1	-,12	,07	-,03	-,23	,09
P	,38	,89	,01		,43	,64	,87	,15	,55
<b>GR<sup>75</sup></b>	-,02	-,26	-,21	-,12	1	,14	,01	-,02	,04
P	,92	,10	,19	,43		,36	,94	,88	,81
<b>MOT</b>	,10	,20	-,17	,07	,14	1	-,10	-,28	,14
P	,53	,19	,27	,64	,36		,54	,07	,38
<b>GR_VT</b>	-,14	,22	-,21	-,03	,01	-,10	1	,00	,14
P	,38	,16	,18	,87	,94	,54		,99	,36
<b>GR_DN</b>	-,36*	-,06	,37*	-,23	-,02	-,28	,00	1	-,11
P	,02	,68	,02	,15	,88	,07	,99		,49
<b>NT</b>	-,09	,02	,11	,09	,04	,14	,14	-,11	1
P	,58	,89	,49	,55	,81	,38	,36	,49	

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

- Die Physiknote am Ende der Sekundarstufe I verhält sich hinsichtlich der Geschlechtsabhängigkeit nicht theoriekonform (Hypothese 10). Sie ist für das Nachttestergebnis (Performanz; wie für das Vortestergebnis auch) ohne Bedeutung;
- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9).

### Leistungsinventar CSE

Tab.52: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	GR	MOT	GR_VT	GR_DN	NT
<b>PN</b>	1	,14	-,20	-,42**	,06	,09	-,23	-,37*	-,23
P		,35	,20	,01	,70	,55	,13	,01	,13
<b>DN</b>	,14	1	-,24	-,05	,27	,18	-,04	,01	,11
P	,35		,12	,76	,07	,26	,78	,94	,47
<b>GE<sup>75</sup></b>	-,20	-,24	1	-,25	,17	-,14	-,11	,31*	-,36*
P	,20	,12		,10	,27	,36	,49	,04	,02
<b>VT</b>	-,42**	-,05	-,25	1	-,04	-,02	,31*	-,03	,49***
P	,01	,76	,10		,80	,90	,04	,83	,00
<b>GR<sup>75</sup></b>	,06	-,27	,17	-,04	1	,11	-,05	,08	-,11
P	,70	,07	,27	,80		,46	,73	,62	,49
<b>MOT</b>	,09	,18	-,14	-,02	,11	1	,06	-,27	,03
P	,55	,26	,36	,90	,46		,70	,07	,87

VAR	PN	DN	GE	VT	GR	MOT	GR_VT	GR_DN	NT
GR_VT	-,23	-,04	-,11	,31*	-,05	,06	1	-,04	,07
P	,13	,78	,49	,04	-,73	,70		,78	,66
GR_DN	-,37*	,01	,31*	-,03	,08	-,27	-,04	1	-,16
P	,01	,94	,04	,83	,62	,07	,78		,30
NT	-,23	,11	-,36*	,49***	-,11	,03	,07	-,16	1
P	,13	,47	,02	,00	,49	,87	,66	,30	

Anmerkungen:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses *NT* werden die Prädiktoren Vortestergebnis *VT* und Geschlecht *GE* (potentiell) signifikant (Hypothesen 3,4). Die Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit *GR* und der Motivation werden zwar nicht signifikant, finden infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothesen 1,2);
- Das Auftreten eines signifikanten Korrelationskoeffizienten der Prädiktoren *VT* und *GR\_VT* deutet auf ein Kollinearitätsproblem hin, das mit Hilfe der Zentrierung nicht behoben werden konnte. Die Regression des Nachttestescores *NT* auf *GR\_VT*, *VT* beziehungsweise *GR\_VT* und *VT* (in einem Modell) erbrachte folgendes Ergebnis:

Tab.53: Ergebnisse der Regressionen des Nachttestescores (Performanz) auf die Prädiktoren *GR\_VT* und *VT* in verschiedenen Modellen

Mo- dell uV	1		2		3	
	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>
<i>GR_VT</i>	,18	,66			,24	,52
<i>VT</i>			,65***	,001	,69***	,001

Anmerkung:

\*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Während der Regressor *GR\_VT* in keinem Falle einen signifikanten Einfluss erhält, wird *VT* in allen Modellen, in denen er enthalten ist, hoch- beziehungsweise höchstsignifikant. Aus diesem Grunde erfolgt keine Einbeziehung von *GR\_VT* in das weitere Evaluationsprozedere.

- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 54 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.54: Ergebnisse der Regressionen der  $\Delta V_{NT}$  zum Aufspüren von Suppressoreffekten. Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

Regression Nr.	Prädiktor	Potentieller Suppressor
1	DN $b_{DN} = ,03 ; p = ,58$	GR $b_{GR} = ,026 ; p = ,61$
2	GR_DN $b_{GR\_DN} = -,11 ; p = ,30$	MOT $b_{MOT} = -,01 ; p = ,90$

- Physiknote und Vortestergebnis (Performanz) korrelieren positiv auf hochsignifikantem Niveau;
- Physiknote und Nachtestergebnis (Performanz) korrelieren positiv, jedoch nicht signifikant;
- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9);
- Die Prädiktoren GE und VT hängen in theoriekonformer, signifikanter Weise zusammen (einseitige Testung; Kollinearität!; Hypothese 10).

**Leistungsinventar CSM**

Tab.55: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta^2$  bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen<sup>74</sup>

VAR	PN	DN	GE	VT	GR	MOT	GR_VT	GR_DN	NT
<b>PN</b>	1	,19	-,20	-,11	,01	,11	-,05	-,37*	-,33*
<i>P</i>		,21	,20	,50	,94	,49	,73	,01	,03
<b>DN</b>	,19	1	-,26	-,12	-,28	,19	-,23	-,05	,19
<i>P</i>	,21		,09	,45	,07	,21	,14	,77	,22
<b>GE<sup>5</sup></b>	-,20	-,26	1	-,13	-,15	-,15	-,08	,31*	-,42**
<i>P</i>	,20	,09		,41	,34	,34	,59	,04	,01
<b>VT</b>	-,11	-,12	-,13	1	,08	,13	,44**	-,20	,34*
<i>P</i>	,50	,45	,41		,60	,41	,00	,20	,03
<b>GR<sup>5</sup></b>	,01	-,28	-,15	,08	1	-,13	,15	-,04	,08
<i>P</i>	,94	,07	,34	,60		,39	,33	,79	,60
<b>MOT</b>	,11	,19	-,15	,13	-,13	1	,13	-,28	,34**
<i>P</i>	,49	,21	,34	,41	,39		,39	,07	,02
<b>GR_VT</b>	-,05	-,23	-,08	,44**	,15	,13	1	,11	,25
<i>P</i>	,73	,14	,59	,00	,33	,39		,48	,10
<b>GR_DN</b>	-,37*	-,05	,31*	-,20	-,04	-,28	,11	1	-,19
<i>P</i>	,01	,77	,04	,20	,79	,07	,48		,22
<b>NT</b>	-,33*	,19	-,42**	,340*	,08	,34**	,25	-,19	1
<i>P</i>	,03	,22	,01	,03	,60	,02	,10	,22	

**Anmerkungen:**

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses *NT* werden die Prädiktoren Vortestergebnis *VT*, Motivation *MOT* und Geschlecht *GE* (potentiell) signifikant (Hypothesen 2,3,4). Gleiches gilt erstmalig für die Interaktionsvariable *GR\_VT* (Hypothese 7). Der Einfluss der Gruppenzugehörigkeit *GR* wird zwar nicht signifikant, findet infolge ihrer theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothese 1);
- Das Auftreten eines signifikanten Korrelationskoeffizienten der Prädiktoren *VT* und *GR\_VT* deutet auf ein Kollinearitätsproblem hin, das mit Hilfe der Zentrierung nicht behoben werden konnte. Die Regression des Nachttestescores *NT* auf *GR\_VT*, *VT* beziehungsweise *GR\_VT* und *VT* (in einem Modell) erbrachte folgendes Ergebnis:

Tab.56: Ergebnisse der Regressionen des Nachttestescores (Performanz) auf die Prädiktoren „*GR\_VT*“ und „*VT*“ in verschiedenen Modellen

Mo- dell uV	1		2		3	
	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>
<i>GR_VT</i>	,78*	,10			,40	,44
<i>VT</i>			,53*	,03	,45*	,09

Anmerkung:

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Während der Regressor *GR\_VT* lediglich im ersten Modell einen statistisch bedeutsamen Einfluss erhält, wird *VT* in allen Modellen, in denen er enthalten ist, signifikant. Des weiteren treten keine bedeutenden Korrelationen zwischen *GR\_VT* und anderen, relevanten Prädiktoren auf. Aus diesem Grunde erfolgt keine Einbeziehung von *GR\_VT* in das weitere Evaluationsprozedere.

- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1) . Tabelle 57 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten drei trivariaten Regressionen.

Tab.57: Ergebnisse der Regressionen der *aV NT* zum Aufspüren von Suppressoreffekten. Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten *p*

Regression	Prädiktor	Potentieller Suppressor
	<i>DN</i>	<i>GR</i>
	$b_{DN} = ,01 ; p = ,15$	$b_{GR} = ,06 ; p = ,36$

- Physiknote und Vortestergebnis (Performanz) weisen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang auf;
- Physiknote und Nachtestergebnis (Performanz) korrelieren positiv auf signifikantem Niveau (Hypothese 3);
- Die Deutschnote (als Operationalisierung der Sprachkompetenz) ist nicht signifikant vom Geschlecht abhängig (Hypothese 9);
- Die Prädiktoren *GE* und *VT* weisen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang auf (Hypothese 10).

Eingehende, weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

Schritt 6: Multiple Regression des Nachtestescores (Performanz)

Tabelle 58 informiert über globale Gütemaße der ausgeführten Regressionen.

Tab.58: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalysen für die fünf Regressionsvarianten. Abhängige Variable: NT

	$R^2$	$R_K^2$	SEE	F	p
<b>KTE</b>	,21	,13	,17	2,53	,06
<b>ECCE I</b>	,37***	,31	,12	5,63	,001
<b>ECCE II</b>	,06	-,04	,28	,60	,67
<b>CSE</b>	,31**	,23	,14	4,29	,006
<b>CSM</b>	,32**	,25	,18	4,64	,004

Anmerkung:

\*\* Der Determinationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant.

\*\*\* Der Determinationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 signifikant.

Es ist zu konstatieren, dass die Determinationskoeffizienten der Regressionsvarianten „KTE“ und „ECCE II“ nicht signifikant werden. Im Falle des KTE weist dieser Umstand eindeutig auf die Untauglichkeit des Inventars für den Einsatz in Studien hin, denen es um (globale) Evaluationen von Unterrichtskonzepten geht. Dass der ECCE II keine statistisch aussagekräftigen Ergebnisse liefert, findet seine Begründung in dem Umstand, dass das Versuchsprozedere kein klares, kontrolliertes Vornachtestdesign aufwies.

KTE und ECCE II werden aus dem weiteren Auswertungsgang ausgeschlossen.

Das Datenmaterial von Tabelle liefert des weiteren Anhaltspunkte dafür, dass die statistischen Modelle der Regressionsvarianten den unterrichtlichen Status Quo in erheblich weniger effizienter Weise abbilden als es in der Mechanik gewesen ist: Die Determinationskoeffizienten im ersten Teil der Studie liegen deutlich über denen der Elektrodynamik. In diesem Zusammenhang wäre unter anderem die Frage zu stellen,

in welchem Maße es den Leistungsinventaren der Elektrodynamik gelingt, potentiellen Lernzuwachs der Schüler adäquat zu messen. Des weiteren muss überdacht werden, inwieweit es Sinn macht, Inventare, die bereits ein nicht unerhebliches Maß an formalen und fachlichen Kenntnissen voraussetzen, in Anfängergruppen einzusetzen.

Tabelle 59 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige lokale Gütemaße auf. Vorbehaltlich der Ergebnisse der noch zu realisierenden Verteilungs- und Stabilitätstests können an dieser Stelle folgende, vorläufige Resultate genannt werden:

- Der Einfluss des Leistungsvortests wird in allen drei Analysen in mehr oder weniger ausgeprägtem Maße signifikant (Hypothese 3);
- Der Einfluss der Gruppenzugehörigkeit wird in keiner Regressionsvariante signifikant (Hypothese 1);
- Der Motivationsaspekt wird (lediglich) im Rahmen der CSM-Variante signifikant (Hypothese 2);
- Das Geschlecht erhält in allen drei Regressionsanalysen einen theoriekonformen, statistisch bedeutsamen Einfluss auf den Nachtestscore (Hypothese 4).

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass an dieser Stelle jedoch noch keine Aussage über die praktische Bedeutsamkeit dieser Prädiktoren getätigt werden kann.

#### *Überprüfung auf Heteroskedastizität*

Die Sichtprüfung der Diagramme in Abbildung 27, in denen die standardisierten Residuen der Regressionen gegen die standardisierten Schätzwerte aufgetragen sind, liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorhandener Varianzinhomogenitäten (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Tab.59: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen für die fünf verschiedenen Varianten „KTE“, „ECCE I“, „ECCE II“, „CSE“ und „CSM“. Abhängige Variable: NT

		<b>VT</b>	<b>GR</b>	<b>MOT</b>	<b>GE</b>
<b>(KTE)</b>	<i>b</i>	,26	-,03	,08*	-,05
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,21	,05	,04	,08
	<i>t</i>	1,26	-,64	1,89	-,62
	<i>p</i>	,22	,53	,07	,54
<b>ECCE I</b>	<i>b</i>	,56***	,01	,00	-,11*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,16	,04	,03	,05
	<i>t</i>	3,5	,21	,03	-2,1
	<i>p</i>	,00	,83	,98	,04
<b>(ECCE II)</b>	<i>b</i>	,31	,00	,07	,14
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,33	,09	,07	,12
	<i>t</i>	,93	,05	1	1,14
	<i>p</i>	,36	,96	,33	,26
<b>CSE</b>	<i>b</i>	,57**	,02	,00	-,10*
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,18	,04	,03	,06
	<i>t</i>	3,10	,37	,03	-1,73
	<i>p</i>	,00	,72	,98	,09
<b>CSM</b>	<i>b</i>	,41*	,02	,08*	-,18**
	<i>SEE<sub>b</sub></i>	,21	,06	,04	,07
	<i>t</i>	1,91	,34	1,9	-2,51
	<i>p</i>	,06	,74	,06	,02

Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Zur Durchführung des Levene-Tests auf Homoskedastizität (diesbezüglich die Nullhypothese  $H_0$ ) werden jeweils die Residuen Gruppen  $\hat{Y} \geq 0$  sowie  $\hat{Y} < 0$  gebildet. Tabelle 60 informiert über Prüfgrößen und Irrtumswahrscheinlichkeiten:

Tab.60: Levene-Test zur Homoskedastizität für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“

	<b>Levene- Prüfgröße</b>	<b>p</b>
<b>ECCE I</b>	,00	,95
<b>CSE</b>	1,12	,30
<b>CSM</b>	,00	,97

Es ist zu konstatieren, in keinem Analysefall von Heteroskedastizität ausgegangen werden muss.

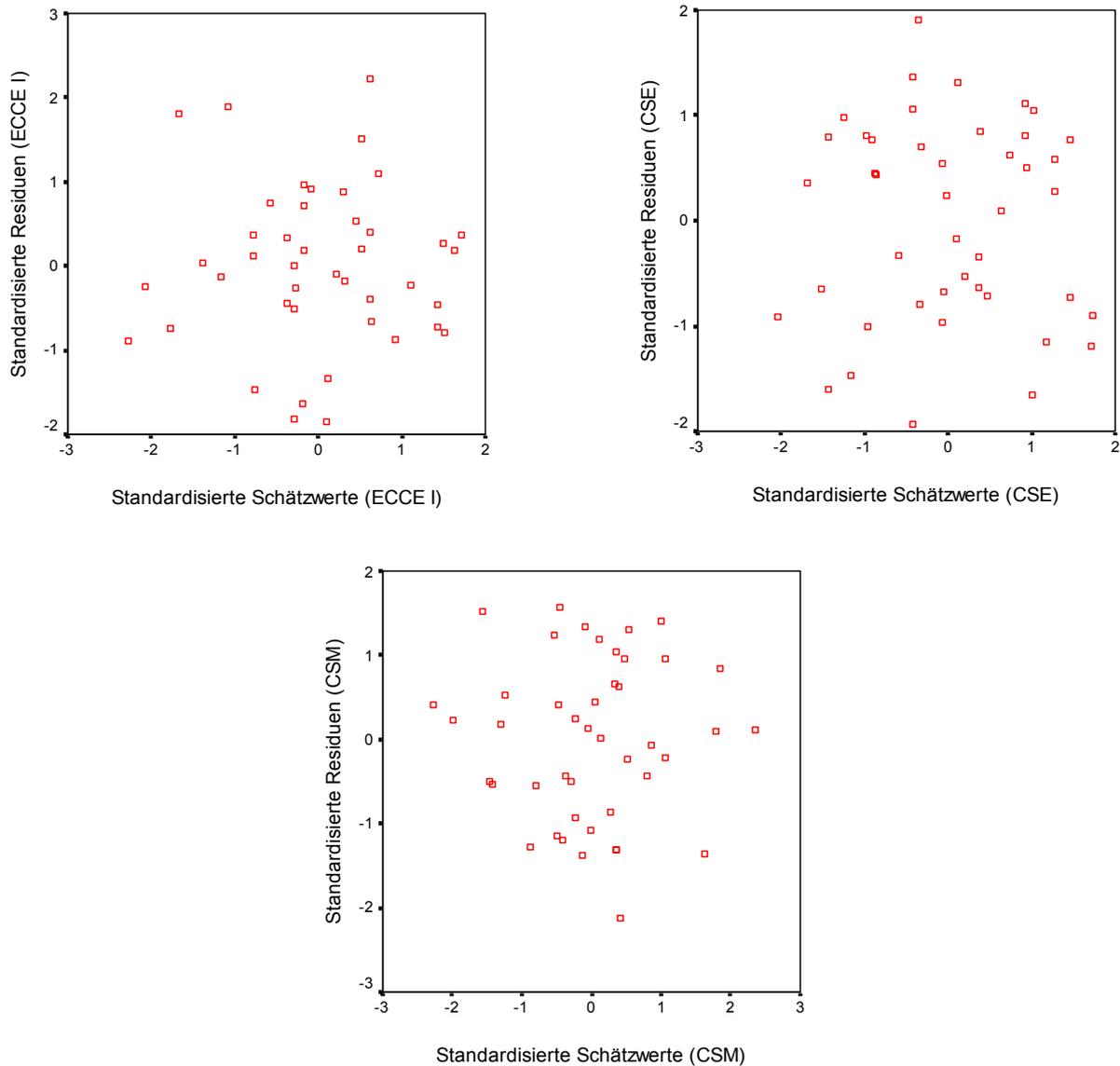


Abb.27: Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“

### 9. Schritt: Test der Residuen auf Normalverteilung

Die Diagramme von Abbildung 28 zeigen die Residuen-Histogramme (mit Normalverteilungskurven) für die drei Regressionsvarianten. Tabelle 61 führt die Ergebnisse der Kolmogorov-Smirnov-Tests auf, die in allen drei Fällen im Sinne einer vermuteten Normalverteilung ausfallen. Die Prüfgrößen hinsichtlich Schiefe und Kurtosis bleiben betragsmäßig stets kleiner als zwei, sodass man (im Rahmen statistischer Unwägbarkeiten) von Normalverteilungen der Residuen bei allen drei Regressionsvarianten ausgehen kann (Erläuterungen finden sich in Unterkapitel 3.2.6.1).

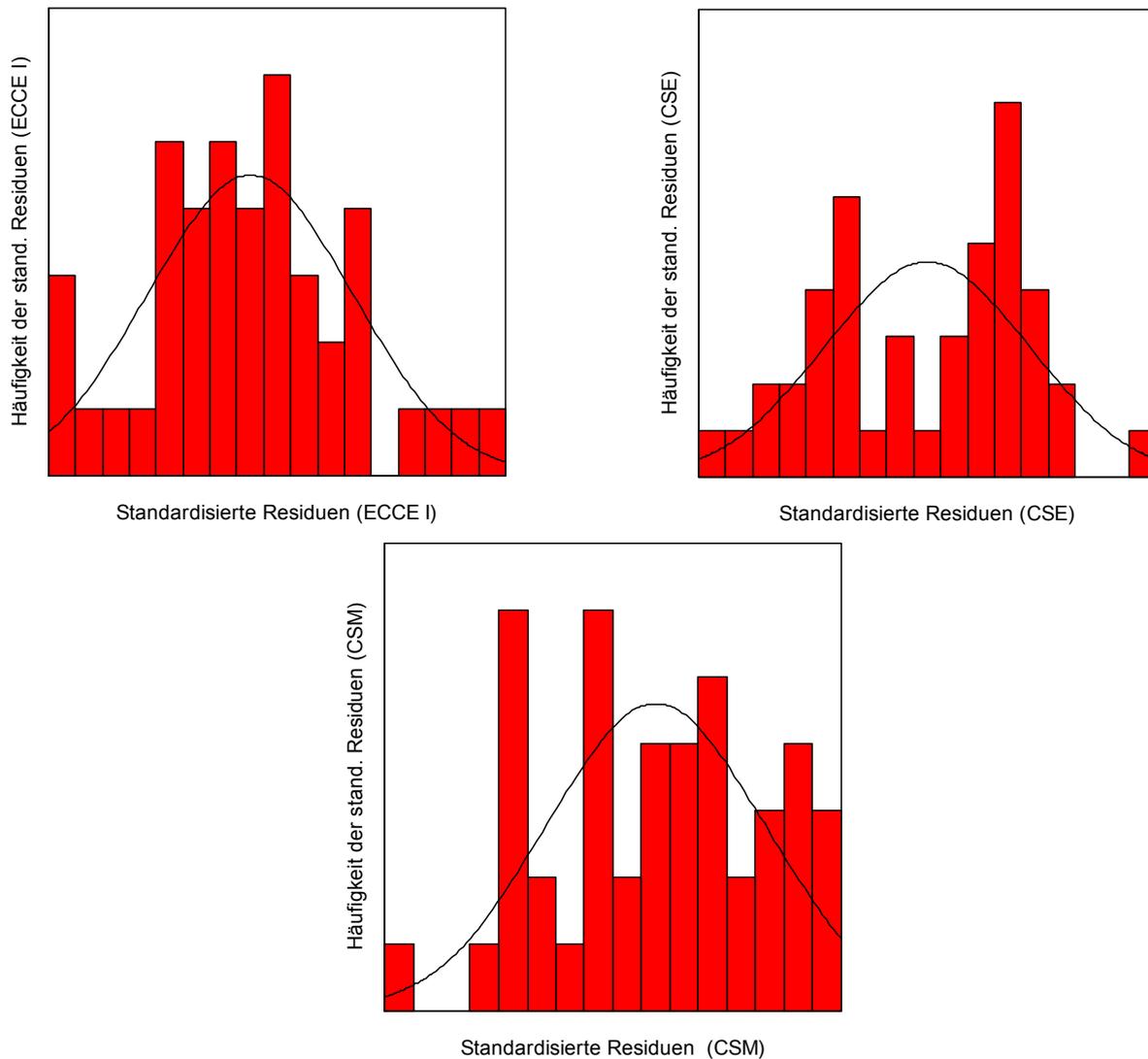


Abb.28: Residuenhistogramme mit theoretischen Normalverteilungskurven für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“

Tab.61: Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“

	Kolmogorov-Smirnov		Schiefe			Kurtosis		
	D	p	S	$SEE_S$	$\frac{S}{SEE_S}$	K	$SEE_K$	$\frac{K}{SEE_K}$
ECCE I	,55	,92	,19	,36	,53	,05	,71	,07
CSE	,88	,43	-,20	,36	,56	-,96	,70	-1,37
CSM	,49	,97	-,15	,36	-,42	-,87	,70	-1,24

### 10. Schritt: Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen

Die Diagramme der Abbildungen 27 (S.160), in denen die standardisierten Residuen in Abhängigkeit von den standardisierten Schätzwerten zu sehen sind, weisen keine auffälligen Zusammenhänge auf. Die Korrelationsanalysen für die drei Regressions-

varianten (Tabelle 62) bestätigen diese Vermutung. Somit kann von einer akzeptablen Effizienz des linearen Regressionsmodells ausgegangen werden.

Tab.62: Korrelationskoeffizienten  $r$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  von standardisierten Residuen (Beträge)<sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“

		$ \hat{u}' $	
$\hat{Y}'$	ECCE I	$r$	-,11
		$p$	,50
	CSE	$r$	-,08
		$p$	,63
	CSM	$r$	,02
		$p$	,92

### 11. Schritt: Stabilitätstests (Multikollinearität)

Tabelle 63 informiert über Toleranz-Maßzahlen, die sich für die relevanten Prädiktoren der drei verschiedenen Regressionsvarianten ergeben.

Tab.63: Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“

	<b>VT</b>	<b>GR</b>	<b>MOT</b>	<b>GE</b>
<b>ECCE I</b>	,93	,96	,95	,89
<b>CSE</b>	,93	,95	,96	,88
<b>CSM</b>	,97	,95	,94	,94

Alle Maßzahlen sind deutlich größer als 0,25, was als erster Hinweis darauf gewertet werden kann, dass das Problem der Multikollinearität von untergeordneter Bedeutung ist (siehe auch Unterkapitel 3.2.6.1).

Die nun folgenden Stabilitätstests sind nach der Anzahl der maximal eingebundenen Prädiktoren sowie nach Regressionsvariante geordnet und dienen dem Zweck, die Regressionskoeffizienten auf ihre Änderungsanfälligkeit bei Aufnahme weiterer Regressoren hin zu untersuchen. Auf diese Weise kann des weiteren eine eventuell vorhandene Multikollinearität unabhängiger Variablen aufgedeckt werden (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

In Tabelle 64 sind Regressionskoeffizienten  $b$  sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  für alle denkbaren Regressionsmodelle aufgeführt. Sie unterscheiden sich in der Anzahl der aufgenommenen, relevanten Prädiktoren.

*Regressionsvariante „ECCE I“*

*Tab.64: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „ECCE I“. Abhängige Variable ist der Nachtestscore (Performanz) NT*

uV	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p
<b>VT</b>	<b>,64***</b>	<b>,00</b>	<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,64***</b>	<b>,00</b>	<b>,55***</b>	<b>,00</b>	<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,56***</b>	<b>,00</b>	<b>,55***</b>	<b>,00</b>
GR <sup>75</sup>			,02	,64					,02	,61	,01	,83		
MOT					,01	,75			,01	,70			0,00	1
GE <sup>75</sup>							-,11*	,03			-,11*	,04	-,11***	,00
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,27		,26		,26		,34		,24		,32		,32	
<b>VT</b>			<b>,65***</b>	<b>,00</b>					<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,56***</b>	<b>,00</b>		
<b>GR<sup>75</sup></b>	<b>-,01</b>	<b>,85</b>	<b>,02</b>	<b>,64</b>	<b>-,01</b>	<b>,82</b>	<b>-,00</b>	<b>,92</b>	<b>,02</b>	<b>,61</b>	<b>,01</b>	<b>,83</b>	<b>,01</b>	<b>,91</b>
MOT					,01	,72			,01	,70			-,00	,94
GE							-,15**	,01			-,11*	,04	-,15**	,01
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	-,02		,26		-,05		,13		,24		,32		,11	
<b>VT</b>			<b>,64***</b>	<b>,00</b>					<b>,65***</b>	<b>,00</b>			<b>,55***</b>	<b>,00</b>
GR							-,01	,82	,02	,61	,01	,91		
<b>MOT</b>	<b>,01</b>	<b>,74</b>	<b>,01</b>	<b>,75</b>	<b>-,00</b>	<b>,95</b>	<b>,01</b>	<b>,72</b>	<b>,01</b>	<b>,70</b>	<b>-,00</b>	<b>,94</b>	<b>0,00</b>	<b>1</b>
GE					-,15**	,01					-,15**	,01	-,11***	,00
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	-,02		,26		,13		-,05		,24		,11		,32	
<b>VT</b>			<b>,55***</b>	<b>,00</b>							<b>,56***</b>	<b>,00</b>	<b>,55***</b>	<b>,00</b>
GR					-,00	,92			,01	,91	,01	,83		
MOT							-,00	,95	-,00	,94			0,00	1
<b>GE<sup>75</sup></b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,11*</b>	<b>,03</b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,15**</b>	<b>,01</b>	<b>-,11*</b>	<b>,04</b>	<b>-,11***</b>	<b>,00</b>
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,15		,34		,13		,13		,11		,32		,32	

Anmerkungen:

- \* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.
- \*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.
- \*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

**Regressionsvariante „CSE“****Tab.65: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „CSE“. Abhängige Variable ist der Nachtestscore (Performanz) NT**

uV	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p
<b>VT</b>	<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,57**</b>	<b>,00</b>	<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,57**</b>	<b>,00</b>	<b>,57**</b>	<b>,00</b>
GR			,03	,52					,03	,50	,02	,71		
MOT					,01	,78			,01	,74			-,00	,98
GE <sup>ts</sup>							-,10*	,07			-,10*	,08	-,10*	,07
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,22		,21		,21		,27		,20		,25		,25	
VT			<b>,65***</b>	<b>,00</b>					<b>,65***</b>	<b>,00</b>	<b>,57**</b>	<b>,00</b>		
<b>GR<sup>ts</sup></b>	<b>,03</b>	<b>,49</b>	<b>,03</b>	<b>,52</b>	<b>,04</b>	<b>,48</b>	<b>,02</b>	<b>,75</b>	<b>,03</b>	<b>,50</b>	<b>,02</b>	<b>,71</b>	<b>,01</b>	<b>,77</b>
MOT					,01	,81			,01	,74			-,01	,89
GE							-,14**	,02			-,10*	,08	-,14**	,02
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	-,01		,21		-,04		,09		,20		,25		,07	
VT			<b>,65***</b>	<b>,00</b>					<b>,65***</b>	<b>,00</b>			<b>,57**</b>	<b>,00</b>
GR							,04	,48	,03	,50	,01	,77		
<b>MOT</b>	<b>,01</b>	<b>,87</b>	<b>,01</b>	<b>,78</b>	<b>-,01</b>	<b>,86</b>	<b>,01</b>	<b>,81</b>	<b>,01</b>	<b>,74</b>	<b>-,01</b>	<b>,89</b>	<b>-,00</b>	<b>,98</b>
GE					-,14**	,02					-,14**	,02	-,10*	,07
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	-,02		,21		,09		-,04		,20		,07		,25	
VT			<b>,57**</b>	<b>,00</b>							<b>,57**</b>	<b>,00</b>	<b>,57**</b>	<b>,00</b>
GR					,02	,75			,01	,77	,02	,71		
MOT							-,01	,86	-,01	,89			-,00	,98
<b>GE<sup>ts</sup></b>	<b>-,14**</b>	<b>,02</b>	<b>-,10*</b>	<b>,07</b>	<b>-,14**</b>	<b>,02</b>	<b>-,14**</b>	<b>,02</b>	<b>-,14**</b>	<b>,02</b>	<b>-,10*</b>	<b>,08</b>	<b>-,10*</b>	<b>,07</b>
R <sup>2</sup> <sub>K</sub>	,11		,27		,09		,09		,07		,25		,25	

**Anmerkungen:**\* *Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.*\*\* *Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.*\*\*\* *Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.*

Die in den Tabellen 64, 65 und 66 aufgeführten Werte geben Anlass zu folgenden Schlussfolgerungen:

- In zwei von drei Regressionsvarianten stellt der Prädiktor „Vortestscore (Performanz)“ den Einflussfaktor mit der höchsten Signifikanz dar. Lediglich beim CSM erreicht der VT-Score nur das ,05-Level; er wird diesbezüglich vom Regressor „GE“ übertroffen;
- Die Gruppenzugehörigkeit wird als Einflussfaktor in keiner Regressionsvariante signifikant;
- Der Einfluss der Motivation wird lediglich in den Szenarien der CSM-Variante signifikant, und dies unabhängig von der Anzahl der Prädiktoren im Modell;

- Das Geschlecht wird als Einflussfaktor in allen Varianten und allen Szenarien (teilweise auf hohem Niveau) signifikant. Es zeigt sich eine in mehr oder weniger großem Maße vorhandene, von der Tendenz her theoriekonforme Kollinearität zwischen den Regressoren „Geschlecht“ und „Vortestscore“.

Regressionsvariante „CSM“

Tab.66: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „CSM“. Abhängige Variable ist der Nachtestscore (Performanz) NT

uV	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p	b	p
<b>VT</b>	<b>,53*</b>	<b>,03</b>	<b>,53*</b>	<b>,03</b>	<b>,47*</b>	<b>,04</b>	<b>,46*</b>	<b>,04</b>	<b>,46*</b>	<b>,05</b>	<b>,46*</b>	<b>,04</b>	<b>,41*</b>	<b>,06</b>
GR			,02	,71					-,04	,48	,00	,99		
MOT					,10*	,04			,10*	,03			,08*	,06
GE							-,20**	,01			-,20**	,01	-,18**	,01
$R^2_k$	,09		,07		,16		,22		,15		,20		,27	
VT			,53*	,03					,46*	,05	,46*	,04		
<b>GR<sup>75</sup></b>	<b>,03</b>	<b>,60</b>	<b>,02</b>	<b>,71</b>	<b>,05</b>	<b>,38</b>	<b>,00</b>	<b>,89</b>	<b>-,04</b>	<b>,48</b>	<b>,00</b>	<b>,99</b>	<b>,03</b>	<b>,63</b>
MOT					,11**	,019			,10*	,03			,09*	,04
GE							-,22**	,01			-,20**	,01	-,19*	,04
$R^2_k$	-,02		,07		,09		,14		,15		,20		,20	
VT			,47*	,04					,46*	,05			,41*	,06
GR							,05	,38	-,04	,48	,03	,63		
<b>MOT</b>	<b>,11**</b>	<b>,02</b>	<b>,10*</b>	<b>,04</b>	<b>,09*</b>	<b>,04</b>	<b>,11**</b>	<b>,02</b>	<b>,10*</b>	<b>,03</b>	<b>,09*</b>	<b>,04</b>	<b>,08*</b>	<b>,06</b>
GE					-,20**	,01					-,19*	,04	-,18**	,01
$R^2_k$	,10		,16		,22		,09		,15		,20		,27	
VT			,46*	,04							,46*	,04	,41*	,06
GR					,00	,89			,03	,63	,00	,99		
MOT							,09*	,04	,09*	,04			,08*	,06
<b>GE<sup>75</sup></b>	<b>-,22**</b>	<b>,01</b>	<b>-,20**</b>	<b>,01</b>	<b>-,22**</b>	<b>,01</b>	<b>-,20**</b>	<b>,01</b>	<b>-,19*</b>	<b>,04</b>	<b>-,20**</b>	<b>,00</b>	<b>-,18**</b>	<b>,01</b>
$R^2_k$	,16		,22		,14		,22		,20		,20		,27	

Anmerkungen:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

12. Schritt: Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren

Abbildung 29 zeigt die Streudiagramme der partiellen Residuen des Prädiktors „Vortestscore (Performanz) VT“ in Abhängigkeit von VT für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“. Die eingezeichneten Kurven wurden mit Hilfe des LO-

WESS-Verfahrens erstellt und visualisieren die (variierenden) Zusammenhänge zwischen Prädiktor und partiellen Residuen.

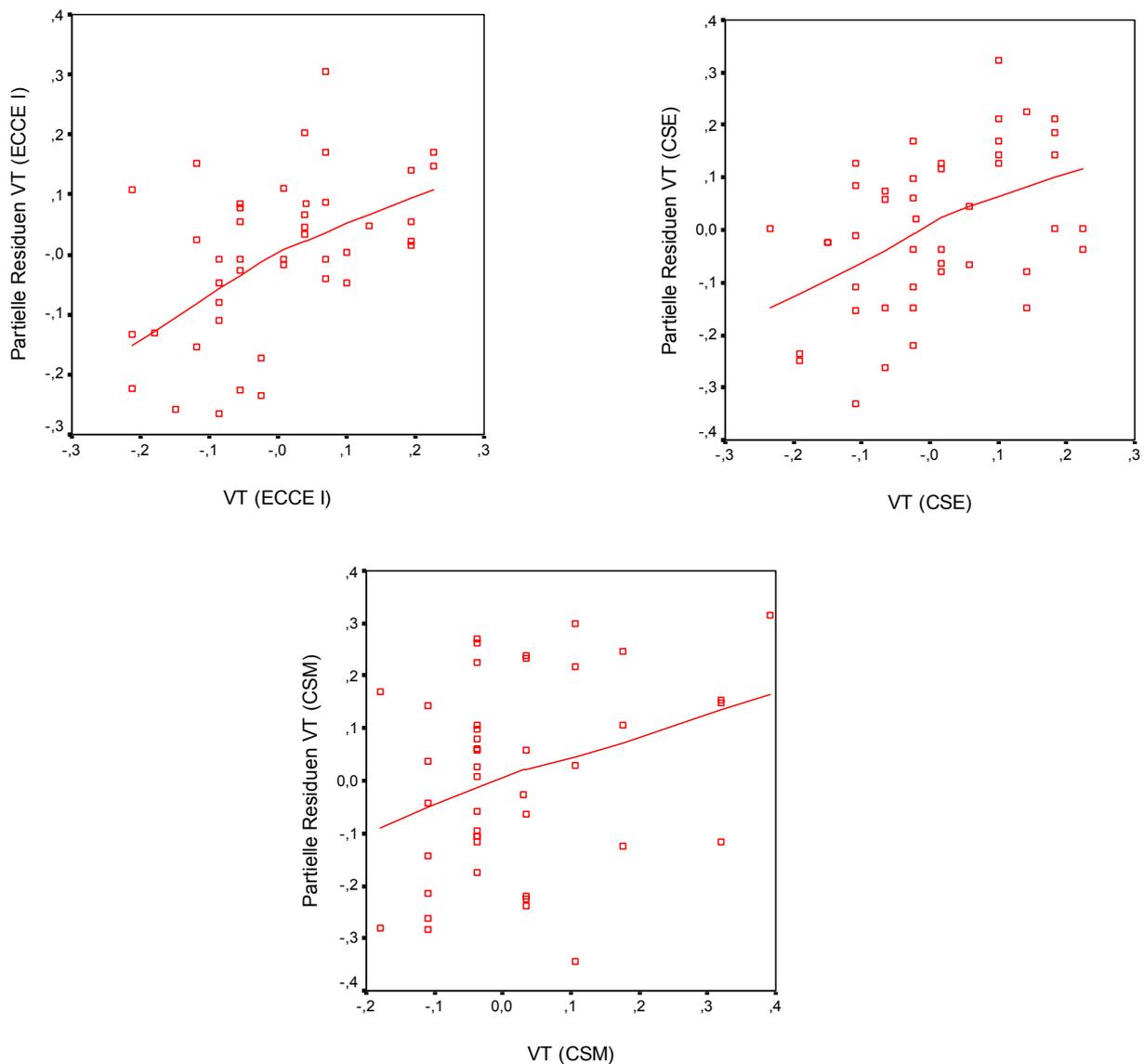


Abb.29: Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „VT“

Ein Vergleich mit den korrespondierenden Streudiagrammen des Mechanikbereiches (Unterkapitel 3.3) belegt ein deutlich höheres Maß an Streuung der partiellen Residuen dieses wichtigsten Prädiktors in der Elektrodynamik. Dieser Umstand ist als Indiz für die höhere Effizienz der Mechanikmodellierung gewertet werden.

Abbildung 30 zeigt die Streudiagramme der partiellen Residuen des Prädiktors Motivation *MOT* in Abhängigkeit von *MOT* für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“.

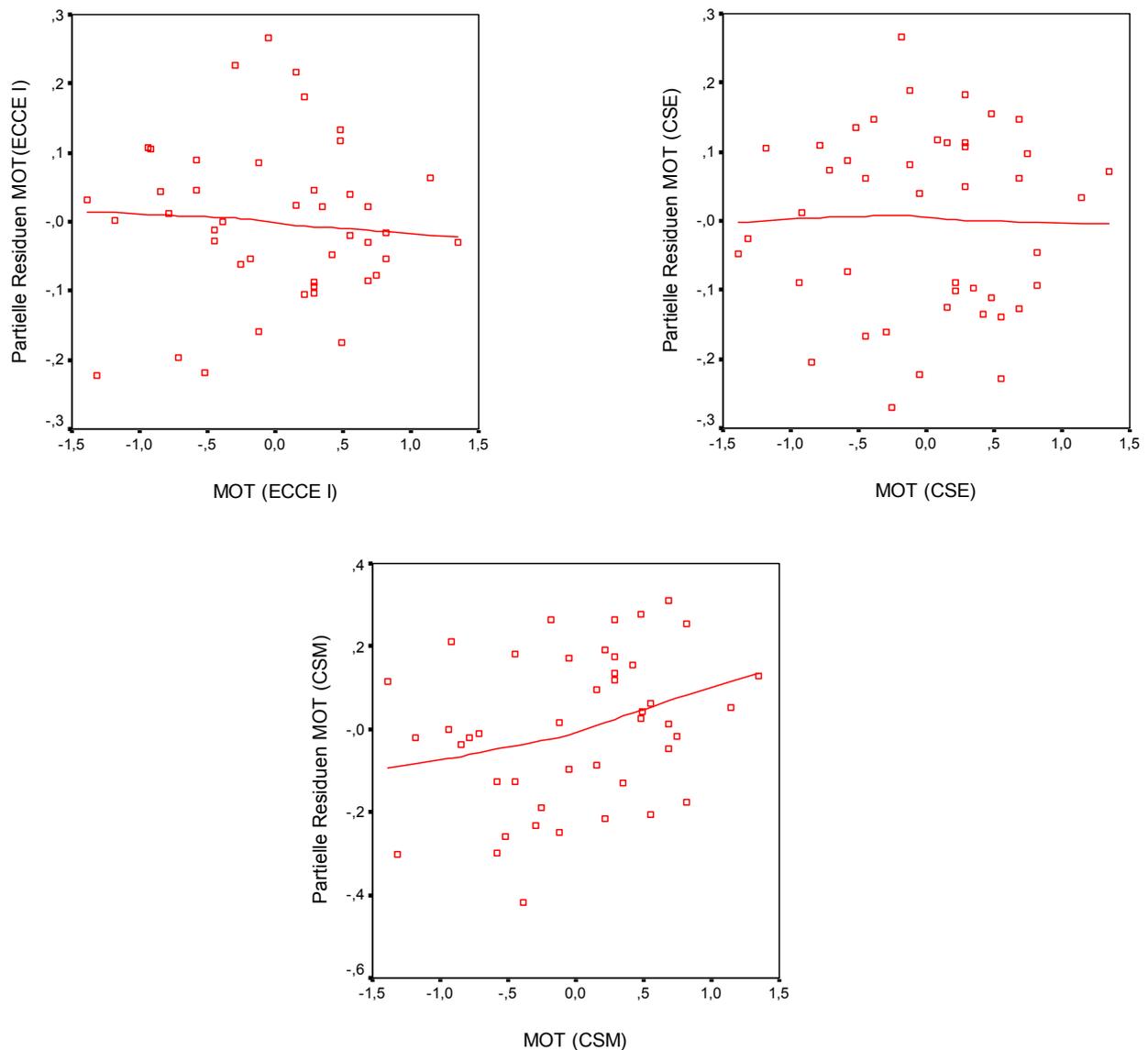


Abb.30: Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „MOT“ (Varianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“)

Während in jedem der drei Diagramme eine bedenkliche Streuung um die Kurve zu erkennen ist, ergibt sich lediglich im Falle der CSM-Variante ein recht klarer, ansteigender Kurvenverlauf.

Da es sich bei den Prädiktoren „Gruppenzugehörigkeit GR“ und „Geschlecht GE“ um dichotome Variablen handelt, wird auf die Berechnung der partiellen Residuen verzichtet.

### 13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärken, die den vier Prädiktoren zugeordnet werden können, werden für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“ hierarchische, multiple Regressionsanalysen durchgeführt.

Tabelle 67 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  der verschiedenen Modelle auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ , die Auskunft geben über die Mächtigkeit der einzelnen Prädiktoren (siehe Unterkapitel 3.2.5.1)<sup>80</sup>.

Aus der Tabelle geht hervor, dass auch in den Fällen Effektstärken berechnet wurden, in denen die Regressionskoeffizienten nicht signifikant von Null abwichen. Dies ist statistisch legitim, darf aber nicht den Umstand verschleiern, dass davon ausgegangen werden muss, dass die Verschiedenheit des empirischen  $b$ -Wertes von Null mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit auf Zufall zurückzuführen ist.

Tab.67: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der  $\Delta V$  Nachtestscore (Performanz) für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“

	Modell uV	1		2		3		4		$f^2$
		$b$	$p$	$b$	$p$	$b$	$p$	$b$	$p$	
<b>ECCE I</b>	VT	,64***	,00	,65***	,00	,65***	,00	,56***	,00	,41
	GR <sup>75</sup>			,02	,64	,02	,61	,01	,83	,01
	MOT					,01	,70	,00	,98	0
	GE <sup>75</sup>							-,11*	,04	,11
	$R^2$	,29		,30		,30		,37		
<b>CSE</b>	VT	,65***	,001	,65***	,001	,65***	,001	,57**	,004	,32
	GR			,03	,52	,03	,50	,02	,72	,01
	MOT							,00	,98	0
	GE							-,01*	,09	,09
	$R^2$	,24		,25		,25		,31		
<b>CSM</b>	VT	,53(*)	,03	,53(*)	,03	,46(*)	,05	,41(*)	,06	,12
	GR			,02	,71	,04	,48	,02	,74	,01
	MOT					,10(*)	,03	,08(*)	,06	,11
	GE							-,18(**)	,02	,16
	$R^2$	,11		,12		,21		,32		

Anmerkungen:

- \* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.
- \*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.
- \*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Im Hinblick auf die ermittelten Effektstärken erscheinen folgende Aspekte von besonderer Relevanz:

- Der Prädiktor Vortestscore VT verfügt lediglich bei der ECCE I - Variante über eine große Effektstärke.  $f^2$  nimmt beim CSE einen mittleren, im Falle des CSM lediglich einen kleinen Wert an;

- Die Wirksamkeit der Gruppenzugehörigkeit kann statistisch nicht nachgewiesen werden;
- Die Motivation hat lediglich im Zuge der CSM-Variante einen (schwachen) Einfluss auf den Nachtestscore;
- Das Geschlecht *GE* verfügt in den drei Regressionsvarianten über eine geringe bis mittlere Effektgröße.

#### 14. Schritt: Mediatoreffekte

*Die Deutschnote DN ist Mediatorin des Einflusses des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 5,9).*

Verfahren: Korrelationsanalyse<sup>81</sup>

Für die Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“ ergeben sich bezüglich des Zusammenhangs *DN-NT* die nicht signifikant werdenden Korrelationskoeffizienten  $r = -,01; ,11; ,19$  (siehe Tabellen 51, 52, 55) .

Das Zusammenhangsmaß  $\eta$  von *DN* und *GE* beträgt lediglich 0,24 und wird nicht signifikant ( $p = 0,12$ ; siehe Tabelle 51).

Aus diesen Gründen wird die Hypothese nicht bestätigt<sup>53</sup> .

*Die Motivation zu Beginn der Instruktion VM ist Mediatorin des Einflusses des Geschlechtes auf den Vortestscore (Performanz) VT und auf die Motivation am Ende der Instruktion NM (Hypothesen 12,13).*

Da die Motivation zu Beginn der Instruktion nicht erhoben wurde, kann bezüglich dieser Vermutung keine Aussage erfolgen.

*Der Vortestscore (Performanz) VT ist Mediator der Einflüsse von Geschlecht GE und Motivation zu Beginn der Instruktion VM auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 10,11).*

Da die Motivation zu Beginn der Instruktion VM nicht erhoben wurde, wird die Ausgangshypothese folgendermaßen modifiziert:

*Der Vortestscore (Performanz) VT ist Mediator des Einflusses des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothese 10).*

*VT* und *NT* korrelieren hoch- beziehungsweise höchstsignifikant in allen drei Regressionsvarianten. Um zu ermitteln, ob es sich bei *VT* tatsächlich um einen Mediator

handelt, wird der Zusammenhang zwischen VT und GE im Rahmen einer Korrelationsanalyse untersucht<sup>53</sup>.

Deskriptive Statistik

Tabelle 68 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Vortestscores VT in Abhängigkeit vom Geschlecht:

Tab.68: Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VT: ♂</b>					
ECCE I	36	,19	,63	,41	,12
CSE	35	,17	,63	,42	,12
CSM	35	0	,57	,21	,14
<b>VT: ♀</b>					
ECCE I	8	,19	,50	,34	,11
CSE	9	,21	,50	,35	,08
CSM	9	,07	,36	,17	,08

Die Histogramme von **Abbildung** zeigen den Vortestscore (Performanz) VT in Abhängigkeit vom Geschlecht **GE**:

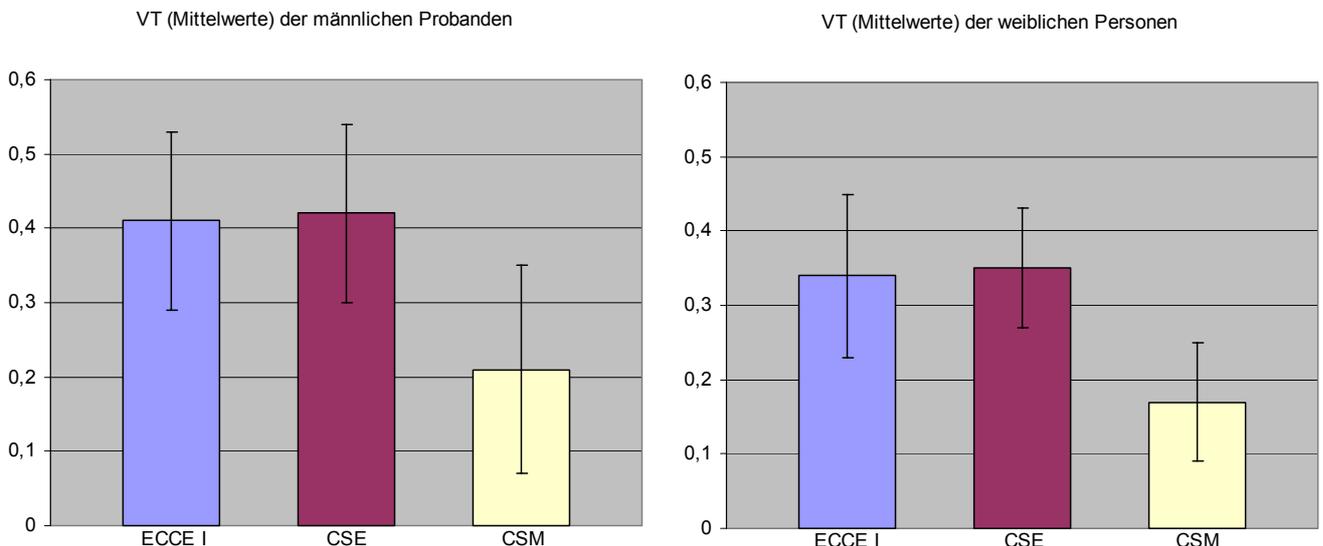


Abb.31: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen „Vortestscore (Performanz)“ in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“

Korrelationsanalyse<sup>81</sup>

Tabelle 69 führt die errechneten Zusammenhangsmaße  $\eta$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  für das Variablenpaar „Geschlecht“ - „Vortestscore“ für die drei Leistungsinventare auf:

Tab.69: Zusammenhangsmaße  $\eta$  sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  für das Variablenpaar „Geschlecht“ - „Vortestscore (Performanz)“

	$\eta^{75}$	$p$
ECCE I	-,25*	,10
CSE	-,25*	,10
CSM	,13	,41

Anmerkung:

\*  $\eta$  ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Die Werte für die Varianten „ECCE I“ und „CSE“ sind bis auf die zweite Nachkommastelle identisch und bestätigen die eingangs formulierte Hypothese, derzufolge es sich bei VT um einen Mediator für den Einfluss des Geschlechts auf NT handelt. Im Falle des CSM ergibt sich für  $\eta$  ein kleinerer Wert, der nicht signifikant wird. Dies deutet darauf hin, dass es sich beim CSM lediglich in ganz beschränktem Maße um ein Instrument zur effizienten Messung des Vorwissens der Schüler handelt.

*Die Motivation am Ende der Instruktionsphase NM ist Mediatorin der Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit GR, der Motivation am Beginn der Instruktion VM und des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 13,14,15).*

Da die Motivation zu Beginn der Instruktion VM nicht erhoben wurde, wird die Ausgangshypothese folgendermaßen modifiziert:

*Der Motivationszuwachs MOT ist Mediator der Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit GR und des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 14,15).*

Es ist zu konstatieren, dass sich lediglich im Falle der Regressionsvariante „CSM“ für den Zusammenhang NM-NT ein signifikant werdender Korrelationskoeffizient  $r = ,34$  ergibt. Für dieses Szenario wird im Folgenden untersucht, ob es sich bei NM tatsächlich um eine Mediatorvariable handelt. Dies geschieht durch Untersuchung der Zusammenhänge GR-NM und GE-NM<sup>53</sup>.

Verfahren: Multiple Regressionsanalyse

Das Evaluationsprozedere orientiert sich an den vierzehn Schritten von Tabelle 70.

## 1. Schritt: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Ein Beobachtungsfall wurde infolge der extremen Ausprägung des Testscores ausgeschlossen. Es handelt sich hierbei um einen der Schüler, die die zwölfte Jahrgangsstufe am Ende des Schuljahres aus Leistungsgründen zu verlassen hatten.

Tab.70: Standardisiertes Residuen und Testscore *MOT* des ausgeschlossenen Falles für die Regression des Motivationszuwachses *MOT*

Fall- nr	GE	St. Res.	<i>MOT</i>
23	♂	-2,69	,53

## 2. Schritt: Zentrierung der Prädiktoren

Siehe S. 144.

## 3. Schritt: Bildung der Interaktionsvariablen

Es werden keine Interaktionsvariablen gebildet.

## 4. Schritt: Deskriptive Statistik

Motivations-Testscore *MOT* versus Gruppenzugehörigkeit *GR*

Tabelle 71 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Nachtestscores *NM* in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit.

Tab.71: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der Testscores (Motivationszuwachs) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>MOT; KG</b>	23	1,40	3,73	2,67	,65
<b>MOT; TG</b>	22	1,20	3,93	2,50	,66

Anmerkung:

„KG“ : Kontrollgruppe; „TG“: Treatmentgruppe

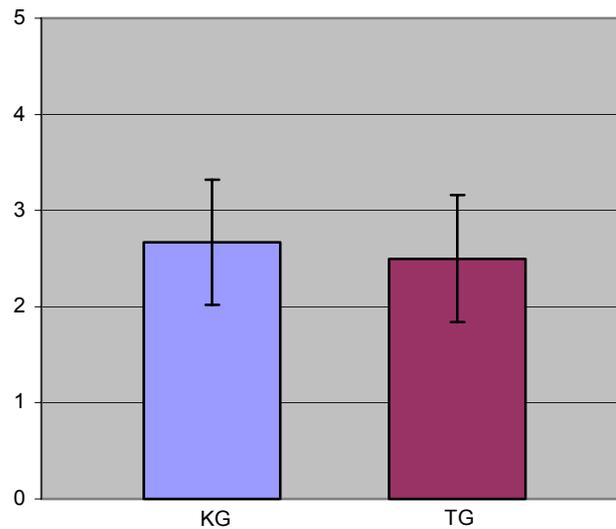


Abb.32: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Testscore (Motivationszuwachs) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit

Die Histogramme von Abbildung 32 zeigen den Testscore (Motivationszuwachs) *MOT* in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit *GR*.

Nachtestscore (Motivation) *NM* versus Geschlecht *GE*

Tabelle 72 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Nachtestscores *NM* in Abhängigkeit von der Geschlecht.

Tab.72: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Testscores (Motivationszuwachs) in Abhängigkeit vom Geschlecht

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>NM; ♂</b>	36	1,20	3,93	2,63	,66
<b>NM; ♀</b>	36	1,4	3,27	2,39	,62

Die Histogramme von Abbildung 33 zeigen den Testscore *MOT* in Abhängigkeit vom Geschlecht *GE*.

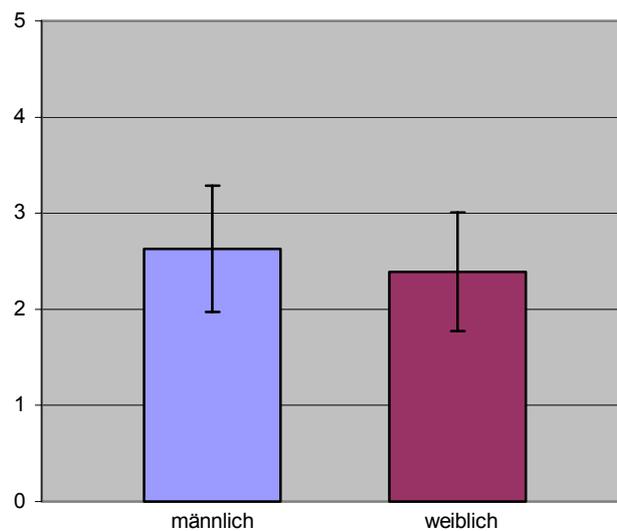


Abb.33: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Testscore Motivationszuwachs in Abhängigkeit vom Geschlecht

5. Schritt: Berechnung der Korrelationen

Tabelle 73 liefert eine Übersicht über die errechneten  $\eta$ -Werte sowie der zugehörigen Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$ :

Tab.73: Zusammenhangsmaße  $\eta$  sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  der Variablenpaare MOT-GR sowie MOT-GE

	$GR^{\eta}$	$GE^{\eta}$
<b>MOT</b>	,13	-,15
$p$	,40	,33

Anmerkung:

\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Die geringen Korrelationen sprechen gegen die Vermutung, dass es sich bei der Variablen MOT um eine Mediatorin für die Prädiktoren GR und GE handelt.

Weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

6. Schritt: Multiple Regression des Nachtestscores (Motivation)

Tabelle 74 präsentiert die globalen Gütemaße der ausgeführten Regression. Der Determinationskoeffizient wird nicht signifikant, ein Umstand, der im Hinblick auf die Effizienz der Gesamtmodells nachdenklich stimmt.

Tab.74: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Testscore „Motivationszuwachs“ als abhängiger Variablen

$R^2$	$R^2_K$	SEE	F	$p$
,05	,00	,65	1,01	,37

Tabelle 75 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige, lokale Gütemaße auf.

*Tab.75: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen mit dem Testscore „Motivationszuwachs“ als abhängiger Variablen*

	<b>GR</b>	<b>GE</b>
<i>b</i>	-,20	-,28
<i>SEE<sub>b</sub></i>	,20	,25
<i>t</i>	-1,02	-1,13
<i>p</i>	,31	,26

Die Resultate der multiplen Regression sprechen klar gegen die eingangs formulierte Hypothese, bei der Variablen „Motivationszuwachs *MOT*“ handele es sich um eine Mediatorin im Hinblick auf den Einfluss von Gruppenzugehörigkeit *GR* und Geschlecht *GE* auf den Nachtestscore *NT*. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen *MOT* und *NT* auch nur im Falle der Regressionsvariante „CSM“ ergeben hatte<sup>53</sup>.

Auf die Durchführung der Schritte 9 bis 13 wird infolge der Ineffizienz des Gesamtmodells verzichtet.

### 3.5 Auswertung „motivationale Einstellungen zum JiTT-Verfahren“

#### Betrachtung der Fälle

Der Stichprobenumfang betrug  $N = 46$ , unter den Probanden befanden sich insgesamt zehn Mädchen.

Die Hälfte der 46 getesteten Schüler (darunter sieben Mädchen) hatte das JiTT-Verfahren im Rahmen der Mechanik-Instruktion kennengelernt.

#### Auswertungsprozedere

Das Inventar „Reflexionsbogen 2“ wird zunächst auf Itemebene ausgewertet, das zum Zuge kommende statistische Auswertungsverfahren ist der t-Test. Mit seiner Hilfe wird eruiert, wie groß die Wahrscheinlichkeit  $p$  eines Irrtums ist, wenn man davon ausgeht, dass der mittlere Item-Score  $S'$  nicht der Verteilung des  $H_0$ -Wertes „2,5“ (entspricht dem Schülerstatement „weder Zustimmung noch Ablehnung“) zugehörig ist. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass einige der Items invertiert wurden, was den positiven Effekt zur Folge hat, dass ein hoher  $S'$ -Score  $> 2,5$  in allen Fällen als JiTT-Zuspruch gewertet werden kann, während niedrige  $S'$ -Scores auf eine JiTT-kritische Stellungnahme hindeuten.

Die Tabellen 76 und 77 weisen geschlechts- beziehungsweise themenspezifische Gliederungen auf, die aufgeführten „Cohen's  $d$ “ - Werte<sup>83</sup> informieren über die „statistische Mächtigkeit“ der ermittelten Abweichungen der  $S'$ -Scores vom  $H_0$ -Wert „2,5“.

Im zweiten Teil der Evaluation wird der Versuch unternommen, die Statements, die die Probanden als freie Äußerungen im Reflexionsbogen 2 notierten, zu kategorisieren. Einen diesbezüglichen Überblick liefert Tabelle 78.

In einem dritten Schritt wird nach existierenden Zusammenhängen zwischen der JiTT-Motivation, dem Geschlecht und dem Nachtestscore (Performanz) der Probanden gefragt.

#### Evaluation auf Itemebene

Tab.76: Geschlechtsspezifische Auswertung des Reflexionsbogens 2 zum JiTT-Verfahren

INR	ITEM	♂					♀					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
1	„Die JiTT-Hausaufgaben sind für mich schwerer zu lösen als normale Hausaufgaben“	36	2,44	1,52	,83	<b>,04</b>	10	1,90	,99	,09	<b>,61</b>	46	2,33	1,43	,41	<b>,12</b>
2	„Ich finde die JiTT-Hausaufgaben interessanter als „normale“ Hausaufgaben“	36	3,31 ***	1,19	,00	<b>,68</b>	10	3,00 *	,67	,04	<b>,74</b>	46	3,24 ***	1,10	,00	<b>,67</b>

<sup>83</sup> Cohen's  $d$  - Werte von 0,2, 0,5 und 0,8 bilden die Grenzwerte für kleine, mittlere und große Effekte

INR	ITEM	♂					♀					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
3	„Ich lernte durch JiTT-Hausaufgaben mehr als durch „normale“ Hausaufgaben“	36	3,22 **	1,33	,00	<b>,54</b>	10	2,60	1,17	,79	<b>,09</b>	46	3,09 **	1,31	,00	<b>,45</b>
4	„Ich fühlte mich durch JiTT in unzumutbarer Weise kontrolliert“	36	2,89	1,51	,13	<b>,26</b>	10	2,80	1,48	,54	<b>,20</b>	46	2,87	1,49	,10	<b>,25</b>
5	„Ich sollte in der Schule stets das Recht haben, den Zeitpunkt der Hausaufgaben-Anfertigung selbst zu bestimmen“	36	1,78 ***	1,10	,00	<b>,66</b>	10	1,10 **	1,10	,00	<b>1,28</b>	46	1,63 ***	1,12	,00	<b>,78</b>
6	„Zur Erledigung der JiTT-Hausaufgaben war mehr Zeit vonnöten als für „normale“ Physik-Hausaufgaben“	36	2,08	1,54	,11	<b>,27</b>	10	1,60 *	1,27	,05	<b>,71</b>	46	1,98 *	1,48	,02	<b>,35</b>
7	„Fachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Aufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben“	36	3,42 ***	,97	,00	<b>,95</b>	10	3,40 *	1,17	,04	<b>,77</b>	46	3,41 ***	1,00	,00	<b>,91</b>
8	„Sprachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Aufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben“	36	3,28 ***	1,19	,00	<b>,66</b>	10	3,30 *	1,06	,04	<b>,76</b>	46	3,28 ***	1,15	,00	<b>,68</b>
9	„Ich hatte meistens ein mulmiges Gefühl, wenn mein Hausaufgaben-Statement auf der Folie präsentiert wurde“	36	3,31 **	1,41	,00	<b>,58</b>	10	1,50 **	,85	,01	<b>1,18</b>	46	2,91	1,50	,07	<b>,27</b>
10	„Das Präsentieren meiner Statements im Unterricht lief auf eine Bloßstellung meiner Person hinaus“	36	4,28 ***	1,32	,00	<b>1,35</b>	10	4,30 ***	1,06	,00	<b>1,70</b>	46	4,28 ***	1,26	,00	<b>1,41</b>
11	„Das Diskutieren der Statements während der Stunde war sehr interessant“	36	3,72 ***	1,26	,00	<b>,97</b>	10	3,60 **	,97	,01	<b>1,13</b>	46	3,70 ***	1,19	,00	<b>1,01</b>
12	„Durch das Diskutieren der Statements während der Stunde habe ich die Physik besser verstanden“	36	3,58 ***	1,13	,00	<b>,96</b>	10	3,40 **	,97	,02	<b>,93</b>	46	3,54 ***	1,09	,00	<b>,95</b>
13	„In JiTT-Stunden habe ich den Unterrichtsstoff sehr gut verstanden“	36	3,44 ***	1,16	,00	<b>,81</b>	10	3,00	1,25	,24	<b>,40</b>	46	3,35 ***	1,18	,00	<b>,72</b>
14	„Um dem Unterrichtsverlauf während einer JiTT-Stunde folgen zu können, ist ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit notwendig“	36	1,25 ***	1,05	,00	<b>1,19</b>	10	1,70 *	1,06	,04	<b>,76</b>	46	1,35 ***	1,06	,00	<b>1,09</b>
15	„In JiTT-Stunden fiel es mir sehr schwer, wichtige Aspekte des behandelten Stoffes in mein Heft	36	2,25	1,63	,36	<b>,15</b>	10	2,20	1,48	,54	<b>,20</b>	46	2,24	1,58	,27	<b>,17</b>

INR	ITEM	♂					♀					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
	zu notieren“															
16	„Für zurückhaltende Schüler ist das JiTT-Verfahren nicht geeignet“	36	3,30 ***	1,37	,00	<b>,58</b>	10	3,30	1,57	,14	<b>,51</b>	46	3,30 ***	1,40	,00	<b>,57</b>
17	„Ich bevorzuge das Erlernen der Physik mit Hilfe von Lehrervorträgen bzw. durch Selbststudium“	36	3,12 **	1,38	,01	<b>,45</b>	10	3,50 *	1,08	,02	<b>,93</b>	46	3,20 ***	1,32	,00	<b>,53</b>
18	„Beim JiTT-Verfahren wiegen die Nachteile schwerer als die Vorteile“	36	3,54 ***	1,26	,00	<b>,83</b>	10	3,30 *	,95	,03	<b>,84</b>	46	3,49 ***	1,20	,00	<b>,83</b>

**Anmerkungen:**

Aufgeführt sind die Größen „Stichprobenumfang N“, „mittlerer Itemscore S'“, „Standardabweichung  $\sigma$ “, „Irrtumswahrscheinlichkeit p“ und „Effektstärke Cohen's d“.

\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Im Hinblick auf die Statements der männlichen und weiblichen Probanden zum JiTT-Verfahren erscheinen folgende Aspekte besonders interessant:

- Mädchen und Jungen finden den JiTT-Aufgabentyp ansprechender als „traditionelle“ Aufgaben;
- Mädchen halten JiTT-Aufgaben für schwieriger und zeitintensiver als „traditionelle“ Hausaufgaben;
- Beide Geschlechter legten bei JiTT-Aufgaben höheren Wert auf fachliche und sprachliche Korrektheit;
- Obwohl sich weder Jungen noch Mädchen durch das JiTT-Prozedere in massiver Weise kontrolliert fühlten, wird dennoch der Standpunkt vertreten, dass Schüler generell den Zeitpunkt der Hausaufgabenerledigung selbst bestimmen können sollten;
- Obwohl sich die Schüler im Zuge der Präsentation eigener Statements im Unterricht nicht bloßgestellt fühlten, hatten die Mädchen in solchen Situationen dennoch mit Gefühlen der Herausforderung oder Angst zu kämpfen;
- Beide Geschlechter vertreten den Standpunkt, dass das Diskutieren der Schülerstatements sehr interessant war und dadurch der Stoff besser verstanden werden konnte;

- Mädchen und Jungen konstatieren, dass zum Verfolgen solcher Diskussionen ein besonderes Maß an Konzentration notwendig war;
- Letztlich sind beide Geschlechter (bei hohen Effektstärken) der Meinung, dass die Vorteile des Verfahrens stärker zu Buche schlagen als die Nachteile.

Tab.77: Themenspezifische Auswertung des Reflexionsbogens 2 zum JiTT-Verfahren

INR	ITEM	MECHANIK					ELEKTRODYNAMIK					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
1	„Die JiTT-Hausaufgaben sind für mich schwerer zu lösen als normale Hausaufgaben“	23	2,78	1,51	,38	<b>,19</b>	23	1,87*	1,22	,02	<b>,52</b>	46	2,33	1,43	,41	<b>,12</b>
2	„Ich finde die JiTT-Hausaufgaben interessanter als „normale“ Hausaufgaben“	23	3,30***	1,02	,00	<b>,78</b>	23	3,17**	1,19	,01	<b>,56</b>	46	3,24***	1,10	,00	<b>,67</b>
3	„Ich lernte durch JiTT-Hausaufgaben mehr als durch „normale“ Hausaufgaben“	23	3,26**	1,21	,01	<b>,63</b>	23	2,91	1,41	,17	<b>,29</b>	46	3,09**	1,31	,00	<b>,45</b>
4	„Ich fühlte mich durch JiTT in unzumutbarer Weise kontrolliert“	23	3,09*	1,28	,04	<b>,46</b>	23	2,65	1,67	,67	<b>,09</b>	46	2,87	1,49	,10	<b>,25</b>
5	„Ich sollte in der Schule stets das recht haben, den Zeitpunkt der Hausaufgaben-Anfertigung selbst zu bestimmen“	23	1,74**	1,05	,00	<b>,72</b>	23	1,52**	1,20	,00	<b>,82</b>	46	1,63***	1,12	,00	<b>,78</b>
6	„Zur Erledigung der JiTT-Hausaufgaben war mehr Zeit vonnöten als für „normale“ Physik-Hausaufgaben“	23	2,44	1,50	,84	<b>,04</b>	23	1,52**	1,34	,00	<b>,73</b>	46	1,98*	1,48	,02	<b>,35</b>
7	„Fachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Aufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben“	23	3,30***	,97	,00	<b>,83</b>	23	3,52***	1,04	,00	<b>,98</b>	46	3,41***	1,00	,00	<b>,91</b>
8	„Sprachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Aufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben“	23	3,21**	1,00	,00	<b>,71</b>	23	3,35**	1,30	,01	<b>,65</b>	46	3,28***	1,15	,00	<b>,68</b>
9	„Ich hatte meistens ein mulmiges Gefühl, wenn mein Hausaufgaben-Statement auf der Folie präsentiert wurde“	23	2,91	1,59	,23	<b>,26</b>	23	2,91	1,44	,18	<b>,29</b>	46	2,91	1,50	,07	<b>,27</b>
10	„Das Präsentieren meiner Statements im Unterricht lief auf eine Bloßstellung meiner Person hinaus“	23	4,39***	1,23	,00	<b>1,54</b>	23	4,1***	1,30	,00	<b>1,23</b>	46	4,28***	1,26	,00	<b>1,41</b>
11	„Das Diskutieren der Statements während der Stunde war sehr interessant“	23	3,96***	,93	,00	<b>1,57</b>	23	3,43**	1,38	,00	<b>,67</b>	46	3,70***	1,19	,00	<b>1,01</b>

INR	ITEM	MECHANIK					ELEKTRODYNAMIK					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
12	„Durch das Diskutieren der Statements während der Stunde habe ich die Physik besser verstanden“	23	3,83 ***	,94	,00	<b>1,42</b>	23	3,26 **	1,18	,01	<b>,64</b>	46	3,54 ***	1,09	,00	<b>,95</b>
13	„In JiTT-Stunden habe ich den Unterrichtsstoff sehr gut verstanden“	23	3,74 ***	,96	,00	<b>1,29</b>	23	2,96	1,26	,10	<b>,37</b>	46	3,35 ***	1,18	,00	<b>,72</b>
14	„Um dem Unterrichtsverlauf während einer JiTT-Stunde folgen zu können, ist ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit notwendig“	23	1,52 ***	1,04	,00	<b>,94</b>	23	1,17 ***	1,07	,00	<b>1,24</b>	46	1,35 ***	1,06	,00	<b>1,09</b>
15	„In JiTT-Stunden fiel es mir sehr schwer, wichtige Aspekte des behandelten Stoffes in mein Heft zu notieren“	23	2,52	1,56	,95	<b>,01</b>	23	1,96	1,58	,11	<b>,34</b>	46	2,24	1,58	,27	<b>,17</b>
16	„Für zurückhaltende Schüler ist das JiTT-Verfahren nicht geeignet“	23	3,56 **	1,50	,00	<b>,71</b>	23	3,04 *	1,26	,05	<b>,43</b>	46	3,30 ***	1,40	,00	<b>,57</b>
17	„Ich bevorzuge das Erlernen der Physik mit Hilfe von Lehrervorträgen bzw. durch Selbststudium“	23	3,35 **	1,27	,00	<b>,67</b>	23	3,07	1,38	,06	<b>,41</b>	46	3,20 ***	1,32	,00	<b>,53</b>
18	„Beim JiTT-Verfahren wiegen die Nachteile schwerer als die Vorteile“	23	3,70 ***	1,15	,00	<b>1,04</b>	23	3,28 **	1,23	,01	<b>,63</b>	46	3,49 ***	1,20	,00	<b>,83</b>

**Anmerkungen:**

Aufgeführt sind die Größen „Stichprobenumfang N“, „mittlerer Itemscore S'“, „Standardabweichung  $\sigma$ “, „Irrtumswahrscheinlichkeit p“ und „Effektstärke Cohen's d“.

\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Im Hinblick auf die Statements der Schüler in den Treatmentgruppen „Mechanik“ beziehungsweise „Elektrodynamik“ erscheinen folgende Aspekte besonders erwähnenswert:

- Unabhängig vom Themengebiet sind die Probanden der Auffassung, dass JiTT-Aufgaben interessanter als traditionelle Hausaufgaben sind;
- Die Schüler der TG „Elektrodynamik“ konstatieren, dass JiTT-Aufgaben schwieriger und zeitaufwendiger sind;
- Den Probanden beider Gruppen waren im Falle der JiTT-Aufgaben fachliche und sprachliche Korrektheit wichtiger als bei herkömmlichen Übungen;

- Beide Gruppen vertreten den Standpunkt, dass das Diskutieren der Schülerstatements sehr interessant war und dadurch der Stoff besser verstanden werden konnte. Allerdings ist dieses Stimmungsbild im Falle der Mechanik deutlich ausgeprägter;
- Unabhängig vom Themengebiet kritisieren die Schüler das höhere Maß an Konzentration, dass zum Verfolgen dieser Diskussionen erforderlich war. Besonders massiv fällt diese Kritik im Falle der Elektrodynamik aus;
- Obwohl beide Gruppen dem Verfahren -insgesamt gesehen- positiv gegenüber stehen, wird im Falle der Treatmentgruppe Elektrodynamik dennoch eine gewisse kritischere Distanz gegenüber JiTT deutlich.

### *Evaluation der freien Schülerstatements*

In Tabelle 78 finden sich die sieben Kategorien, denen die freien Schülerstatements zugeordnet wurden. Die Zeilen zwei und drei informieren über die Anzahl der Schülerkommentare der jeweiligen Kategorie sowie deren prozentualer Anteil an der Gesamtschülerzahl.

*Tab.78: Kategorisierung der freien Schülerstatements zum JiTT-Verfahren*

Kategorie	Adressatengerechtes Unterrichten	Disziplinierung	Zeitdruck	Feedback auf Hausaufgabe	Facettenreichtum der Diskussionen	Fehlende Klarheit der Stundenstruktur	Streberproblematik
<b>Summe</b>	17	V:9 / N:10	25	13	13	14	4
<b>Anteil (%)</b>	37	V:20 / N:22	54	28	28	30	9

#### *Anmerkungen:*

*Angegeben ist die Summe der in der entsprechenden Kategorie verortbaren Statements sowie der prozentuale Anteil der Kategorie-Statements am Stichprobenumfang. Die Buchstaben „V“ und „N“ der Rubrik „Disziplinierung“ stehen für „Vorteil“ beziehungsweise „Nachteil“.*

Als besonders positiv vermerken 37% der Probanden das vergleichsweise höhere Maß an Berücksichtigung von Schülerideen und -konzepten. Jeweils 28% der Schüler heben das erweiterte Hausaufgaben-Feedback sowie den Facettenreichtum der Diskussionen in JiTT-Phasen des Unterrichts als besonders erwähnenswert hervor. Ein Fünftel der Schülerschaft empfindet das erhöhte Maß an Disziplinierung (infolge des Umstandes, dass die Lehrkraft stets in Kenntnis über bearbeitete und nicht bearbeitete Hausaufgaben ist) als förderlichen Effekt des Verfahrens, ein etwa gleich großer Teil (vorwiegend Probanden der Treatmentgruppe „Elektrodynamik“) wertet diesen Aspekt als Negativum.

Mehr als die Hälfte der beiden Kurse sieht einen gravierenden Nachteil des Verfahrens in der Festlegung einer Deadline für das Versenden der Aufgabenbearbeitungen und klagt über den daraus resultierenden zeitlichen Druck.

Etwa ein Drittel der Schüler konstatiert einen Mangel an Klarheit hinsichtlich des Unterrichtsablaufs, vier Schüler äußern sich JiTT-skeptisch, da ihrer Ansicht nach ein immenser Druck ausginge von besonders motivierten Schülern („Strebern“), die die JiTT-Plattform zur Selbstdarstellung nutzten und auf diese Weise zu über die Maßen umfangreichen Aufgabenbearbeitungen zwängen.

#### *Evaluation von Zusammenhängen zwischen JiTT-Motivation, Geschlecht und Nachtestscore (Performanz)*

In einem nun folgenden, dritten Schritt wird nach dem Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen JiTT-Motivationsscore *MOTJITT* (Reflexionsbogen 2) eines Probanden und seinem Geschlecht beziehungsweise seinen Nachtestscores (Performanz) gefragt. Bei letzteren handelt es sich in diesem Zusammenhang um die Ergebnisse der Leistungsinventare, die am Ende der jeweiligen JiTT-Phase der Instruktion eingesetzt wurden. Die Tabellen 79 und 80 informieren über die ermittelten Korrelationskoeffizienten  $r$  der entsprechenden Variablen.

#### Mechanik

Tab.79: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  des JiTT-Motivationsscores *MOTJITT*, der Nachtestscores (Performanz) der Treatmentgruppe Mechanik und des Geschlechts

	<i>MOTJITT</i>	$GE^{75}$	<i>NT FCI</i>	<i>NT FKB</i>	<i>NT FCI/FKB</i>
<i>MOTJITT</i>		-,56**	,43*	,39*	,48**
$p$	1	,00	,04	,07	,02

#### Anmerkungen:

\* Der Korrelationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der Korrelationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

Nachtestscores und JiTT-Motivation sind jeweils durch signifikant werdende, mittlere Korrelationskoeffizienten verbunden, der dahingehend zu interpretieren sind, dass Probanden höheren Leistungsniveaus das JiTT-Prozedere auch positiver bewerten.

Als bemerkenswert ist der hochsignifikante Zusammenhang zwischen JiTT-Motivation und Geschlecht zu bezeichnen. Unter Berücksichtigung des Vorzeichens ist zu konstatieren, dass Mädchen das JiTT-Verfahren (trotz des artikulierten, positiven Gesamteindrucks) deutlich zurückhaltender beurteilen als Jungen.

---

 Elektrodynamik

Tab.80: Korrelationskoeffizienten  $r$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  des JiTT-Motivationsscores MOTJITT, der Nachtestscores (Performanz) der Treatmentgruppe „Elektrodynamik“ und des Geschlechts

	<b>MOTJITT</b>	<b>NTECCE</b>	<b>NTCSE</b>	<b>NTCSM</b>
<b>MOTJITT</b>		-,06	,28	,11
<b>p</b>	1	,78	,20	,64

Es ist zu konstatieren, dass sich in keinem Falle ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang von JiTT-Motivation und Nachtestscore ergibt. Auf die Berechnung eines Zusammenhangsmaßes für das Variablenpaar „JiTT-Motivation“ - „Geschlecht“ wurde infolge der geringen Zahl an weiblichen Probanden verzichtet.

---

**KAPITEL 4: ERGÄNZUNGSSTUDIE - JITT IM LEHRAMTSSTUDIUM****4.1 Hypothesen der Interventionsstudie**

Die Evaluation des ersten Teils dieser Interventionsstudie (realisiert in der gymnasialen Oberstufe) erbrachte keinen Effekt des JiTT-Verfahrens auf die Performanz der Lernenden (siehe Unterkapitel 3.3.2). Der Umstand, dass die Leistungsposttests den Schülern (aus Kontroll- und Treatmentgruppe) im Durchschnitt sehr gute bis gute Lernerfolge auf dem Felde des Konzeptverständnisses bescheinigten, lässt sich wahrscheinlich auf den Einsatz eines (nach Meinung des Autors) sehr mächtigen methodischen Instrumentes, der computergestützten Modellbildung, zurückführen (siehe Unterkapitel 3.2.3.1). Es könnte vermutet werden, dass sich im Zusammenhang mit den eingesetzten Leistungs-Messinstrumenten ein (durch die Modellbildung bedingter) *Ceiling-Effekt* einstellte, der einen möglichen Einfluss des JiTT-Konzeptes überdeckte.

Um diese Frage zu klären, wurde der zweite Teil der vorliegenden Feldstudie im Rahmen der Mechanikinstruktion eines Lehramtsstudienganges realisiert, in dem man auf den Einsatz der Modellbildung verzichtete. Das im Zuge der Konzeptionalisierung der MSS-Studie erstellte Modellschema sowie die daraus abgeleiteten Hypothesen (siehe Unterkapitel 3.1) wurden in nahezu kompletter Form übernommen<sup>84</sup> – allerdings kam es im Kontext der motivationalen Überlegungen zu einer Ergänzung, die im Folgenden erläutert werden soll.

Ein wichtiger, im Zuge der Realisierung der Schul-Studie gewonnener Erfahrungswert war die Erkenntnis, dass viele Schüler Probleme hatten, sich mit der Deadline zum Versand der Statement-Mails (die in der Regel bei 18 Uhr lag) abzufinden. So kam es zu Klagen wegen des zeitlichen Drucks, dem man nun infolge des JiTT-Verfahrens ausgesetzt sei (siehe Unterkapitel 3.5). Vielfach wurde auf Seite der Lernenden der Standpunkt vertreten, es müsse dem Schüler freigestellt sein, den Zeitpunkt der Hausaufgabenanfertigung selbst zu wählen.

Derlei Erfahrungen aufgreifend, erfährt Punkt 14 des Modellschemas folgende Ergänzung:

14: Die Motivation am Ende der Instruktion ist abhängig vom Unterrichtsverfahren

---

<sup>84</sup> Hypothesen, in denen die Sprachkompetenz von Bedeutung ist (5,6,9), wurden im Uni-Teil der Feldstudie ausgeklammert, da sie im Schul-Teil nicht bestätigt werden konnten.

---

Da der unterrichtenden Lehrkraft im Zuge der Realisierung des JiTT-Verfahrens ein ausreichender Zeitrahmen zugestanden werden muss, um auf Grundlage der eingesandten Statements den folgenden Unterricht zu planen, wird den Lernenden eine Frist für das Abschicken ihrer Statements gesetzt. Letztere erfahren also eine Beschneidung ihrer organisatorischen Freiheiten. Führenden Motivationstheorien zufolge hat dieser Umstand Auswirkungen auf die Motivation des Lernenden.

***Ein geringeres Ausmaß an (organisatorischer!) Selbstbestimmung in JiTT-Phasen des Unterrichts führt zu verringerter Motivation.***

## 4.2 Material und Methoden

### 4.2.1 Stichprobe

#### Stichprobenumfang

Die ernüchternden Ergebnisse der Schul-Interventionsstudie berücksichtigend, wurde im Zuge der Planung der Uni-Studie von einem geringeren Einfluss des JiTT-Verfahrens auf den Unterrichtserfolg, und zwar von einem  $f^2 = 0,14$  ausgegangen. Dies entspräche einem mittleren bis kleinen Effekt. Auf der Grundlage der statistischen Zusammenhänge zwischen Effektstärke, Teststärke, Signifikanzniveau und Stichprobenumfang wurde ein optimaler Stichprobenumfang von 59 ermittelt (siehe auch Unterkapitel 3.2.1).

Hinsichtlich anderer, theoretisch vermuteter Kausalzusammenhänge (man konsultiere in diesem Zusammenhang das Modellschema im Unterkapitel 3.1.1) muss von deutlich geringeren Effektstärken ausgegangen werden (man denke beispielsweise an den Einfluss des Geschlechtes auf den Unterrichtserfolg). Um in solchen Fällen auf eine akzeptable Teststärke zu kommen, wären weitaus größere Stichprobenumfänge vonnöten, die aber im Rahmen der beschriebenen Interventionsstudie nicht zu verwirklichen waren. Bezüglich solcher Prädiktoren ist zu konstatieren, dass bei eintretender statistischer Nichtsignifikanz noch immer von einem (eventuell doch vorhandenen) Effekt auszugehen wäre, der (im Rahmen statistischer Irrtumswahrscheinlichkeiten) jedoch nicht größer als  $f^2 = 0,14$  ist.

#### Zusammensetzung der Stichprobe

Die Stichprobe setzte sich aus Lehramtsstudenten eines Einführungskurses Mechanik einer im südlichen Rheinland-Pfalz gelegenen Universität zusammen. Die Mehrzahl der Probanden befand sich zum Zeitpunkt der Interventionsstudie im Alter zwischen 20 und 26 Jahren, lediglich zwei der 33 Studenten befanden sich mit 19 beziehungsweise 34 Jahren außerhalb dieses altersmäßigen Rahmens. Zehn Lernende waren weiblichen Geschlechts.

Auch dieser Teil der Interventionsstudie wies ein quasi-experimentelles Design auf, eine randomisierte Zuteilung der Studenten auf Kontroll- und Treatmentgruppe war also nicht realisierbar.

Tabelle 81 gibt Auskunft über die Verteilung der Kursteilnehmer auf die diversen Lehramtsstudiengänge. Des Weiteren finden sich Informationen im Hinblick auf den (ehemaligen) Physikunterricht der Lernenden in der gymnasialen Oberstufe.

Tab.81: Ausbildungsprofil der Studenten des Mechanikkurses

	Lehramtsstudiengang				Physik als		Physik in der MSS		
	Real- schule	Grund- und Haupt- schule	Förder- schule	Bachelor	1.oder 2. Fach	weiteres Fach	Leistungs- kurs	Grund- kurs	abge- wählt
<b>Anzahl Studenten</b>	19	7	2	2	19	9	12	10	7

Anmerkung:

Einige Studenten waren nicht bereit, alle erbetenen Informationen anzugeben.

#### 4.2.2 Instruktionsmaterial

Im Zuge der Realisierung des JiTT-Verfahrens in der Mechanikvorlesung kam es zum Einsatz von insgesamt 12 internetbasierten Aufgaben, deren Bearbeitungen von den Studenten der Treatmentgruppe per Mail an die Lehrkraft zu senden waren. Zu finden sind diese Aufgaben in Anhang C dieser Arbeit. Tabelle (Anhang A) gibt Auskunft über die didaktischen Orte der im Mechanik-Unterricht eingesetzten JiTT-Aufgaben. Neben den Informationen zum Aufgabentyp finden sich außerdem kurze Bemerkungen zum Inhalt. Schließlich wird in den Spalten vier und fünf ein Bezug hergestellt zwischen den einzelnen JiTT-Aufgaben und den Items des Mechanik-Leistungstests *FCI*. Auch für diesen Teil der Interventionsstudie kann somit konstatiert werden, dass das Inventar über eine akzeptable Validität verfügt, also in großem Maße solche Themenbereiche abtestete, in denen sich das JiTT-Verfahren prägend auf die Übungsaktivitäten auswirkte. Im Hinblick auf die Themenbereiche „Gravitation“, „Schwingungen“, „Wellen“, „Mechanik der Flüssigkeiten und Gase“ sowie „Mechanik starrer Körper“ wurden ausschließlich traditionelle Übungsphasen realisiert. In Tabelle 2, S. 82, ist aufgeführt, welchen Kompetenzbereichen (gemäß der Vereinbarung über Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung; KMK, 2004) die einzelnen JiTT-Aufgaben zugeordnet werden können.

#### 4.2.3 Design und Interventionsablauf

##### 4.2.3.1 Beschreibung des Vorlesungsganges

Zum Zwecke der Vergleichbarkeit des Vorlesungsgeschehens findet sich in Anhang W eine Aufstellung der verschiedenen thematischen Sequenzen, die im Laufe des Semesters behandelt wurden, ergänzt um eine Zuordnung der jeweils behandelten JiTT-Aufgaben. In der dritten Spalte ist die Verknüpfung der eingesetzten Aufgaben mit den entsprechenden Items des *Force Concept Inventory* aufgeführt.

Die Vorlesung selbst erfolgte in einem klassischen Stil, mit sorgfältiger Planung, ausführlichen Erklärungen und einem beträchtlichen Anteil an Demonstrationsexperimenten, jedoch ohne Unterrichtsanteile zum Zwecke der interaktiven Einbindung der Lernenden. Die eigenständige Aktivität der Studierenden erfolgte im Rahmen wöchentlicher, zweistündiger Übungsveranstaltungen zur Vorlesung, wobei jeweils etwa dreißig Minuten zur Besprechung der JiTT-Aufgaben genutzt wurden. Während des verbleibenden Übungsteils wurde sich der Aufarbeitung der wöchentlich anzufertigenden und einzureichenden Übungsaufgaben gewidmet.

#### 4.2.3.2 Beschreibung des JiTT-Einsatzes

Im Rahmen der Übungsveranstaltungen zur einmal wöchentlich stattfindenden, zweistündigen Vorlesung „Grundlagen der klassischen Mechanik“ kam es zum Einsatz von insgesamt 12 internetbasierten JiTT-Aufgaben. Fünf dieser Aufgaben bezogen sich auf kinematische Themenstellungen, sieben auf Probleme der Dynamik und Energie. Die Studenten fanden die Aufgabe zwei Tage vor dem Stattfinden der wöchentlichen Vorlesung ab 11 Uhr im Internet vor und hatten ihre Bearbeitung bis um 24 Uhr des gleichen Tages an den Autor zu senden. Im Zuge der nun einsetzenden Instruktionenüberlegungen wurden zunächst alle Statements gesichtet und auf ihren vorlesungsrelevanten Gehalt hin sondiert. Artikulierte Missverständnisse (oder auch wegweisende Ideen) fanden Eingang in die Detailplanung der dreißigminütigen JiTT-Übungsveranstaltung, die sich direkt an die folgende Vorlesung anschloss und etwa ein Drittel der kompletten Übungsveranstaltung bildete. In diesem Zusammenhang kam es des Weiteren zur Erstellung einer OH-Folie mit Studentenstatements, deren Diskussion im Kurs besonders lohnenswert erschienen und so den roten Faden des Geschehens bilden sollten.

Es ist zu bemerken, dass der JiTT-relevante Anteil der Übungsveranstaltung vom Autor konzipiert und realisiert wurde. Alle sonstigen Anteile der Instruktion lagen in der Verantwortung eines Mitarbeiters des Lehrstuhls Physik.

Die Bearbeitung der internetbasierten JiTT-Aufgaben ging zu etwa 5% in die Scheinnote der Teilnehmer ein.

#### 4.2.4 Instrumente

##### Performanz

Auch in diesem Teil der Interventionsstudie kam der *Force Concept Inventory* zum Zwecke der Leistungsmessung zu Beginn und am Ende der Instruktion zum Einsatz. Auf Grundlage des gesammelten Datenmaterials ergab sich eine Reliabilität von

$\alpha_{KR} = 0,79$ . Aus Praktikabilitätsgründen wurde in dieser Phase der Evaluation auf den Test *Fragen zu Kraft und Bewegung* verzichtet.

#### Motivation

Im Zuge der Erfassung motivationaler Einstellungen der Studenten kam es zum Einsatz von zwei Motivationsinventaren:

Grundlage des *Fragebogens zum Fach Physik* bildet ein von KUHN im Rahmen einer Pilotstudie zum MAI-Konzept erstellte Motivationstest (Anhang X). Der Bogen wurde um die Items gekürzt, die sich auf die Aspekte „Alltagsbedeutung“ beziehungsweise „Aufgaben im Physikunterricht“ beziehen.

Des Weiteren wurden zwei Items (17 und 20) ergänzt, die auf die Messung der auf Studentenseite empfundenen *organisatorischen* beziehungsweise *inhaltlichen Autonomie* abzielen. Das Datenmaterial der vorliegenden Feldstudie ergab ein Cronbachs  $\alpha = 0,88$ .

Mit dem Einsatz des (eigens für die Interventionsstudie erstellten) aus 18 sechsstufigen Items bestehenden *Reflexionsbogens 2* (Anhang Y) wurde das Ziel verfolgt, auf möglichst detaillierte Weise zu erfassen, in welchem Ausmaß die JiTT-Aufgaben beziehungsweise das JiTT-Prozedere bei den Studenten auf Akzeptanz gestoßen sind. In diesem Zusammenhang interessierte insbesondere auch die Frage, inwieweit Schüler den JiTT-Aufgaben beziehungsweise den traditionellen Hausaufgaben unterschiedliche Bedeutungen beimessen. Auch in diesem Bogen wurden zwei Items ergänzt, in denen es um das auf Studentenseite empfundene *organisatorische* und *inhaltliche* Autonomieempfinden geht. Die Reliabilitätsuntersuchungen ergaben ein Cronbachs  $\alpha = 0,83$ .

#### Erfassung weiterer Merkmale

Im Kopfbereich des eingesetzten Motivationsinventars wurden die Studenten nach ihrem Studiengang, dem Alter, dem Geschlecht sowie der schulischen Vorbildung in Physik gefragt.

### 4.2.5 Statistische Auswertungsverfahren

#### 4.2.5.1 Statistische Modellierung der vermuteten Kausalbeziehungen

Die im Zuge der Uni-Studie zum Einsatz gekommenen statistischen Verfahren zur Auswertung des gesammelten Datenmaterials waren identisch mit denen, die im Rahmen der Evaluation der Schul-Untersuchung genutzt wurden (siehe Unterkapitel 3.2.5).

Unter Berücksichtigung der genannten Überlegungen und Vorgaben lässt sich das theoretische Modellschema der Interventionsstudie mit Hilfe der folgenden Regressionsgleichungen darstellen:

$$NT = a + b_1 \cdot VT + b_2 \cdot GR + b_3 \cdot NM + b_4 \cdot GR \cdot VT + b_5 \cdot VM \cdot VT$$

$$NM = a + b_1 \cdot VM + b_2 \cdot GR + b_3 \cdot GE$$

$$VT = a + b_1 \cdot VM + b_2 \cdot GE$$

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in dieser Phase der Feldstudie auf die Erhebung der Sprachkompetenz (Deutschnote) verzichtet wurde.

Die nachfolgende Tabelle 82 liefert eine Deutung der verwendeten Symbolik.

Tab.82: Informationen zur Symbolik der Regressionsgleichungen

<b>Buchstabenkombination</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Operationalisierung von</b>
<i>NT</i>	Nachtestscore (Performanz)	Unterrichtserfolg (Performanz)
<i>VT</i>	Vortestscore (Performanz)	Domänenspezifisches Vorwissen
<i>GR</i>	Gruppenzugehörigkeit	Unterrichtsverfahren
<i>NM</i>	Nachtestscore (Motivation)	Motivation am Ende der Instruktion
<i>VM</i>	Vortestscore (Motivation)	Motivation zu Beginn der Instruktion

#### 4.2.5.2 Bestimmung von Zusammenhangsmaßen

Die im Zuge der Uni-Studie zum Einsatz gekommenen statistischen Verfahren zur Auswertung des gesammelten Datenmaterials waren identisch mit denen, die im Rahmen der Evaluation der Schul-Untersuchung genutzt wurden (siehe Unterkapitel 3.2.5.2).

#### 4.2.6 Auswertungsprozedere

Das im Zuge der Auswertung der Uni-Studie realisierte Prozedere ist identisch mit der im Rahmen der Schul-Studie praktizierten Vorgehensweise. Daher sei an dieser Stelle auf das Unterkapitel 3.2.6 der Arbeit verwiesen.

### 4.2.7 Zeitplan

Tabelle 83 informiert über den zeitlichen Ablauf der universitären Phase der Interventionsstudie, die in der Mechanikveranstaltung für Anfänger des Lehramtsstudiums Physik realisiert wurde. Die Instruktion der Experimentalgruppe fand im Wintersemester des Studienjahres 2007/2008 statt. Aus organisatorischen Gründen schloss sich die Durchführung der abschließenden Leistungs- und Motivationsposttests unmittelbar an das Ende der Behandlung des Teilthemas

Tabelle 83: Zeitplan des universitären Teils der Interventionsstudie

Zeitpunkt/Zeitraum	Experimentalkurs	Kontrollkurs
10.07	Leistungsprätest FCI; Fragebogen zum Fach Physik (Motivationsprätest)	
10.07-01.08	JiTT-Verfahren	
01.08	Leistungsposttest FCI; Fragebogen zum Fach Physik (Motivationsposttest), Reflexionsbogen 2	
10.08		Leistungsprätest FCI; Fragebogen zum Fach Physik (Motivationsprätest)
10.08-01.09		Traditionelles Unterrichtsverfahren
01.09		Leistungsposttest FCI; Fragebogen zum Fach Physik (Motivationsposttest), Reflexionsbogen 2

Die Auswertung des Leistungsinventars förderte einen vergleichsweise geringen Zuwachs an richtig beantworteten Fragen zutage (siehe Unterkapitel 4.3), sodass auf

<sup>85</sup> Normalerweise sollten zwischen dem Instruktionseende und der Durchführung des Leistungsposttests zirka drei Monate liegen.

die Instruktion einer Kontrollgruppe im Wintersemester des darauffolgenden Studienjahres 2008/2009 verzichtet wurde.

### 4.3 Auswertung „Mechanik“

#### 4.3.1 Struktur der Auswertung

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die durchgeführten Auswertungsschritte, die für alle eingesetzten Leistungs- und Motivationsinstrumente durchgeführt wurden. Des Weiteren liefert sie Informationen darüber, welche der Bedingungen  $A_1 - A_6$  im Zuge der Realisierung des betrachteten Schrittes abgetestet wurde.

Tab.84: Abfolge der Auswertungsschritte im Zuge der Evaluation des gesammelten Datenmaterials

Schritt Nr.	Beschreibung	Begründung	Verfahren	Seite
1	Betrachtung der Beobachtungsfälle	Outliers	Sichtung des Datenmaterials	193
2	Zentrierung der Prädiktoren, die zur Bildung der Interaktionsvariablen herangezogen werden	$A_6$	Differenz	193
3	Bildung der Interaktionsvariablen	Interaktionseffekte	Produktbildung	193
4	Deskriptive Statistik	Überblick über das Datenmaterial	Mittelwerte; Standardabweichungen	193
5	Berechnung der Korrelationen	Hinweise auf bedeutendste uVs ; Suppressor-effekte	Korrelationsanalyse; Regressionsanalyse	195
6	Multiple Regression	$A_1$	Regressionsanalyse ; Levene-Test	196
7	Regression auf andere mathematische Zusammenhänge <sup>72</sup>	$A_3$	Kurvenanpassung	–
8	Transformation des Datenmaterials	$A_1$	WLS-Methode	–
9	Test der Residuenverteilung	$A_5$	Kolmogorov / Smirnov	198
10	Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen	$A_3$	Diagramm	199
11	Stabilitätstests (Multikollinearität)	$A_6$	Toleranz; Regressionsanalyse	199

Schritt Nr.	Beschreibung	Begründung	Verfahren	Seite
12	Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren	$A_1; A_3$	LOWESS	201
13	Bestimmung der Effektstärken	Praktische Relevanz	Hierarchische, sequentielle Regression ( $r^2$ )	202
14	Mediatoreffekte		Korrelationsanalyse; Regressions-	202

Bemerkungen: Schritt 7 erfolgt in Abhängigkeit von  $R^2$  (bei linearem Modell).

Schritt 8 erfolgt in Abhängigkeit der Ergebnisse der Schritte 6 und 7.

#### 4.3.2 Regression der Nachtestscores Mechanik (Performanz)

Schritt 1: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Bei einem Stichprobenumfang von  $N' = 33$  Studenten wurden sechs Beobachtungsfälle (drei Männer, drei Frauen) ausgeschlossen, da es keine Möglichkeit zur Erhebung der Nachtestscores gab (Abwesenheit der Studenten).

Die nachfolgenden deskriptiven und inferenzstatistischen Analysen wurden also auf Grundlage eines effektiven Stichprobenumfangs von  $N = 27$  durchgeführt. Es sei an dieser Stelle nochmals daran erinnert, dass es sich bei diesem Kurs um die Treatmentgruppe handelte. Aufgrund der (im Folgenden darzulegenden) ernüchternden Ergebnisse (Performanz) wurde aus Effizienzgründen auf die (zeitlich nachgelagerte) Einbeziehung eines Kurses als Kontrollgruppe verzichtet.

Schritt 2: Zentrierung der Prädiktoren, die zur Bildung der Interaktionsvariablen herangezogen werden

Schritt 3: Konstruktion der Interaktionsvariablen

Dem theoretischen Wirkungsgefüge folgend wurde durch Produktbildung der Ausgangs-uVs die Interaktionsvariable  $VM\_VT$  gebildet.

Schritt 4: Deskriptive Statistik

Informationen zur schulischen Physikausbildung der Probanden finden sich in Unterkapitel 4.2.1.

### Motivationsinventar

Tabelle 85 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen (nichtzentrierten) Datenmaterials zur Motivation zu Beginn und am Ende der Instruktion. Die *VM*- und *NM*-Werte beziehen sich auf eine Skala mit den Stufen 0 (nicht motiviert) bis 5 (überaus motiviert).

Tab.85: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nichtzentrierten Datenmaterials zur Motivation

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VM</b>	27	3,74	4,74	4,2	,27
<b>NM</b>	27	3,70	4,48	4,18	,19

Abbildung 34 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 85.

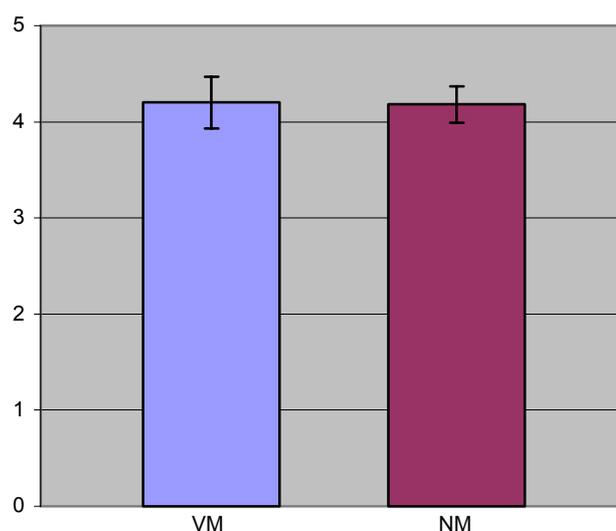


Abb.34: Mittelwerte und Standardabweichungen der Scores zur Motivation zu Beginn und am Ende der Instruktion.

Tabelle und Abbildung belegen, dass sich der Mechanik-Unterricht mit einiger Wahrscheinlichkeit weder signifikant positiv noch signifikant negativ auf die Motivation der Studenten auswirkte.

Der motivationale Aspekt wird in detaillierter Form in Schritt 14 analysiert.

### Leistungsinventar

Tabelle 86 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des erhobenen (nichtzentrierten) Datenmaterials zur Performanz in Mechanik.

Tab.86: Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zur Performanz

	<i>N</i>	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>VT</b>	27	,21	,83	,38	,17
<b>NT</b>	27	,17	,83	,48	,17

Multipliziert man die VT- und NT-Werte mit 100, so erhält man den Anteil an korrekt beantworteten Items in Prozent.

Abbildung 35 visualisiert die berechneten Mittelwerte sowie die Standardabweichungen von Tabelle 86.

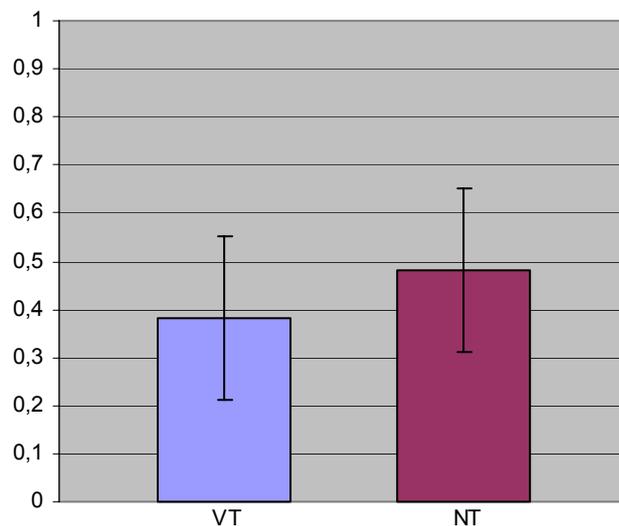


Abb.35: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen VT, NT (Performanz)

Schritt 5: Berechnung der Korrelationen

Tabelle 87 liefert eine Übersicht über die errechneten Zusammenhangsmaße.

Tab.87: Zusammenhangsmaße *r* und *η* bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter Variablen<sup>74</sup>

VAR	GE	VT	VM	NM	VM_VT	NT
<b>GE<sup>75</sup></b>	1	-,41*	,31	,13	,16	-,45*
<i>p</i>		,04	,12	,51	,42	,02
<b>VT</b>	-,41*	1	-,12	-,18	-,25	,73***
<i>p</i>	,04		,55	,37	,22	,00
<b>VM</b>	,31	-,12	1	,73***	,31	-,13
<i>p</i>	,12	,55		,00	,11	,53
<b>NM</b>	,13	-,18	,73***	1	,26	-,08
<i>p</i>	,51	,37	,00		,18	,71
<b>VM_VT</b>	,16	-,25	,31	,26	1	-,22
<i>p</i>	,42	,22	,11	,18		,27

VAR	GE	VT	VM	NM	VM_VT	NT
NT	-,45*	,73***	-,13	-,08	-,22	1
p	,02	,00	,53	,71	,27	

Anmerkungen:

- \* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.
- \*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.
- \*\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Folgende Resultate der Korrelationsanalyse erscheinen erwähnenswert:

- Mit Blick auf die Regression des Nachttestergebnisses *NT* werden die Prädiktoren Vortestergebnis *VT* und Geschlecht *GE* (potentiell) signifikant (Hypothesen 3,4). Der Einfluss der Motivation *NM* wird zwar nicht signifikant, findet infolge seiner theoretischen Bedeutung trotzdem Eingang in die multiple Regressionsanalyse von Schritt 6 (Hypothese 2) ;
- Interaktionseffekte gewinnen keinen signifikanten Einfluss auf das Nachttestergebnis (Hypothesen 6,7,8);
- Es treten keine Suppressoreffekte auf (siehe Unterkapitel 3.2.6.1). Tabelle 88 informiert über Prädiktorpaare, die Verdachtsmomente aufweisen und die Ergebnisse der in diesem Zusammenhang ausgeführten trivariaten Regression.

Tab.88: Ergebnisse der Regressionen der *aV NT* zum Aufspüren von Suppressoreffekten

Regression	Prädiktor	Potentieller Suppressor
	VM_VT	NM
	$b_{VM\_VT} = -,63; p = ,30$	$b_{NM} = -,02; p = ,93$

Anmerkungen:

Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten  $b_k$  und Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$

- Die Prädiktoren *GE* und *VT* hängen in theoriekonformer, signifikanter Weise zusammen (Kollinearität!; Hypothese 10);
- Die Motivation zu Beginn der Instruktion und die am Ende korrelieren höchstsignifikant gemäß den Erwartungen der Theorie (Hypothese 13).

#### 6. Schritt: Multiple Regression des Nachttestscores (Performanz)

Tabelle 89 informiert über globale Gütemaße der ausgeführten Regressionen. Der um die Stichprobengröße und die Anzahl der Prädiktoren bereinigte Determinationskoeffizient liegt bei ,51, was bedeutet, dass etwa die Hälfte der insgesamt vorhandenen Varianz durch das Gesamtmodell gebunden werden. Der Standardschätzfehler *SEE* beträgt ,12, der durchschnittliche Fehler bei einer Schätzung liegt also bei 25% des Mittelwertes der abhängigen Variablen (zum Vergleich: Im Rahmen der Schulstudie lag der Fehler bei 15%).

Tab.89: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse. Abhängige Variable: Nachtestscore (Performanz)

$R^2$	$R_k^2$	SEE	F	p
,57***	,51	,12	10,00	,00

Anmerkungen:

\*\*\* Der Determinationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 signifikant.

Tabelle 90 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige lokale Gütemaße auf. Vorbehaltlich der Ergebnisse der noch zu realisierenden Verteilungs- und Stabilitätstests können an dieser Stelle folgende, vorläufige Resultate genannt werden:

- Der Einfluss des Leistungsvortests wird höchstsignifikant (Hypothese 3);
- Die Motivation am Ende der Instrukionsphase beziehungsweise das Geschlecht stellen Einflussfaktoren dar, die nicht signifikant werden (Hypothesen 2,4).

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass an dieser Stelle jedoch noch keine Aussage über die praktische Bedeutsamkeit dieser Prädiktoren getätigt werden kann.

Tab.90: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression des Nachtestscores (Performanz)

	VT	NM	GE <sup>75</sup>
b	,67***	,02	-,06
SEE <sub>b</sub>	,16	,13	,05
t	4,28	,15	-1,14
p	,00	,89	,27

Anmerkung:

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

### Überprüfung auf Heteroskedastizität

Die Sichtprüfung der Diagramme, in denen die standardisierten Residuen der Regression gegen die standardisierten Schätzwerte aufgetragen sind, liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorhandener Varianzinhomogenitäten (siehe hierzu Unterkapitel 3.2.6.1):

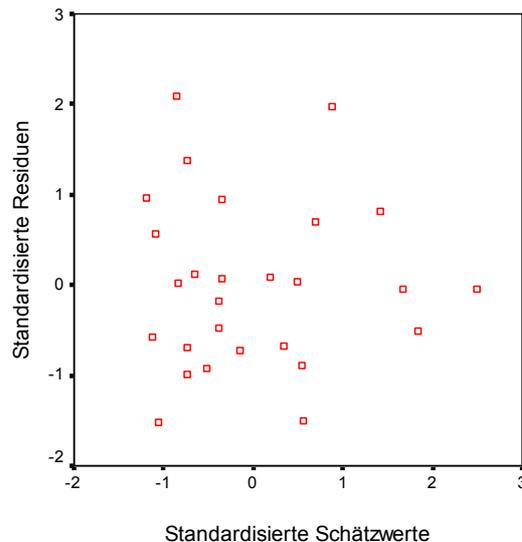


Abb.36: Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die Regression der Nachtestscores (Performanz)

Zur Durchführung des Levene-Tests auf Homoskedastizität (diesbezüglich die Nullhypothese  $H_0$ ) werden jeweils die Residuen Gruppen  $\hat{Y} \geq 0$  sowie  $\hat{Y} < 0$  gebildet. Tabelle 91 informiert über Prüfgrößen und Irrtumswahrscheinlichkeiten:

Tab.91: Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regression der Nachtestscores (Performanz)

Levene- Prüfgröße	p
,19	,67

Es ist zu konstatieren, dass im Hinblick auf den analysierten Datensatz mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit keine Heteroskedastizität vorliegt.

#### 9. Schritt: Test der Residuen auf Normalverteilung

Das Diagramm von Abbildung 37 zeigt das Residuen-Histogramm (mit Normalverteilungskurve) für die Regression der Nachtestscores (Performanz). Tabelle 92 führt das Ergebnis des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf, der im Sinne einer vermuteten Normalverteilung ausfällt. Die Prüfgrößen hinsichtlich Schiefe und Kurtosis bleiben betragsmäßig kleiner als zwei, sodass man (im Rahmen statistischer Unwägbarkeiten) von einer Normalverteilung der Residuen ausgehen kann (Erläuterungen finden sich in Unterkapitel 3.2.6.1).

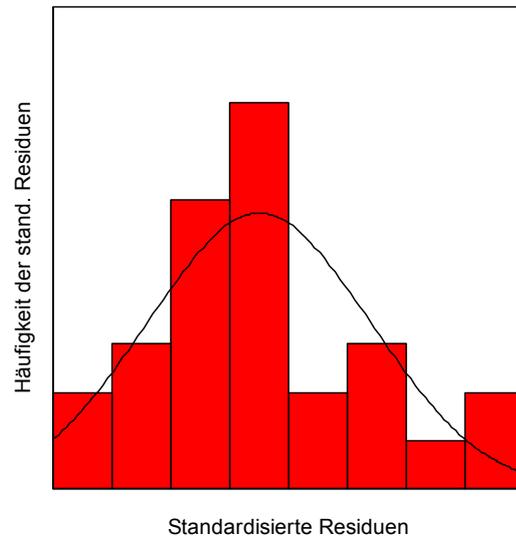


Abb.37: Residuenhistogramm mit theoretischer Normalverteilungskurve für die Regression der Nachtestscores (Performanz)

Tab.92: Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis

Kolmogorov-Smirnov		Schiefe			Kurtosis		
$D$	$p$	$S$	$SEE_S$	$\frac{S}{SEE_S}$	$K$	$SEE_K$	$\frac{K}{SEE_K}$
,81	,52	,57	,45	1,27	-,05	,87	,06

10. Schritt: Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen

Das Diagramm der Abbildung 36 (S.198), in dem die standardisierten Residuen in Abhängigkeit von den standardisierten Schätzwerten zu sehen sind, weist keine auffälligen Zusammenhänge auf. Die Korrelationsanalyse (Tabelle 93) bestätigt diese Vermutung. Somit kann von einer akzeptablen Effizienz des linearen Regressionsmodells ausgegangen werden.

Tab.93: Korrelationskoeffizient  $r$  und Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  von standardisierten Residuen (Beträge)<sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten

		$ \hat{u}' $
$\hat{Y}'$	$r$	-,21
	$p$	,29

11. Schritt: Stabilitätstests (Multikollinearität)

Tabelle 94 informiert über Toleranz-Maßzahlen, die sich für die relevanten Prädiktoren ergeben.

Tab.94: Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die Regression des Vortestscores (Performanz)

<b>VT</b>	<b>NM</b>	<b>GE</b>
,78	,92	,79

Alle Maßzahlen sind deutlich größer als 0,25, was als erster Hinweis darauf gewertet werden kann, dass das Problem der Multikollinearität von untergeordneter Bedeutung ist (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Die nun folgenden Stabilitätstests sind nach der Anzahl der maximal eingebundenen Prädiktoren geordnet und dienen dem Zweck, die Regressionskoeffizienten auf ihre Änderungsanfälligkeit bei Aufnahme weiterer Regressoren hin zu untersuchen. Auf diese Weise kann des weiteren eine eventuell vorhandene Multikollinearität unabhängiger Variablen aufgedeckt werden (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

In Tabelle 95 sind Regressionskoeffizienten  $b$  sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  die denkbaren Regressionsmodelle aufgeführt. Letztere unterscheiden sich darin, welche beziehungsweise wie viele Prädiktoren aufgenommen wurden.

Tab.95: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regression des Nachtestescores (Performanz)

uV	$b$	$p$	$b$	$p$	$b$	$p$
<b>VT</b>	<b>,74***</b>	<b>,00</b>	<b>,75***</b>	<b>,00</b>	<b>,66***</b>	<b>,00</b>
<b>NM</b>			,05	,68		
<b>GE<sup>o</sup></b>					-,06	,23
$R_k^2$	,52		,50		,53	
<b>VT</b>			<b>,75***</b>	<b>,00</b>		
<b>NM</b>	<b>-,07</b>	<b>,71</b>	<b>,05</b>	<b>,68</b>	<b>-,12</b>	<b>,46</b>
<b>GE</b>					<b>-,16**</b>	<b>,02</b>
$R_k^2$	-,03		,50		,16	
<b>VT</b>			<b>,66***</b>	<b>,00</b>		
<b>NM</b>					<b>-,12</b>	<b>,46</b>
<b>GE<sup>o</sup></b>	<b>-,16**</b>	<b>,02</b>	<b>-,06</b>	<b>,23</b>	<b>-,16**</b>	<b>,02</b>
$R_k^2$	,17		,53		,16	

Anmerkungen:

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Die in den Tabellen aufgeführten Werte geben Anlass zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Beim Prädiktor „Vortestscore (Performanz)“ handelt es sich mit Abstand um den stabilsten Einflussfaktor;
- Der Einfluss der Motivation wird in keinem der berechneten Modelle signifikant;
- Die Stabilität des Regressors „Geschlecht“ hängt entscheidend davon ab, ob der Vortestscore VT in das Szenario aufgenommen wurde. Dies deutet auf ein hohes Maß an Kollinearität zwischen den beiden Variablen hin - ein Umstand, der von der Tendenz her als theoriekonform zu bezeichnen ist.

## 12. Schritt: Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren

Abbildung 38 zeigt die Streudiagramme der partiellen Residuen des Prädiktors „Vortestscore (Performanz) VT“ in Abhängigkeit von VT sowie „Nachtestscore (Motivation) NM“ in Abhängigkeit von NM.

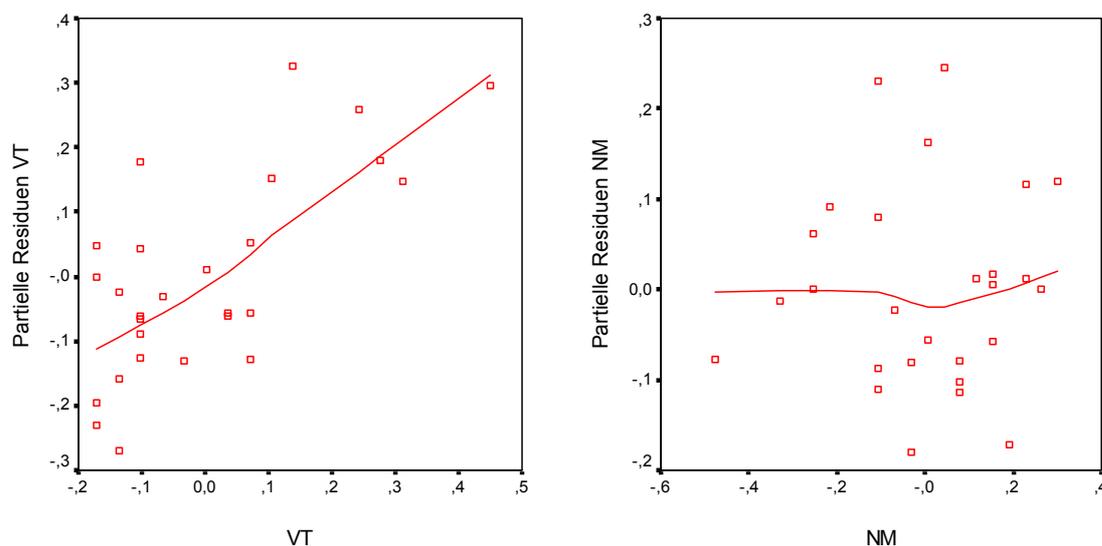


Abb.38: Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für die Prädiktoren „VT“ und „NM“

Im Falle des Prädiktors VT lässt sich ein klarer, durchgehend ansteigender Zusammenhang zwischen den beiden Größen feststellen. Die Residuen streuen vergleichsweise stark, weisen aber keine Systematik auf.

Die NM-bezogene, lineare Komponente der partiellen Residuen wird überdeckt von den Störgrößen der Gesamtregression. So verwundert es nicht, dass der Regressionskoeffizient des Prädiktors nicht signifikant wurde.

Da es sich beim Prädiktor „Gruppenzugehörigkeit GE“ um eine dichotome Variable handelt, wird auf die Berechnung der partiellen Residuen verzichtet.

### 13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärken, die den drei Prädiktoren zugeordnet werden können, wird eine hierarchische, multiple Regressionsanalyse durchgeführt.

Tabelle 96 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  der verschiedenen Modelle auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ , die Auskunft geben über die Mächtigkeit der einzelnen Prädiktoren (siehe Unterkapitel 3.2.5.1)<sup>80</sup>.

Tab.96: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der aV Nachtestscore (Performanz)

Modell uV	1		2		3		$\epsilon$
	b	p	b	p	b	p	
VT	,74***	,00	,75***	,00	,67***	,00	1,17
NM			,05	,68	,02	,89	0
GE <sup>5</sup>					-,06	,27	,07
$R^2$	,54		,54		,57		

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Im Hinblick auf die ermittelten Effektstärken erscheinen folgende Aspekte von besonderer Relevanz:

- Der Prädiktor Vortestscore (Performanz) VT verfügt in allen drei Regressionsvarianten über eine sehr hohe Effektstärke (Hypothese 3);
- Die Motivation am Ende der Instruktion NM verfügt über keinen nachweisbaren Einfluss auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothese 2);
- Dem Geschlecht kann ein schwacher Effekt auf NT beigemessen werden, wobei der diesbezügliche Regressionskoeffizient jedoch infolge der Kollinearitätsproblematik nicht signifikant wird (Hypothese 4).

### 14. Schritt: Mediatoreffekte

Die Motivation zu Beginn der Instruktion VM ist Mediatorin des Einflusses des Geschlechtes auf den Vortestscore (Performanz) VT und auf die Motivation am Ende der Instruktion NM (Hypothese 12,13).

Verfahren: Korrelationsanalyse<sup>81</sup>

Für den Zusammenhang VM-VT ergibt sich der nicht signifikant werdende Korrelationskoeffizient  $r = -,12$  (siehe Tabelle 87) .

Hinsichtlich des Zusammenhangs VM-NM wurde ein höchstsignifikanter Korrelationskoeffizient  $r = ,73$  ermittelt (siehe Tabelle 87).

Das Zusammenhangsmaß  $\eta$  von  $VM$  und  $GE$  beträgt lediglich ,31 und wird nicht signifikant ( $p = ,12$ ; siehe Tabelle 87).

Aus diesen Gründen kann nicht davon ausgegangen werden, dass es sich bei  $VM$  im beschriebenen Kontext um eine Mediatorvariable handelt<sup>53</sup>.

*Der Vortestscore (Performanz)  $VT$  ist Mediator der Einflüsse von Geschlecht  $GE$  und Motivation zu Beginn der Instruktion  $VM$  auf den Nachtestscore (Performanz)  $NT$  (Hypothesen 10,11) .*

$VT$  und  $NT$  korrelieren höchstsignifikant. Um zu ermitteln, ob es sich bei  $VT$  tatsächlich um einen Mediator handelt, werden die Zusammenhänge zwischen  $VT$  und  $VM$  beziehungsweise  $VT$  und  $GE$  untersucht<sup>53</sup>.

Verfahren: Trivariate Regressionsanalyse

Das Evaluationsprozedere orientiert sich an den dreizehn ersten Schritten von Tabelle 84, S. 192.

1. Schritt: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Sechs Fälle wurden ausgeschlossen. Begründung siehe S. 193.

2. Schritt: Zentrierung der Prädiktoren

Siehe S. 193.

3. Schritt: Bildung der Interaktionsvariablen

Es werden keine Interaktionsvariablen gebildet.

4. Schritt: Deskriptive Statistik

Vortestscore (Performanz)  $VT$  versus Vortestscore (Motivation)  $VM$

Die Diagramme von Abbildung 39 zeigen die Vortestcores  $VT$  in Abhängigkeit von den Vortestcores  $VM$ . Es deuten sich keinerlei systematische Zusammenhänge zwischen den beiden Größen an.

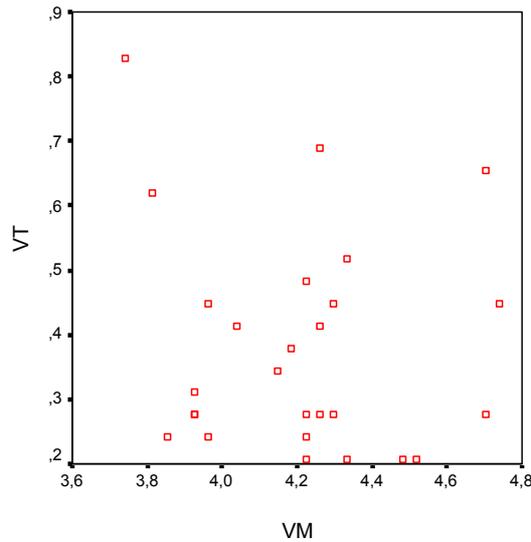


Abb.39: Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit von den Vortestscores (Motivation)

Vortestscore (Performanz) VT versus Geschlecht GE

Tabelle 97 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Vortestscores VT in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Tab.97: Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Vortestscores (Performanz)

		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
VT	♂	18	,21	,83	,43	,18
	♀	9	,21	,41	,28	,06

Das Histogramm von Abbildung 40 zeigt den mittleren Vortestscore (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht GE:

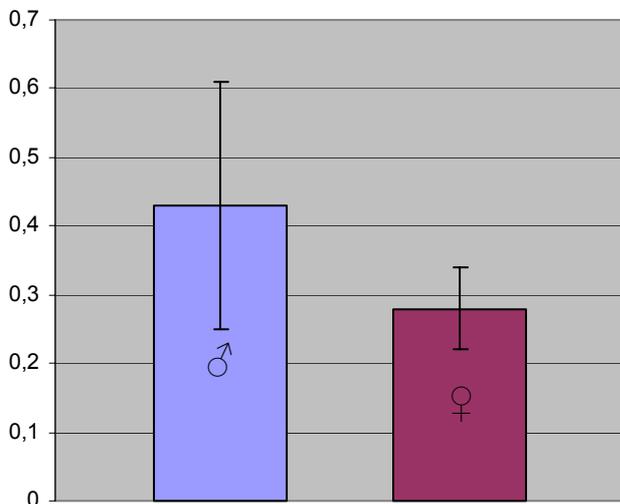


Abb.40: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen Vortestscore (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht

### 5. Schritt: Berechnung der Korrelationen

Tabelle 98 liefert eine Übersicht über die errechneten Zusammenhangsmaße  $r$  (VT-GE) beziehungsweise  $\eta$  (VT-VM) sowie zugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$ :

Tab.98: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten der Variablenpaare VT-GE sowie VT-VM<sup>74</sup>

	VM	GE <sup>75</sup>
VT	-,12	-,41*
$p$	,55	,04

Anmerkung:

\*  $\eta$  ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Bereits an dieser Stelle zeichnet sich ab, dass es sich bei VT angesichts des signifikanten Zusammenhangs mit GE (und der hohen Korrelation von VT und NT) tatsächlich um eine Mediatorgröße handeln könnte. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sollte dies im Hinblick auf NM nicht gelten.

Weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

### 6. Schritt : Multiple Regression des Vortestscores (Performanz)

Tabelle 99 präsentiert die globalen Gütemaße der ausgeführten Regression. Das Modell bindet etwa ein Fünftel der insgesamt vorhandenen Varianz, der Determinationskoeffizient wird bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 4% signifikant.

Tab.99: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen

$R^2$	$R_K^2$	SEE	F	$p$
,23*	,17	,15	3,67	,04

Anmerkung:

\* Der Determinationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

Tabelle 100 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige, lokale Gütemaße auf. Es ist zu konstatieren, dass der Prädiktor „Geschlecht“ einen signifikanten Einfluss erhält. Somit bestätigt sich die Vermutung, dass es sich bei der uV „Vortestscore VT“ um eine Mediatorvariable handelt, die zwischen Geschlecht und Nachtestscore NT vermittelt<sup>53</sup>.

Tab.100: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression mit dem Vortest-score (Performanz) als abhängiger Variablen

	VM	GE <sup>75</sup>
<i>b</i>	-,17	-,17**
<i>SEE<sub>b</sub></i>	,12	,07
<i>t</i>	-1,45	-2,62
<i>p</i>	,16	,02

Anmerkung:

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

Auf Grundlage des gesammelten Datenmaterials lässt sich kein Zusammenhang zwischen Vortestscore (Performanz) und Vortestscore (Motivation) herstellen.

**Überprüfung auf Heteroskedastizität**

Die Sichtprüfung des Diagramms, in dem die standardisierten Residuen der Regression gegen die standardisierten Schätzwerte aufgetragen sind, liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorhandener Varianzhomogenitäten (siehe Unterkapitel 3.2.6.1):

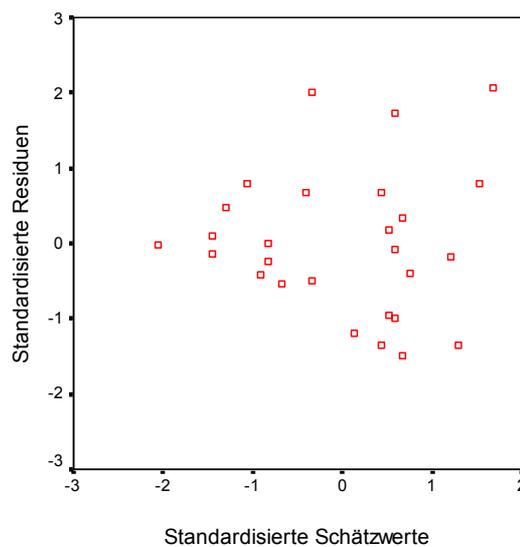


Abb.41: Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die Regression des Vortest-scores (Performanz)

Zur Durchführung des Levene-Tests auf Homoskedastizität (diesbezüglich die Nullhypothese  $H_0$ ) werden jeweils die Residuen Gruppen  $\hat{Y} \geq 0$  sowie  $\hat{Y} < 0$  gebildet. Tabelle 101 informiert über Prüfgrößen und Irrtumswahrscheinlichkeiten:

Tab.101: Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regression der Nachtestscores (Performanz)

Levene-Prüfgröße	p
2,05	,17

Es ist zu konstatieren, dass im Hinblick auf den analysierten Datensatz mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit keine Heteroskedastizität vorliegt.

#### 9. Schritt: Test der Residuen auf Normalverteilung

Das Diagramm von Abbildung 42 zeigt das Residuen-Histogramm (mit Normalverteilungskurve). Tabelle 102 führt das Ergebnis des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf, der im Sinne einer vermuteten Normalverteilung ausfällt. Die Prüfgrößen hinsichtlich Schiefe und Kurtosis bleiben betragsmäßig stets kleiner als zwei, sodass man (im Rahmen statistischer Unwägbarkeiten) von Normalverteilungen der Residuen bei allen drei regressionsvarianten ausgehen kann (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Tab.102: Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis für die Regression des Vortestscores (Performanz)

Kolmogorov-Smirnov		Schiefe			Kurtosis		
$D$	$p$	$S$	$SEE_S$	$\frac{S}{SEE_S}$	$K$	$SEE_K$	$\frac{K}{SEE_K}$
,50	,97	,54	,45	1,2	,04	,87	,05

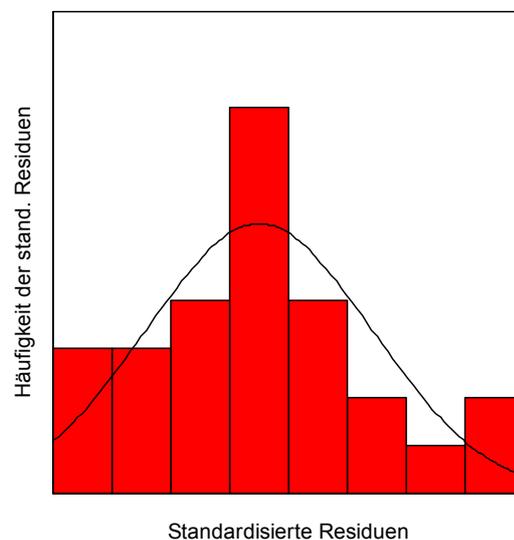


Abb.42: Residuen-Histogramm mit theoretischer Normalverteilungskurve für die Regression des Vortestscores (Performanz)

#### 10. Schritt: Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen

Das Diagramm der Abbildung 41 (S. 206), in dem die standardisierten Residuen in Abhängigkeit von den standardierten Schätzwerten zu sehen sind, weisen keine auffälligen Zusammenhänge auf. Die Korrelationsanalyse (Tabelle 103) bestätigt diese

Vermutung. Somit kann von einer akzeptablen Effizienz des linearen Regressionsmodells ausgegangen werden.

Tab.103: Korrelationskoeffizient  $r$  und Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  von standardisierten Residuen (Beträge)<sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die Regression des Vortestscore (Performanz)

		$ \hat{u}' $
$\hat{Y}'$	$r$	-,00
	$p$	,99

11. Schritt: Stabilitätstests

Tabelle 104 informiert über die Toleranz-Maßzahlen, die sich für die relevanten Prädiktoren der Regression ergeben.

Tab.104: Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die Regression des Vortest-scores (Performanz)

<b>VM</b>	<b>GE</b>
,91	,91

Alle Maßzahlen sind deutlich größer als ,25, was als Hinweis darauf gewertet werden kann, dass das Problem der Multikollinearität von untergeordneter Bedeutung ist siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Die nun folgenden Stabilitätstests sind nach der Anzahl der eingebundenen Prädiktoren geordnet und dienen dem Zweck, die Regressionskoeffizienten auf ihre Änderungsanfälligkeit bei Aufnahme weiterer Regressoren hin zu untersuchen. Auf diese Weise kann des weiteren eine eventuell vorhandene Multikollinearität unabhängiger Variablen aufgedeckt werden (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

In Tabelle 105 sind Regressionskoeffizienten  $b$  sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  der beiden Regressionsmodelle für die relevanten Prädiktoren aufgeführt. Letztere unterscheiden sich in der Anzahl der aufgenommenen Prädiktoren.

Tab.105: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regression des Vortest-scores (Performanz)

Modell	1		2	
	$b$	$p$	$b$	$p$
uV				
<b>VM</b>	-,08	,55	-,17	,16
<b>GE</b>			-,17**	,02
$R^2_k$	-,03		,17	
VM			-,17	,16
<b>GE<sup>75</sup></b>	-,14*	,04	-,17**	,02
$R^2_k$	,13			

Anmerkung:

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

Die in den Tabellen aufgeführten Werte geben Anlass zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Der Prädiktor „Vortestscore (Motivation)“ wird in keinem Modell signifikant;
- *VM* fungiert im Hinblick auf den Einfluss des Geschlechts als Suppressorvariable. Im trivariaten Modell wird *GE* hochsignifikant.

12. Schritt: Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren

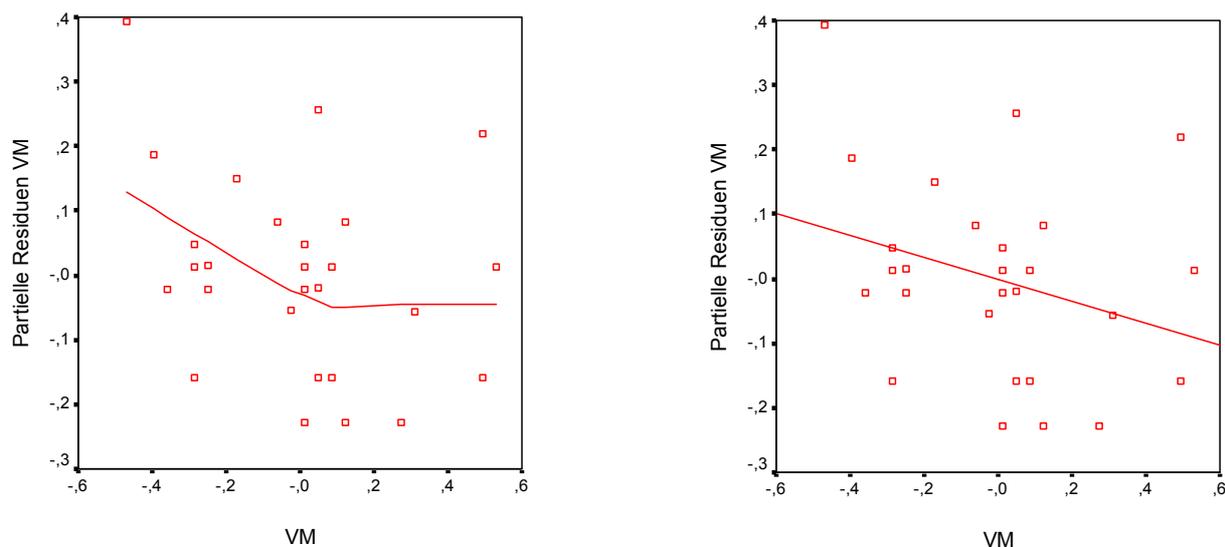


Abb.43: Streudiagramm der partiellen Residuen und LOWESS-Kurve für den Prädiktor *VM* (links). Streudiagramm der partiellen Residuen und Regressionsgerade für den Prädiktor *VM* (rechts)

Es fällt ins Auge, dass die partiellen Residuen für unterdurchschnittliche Vortestscores (Motivation) mit zunehmendem *VM* kleiner werden (Abbildung 43). Bei überdurchschnittlichen Scores besteht zwischen den Störgrößen und den Motivationswerten kein systematischer Zusammenhang. Zum Vergleich ist im rechten Teil der Abbildung das Streudiagramm mit Regressionsgerade dargestellt.

Da es sich beim Prädiktor „Geschlecht“ um eine dichotome Variable handelt, wird auf die Berechnung der partiellen Residuen verzichtet.

13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärken  $f^2$ , die den betrachteten Prädiktoren zugeordnet werden können, wird eine hierarchische, multiple Regression (siehe Unterkapitel 3.2.5.1) durchgeführt. Tabelle 106 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ .

Tab.106: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regression der *aV* Vortestscore (Performanz)

Modell uV	1		2		f <sup>2</sup>
	b	p	b	p	
VM	-,08	,55	-,17	,16	,02
GE <sup>5</sup>			-,17**	,02	,27
R <sup>2</sup>	,02		,23		

Anmerkung:

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

Im Rahmen der Regression wird der Motivation ein äußerst schwacher Effekt zugeordnet, wobei der entsprechende Regressionskoeffizient jedoch nicht signifikant wird. Für den Prädiktor „Geschlecht“ ergibt sich ein mittelstarker Einfluss auf den Vortestscore (Performanz).

*Die Motivation am Ende der Instruktionsphase NM ist Mediatorin der Einflüsse der Gruppenzugehörigkeit GR, der Motivation am Beginn der Instruktion VM und des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 13,14,15).*

Da die Stichprobe ausschließlich aus Probanden besteht, die unter Einbeziehung des JiTT-Verfahrens instruiert wurden, ist die Hypothese folgendermaßen zu modifizieren:

*Die Motivation am Ende der Instruktionsphase NM ist Mediatorin der Einflüsse der Motivation am Beginn der Instruktion VM und des Geschlechts GE auf den Nachtestscore (Performanz) NT (Hypothesen 13,15).*

Es ist zu konstatieren, dass sich kein signifikant werdender Korrelationskoeffizient für das Variablenpaar *NM-NT* ergibt. Trotzdem soll (aus theoretischen Erwägungen heraus) der Frage nachgegangen, inwieweit es sich (bei hypothetisch vorausgesetztem Einfluss der Motivation am Ende der Instruktion auf den Nachtestscore (Performanz)) bei *NM* um eine Mediatorvariable handeln könnte. Zu diesem Zweck werden die Zusammenhänge *VM-NM* sowie *GE-NM* untersucht<sup>53</sup>.

Verfahren: Multiple Regressionsanalyse

Das Evaluationsprozedere orientiert sich an den dreizehn Schritten von Tabelle 84, S. 192.

1. Schritt: Betrachtung der Beobachtungsfälle

Sechs Fälle wurden ausgeschlossen. Begründung siehe S. 193.

2. Schritt: Zentrierung der Prädiktoren

Siehe S. 193.

3. Schritt: Bildung der Interaktionsvariablen

Es werden keine Interaktionsvariablen gebildet.

4. Schritt: Deskriptive Statistik

Nachtestscore (Motivation) *NM* versus Vortestscore (Motivation) *VM*

Das Diagramm von Abbildung 44 zeigen die Nachtestscores *NM* in Abhängigkeit von den Vortestscores *VM*.

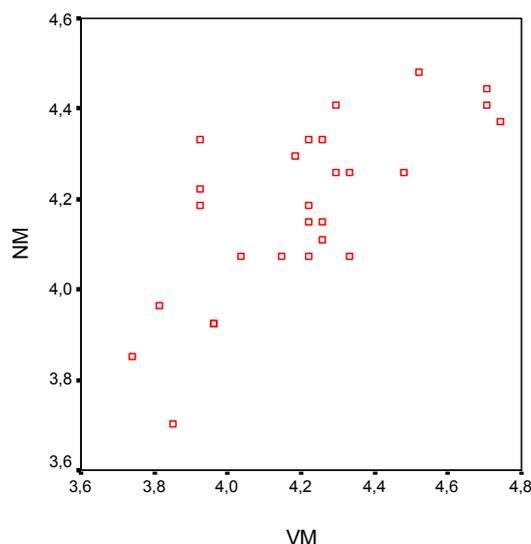


Abb.44: Nachtestscores (Motivation) in Abhängigkeit von den Vortestscores (Motivation; jeweils nicht-zentriertes Datenmaterial)

Das Diagramm deutet auf einen linearen Zusammenhang zwischen *NM* und *VM* hin.

Vortestscore (Performanz) *VT* versus Geschlecht *GE*

Tabelle 107 informiert über Maßzahlen zur Kennzeichnung der zentralen Tendenz und der Streuung des Nachtestscores *NM* in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Tab.107: Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Nachtestscores (Motivation)

		N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>NM</b>	♂	18	3,85	4,44	4,20	,17
	♀	9	3,7	4,48	4,14	,24

Das Histogramm von Abbildung 45 zeigt den mittleren Nachtestscore (Motivation) *NM* in Abhängigkeit vom Geschlecht *GE*:

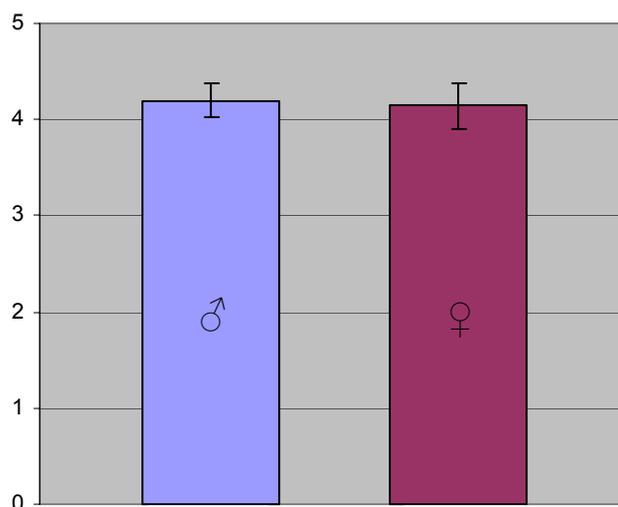


Abb.45: Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mittelwerte der Nachtestscores (Motivation) für männliche und weibliche Probanden nicht signifikant voneinander unterscheiden.

#### 5. Schritt: Berechnung der Korrelationen

Tabelle 108 liefert eine Übersicht über die errechneten Zusammenhangsmaße  $r$  ( $NM-VM$ ) beziehungsweise  $\eta$  ( $NM-GE$ ) sowie zugehöriger Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$ :

Tab.108: Zusammenhangsmaße  $r$  und eta sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten der Variablenpaare  $NM-VM$  sowie  $NM-GE$

	$VM$	$GE^{75}$
$NM$	,73***	-,13
$p$	,00	,51

Anmerkung:

\*\*\*  $r$  ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Bereits an dieser Stelle zeichnet sich ab, dass es sich bei  $NM$  angesichts des höchstsignifikanten Zusammenhangs mit  $VM$  tatsächlich um eine Mediatorgröße handeln könnte. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sollte dies im Hinblick auf  $GE$  nicht gelten.

Weiterführende Analysen müssen nun zeigen, wie tragfähig die Ergebnisse dieser einleitenden Korrelationsanalyse tatsächlich sind.

#### 6. Schritt : Multiple Regression des Nachtestscores (Motivation)

Tabelle 109 präsentiert die globalen Gütemaße der ausgeführten Regression. Das Modell bindet etwa die Hälfte der insgesamt vorhandenen Varianz, der Determinationskoeffizient wird bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner ,001 höchstsignifikant.

Tab.109: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen

$R^2$	$R^2_k$	SEE	F	p
,54	,50	,14	14,02	,00

Anmerkung:

\*\*\* Der Determinationskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 signifikant.

Tabelle 110 führt die partiellen Regressionskoeffizienten und zugehörige, lokale Gütemaße auf. Es ist zu konstatieren, dass der Prädiktor „Motivation“ zu Beginn der Instruktion einen höchstsignifikanten Einfluss erhält. Somit bestätigt sich die Vermutung, dass es sich bei NM (Motivation) um eine Mediatorvariable handelt, die zwischen VM (Motivation) und NT (Performanz) vermittelt.

Tab.110: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen

	VM	GE
b	,54***	,04
$SEE_b$	,10	,06
t	5,2	,69
p	,00	,50

Anmerkung:

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Auf Grundlage des gesammelten Datenmaterials lässt sich kein Zusammenhang zwischen Nachtestscore (Motivation) und Geschlecht herstellen.

### Überprüfung auf Heteroskedastizität

Die Sichtprüfung des Diagramms, in dem die standardisierten Residuen der Regression gegen die standardisierten Schätzwerte aufgetragen sind, liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorhandener Varianzinhomogenitäten (siehe Unterkapitel 3.2.6.1):

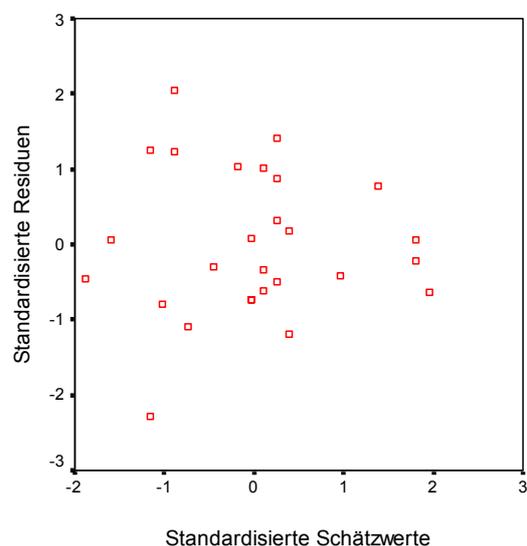


Abb.46: Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die Regression des Nachtestscores (Motivation)

Zur Durchführung des Levene-Tests auf Homoskedastizität (diesbezüglich die Nullhypothese  $H_0$ ) werden jeweils die Residuengruppen  $\hat{Y} \geq 0$  sowie  $\hat{Y} < 0$  gebildet. Tabelle 111 informiert über Prüfgrößen und Irrtumswahrscheinlichkeiten:

Tab.111: Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regression der Nachtestscores (Motivation)

Levene-Prüfgröße	$p$
2,26	,15

Es ist zu konstatieren, dass im Hinblick auf den analysierten Datensatz mit akzeptabler Wahrscheinlichkeit keine Heteroskedastizität vorliegt.

#### 9. Schritt: Test der Residuen auf Normalverteilung

Das Diagramm von Abbildung 47 zeigt das Residuen-Histogramm (mit Normalverteilungskurve). Tabelle 112 führt das Ergebnis des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf, der im Sinne einer vermuteten Normalverteilung ausfällt. Die Prüfgrößen hinsichtlich Schiefe und Kurtosis bleiben betragsmäßig stets kleiner als zwei, sodass man (im Rahmen statistischer Unwägbarkeiten) von Normalverteilungen der Residuen ausgehen kann (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Tab.112: Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis für die Regression des Nachtestscores (Motivation)

Kolmogorov-Smirnov		Schiefe			Kurtosis		
$D$	$p$	$S$	$SEE_S$	$\frac{S}{SEE_S}$	$K$	$SEE_K$	$\frac{K}{SEE_K}$
,55	,92	,07	,45	,16	,09	,87	,10

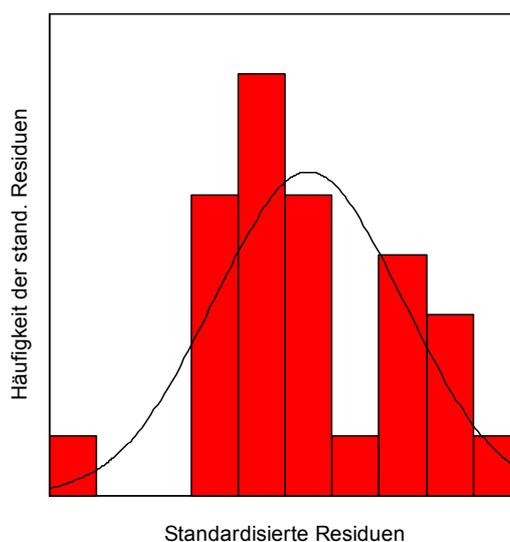


Abb.47: Residuen-Histogramm mit theoretischer Normalverteilungskurve für die Regression des Nachtestscores (Motivation)

### 10. Schritt: Bestimmung der Korrelation zwischen Schätzern und Residuen

Das Diagramm der Abbildung 46 (S. 213), in dem die standardisierten Residuen in Abhängigkeit von den standardisierten Schätzwerten zu sehen sind, weisen keine auffälligen Zusammenhänge auf. Die Korrelationsanalyse (Tabelle 113) bestätigt diese Vermutung. Somit kann von einer akzeptablen Effizienz des linearen Regressionsmodells ausgegangen werden.

Tab.113: Korrelationskoeffizient  $r$  und Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  von standardisierten Residuen (Beträge)<sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die Regression des Nachtestscores (Motivation)

		$ \hat{u}' $
$\hat{Y}'$	$r$	-,36
	$p$	,07

### 11. Schritt: Stabilitätstests

Tabelle 114 informiert über die Toleranz-Maßzahlen, die sich für die relevanten Prädiktoren der Regression ergeben.

Tab.114: Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die Regression des Nachtestscores (Motivation)

<b>VM</b>	<b>GE</b>
,91	,91

Alle Maßzahlen sind deutlich größer als 0,25, was als Hinweis darauf gewertet werden kann, dass das Problem der Multikollinearität von untergeordneter Bedeutung ist (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

Die nun folgenden Stabilitätstests sind nach der Anzahl der eingebundenen Prädiktoren geordnet und dienen dem Zweck, die Regressionskoeffizienten auf ihre Änderungsanfälligkeit bei Aufnahme weiterer Regressoren hin zu untersuchen. Auf diese Weise kann des weiteren eine eventuell vorhandene Multikollinearität unabhängiger Variablen aufgedeckt werden (siehe Unterkapitel 3.2.6.1).

In Tabelle 115 sind Regressionskoeffizienten  $b$  sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  der beiden Regressionsmodelle für die relevanten Prädiktoren aufgeführt. Letztere unterscheiden sich in der Anzahl der eingebundenen Regressoren.

Tab.115: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regression des Nachtestscores (Motivation)

Modell \ uV	1		2	
	b	p	b	p
<b>VM</b>	<b>,52***</b>	<b>,00</b>	<b>,54***</b>	<b>,00</b>
GE			,04	,50
$R^2_k$	,51		,50	
VM			,54***	,00
<b>GE</b>	<b>-,05</b>	<b>,51</b>	<b>,04</b>	<b>,50</b>
$R^2_k$	-,02		,50	

Anmerkung:

\*\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Die in den Tabellen aufgeführten Werte geben Anlass zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Der Prädiktor „Vortestscore (Motivation)“ wird in allen Modellen höchstsignifikant;
- Der Einfluss des Geschlechts auf den Nachtestscore (Motivation) erreicht in keinem der präsentierten Szenarien ein signifikantes Niveau;
- Das Problem der Multikollinearität tritt in dem beschriebenen Kontext nicht auf.

12. Schritt: Regression der partiellen Residuen auf die ihnen zugrundeliegenden Prädiktoren

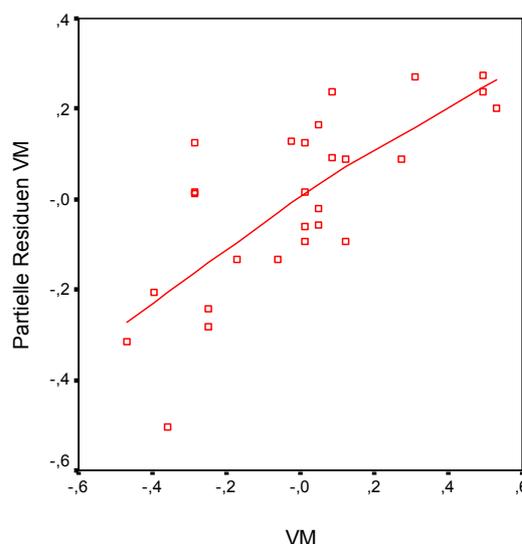


Abb.48: Streudiagramm der partiellen Residuen und LOWESS-Kurve für den Prädiktor VM

Im Diagramm von Abbildung 48 offenbart sich ein hohes Maß an Linearität beziehungsweise zufälliger Streuung der partiellen Residuen.

Da es sich beim Prädiktor „Geschlecht“ um eine dichotome Variable handelt, wird auf die Berechnung der partiellen Residuen verzichtet.

### 13. Schritt: Bestimmung der Effektstärken

Zum Zwecke der Bestimmung der Effektstärken  $f^2$ , die den betrachteten Prädiktoren zugeordnet werden können, wird eine hierarchische, multiple Regression (siehe 3.2.5.1) durchgeführt. Tabelle 116 führt Regressionskoeffizienten  $b$ , Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  und Determinationskoeffizienten  $R^2$  auf. In der letzten Spalte schließlich findet man die Effektstärken  $f^2$ .

Tab.116: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regression der  $\Delta V$  Nachtestscore (Motivation)

Modell uV	1		2		$f^2$
	$b$	$p$	$b$	$p$	
VM	,52***	,00	,54***	,00	1,13
GE <sup>75</sup>			,04	,50	,02
$R^2$	,53		,54		

Anmerkung:

\*\* Der Regressionskoeffizient ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

Im Rahmen der Regression ergibt sich für den Prädiktor „Motivation zu Beginn der Instruktion“ ein sehr starker Einfluss auf den Nachtestscore (Motivation). Dem Geschlecht wird ein äußerst schwacher Effekt zugeordnet, der entsprechende Regressionskoeffizient wird nicht signifikant.

#### 4.4 Auswertung „motivationale Einstellungen zum JiTT-Verfahren“

##### Betrachtung der Fälle

Der ursprüngliche Stichprobenumfang  $N' = 33$  verringerte sich auf  $N = 27$ , da sechs Studenten zum Zeitpunkt der Testdurchführung nicht anwesend waren. Unter den Probanden befanden sich insgesamt neun Frauen.

##### Auswertungsprozedere

Das Inventar „Reflexionsbogen 2“ (siehe Anhang Y) wird auf Itemebene ausgewertet, das zum Zuge kommende statistische Auswertungsverfahren ist der t-Test (siehe Tabelle 117). Mit seiner Hilfe wird eruiert, wie groß die Wahrscheinlichkeit  $p$  eines Irrtums ist, wenn man davon ausgeht, dass der mittlere Item-Score  $S'$  nicht der Verteilung des  $H_0$ -Wertes „2,5“ (entspricht dem Schülerstatement „weder Zustimmung noch Ablehnung“) zugehörig ist. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass einige der Items invertiert wurden, was den positiven Effekt zur Folge hat, dass ein hoher  $S'$ -Score  $> 2,5$  in allen Fällen als JiTT-Zuspruch gewertet werden kann, während niedrige  $S'$ -Scores auf eine JiTT-kritische Stellungnahme hindeuten. Einige Testbögen weisen unbearbeitete Fragestellungen auf, sodass der effektive Stichprobenumfang  $N$  von Item zu Item variieren kann.

Die Tabelle 117 weist eine geschlechtsspezifische Gliederung auf, die aufgeführten *Cohen's d* - Werte informieren über die „statistische Mächtigkeit“ der ermittelten Abweichungen der  $S'$ -Scores vom  $H_0$ -Wert „2,5“.

Im zweiten Teil der Evaluation wird der Versuch unternommen, die Statements, die die Probanden als freie Äußerungen im Reflexionsbogen 2 notierten, zu kategorisieren. Einen diesbezüglichen Überblick liefert Tabelle 118.

In einem dritten Schritt wird nach existierenden Zusammenhängen zwischen JiTT-Motivation, dem Geschlecht und dem Nachtestscore (Performanz) der Probanden gefragt.

##### Evaluation auf Itemebene

Tab.117: Geschlechtsspezifische Auswertung des Reflexionsbogens 2 zum JiTT-Verfahren

INR	ITEM	♂					♀					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
1	„Die JiTT-Übungen sind für mich schwerer zu lösen als normale Übungen“	18	3,00	1,03	,06	<b>,49</b>	9	2,56	1,42	,91	<b>,04</b>	27	2,85	1,17	,13	<b>,30</b>
2	„Ich finde die JiTT-Übungen interessanter als „normale“ Übungen“	18	2,33	,97	,48	<b>,18</b>	9	2,44	1,42	,91	<b>,04</b>	27	2,37	1,12	,55	<b>,12</b>

INR	ITEM	♂					♀					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
3	„Studenten werden durch JITT in unzumutbarer Weise kontrolliert“	17	3,00	1,32	,14	<b>,38</b>	9	4,00 ***	,87	,00	<b>1,72</b>	26	3,35 **	1,26	,00	<b>,68</b>
4	„Studenten sollten stets das Recht haben, den Zeitpunkt der Übungs-Anfertigung selbst zu bestimmen“	18	1,67 **	1,03	,00	<b>,81</b>	9	2,00	1,73	,41	<b>,29</b>	27	1,78 **	1,28	,00	<b>,56</b>
5	„Zur Erledigung der JITT-Übungen war mehr Zeit vonnöten als für „normale“ Physik-Übungen“	18	2,89	1,23	,20	<b>,32</b>	9	3,33	1,22	,08	<b>,68</b>	27	3,04 *	1,22	,03	<b>,44</b>
6	„Fachliche Korrektheit war mir bei den JITT-Übungen wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben“	18	2,00	1,41	,15	<b>,36</b>	9	1,56 *	1,13	,04	<b>,83</b>	27	1,85 *	1,32	,02	<b>,49</b>
7	„Sprachliche Korrektheit war mir bei den JITT-Aufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben“	18	2,56	1,46	,87	<b>,04</b>	9	1,44 *	1,24	,03	<b>,85</b>	27	2,18	1,47	,28	<b>,22</b>
8	„Ich hatte ein mulmiges Gefühl, als mein Übungs-Statement auf der Folie präsentiert wurde (bzw. hätte ein mulmiges Gefühl, wenn es dazu käme)“	18	3,94 **	1,16	,00	<b>,24</b>	9	3,78 *	1,39	,03	<b>,92</b>	27	3,89 ***	1,22	,00	<b>1,14</b>
9	„Das Präsentieren des Statements eines Studenten im Unterricht läuft auf eine Bloßstellung dieses Studenten hinaus“	18	4,28 ***	,83	,00	<b>,15</b>	8	4,25 ***	,89	,00	<b>1,97</b>	26	4,27 ***	,83	,00	<b>2,13</b>
10	„Das Diskutieren der Statements während der Veranstaltung ist sehr interessant“	18	3,06	1,35	,10	<b>,42</b>	9	3,11	1,54	,27	<b>,40</b>	27	3,07 *	1,39	,04	<b>,41</b>
11	„In JITT-Veranstaltungen habe ich den Unterrichtsstoff sehr gut verstanden“	18	2,78	1,31	,38	<b>,21</b>	9	2,89	1,27	,39	<b>,31</b>	27	2,81	1,27	,21	<b>,24</b>
12	„Um dem Unterrichtsverlauf während einer JITT-Veranstaltung folgen zu können, ist ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit notwendig“	17	2,00	1,28	,13	<b>,39</b>	9	2,00	1,23	,26	<b>,41</b>	26	2,00 *	1,23	,05	<b>,41</b>
13	„Ich habe das Gefühl, in besonderer Weise an der Planung der JITT-Stunden beteiligt zu sein“	18	1,83 *	1,20	,03	<b>,56</b>	9	2,00	1,00	,17	<b>,50</b>	27	1,89 **	1,12	,01	<b>,55</b>
14	„Während der JITT-Stunden habe ich erweiterte Möglichkeiten, die Übung mit zu gestalten“	18	2,67	1,28	,59	<b>,13</b>	9	3,11	,93	,08	<b>,66</b>	27	2,81	1,18	,18	<b>,26</b>
15	„In JITT-Veranstaltungen fiel es mir sehr schwer, wichtige Aspekte des behandelten Stoffes in mein Heft zu notieren“	18	2,33	1,28	,59	<b>,13</b>	9	1,56 *	1,13	,04	<b>,83</b>	27	2,07	1,27	,09	<b>,34</b>

INR	ITEM	♂					♀					GESAMT				
		N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d	N	S'	$\sigma$	p	d
16	„Beim JiTT-Verfahren wiegen die Nachteile schwerer als die Vorteile“	16	3,25*	1,34	,04	,56	9	3,00	1,41	,32	,36	25	3,16*	1,34	,02	,49

Anmerkungen:

Aufgeführt sind die Größen „Stichprobenumfang N“, „mittlerer Itemscore S'“, „Standardabweichung  $\sigma$ “, „Irrtumswahrscheinlichkeit p“ und „Effektstärke Cohen's d“.

\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\*\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Im Hinblick auf die Statements der Studenten zum JiTT-Verfahren erscheinen folgende Aspekte besonders interessant:

- Die Probanden vertreten nicht den Standpunkt, dass JiTT-Aufgaben schwieriger oder zeitaufwendiger als traditionelle Übungsaufgaben sind;
- Die männlichen Kursteilnehmer finden, dass Studenten den Zeitpunkt der Übungsanfertigung stets selbst bestimmen sollten;
- Die weiblichen Probanden konstatieren, dass ihnen im Rahmen der Bearbeitung der JiTT-Aufgaben fachliche und sprachliche Korrektheit weniger wichtig war als bei „traditionellen“ Übungen;
- Die Kursteilnehmer sind nicht der Ansicht, dass sich das Diskutieren der Statements als besonders interessant gestaltete beziehungsweise sie in diesen Phasen im Hinblick auf ihr Verständnis in besonderem Maße profitierten;
- Die männlichen Probanden glauben nicht, im Zuge des JiTT-Prozederes in besonderem Maße an Planung oder Durchführung der Veranstaltung beteiligt zu sein;
- Die weiblichen Kursteilnehmer hatten während den JiTT-Phasen starke Probleme damit, wichtige thematische Aspekte in ihre Unterlagen zu notieren;
- Lediglich die männlichen Probanden vertreten den Standpunkt, dass die Vorteile des JiTT-Verfahrens stärker wiegen als die Nachteile.

#### *Evaluation der freien Studentenstatements*

In Tabelle 118 finden sich die sieben Kategorien, denen die freien Studentenstatements zugeordnet wurden. Die Zeilen zwei und drei informieren über die Anzahl der Studentenkommunikate der jeweiligen Kategorie sowie deren prozentualer Anteil an der Gesamtstudentenzahl.

Tab.118: Kategorisierung der freien Studentenstatements zum JiTT-Verfahren

Kategorie	Adressatengerechtes Unterrichten	Disziplinierung	Zeitdruck	Feedback auf Hausaufgabe	Facettenreichtum der Diskussionen	Fehlende Klarheit der Stundenstruktur	Streberproblematik
Summe	2	V:1 / N:0	10	2	3	10	0
Anteil (%)			37		11	37	0

Anmerkung:

Angegeben ist die Summe der in der entsprechenden Kategorie verortbaren Statements sowie der prozentuale Anteil der Kategorie-Statements am Stichprobenumfang. Die Buchstaben „V“ und „N“ der Rubrik „Disziplinierung“ stehen für „Vorteil“ beziehungsweise „Nachteil“.

Als besonders positiv vermerken lediglich jeweils zwei Probanden das vergleichsweise höhere Maß an Berücksichtigung von Studentenideen und -konzepten sowie das erweiterte Hausaufgaben-Feedback. Drei Studenten heben den Facettenreichtum der Diskussionen in JiTT-Phasen des Unterrichts als besonders erwähnenswert hervor.

Mehr als ein Drittel des Kurses sieht einen gravierenden Nachteil des Verfahrens in der Festlegung einer Deadline für das Versenden der Aufgaben-Bearbeitungen und klagt über den daraus resultierenden zeitlichen Druck. Ein ähnlich hoher Anteil konstatiert einen Mangel an Klarheit hinsichtlich des Unterrichtsablaufs.

Evaluation des Zusammenhangs zwischen JiTT-Motivation, Geschlecht und Nachtestscore (Performanz)

In einem nun folgenden, dritten Schritt wird nach dem Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen JiTT-Motivationsscore *MOTJITT* (Reflexionsbogen 2) eines Probanden und seinem Geschlecht *GE* beziehungsweise seinem Nachtestscore (Performanz) *NT* gefragt. Die Tabelle 119 informiert über die ermittelten Zusammenhangsmaße der entsprechenden Variablen.

Tab.119: Zusammenhangsmaße  $r$  und  $\eta$  sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  des JiTT-Motivationsscores *MOTJITT*, des Nachtestscores (Performanz) *NT* und des Geschlechts *GE*<sup>74</sup>

	<i>GE</i> <sup>75</sup>	<i>NT</i>
<i>MOTJITT</i>	-,04	,37*
<i>p</i>	,83	,06

Anmerkungen:

\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Die Differenz „S'-2,5“ ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

Nachtestscore und JiTT-Motivation verbindet ein signifikant werdender, mittlerer Korrelationskoeffizient, der dahingehend zu interpretieren ist, dass Probanden höheren Leistungsniveaus das JiTT-Prozedere auch positiver bewerten.

Bezüglich der Variablen „JiTT-Motivation“ und „Geschlecht“ ergibt sich kein statistisch bedeutsamer Zusammenhang.

## KAPITEL 5: RESÜMEE

### 5.1 Zusammenfassung und Diskussion

Bezug nehmend auf das in den Unterkapiteln 3.1.1 und 3.1.2 dargelegte und begründete Wirkungsgefüge, findet sich auf den folgenden Seiten eine Darstellung der wichtigsten Ergebnisse der realisierten Feldstudien in zwei Leistungskursen Physik der gymnasialen Oberstufe sowie in einem Mechanikkurs des universitären Lehramtsstudiums für das Fach Physik. Des weiteren wird versucht, die präsentierten Resultate in Beziehung zu setzen zu theoretischen Modellen der Lehr-Lernforschung beziehungsweise Konsequenzen zu formulieren für den unterrichtlichen Alltag.

#### 5.1.1 Resultate der Hauptstudie

Die Abbildungen 49 und 50 zeigen das theoretischen Wirkungsgefüge (siehe Unterkapitel 3.1.1) für die Themenfelder Mechanik und Elektrodynamik. Bezüglich der vermuteten Kausalzusammenhänge 1 bis 15 sind Effektstärken  $f^2$  in roter, ausgeschöpfte Varianzen  $R^2$  in blauer Farbe eingefügt.

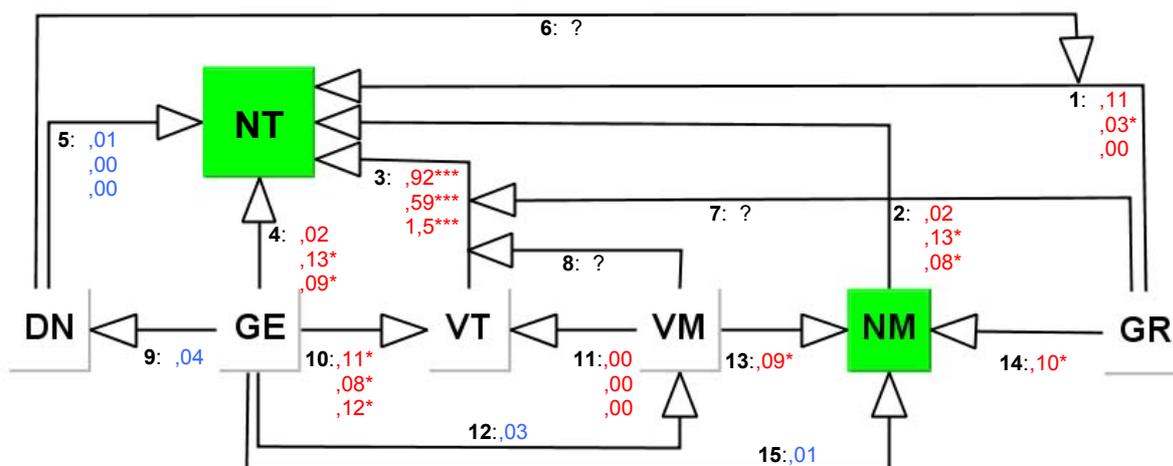


Abb.49: Wirkungsgefüge und Effekte für die Mechanik (Schulstudie)

Anmerkungen:

Effektstärken  $f^2$  sind in roter, ausgeschöpfte Varianzen  $R^2$  in blauer Farbe dargestellt. Bei drei aufgeführten Werten hinter einer Hypothesennummer gibt die erste Zeile den FCI-Wert, die zweite den FKB- und die dritte den FCI/FKB-Wert an.

\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Die Abbildung zur Mechanik führt die interessierenden Werte für die Regressionsvarianzen „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ in Zeilenumbruchdarstellung auf; in der zur Elektrodynamik finden sich in den drei Zeilen jeweils die Werte für die Inventare „ECCE I“, „CSE“ sowie „CSM“. Abhängig davon, ob beziehungsweise in welchem Aus-

maße die den verschiedenen Effektstärken zugeordneten Testgrößen signifikant wurden, sind die Zahlenwerte mit Sternchen „\*, \*\*, \*\*\*“ versehen.

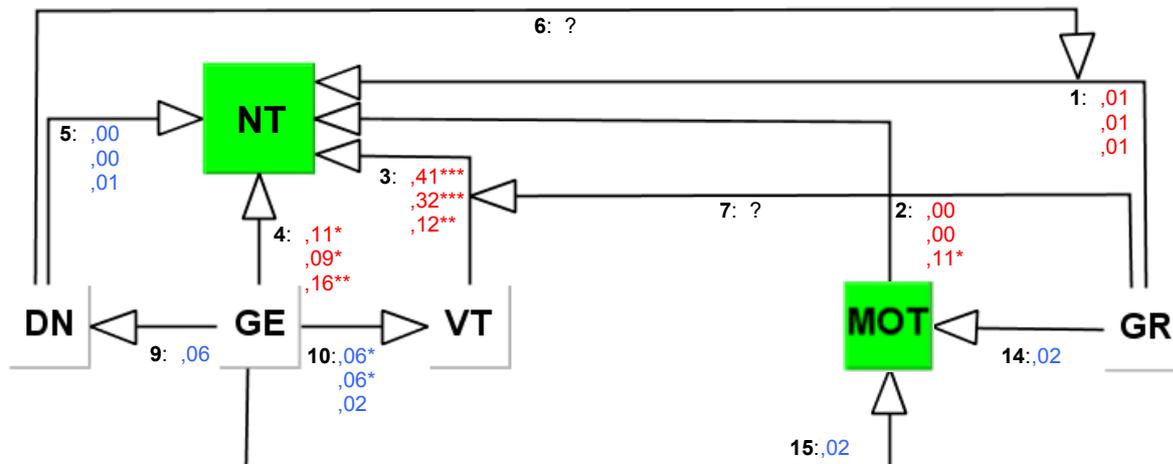


Abb.50: Wirkungsgefüge und Effekte für die Elektrodynamik

Anmerkungen:

Effektstärken  $f^2$  sind in roter, ausgeschöpfte Varianzen  $R^2$  in blauer Farbe dargestellt. Bei drei aufgeführten Werten hinter einer Hypothesennummer gibt die erste Zeile den ECCE I-Wert, die zweite den CSE- und die dritte den CSM-Wert an.

\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Insbesondere im Hinblick auf die schwerer nachzuweisenden, hypothetischen Interaktionseffekte muss eingeräumt werden, dass die Teststärke des Prozedere infolge des zu geringen Stichprobenumfanges (sowie vergleichsweise bescheidener Einflüsse  $f^2 < ,18$ ; siehe Unterkapitel 3.2.1) nicht ausreichte, um selbige ans Tageslicht zu bringen.

#### 5.1.1.1 Effizienz des JiTT-Verfahrens (Performanz)

Hauptintention der Studie war es, einen statistisch belastbaren Beleg für die Effizienz des Just-in-Time Teaching - Verfahrens zu liefern. Es ist zu konstatieren, dass dieses Ansinnen nicht verwirklicht werden konnte. Der Einfluss des Unterrichtsverfahrens auf das Unterrichtsergebnis wird lediglich ein einziges Mal, im Falle der FKB-Evaluation in der Mechanik, auf schwachem Niveau signifikant. Dieser Umstand reicht in meinen Augen jedoch keinesfalls aus, um den teils beträchtlichen zeitlichen Mehraufwand für die unterrichtende Lehrkraft (Vorbereitung der JiTT-Stunden) zu rechtfertigen.

Diverse Metaanalysen belegen die Vermutung, dass bezüglich der Bewertung eines Verfahrens ein „Positiv-Bias“ auftritt, sofern es sich beim Entwickler (oder in diesem Falle: dem „Modifizierer“) des Konzeptes auch gleichzeitig um die instruierende Lehr-

kraft handelt. Es muss also davon ausgegangen werden, dass das Evaluationsergebnis im Falle eines anderen, für Kontroll- und Treatmentgruppe verantwortlichen Lehrers noch negativer ausgefallen wäre.

Im Hinblick auf mögliche Erklärungsmuster für das Versagen des Verfahrens erscheinen folgende Überlegungen besonders erwähnenswert:

- JiTT ist adaptiv! Die Statements der Lernenden brachten Präkonzepte, Vorstellungen von behandeltem Stoff und Missverständnisse ans Licht, die ohne JiTT mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht artikuliert worden wären. Vielleicht ist es jedoch ausreichend, sich im Zuge der Unterrichtsplanung auf die gängigen „Mainstream-Präkonzepte“ zu beschränken (wie bei den Kontrollgruppen geschehen) und diese auf umfassende, schülergemäße Weise zu besprechen;
- JiTT-Hausaufgaben werden als „konzeptionell schriftlicher“ empfunden als traditionelle Hausaufgaben! Das JiTT-Prozedere führte dazu, dass die Probanden einen höheren Wert auf fachliche und sprachliche Korrektheit legten, die Schüler der Treatmentgruppe „Elektrodynamik“ halten JiTT-Hausaufgaben zudem für zeitintensiver. Solche Aspekte aufgreifend, scheint die Behauptung nicht abwegig, es seien in stärkerem Maße als üblich kognitive und metakognitive Strategien eingesetzt worden. Dass sich kein nachhaltiger Effekt auf das Lernergebnis zeigte, könnte mit der steigerungsfähigen Effizienz der eingesetzten Strategien zusammenhängen;
- JiTT scheint insbesondere leistungsschwächere Lernende zu (über-) fordern. Dies kann mit dem Umstand begründet werden, dass JiTT-Stunden vergleichsweise offen gestaltet wurden, also in geringerem Maße über strukturgebende Elemente (klares, gegliedertes Tafelbild, vorhersehbarer Ablauf der Arbeitsschritte o.ä.) verfügten;
- Ein konsequent betriebener *Conceptual Change* - Ansatz (siehe Unterkapitel) kann wohl zur Verwirrung mancher Lernenden führen, mit der Konsequenz, dass das Streben, den physikalischen Blick auf die Dinge klar herauszuarbeiten, konkurrenziert wird;
- JiTT gewährleistet einen tieferen Einblick in Denkprozesse und Konzepte des Lernenden und sollte daher letztlich zu einem besseren Lernergebnis führen. Eventuell wird dieser Effekt jedoch durch negative Konsequenzen einer verringerten, autonom regulierten Motivation überdeckt. So klagte mehr als die Hälfte

der eingebundenen Probanden über gesteigerten zeitlichen Druck infolge der JiTT-bedingten Deadline für das Einsenden der Statements;

- Der Unterrichtserfolg, der sich (in etwa in gleichem Maße) in den jeweiligen Kontroll- und Treatmentgruppen einstellte, lässt sich meines Erachtens auf das sehr mächtige methodische Werkzeug der computerunterstützten graphischen Modellbildung, das im Schulteil der Feldstudie in Gruppenarbeit eingesetzt wurde, zurückführen. Vielleicht wurde ein auf JiTT zurückführbarer, eher kleiner Effekt durch den Einfluss der Modellbildung überdeckt.

#### 5.1.1.2 Einfluss des Vorwissens

Wie in zahlreichen früheren Studien bereits geschehen, geht der Vortestscore aus allen berechneten Modellen als der mit Abstand mächtigste Prädiktor hervor (siehe Unterkapitel 2.6). Dass der CSM in diesem Kontext eine Ausnahme bildet, lässt sich mit dem Umstand begründen, dass zur erfolgreichen Bearbeitung des Inventars (wie auch des CSE) bereits in einigem Ausmaß formales Wissen vorhanden sein muss (siehe Unterkapitel 3.2.4). Zu Beginn der zwölften Jahrgangsstufe liegt die Behandlung der abgeprüften Themenfelder (auf Mittelstufenniveau) bereits knapp zwei Jahre zurück. Es muss also davon ausgegangen werden, dass viele Schüler im Zuge der Beantwortung der Items mehr oder weniger gut geraten haben. Dies schmälert den Wert des Inventars als Instrument zur Kontrolle des Faktors „Vorwissen“ ganz erheblich.

Die Bedeutung des Faktors „Vorwissen“ kann ganz offensichtlich nur schwerlich überschätzt werden. Dreh- und Angelpunkt einer jeden Unterrichtsplanung muss also der Kenntnisstand der zu instruierenden Schüler sein.

In diesem Zusammenhang ist wohl davon auszugehen, dass die Kontrolle dieses Prädiktors im Mechanikteil der Studie auf effizientere Weise gelungen ist als im Falle der Elektrodynamik.

#### 5.1.1.3 Einfluss der (allgemeinen) Motivation

Motivationale Einstellungen der Probanden scheinen nur in sehr begrenztem Maße einen Einfluss auf das Lernergebnis gehabt zu haben. Allerdings muss an dieser Stelle eingeräumt werden, dass im Mechanikteil der Studie ein Messinstrument zum Einsatz kam, dessen Effizienz wohl in Frage gestellt werden kann. Sicherlich ist auch die Verwendung des Inventars zur Messung von Differenzen in der Elektrodynamik als „eher unglücklich“ zu bezeichnen. Angesichts dieser Umstände sind die motivationsbezogenen Evaluationsergebnisse der Schul-Studie eher zu relativieren.

#### 5.1.1.4 Einfluss des Geschlechts

Die meisten berechneten Modelle weisen einen theoriekonformen, also schwachen Einfluss des Geschlechts auf das Lernergebnis auf. Dass eine signifikante Korrelation von Geschlecht und Vorwissen zu beobachten ist, macht eine differenzierte Betrachtung der Gründe für mehr oder weniger ausgeprägten Unterrichtserfolg nötig: Der Unterrichtsoutput bei den Mädchen ist auch deshalb schlechter als bei den Jungen, weil sie bereits im Vorfeld der Instruktion über ein geringeres Maß an Vorwissen verfügten.

#### 5.1.1.5 Einfluss der Sprachkompetenz

Im Rahmen dieser Studie konnte ein Einfluss der Sprachkompetenz auf das Lernergebnis nicht bestätigt werden. Gleiches gilt für den theoretisch vermuteten Zusammenhang zwischen dem Sprachvermögen und dem Geschlecht.

#### 5.1.1.6 Motivationale Einstellungen zu JiTT

Die Probanden beider Leistungskurse vertreten den Standpunkt, dass das JiTT-Verfahren eine Bereicherung des Unterrichts darstellt, äußern jedoch auch unverkennbare Kritik am Konzept. Zunächst kann konstatiert werden, dass das JiTT-Verfahren umso günstiger beurteilt wird, je höher das Leistungsvermögen des Probanden ist. Es ist auffällig, dass Mädchen das Verfahren deutlich distanzierter bewerten als Jungen. Hinsichtlich des JiTT-Aufgabentyps sowie der Diskussionsphasen überwiegen auf deutliche Weise die positiven Eindrücke. Die Besprechung der Statements in den JiTT-Stunden sei interessant und gewinnbringend, jedoch auch vergleichsweise anstrengend gewesen. Wenn auch etwa ein Drittel der eingebundenen Schüler der Meinung ist, mit JiTT werde adressatenorientierter unterrichtet, so klagt doch auch eine etwa gleich große Zahl von Probanden über eine nur unzureichende Klarheit der Stundenstruktur. Bemerkenswert erscheint des Weiteren der Umstand, dass mehr als die Hälfte der Schüler über den Zeitdruck klagen, der ihnen das Verfahren beschert hat. In einer anonymen Befragung in den beiden Treatmentkursen sprachen sich jeweils 50% der Lernenden für eine weitere Unterrichtseinheit mit JiTT aus.

Angesichts dieser Ergebnisse kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass der artikulierte, JiTT-bezügliche Zuspruch auf Seite der Lernenden eher „extrinsischer Natur“ ist: Man sieht das Potential des Konzeptes im Hinblick auf den eigenen Lernprozess, murt aber gleichzeitig über das gewachsene Maß an Kontrolle, über das die Lehrkraft mit JiTT verfügt sowie den zeitlichen Druck, der den Lernenden mit der

Festlegung einer zeitlichen Deadline erwächst. In meinen Augen kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Einsatz des JiTT-Verfahrens einen Zuwachs an autonom regulierter (also intrinsischer) Motivation mit sich bringt.

### 5.1.2 Resultate der Ergänzungsstudie

Abbildung 51 zeigt das theoretische Wirkungsgefüge (siehe Unterkapitel 3.1.1) für das Themenfeld „Mechanik im Lehramtsstudium Physik“. Bezüglich der vermuteten Kausalzusammenhänge sind Effektstärken  $f^2$  in roter, ausgeschöpfte Varianzen  $R^2$  in blauer Farbe eingefügt.

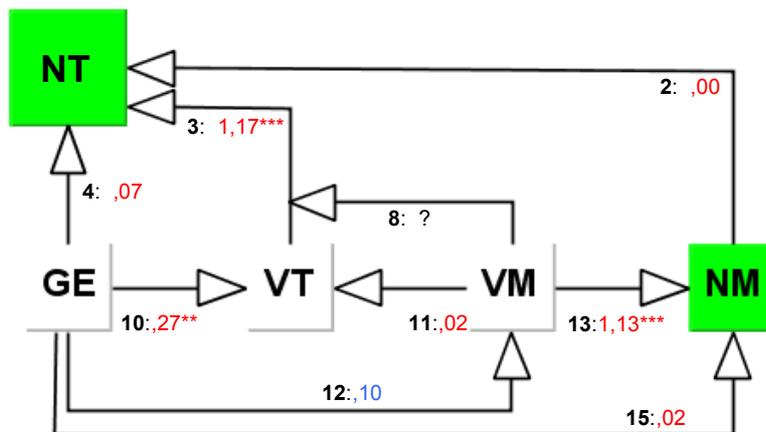


Abb.51: Wirkungsgefüge und Effekte für die Mechanik (Uni)

Anmerkungen:

Effektstärken  $f^2$  sind in roter, ausgeschöpfte Varianzen  $R^2$  in blauer Farbe dargestellt.

\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,05 (1-seitig) signifikant.

\*\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,01 (1-seitig) signifikant.

\*\*\* Der zugehörige Testwert ist auf dem Niveau von 0,001 (1-seitig) signifikant.

Abhängig davon, ob beziehungsweise in welchem Ausmaße die den verschiedenen Effektstärken zugeordneten Testgrößen signifikant wurden, sind die Zahlenwerte mit Sternchen „\*, \*\*, \*\*\*“ versehen. Insbesondere im Hinblick auf den schwerer nachzuweisenden, hypothetischen Interaktionseffekt muss eingeräumt werden, dass die Teststärke des Prozedere infolge des zu geringen Stichprobenumfangs (sowie vergleichsweise bescheidenen Einflusses  $f^2 < .14$ ; siehe Unterkapitel 4.2.1) nicht ausreichte, um selbigen ans Licht zu bringen.

#### 5.1.2.1 Effizienz des JiTT-Verfahrens (Performanz)

Infolge des vergleichsweise geringen Leistungszuwachses der Treatmentgruppe war eine weitere Instruktionsphase unter Einbeziehung einer Kontrollgruppe nicht zu rechtfertigen. Es ist davon auszugehen, dass JiTT auch im Unikontext dieser Studie ohne nachweisbare Wirkung geblieben ist. In diesem Zusammenhang erscheint die

Vermutung gerechtfertigt, dass die Studenten mit dem Konzept schlicht überfordert waren.

#### 5.1.2.2 Einfluss Vorwissen, Motivation, Geschlecht

Es bestätigt sich erneut die grundlegende Bedeutsamkeit des Faktors „Vorwissen“ im Hinblick auf den Unterrichtsoutput. Besonders bemerkenswert erscheint hier die vergleichsweise hohe Korrelation von Geschlecht und Vorwissen: Studentinnen des Kurses verfügten über einen signifikant geringeren, domänenspezifischen Kenntnisstand als ihre männlichen Kollegen.

Das in Abbildung 51 dargestellte Zahlenmaterial lässt keinen Zweifel an der Tatsache zu, dass motivationale Aspekte im Hinblick auf den Leistungsoutput der Instruktion keine Rolle spielten. Selbiges gilt bezüglich einfangs vermuteter Korrelationen von Motivation und Vorwissen. Diese, theoretischen Konzepten widersprechenden Resultate mögen in Zusammenhang stehen mit der als bedenklich zu bezeichnenden leistungsmäßigen und motivationalen Gesamtsituation des Kurses.

#### 5.1.2.3 Motivationale Einstellungen zu JiTT

Lediglich bei den Studenten männlichen Geschlechts überwiegen in moderatem Maße JiTT-bezogene, positive Eindrücke. Generell ist zu vermerken, dass das Verfahren umso günstiger bewertet wird, je höher das Leistungsniveau des Probanden ist. Der JiTT-Aufgabentyp wird nicht als ansprechender eingestuft, den Studentinnen war fachliche und sprachliche Korrektheit im Rahmen der Bearbeitung der Netzaufgaben keinesfalls wichtiger als im Falle traditioneller Übungsaufgaben. Diskussionsphasen wurden weder als besonders interessant noch als (im Hinblick auf den eigenen Lernprozess) gewinnbringend empfunden. Die Studentinnen des Kurses klagten über starke Probleme, wichtige Aspekte des unterrichtlichen Geschehens zu notieren.

Es ist zu konstatieren, dass der Kurs nicht den Eindruck hatte, in besonderem Maße an der Planung oder der Durchführung des JiTT-Unterrichtes beteiligt gewesen zu sein. Zirka ein Drittel der eingebundenen Probanden klagte über JiTT-verursachten Zeitdruck beziehungsweise fehlende Klarheit der Stundenstruktur.

## 5.2 Ausblick

Das Just-in-Time Teaching - Verfahren erregte in den vergangenen Jahren die Aufmerksamkeit von Bildungsforschern und Dozenten auf mehreren Kontinenten. Beachtliche finanzielle Mittel wurden zur Verfügung gestellt, um das Verfahren in verschiedensten Institutionen und unterschiedlichsten Fachrichtungen zu implementieren.

JiTT ist teuer. Realisiert man das Konzept auf die in dieser Studie beschriebene Weise, wird der Umstand beschränkter zeitlicher Ressourcen bald zu einem Hauptproblem. Der stetige Einsatz des Verfahrens setzt daher eine Verringerung der Belastungen der Lehrkraft an anderer Stelle voraus. Angesichts der notorischen Knappheit an finanziellen Mitteln, mit der man im Bildungssystem zu leben hat, muss sehr genau überlegt werden, in welche Projekte investiert wird. Angesichts solcher Umstände verblüfft es, dass die Verbreitung von JiTT (spätestens) seit Beginn des neuen Jahrzehnts massiv vorangetrieben wurde, obschon es bis zum heutigen Tage keinen statistisch belastbaren, empirischen Beleg für die Effizienz des Konzeptes gibt.

Solche Überlegungen rechtfertigen mit Nachdruck die Forderung nach weiteren, empirischen Evaluationen, die das Ziel verfolgen sollten, zu eruieren, welche Randbedingungen gegeben sein müssen, damit JiTT zum Erfolg wird. Solche Folgeuntersuchungen könnten sich auf kleinere, überschaubare Unterrichtseinheiten beschränken, die für den Einsatz des Konzeptes in besonderem Maße prädestiniert erscheinen. In diesem Kontext wären insbesondere folgende Themengebiete zu nennen:

- „Bewegungsgrößen der Physik haben eine Richtung (Kinematik)“;
- „das Wechselwirkungsprinzip (Dynamik)“;
- „Stromkreise (Elektrizitätslehre)“.

Im Zuge der Realisierung solcher Feldstudien wäre ein besonderes Augenmerk auf die Erstellung und den Einsatz effizienter Leistungs- und Motivationsmessinstrumente zu richten (dies gilt insbesondere für die Elektrodynamik). Eine zeitliche und thematische Beschränkung der Instruktionsphasen von Kontroll- und Treatmentgruppe hätte den Vorteil, das Problem des Zeitdrucks für alle Beteiligten in den Griff zu bekommen.

Ziel nachfolgender Feldstudien sollte es also meines Erachtens sein, im Rahmen des Einsatzes (noch) effizienterer Messinventare zu ermitteln, an welchen Stellen des Unterrichts der Einsatz von JiTT im Hinblick auf Performanz beziehungsweise Motivation vertretbar ist, getreu der Devise: „JiTT nur dort, wo der Aufwand lohnt“.

---

Als sehr positiv ist die positive Resonanz der Schüler auf den JiTT-Aufgabentyp zu werten. Problemstellungen, die der Förderung des Konzeptverständnisses dienen, stellen sicherlich eine Bereicherung der derzeit vorhandenen Aufgabenkultur dar. Zusammen mit dem Werkzeug der Modellbildung in Gruppenarbeit bildeten sie mit einiger Wahrscheinlichkeit den Nährboden für den Unterrichtserfolg, der in Kontroll- und Treatmentgruppe dieser Studie zu beobachten war.

Sehr reizvoll erscheint in diesem Zusammenhang die Option, den JTT-Aufgabentyp in sogenannte *Physlets*, kleine Java-Animationen einzubetten. Die Möglichkeit, physikalische Fragestellungen in ihrem dynamischen Verlauf zu visualisieren, könnte sich im Hinblick auf Konzeptverständnis und Problemlösefähigkeit als sehr gewinnbringend entpuppen.

Ein Faktum dieser Untersuchung, das nachdenklich stimmt, ist das signifikant schlechtere Abschneiden der Mädchen in den eingesetzten Leistungstests. Sieht man diesen Sachverhalt im Zusammenhang mit dem ebenfalls signifikant schlechteren Vorwissensstand der weiblichen Lernenden, kommt man zum Schluss, dass es verstärkter Bemühungen bedarf, geschlechtsspezifische Eigenheiten beim Physiklernen bei der Planung von Bildungsgängen zu berücksichtigen, und zwar sowohl in mikro- als auch in makroadaptiver Hinsicht. Die Realisierung eines solchen Ansinnens könnte demnach beispielsweise eine mädchenfreundlichere Themenauswahl zur Folge haben. Einen Schritt weitergehend, wäre aber wohl auch die Frage nach den Vor- und Nachteilen des *Koedukativen Unterrichts* neu zu stellen.

**DANKSAGUNG**

Hiermit möchte ich mich herzlich bei den Verantwortlichen des Landes Rheinland-Pfalz und der Universität Koblenz-Landau bedanken, die die Einrichtung der Graduiertenschule UpGrade auf den Weg brachten und dadurch die Realisierung dieser Arbeit erst ermöglichten.

Mein uneingeschränkter Dank gilt außerdem der Wilfried-Kuhn-Stiftung, deren finanzielle Unterstützung den Forschungs- und Vortragsaufenthalt in Nicosia (Zypern) im August 2008 ermöglichte.

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb.1:	Warmup „zwei Stromkreise“ aus dem Bereich der Elektrizitätslehre....	8
Abb.2:	Verortung der WarmUps und Puzzles im Modell konstruktivistischer Lehrsequenzen .....	10
Abb.3:	JiTT-Problemlöseaufgabe zum Elektromagnetismus.....	11
Abb.4:	Voraussetzungen Selbstregulierten Lernens.....	20
Abb.5:	Das Selbstbestimmungs-Kontinuum mit Motivationstypen, Regulations- stilen, Begründungsorten und korrespondierenden Prozessen.....	25
Abb.6:	Anordnung verschiedener Äußerungsformen im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit / Schriftlichkeit.....	49
Abb.7:	Dalmatiner?.....	53
Abb.8:	Das aus theoretischen Überlegungen abgeleitete Modellschema der Interventionsstudie.....	71
Abb.9:	Verortung von JiTT-Hausaufgaben und traditionellen Hausaufgaben im Feld medialer und konzeptioneller Mündlichkeit / Schriftlichkeit.....	74
Abb.10:	Regressionsebene im trivariaten Fall.....	96
Abb.11:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Schulnoten Physik und Deutsch.....	109
Abb.12:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Scores zur Motivation zu Beginn und am Ende der Instruktion.....	110
Abb.13:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Prädiktoren VT, NT (Performanz).....	111
Abb.14:	Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ .....	119
Abb.15:	Nachtestscore (Performanz) in Abhängigkeit vom Vortestscore (Performanz) und LOWESS-Kurve für die gemittelte Nachtest- variante „FCI/FKB“ .....	120
Abb.16:	Standardisierte Schätzwerte versus standardisierte Residuen der modifizierten multiplen Regressionsanalyse (Variante „FCI/FKB“ ).....	122
Abb.17:	Residuenhistogramme mit theoretischen Normalverteilungskurven für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“ .....	123
Abb.18:	Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „VT“ .....	128

---

Abb.19:	Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „NM“ (Variante „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“)	129
Abb.20:	Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit von den Vortestscores (Motivation) für die drei Varianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“ (nicht-zentrierte Variablen)	133
Abb.21:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen Vortestscore (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“	134
Abb.22:	Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit vom Vortestscore (Motivation; nichtzentrierte Variablen)	138
Abb.23:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit	139
Abb.24:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit vom Geschlecht	140
Abb.25:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Schulnoten Physik und Deutsch	146
Abb.26:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen VT, NT (Performanz) für die Regressionsvarianten „KTE“, „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“	148
Abb.27:	Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“	160
Abb.28:	Residuenhistogramme mit theoretischen Normalverteilungskurven für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“	161
Abb.29:	Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „VT“	166
Abb.30:	Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für den Prädiktor „MOT“ (Varianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“)	167
Abb.31:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen „Vortestscore (Performanz)“ in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“	170
Abb.32:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Testscore (Motivationszuwachs) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit	173

---

Abb.33:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variable Testscore Motivationszuwachs in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	174
Abb.34:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Scores zur Motivation zu Beginn und am Ende der Instruktion.....	194
Abb.35:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen VT, NT (Performanz).....	195
Abb.36:	Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die Regression der Nachtestscores (Performanz).....	198
Abb.37:	Residuenhistogramm mit theoretischer Normalverteilungskurve für die Regression der Nachtestscores (Performanz).....	199
Abb.38:	Streudiagramme der partiellen Residuen und LOWESS-Kurven für die Prädiktoren „VT“ und „NM“ .....	201
Abb.39:	Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit von den Vortestscores (Motivation).....	204
Abb.41:	Standardisierte Residuen versus standardisierte Schätzwerte für die Regression des Vortestscores (Performanz).....	206
Abb.42:	Residuen-Histogramm mit theoretischer Normalverteilungskurve für die Regression des Vortestscores (Performanz).....	207
Abb.43:	Streudiagramm der partiellen Residuen und LOWESS-Kurve für den Prädiktor VM (links).....	209
	Streudiagramm der partiellen Residuen und Regressionsgerade für den Prädiktor VM (rechts).....	209
Abb.44:	Nachtestscores (Motivation) in Abhängigkeit von den Vortestscores (Motivation; jeweils nichtzentriertes Datenmaterial).....	211
Abb.45:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen Nachtestscore (Motivation) in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	212
Abb.47:	Residuen-Histogramm mit theoretischer Normalverteilungskurve für die Regression des Nachtestscores (Motivation).....	214
Abb.48:	Streudiagramm der partiellen Residuen und LOWESS-Kurve für den Prädiktor VM.....	216
Abb.49:	Wirkungsgefüge und Effekte für die Mechanik (Schulstudie).....	223
Abb.50:	Wirkungsgefüge und Effekte für die Elektrodynamik.....	224
Abb.51:	Wirkungsgefüge und Effekte für die Mechanik (Uni).....	228

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tab.1:	Die Variablen des Modellschemas.....	72
Tab.2:	Zuordnung der JiTT-Aufgaben Mechanik zu den Kompetenzbereichen der KMK.....	82
Tab.3:	Zuordnung der JiTT-Aufgaben Elektrodynamik zu den Kompetenzbereichen der KMK.....	82
Tab.4:	Symbolik der Regressionsgleichungen und deren Bedeutung (Schulstudie).....	98
Tab.5:	Zeitplan des gymnasialen Teils der Interventionsstudie.....	106
Tab.6:	Abfolge der Auswertungsschritte im Zuge der Evaluation des gesammelten Datenmaterials.....	107
Tab.7:	Standardisierte Residuen und Nachtestscores (Performanz) der ausgeschlossenen Fälle für die drei Regressionsvarianten FCI, FKB, FCI/FKB.....	108
Tab.8:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Schulnoten PN und DN.....	109
Tab.9:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zur Motivation.....	110
Tab.10:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zur Performanz.....	111
Tab.11:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen.....	112
Tab.12:	Ergebnisse der Regressionen der $\Delta V$ „NT“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	113
Tab.13:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	114
Tab.14:	Ergebnisse der Regressionen der $\Delta V$ „NT“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	115
Tab.15:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	115

Tab.16:	Ergebnisse der Regressionen der aV „NT“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	116
Tab.17:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse. Abhängige Variable: NT.....	117
Tab.18:	Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression.....	118
Tab.19:	Levene-Test zur Homoskedastizität für die drei Regressionsvarianten.....	120
Tab.20:	Anpassung der Abhängigkeit Nachtestscore (Performanz) -Vortestscore (Performanz) bei Vorgabe unterschiedlicher mathematischer Modelle.....	121
Tab.21:	Ergebnisse der modifizierten, multiplen Regressionsanalyse (Variante „FCI/FKB“).....	122
Tab.22:	Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regressionsvariante „FCI/FKB“.....	122
Tab.23:	Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogogov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis.....	124
Tab.24a:	Korrelationskoeffizienten r und Irrtumswahrscheinlichkeiten p von standardisierten Residuen (Beträge) sowie standardisierten Schätzwerten für die drei Regressionsvarianten.....	124
Tab.24b:	Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“.....	124
Tab.25:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „FCI“.....	125
Tab.26:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „FKB“.....	126
Tab.27:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „FKB“.....	127
Tab.28:	Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der aV „Nachtestscore (Performanz)“ für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“.....	130
Tab.29:	Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Vortestscores (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „FCI“, „FKB“, „FCI/FKB“.....	134
Tab.30:	Zusammenhangsmaße r und $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten der Variablenpaare VT-GE sowie VT-VM.....	135

Tab.31:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalysen (FCI; FKB; FCI/FKB) mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen.....	135
Tab.32:	Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen (FCI, FKB, FCI/FKB) mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen.....	136
Tab.33:	Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der aV Vortestscore (Performanz) für die drei Regressionsvarianten „FCI“, „FKB“ und „FCI/FKB“ .....	137
Tab.34:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nicht-zentrierten Nachtestscores (Motivation) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit <sup>75</sup> .....	138
Tab.35:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nicht-zentrierten Nachtestscores (Motivation) in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	139
Tab.36:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ der Variablenpaare NM-VM, NM-GR sowie NM-GE <sup>73</sup> .....	140
Tab.37:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen.....	141
Tab.38:	Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen.....	141
Tab.39:	Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regression der aV Nachtestscore (Motivation).....	141
Tab.40:	Abfolge der Auswertungsschritte im Zuge der Evaluation des gesammelten Datenmaterials.....	143
Tab.41:	Standardisierte Residuen und Nachtestscores (Performanz) der ausgeschlossenen Fälle für die fünf Regressionsvarianten „KTE“, „ECCE I+II“, „CSE“ und „CSM“ .....	145
Tab.42:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nicht-zentrierten Schulnoten PN und DN.....	146

Tab.43:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zum Motivationszuwachs.....	147
Tab.44:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zur Performanz.....	147
Tab.45:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson und zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten für die im Rahmen der Elektrodynamikphase der Feldstudie eingesetzten Leistungsinstrumente (Vortestwerte).....	149
Tab.46:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die im Rahmen der Elektrodynamikphase der Feldstudie eingesetzten Leistungsinstrumente (Nachttestwerte).....	149
Tab.47:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	149
Tab.48:	Ergebnisse der Regressionen der $aV$ „NT“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	150
Tab.49:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	151
Tab.50:	Ergebnisse der Regressionen der $aV$ „NT“ zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	152
Tab.51:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	153
Tab.52:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	153
Tab.53:	Ergebnisse der Regressionen des Nachttestscores (Performanz) auf die Prädiktoren $GR\_VT$ und $VT$ in verschiedenen Modellen.....	154
Tab.54:	Ergebnisse der Regressionen der $aV$ NT zum Aufspüren von Suppressoreffekten. Aufgeführt sind die Regressionskoeffizienten $b_k$ und Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ .....	155
Tab.55:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter beziehungsweise grundsätzlich interessierender Variablen <sup>74</sup> .....	155

Tab.56:	Ergebnisse der Regressionen des Nachttestscores (Performanz) auf die Prädiktoren „GR_VT“ und „VT“ in verschiedenen Modellen.....	156
Tab.57:	Ergebnisse der Regressionen der $\Delta V$ NT zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	156
Tab.58:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalysen für die fünf Regressionsvarianten. Abhängige Variable: NT.....	157
Tab.59:	Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen für die fünf verschiedenen Varianten „KTE“, „ECCE I“, „ECCE II“, „CSE“ und „CSM“. Abhängige Variable: NT.....	159
Tab.60:	Levene-Test zur Homoskedastizität für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“.....	159
Tab.61:	Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“.....	161
Tab.62:	Korrelationskoeffizienten $r$ und Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ von standardisierten Residuen (Beträge) <sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“.....	162
Tab.63:	Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“.....	162
Tab.64:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „ECCE I“. Abhängige Variable ist der Nachttestscore (Performanz) NT.....	163
Tab.65:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „CSE“. Abhängige Variable ist der Nachttestscore (Performanz) NT.....	164
Tab.66:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regressionsvariante „CSM“. Abhängige Variable ist der Nachttestscore (Performanz) NT.....	165
Tab.67:	Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der $\Delta V$ Nachttestscore (Performanz) für die drei Regressionsvarianten „ECCE I“, „CSE“ und „CSM“.....	168
Tab.68:	Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nicht-zentrierten Vortestcores (Performanz) in Abhängigkeit vom Geschlecht für die drei Varianten „ECCE I“, „CSE“, „CSM“.....	170

---

Tab.69:	Zusammenhangsmaße $\eta$ sowie zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ für das Variablenpaar „Geschlecht“ - „Vortestscore (Performanz)“.....	171
Tab.70:	Standardisiertes Residuen und Testscore MOT des ausgeschlossenen Falles für die Regression des Motivationszuwachses MOT.....	172
Tab.71:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der Testscores (Motivationszuwachs) in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit.....	172
Tab.72:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Testscores (Motivationszuwachs) in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	173
Tab.73:	Zusammenhangsmaße $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ der Variablenpaare MOT-GR sowie MOT-GE.....	174
Tab.74:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Testscore „Motivationszuwachs“ als abhängiger Variablen.....	174
Tab.75:	Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regressionen mit dem Testscore „Motivationszuwachs“ als abhängiger Variablen.....	175
Tab.76:	Geschlechtsspezifische Auswertung des Reflexionsbogens 2 zum JiTT-Verfahren.....	176
Tab.77:	Themenspezifische Auswertung des Reflexionsbogens 2 zum JiTT-Verfahren.....	179
Tab.78:	Kategorisierung der freien Schülerstatements zum JiTT-Verfahren.....	181
Tab.79:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ des JiTT-Motivationscores MOTJITT, der Nachtestscores (Performanz) der Treatmentgruppe Mechanik und des Geschlechts...	182
Tab.80:	Korrelationskoeffizienten $r$ und Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ des JiTT-Motivationscores MOTJITT, der Nachtestscores (Performanz) der Treatmentgruppe „Elektrodynamik“ und des Geschlechts.....	183
Tab.81:	Ausbildungsprofil der Studenten des Mechanikkurses.....	187
Tab.82:	Informationen zur Symbolik der Regressionsgleichungen.....	190
Tab.83:	Zeitplan des universitären Teils der Interventionsstudie.....	191
Tab.84:	Abfolge der Auswertungsschritte im Zuge der Evaluation des gesammelten Datenmaterials.....	192

---

Tab.85:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zur Motivation.....	194
Tab.86:	Maßzahlen zur zentralen Tendenz und zur Streuung des nicht-zentrierten Datenmaterials zur Performanz.....	195
Tab.87:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ bezüglich aller im Wirkungsgefüge berücksichtigter Variablen <sup>74</sup> .....	195
Tab.88:	Ergebnisse der Regressionen der aV NT zum Aufspüren von Suppressoreffekten.....	196
Tab.89:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse. Abhängige Variable: Nachtestscore (Performanz).....	197
Tab.90:	Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression des Nachtestscores (Performanz).....	197
Tab.91:	Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regression der Nachtestscores (Performanz).....	198
Tab.92:	Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogogov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis.....	199
Tab.93:	Korrelationskoeffizient $r$ und Irrtumswahrscheinlichkeit $p$ von standardisierten Residuen (Beträge) <sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten.....	199
Tab.94:	Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die Regression des Vortestscores (Performanz).....	200
Tab.95:	Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regression des Nachtestscores (Performanz).....	200
Tab.96:	Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regressionen der aV Nachtestscore (Performanz).....	202
Tab.97:	Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nicht-zentrierten Vortestscores (Performanz).....	204
Tab.98:	Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten der Variablenpaare VT-GE sowie VT-VM <sup>74</sup> .....	205
Tab.99:	Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen.....	205

Tab.100: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression mit dem Vortestscore (Performanz) als abhängiger Variablen.....	206
Tab.101: Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regression der Nachtestscores (Performanz).....	206
Tab.102: Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis für die Regression des Vortestscores (Performanz).....	207
Tab.103: Korrelationskoeffizient $r$ und Irrtumswahrscheinlichkeit $p$ von standardisierten Residuen (Beträge) <sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die Regression des Vortestscore (Performanz).....	208
Tab.104: Toleranz-Maßahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die Regression des Vortestscores (Performanz).....	208
Tab.105: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regression des Vortestscores (Performanz).....	208
Tab.106: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regression der $aV$ Vortestscore (Performanz).....	210
Tab.107: Maßzahlen zur Zentralen Tendenz und zur Streuung der nichtzentrierten Nachtestscores (Motivation) .....	211
Tab.108: Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten der Variablenpaare NM-VM sowie NM-GE.....	212
Tab.109: Globale Gütemaße der multiplen Regressionsanalyse mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen.....	213
Tab.110: Partielle Regressionskoeffizienten und lokale Gütemaße der Regression mit dem Nachtestscore (Motivation) als abhängiger Variablen.....	213
Tab.111: Levene-Test zur Homoskedastizität für die Regression der Nachtestscores (Motivation).....	214
Tab.112 :Testwerte zur Normalverteilung: Kolmogorov-Smirnov-Test, Schiefe, Kurtosis für die Regression des Nachtestscores (Motivation).....	214

---

Tab.113: Korrelationskoeffizient $r$ und Irrtumswahrscheinlichkeit $p$ von standardisierten Residuen (Beträge) <sup>78</sup> sowie standardisierten Schätzwerten für die Regression des Nachtestscores (Motivation).....	215
Tab.114: Toleranz-Maßzahlen zur Aufdeckung von Multikollinearität für die Regression des Nachtestscores (Motivation).....	215
Tab.115: Ergebnisse der Stabilitätstests für die Regression des Nachtestscores (Motivation).....	216
Tab.116: Regressionskoeffizienten, Irrtumswahrscheinlichkeiten, Determinationskoeffizienten und Effektstärken der hierarchischen, multiplen Regression der aV Nachtestscore (Motivation).....	217
Tab.117: Geschlechtsspezifische Auswertung des Reflexionsbogens 2 zum JiTT-Verfahren.....	218
Tab.118: Kategorisierung der freien Studentenstatements zum JiTT-Verfahren.....	221
Tab.119: Zusammenhangsmaße $r$ und $\eta$ sowie Irrtumswahrscheinlichkeiten $p$ des JiTT-Motivationscores MOTJITT, des Nachtestscores (Performanz) NT und des Geschlechts GE <sup>74</sup> .....	221

**LITERATURVERZEICHNIS**

- Aiken, L.S. (1991). *Multiple Regression: Testing and Interpreting Interaction*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Allen, V.L., (1983). Impact of the role of tutor on behavior and self-perceptions. In: Levine, J.M. (Eds.): *Teacher and student perceptions: Implications of learning* (pp.367-389), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Amabile, T. (1983). *The social psychology of creativity*. NY: Springer.
- Anderson, J.R. (1989). The analogical origins of errors in problem solving. In: Klahr, D., Kotovsky, K. (Hrsg.): *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*. Hilldale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 343-371.
- Anderson, J.R., Reder, L.M., Simon, H.A. (1996). *Situated Learning and Education*. *Educational Researcher*, Vol.25, No.4, 5-11.
- Anderson, J.R., Reder, L.M., Simon, H.A. (1996). Situative versus cognitive perspectives: Form versus substance. *Educational Researcher*, Vol.26, No.1, 18-21.
- Artelt, C., Baumert, J. & Julius-McElvany, N. (2003). *Selbstreguliertes Lernen: Motivation und Strategien in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland*. In: Baumert, J. et al. (Hrsg.): *Deutsches PISA-Konsortium: PISA 2000 – Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland*. Opladen: Leske + Budrich, 131-163.
- Artelt, C., Demmrich, A. & Baumert, J. (2001). *Selbstreguliertes Lernen*. In: *Deutsches Pisa-Konsortium (Hrsg.): Pisa 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske & Budrich, 271-298.
- Ausubel, D.P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Rinehart and Winston.
- Bandura, A. (1962). Social learning through imitation. In: Jones, M. (Hrsg.): *Nebraska Symposium on Motivation*. Lincoln: University of Nebraska Press, 211-269.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review* 84, 191-215.
- Bandura, A. (1997). *Self-Efficacy*. NY: W.H. Freeman and Company.
- Bargh, J.A., Schul, Y. (1980). On the cognitive benefits of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 72, 593-604.
- Baumert, J. & Köller, O. (1996). *Lernstrategien und schulische Leistungen*, in: Möller, J. & Köller, O. (Hrsg.): *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung*. Weinheim: Beltz, 137-154.

- Baumert, J., Kunter, M., Brunner, M., Krauss, S., Blum, W., Neubrand, M. (2004). Mathematik-Unterricht aus Sicht der PISA-Schülerinnen und –Schüler und ihrer Lehrkräfte. In: Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J., Schiefele, U. (Hrsg.): PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. Münster: Waxmann, 314-349.
- Beach, K. (1995). Activity as a mediator of sociocultural change and individual development: The case of school-work transition in Nepal. *Mind, Culture and Activity*, 2, 285-302.
- Behaghel, O. (1927). Geschriebenes Deutsch und gesprochenes Deutsch. In: Behaghel (Hrsg.): *Von deutscher Sprache*. Wiesbaden: Sändig, 11-34.
- Benedict, J., Anderton, J. (2004). Applying the Just-in-Time Teaching Approach to Teaching Statistics. *Teaching of Psychology*. Vol.31, No.3, 197-198.
- Blumschein, P. (2003). Eine Metaanalyse zur Effektivität multimedialen Lernens am Beispiel der Anchored Instruction. Unveröffentlichte Dissertation. Freiburg: Albert-Ludwigs Universität, Institut für Erziehungswissenschaften.
- Blumstengel, A. (1998). Entwicklung hypermedialer Lernsysteme. Berlin: Wissenschaftlicher Verlag.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7, 161-186.
- Bottge, B. A., Rueda, E., LaRoque, P. T., Serlin, R. C., & Kwon, J. M. (2007). Integrating reform-oriented math instruction in special education settings. *Learning Disabilities Research & Practice* 22 (2), 96-109.
- Bransford, J.D., Franks, J.J., Vye, N.J., Sherwood, R.D. (1989). New approaches to instruction: Because wisdom can't be told. In Vosniadou, S., Ortony, A. (Hrsg.): *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 470-497.
- Brown, A.L., Kane, L.R. (1988). Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning from example. *Cognitive Psychology*, 20, 493-523.
- Buffery, A.W.H., Gray, J.A. (1972). Sex differences in the development of spatial and linguistic skills. In: C. Ounsted and D.C. Taylor (Hrsg.): *Gender Differences: Their Ontogeny and Significance*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 123–157.

- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK) (Hrsg.). (1997). Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (Heft 60). Bonn: Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK). Verfügbar unter: <http://www.blk-bonn.de/papers/heft60.pdf> (Stand: 11.02.2005).
- Caplan, P., Caplan, B. (1997). Do Sex-Related Cognitive Differences Exist, and Why Do People Seek Them Out? In: Richardson, J., Caplan, P., Crawford, M. (Hrsg.): Gender Differences in Human Cognition. London: Oxford University Press.
- Cashman, E., Eschenbach, E., (2003). Using on-line quizzes outside the classroom to increase student engagement inside the classroom, American Society of Engineering Education. Pacific Southwest Section Conference Proceedings.
- Chizmar, J. F., and A. L. Ostrosky. 1998. The one-minute paper: some empirical findings. *Journal of Economic Education* 29(1), 3-10. Available online at: [http://www.indiana.edu/~econed/issues/v29\\_1/1.htm](http://www.indiana.edu/~econed/issues/v29_1/1.htm) (Stand: 1.3.2009).
- Christian, W., Belloni, M. (2001). *Physlets: Teaching Physics with Interactive Curricular Material*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Christian, W., Belloni, M. (2004). *Physlet Physics. Interactive Illustrations, Explorations, and Problems for Introductory Physics*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc., Prentice Hall.
- Cohen, J. (2003). *Applied Multiple Regression / Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. Philadelphia: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cohen, P.A., Kulik, J.A., Kulik, C.C. (1982). Educational outcomes of tutoring: A meta-analysis of findings. *American Educational Research Journal*, 19, 237-248.
- Collins, A., Brown, J.S., Newman, S. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In: Resnick, L.B. (Hrsg.): *Knowing, learning, and instruction: Essays in honour of Robert Glaser*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 453-494.
- Cookman, C., Mandel, S. Lyons, M. (2006). The effects of Just in Time Teaching on motivation and engagement in a history of photography course. IS-SOTL Conference, october 23, 2006.
- Corno, L., Snow, R. (1986). Adapting Teaching to Individual Differences Among Learners. In: Wittrock, M. (Hrsg.): *Handbook of research on teaching*. London: MacMillan, 605-629.
- Coseriu, E. (1976). *Das romanische Verbalsystem*. Tübingen: Gunter Narr, 17-35.

- Coseriu, E. (1981). Textlinguistik. Eine Einführung. Hrsg. und bearbeitet von Jörn Albrecht. Tübingen: Gunter Narr Verlag.
- Cross, K. P., Angelo, T.A. (1988). Classroom assessment techniques: A handbook for faculty. National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning, University of Michigan.
- Crouch, C. H., Mazur, E. (2001). Peer instruction: ten years of experience and results. American Journal of Physics 69(9), 970-977. Available online at <http://mzur-www.harvard.edu/library/biblio.taf?r=263&d=d> (Stand: 1.3.2009).
- CTGV (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. Educational Researcher, 19 (6), 2-20.
- CTGV (1997). The Jasper project: Lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dahncke, H. (1999). Lernen und Denken im Physikunterricht. In: Bleichroth, W., Dahncke, H., Jung, W., Kuhn, W., Merzyn, G., Weltner, K. (Hrsg.): Fachdidaktik Physik. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG.
- Deci, E. (1971). Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. Journal of Personality and Social Psychology 18, 105-115.
- Deci, E. (1972). Intrinsic motivation, extrinsic reinforcement, and inequity. Journal of Personality and Social Psychology 22, 113-120.
- Deci, E. (1975). Intrinsic Motivation. NY: Plenum Press.
- Deci, E., Ryan, R. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. Zeitschrift für Pädagogik, 39, 223-238.
- Deci, E., Ryan, R. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. American Psychologist, Vol.55, No.1, 68-78.
- Dreyfus, A., Jungwirth, E., Eliovitch, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change – some implications, difficulties, and problems. Science Education 74, 555-569.
- Druckman, D., Bjork, R.A. (1994). Learning, remembering, believing: Enhancing team and individual performance. Washington, DC: National Academy Press.
- Duit, R. (1993). Schülervorstellungen – von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In: Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.): Schülervorstellungen in der Physik. Köln: Aulis-Verlag Deubner, 8-14.

- Duit, R., Mikelskis-Seifert, S. (2007). Kontextorientierter Unterricht. Wie man es einbettet, so wird es gelernt. *Unterricht Physik\_18\_2007\_Nr.98*, 4-8.
- Eilks, I., Fischer, H.E., Hammann, M., Neuhaus, B., Petri, J., Ralle, B., Sandmann, A., Schön, L.H., Sumfleth, E., Vogt, H., Bayrhuber, H. (2004). Forschungsergebnisse zur Neugestaltung des Unterrichts in den Naturwissenschaften. In: Ralle, B., Schön, L.H., Bayrhuber, H., Reiss, K., Vollmer, H.J.: *Konsequenzen aus PISA. Perspektiven der Fachdidaktiken*. Innsbruck: Studienverlag.
- Fagot, B., Leinbach, M. (1993). Gender role development in young children: From discrimination to labeling. *Developmental Review*, 13, 205-224.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., Buchner, A. (2007). G\*Power3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
- Fiehler, R. (1994). Analyse- und Beschreibungskategorien für geschriebene und gesprochene Sprache. Alles eins? In: Cmejrkov, S. (Hrsg.): *Writing and Speaking: Language, Text, discourse, communication; proceedings of the Conference held at the Czech Language Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, October 14-16, 1992*. Tübinger Beiträge zur Linguistik; 392. Tübingen: Gunter Narr Verlag, 175-180.
- Fischler, H. (1989). Methodische Konzeptionen, Unterrichtsinhalte und Lehrerentscheidungen. In: Wiebel, K.H. (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie, Band L9*, 58 – 75. Alsbach.
- Fox, J. (2000). *Nonparametric Simple Regression: Smoothing Scatterplots*. Thousand Oaks: Sage.
- Galilei, G. (1982). *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme*. Stuttgart: Teubner.
- Genz, H. (1999). *Gedankenexperimente*. Weinheim: WILEY – VCH Verlag GmbH.
- Goldkuhle, P. (1997). *Modellbildung und Simulation mit dem Computer im Physikunterricht*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG.
- Greeno, J.G. (1991). Mathematical Cognition: Accomplishments and challenges in research. In: Hoffmann, R.R., Palermo, D.S. (Hrsg.): *Cognition and the symbolic processes: Applied and ecological perspectives*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 255-279.
- Greeno, J.G. (1997). On claims that answer the wrong questions. *Educational Researcher*, Vol.26, No.1, 5-17.

- Grolnick, W., Ryan, R. (1987). Autonomy in children's learning: An experimental and individual difference investigation. *Journal of Personality and Social Psychology* 52, 890-898.
- Gruber, H. (2001). Expertise. In: Rost, D.: *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Gruber, H., Law, L.-C., Mandl, H., Renkl, A. (1995). Situated learning and transfer. In: Reimann, P., Spada, H. (Hrsg.): *Learning in humans and machines: Towards an interdisciplinary learning science*. Oxford: Pergamon, 168-188.
- Guertin, L.A., Zappe, S.E., Kim, H. (2007). Just-in-Time Teaching Exercises to Engage Students in an Introductory-Level Dinosaur Course. *Journal of Science Education and Technology* (16), 507-514.
- Gur, R., Skolnick, B., Gur, R. (1994). Effects of Emotional Discrimination Tasks on Cerebral Blood Flow: Regional Activation and its Relation to Performance. *Brain and Cognition* 25, 271-286.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
- Hake, R. (2001). Evaluation of Progress on NSF Grant HER-9981111. *WebScience: Creating an Active-Learner Classroom with WWW Technology to Improve Introductory Science and Mathematics Courses*. IUPUI.
- Hake, R. (2002). Lessons from the physics education reform effort. *Conservation Ecology* 5(2), 28. Available online at: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art28/>
- Hake, R. R. (1998a). Interactive-engagement vs traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66(1), 64-74. Available online at: <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/> (Stand: 1.3.2009).
- Hake, R. R. (1998b). Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses. *Physics Education Research, supplement to American Journal of Physics*. Available online at <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/> (Stand: 1.3.2009)
- Harel, I., Papert, S. (1991). Software design as a learning environment. In: Harel, I., Papert, S. (Eds.): *Constructionism*, 41-84. Norwood, NJ: Ablex.
- Hasebrook, J. (1995). *Multimedia-Psychologie: Eine neue Perspektive menschlicher Kommunikation*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Verlag.

- Hasselhorn, M. & Schneider, W. (1988). Metakognition bei der Lösung mathematischer Probleme: Gestaltungsperspektiven für den Mathematikunterricht. *Heilpädagogische Forschung*, Band XIV, Heft 2, 113-118.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In: Nold, G. (Hrsg.): *Lernbedingungen und Lernstrategien. Welche Rolle spielen kognitive Verstehensstrukturen?* Tübingen: Narr, 35-63.
- Helmke, A., Helmke, T., Schrader, F.H. (2007). Qualität von Unterricht: Aktuelle Tendenzen und Herausforderungen im Hinblick auf die Evaluation und Entwicklung von Schule und Unterricht. *Pädagogische Rundschau*, 61, 527-543.
- Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hoffman, M. (1971). Identification and conscience development. *Child development*, 42, 1071-1082.
- Hoffmann, L. (1998). Die IPN-Interessensstudie Physik. [Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel]. Kiel: IPN.
- Hoffmann, L., Häußler, P., Peters-Haft, S. (1997). An den Interessen von Mädchen und Jungen orientierter Physikunterricht. Ergebnisse eines BLK-Modellversuches. Kiel: IPN.
- Howard, J. R. (2004). Just-in-Time Teaching in sociology or how I convinced my students to actually read the assignment. *Teaching Sociology*, Vol. 32, 385-390.
- Hyde, J., McKinley, N. (1997). Gender Differences in Cognition. Results from Meta-Analyses. In: Richardson, J., Caplan, P., Crawford, M. (Hrsg.): *Gender Differences in Human Cognition*. London: Oxford University Press.
- IUPUI, Department of Physics (2002). *Assessment of Student Learning. Annual Report: June 1, 2002.*
- Johnson, D., Maruyama, G., Johnson, R., Nelson, D., Skon, L. (1981). *Psychological Bulletin* 89, 429-445.
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*. Köln: Aulis-Verlag Deubner, 15-20.
- Jung, W., Wiesner, H., Engelhardt, P. (1981). *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik*. Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Kasten, H. (1996). *Weiblich – männlich. Geschlechtsrollen und ihre Entwicklung*. Berlin: Springer.

- Kasten, H. (2001). Geschlechtsunterschiede. In: Rost, D.: Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Kautz, C. (2004). Implementierung von Ergebnissen fachdidaktischer Forschung durch internet – gestützte Vortests in Physik – Einführungsvorlesungen an amerikanischen Hochschulen. Frühjahrstagung der DPG (Didaktik der Physik), Düsseldorf.
- Kautz, C. (2006). Einsatz internet-gestützter Vortests in Physik-Vorlesungen – Möglichkeiten für fachdidaktische Forschung und Lehrerbildung? Frühjahrstagung der DPG (Didaktik der Physik), Kassel.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to explain. *American Educational Research Journal*, 31, 338-368.
- KMK (2004). Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 1.12.1989 i.d.F. vom 5.2.2004. Verfügbar unter: <http://www.uni-koblenz.de/~odsleis/epa/> (Stand: 1.3.2009).
- Koch, P., Österreicher, W. (1994). Funktionale Aspekte der Schriftkultur. In: Günter, H. (Hrsg.): *Schrift und Schriftlichkeit*. Berlin: De Gruyter, 587-604.
- Kohlberg, L. (1966). A cognitive-developmental analysis of children's sex role concepts and attitudes. In: Maccoby, E. (Hrsg.): *The development of sex differences*. Stanford: Stanford University Press, 179-204.
- Kuhn, J. (2008). Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung. Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia legendi für das Fachgebiet Didaktik der Physik. In Druck.
- Kuhn, J., Müller, A. (2005). Ankermedien und „Aufgabenkultur“ im Physikunterricht: Zwei empirische Studien im theoretischen Rahmen des situierten Lernens. Frühjahrstagung Didaktik der Physik, Berlin.
- Lave, J. (1986). Experiments, tests, jobs and chores: How we learn to do what we do. In: Borman, K., Reisman, J. (Hrsg.). *Becoming a worker*. Norwood, NJ: Albex.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice: Mind, mathematics, and culture in everyday life*. New York: Cambridge University Press.
- Lehnen, K., Gülich, E. (1997). Mündliche Verfahren der Verschriftlichung: Zur interaktiven Erarbeitung schriftlicher Formulierungen. *Zeitschrift für Literaturwissenschaft und Linguistik*, 108, 108-137.
- Leisen, J. (1991). Über Sprachprobleme im deutschsprachigen Fachunterricht am Beispiel des Physikunterrichts. *Zielsprache Deutsch* 22 (3), 143-151.

- Lepper, M., Greene, C., Nisbett, R. (1973). Undermining children's intrinsic interest with extrinsic rewards: A test of the "overjustification" hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology* 28, 129-137.
- Leutner, D. (2001). Instruktionspsychologie. In: Rost, D. (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Leutner, D. (2001). Instruktionspsychologie. In: Rost, D.: *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Leutner, D., (1997). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In: Issing, L., Klimsa, P. (Hrsg.): *Information und Lernen mit Multimedia*. Weinheim, Basel: Beltz Psychologie-Verlags-Union, 139-150.
- Linneman, S., Plake, T. (2006). Searching for the Difference: A Controlled Test of Just-in-Time Reaching for Large-Enrollment Introductory Geology Courses. *Journal of Geoscience Education*, v. 54, n.1, 18-24.
- Maccoby, E., Jacklin, C. (1975). *The Psychology of Sex Differences*. Stanford: Stanford University Press.
- Mach, E. (1968). *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Maloney, D.P., O'Kuma, T.L., Hieggelke, C.J., Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*. Vol. 69, H.51, 12-23.
- Mandl, H., Gruber H., Renkl, A. (1991). *Lernen mit dem Computer. Empirisch-pädagogische Forschung in der BRD zwischen 1970 und 1990 (Forschungsbericht Nr. 7)*. München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A. (1993). *Lernen im Physikunterricht – Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlichen Erfahrungen. (Forschungsbericht Nr. 19)*. München: Ludwig Maximilians – Universität, Lehrstuhl für empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- Mandl, H., Kopp, B. (2005). *Situated learning: Theories and models*. In: Nentwig, P., Waddington, D. (Hrsg.): *Making it relevant. Context based learning of science*. Münster: Waxmann.
- Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.

- Merzyn, G. (1998). Sprache und naturwissenschaftlicher Unterricht. Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 47 (2).
- Mzumara, H. R. (2001). WebScience: Assessment of Just-in-Time Teaching at IUPUI. Paper presented at the EDUCAUSE 2001 conference, IUPUI.
- National School Boards Association (2004). NSBA's Annual Conference & Exposition, october 2004.  
<http://www.nsba.org/MainMenu/ConferencesTraining/AnnualConference.aspx> (Stand: 1.3.2009).
- Niedderer, H., Schecker, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In: Duit, R., Goldberg, F., Niedderer, H. (Hrsg.): Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies; proceedings of an international workshop. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 74-98.
- Novak, G., Patterson, E., Gavrín, A., Christian, W. (1999). Just-In-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Pintrich, P.R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In: Boekaerts, M., Pintrich, P.R. & Zeidner, M. (Eds.): Handbook of self-regulated learning. San Diego: Academic Press, 451-502.
- Popper, K. (1971). Logik der Forschung. Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Poth, T., Gröber, S. (2006). Maßgeschneiderter Unterricht durch Just-in-Time Teaching – Vorstellung eines Unterrichtsgangs im MultiMechanics Project, in: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 3/55, 43-46
- Pressley, M., Borkowski, J.G., Schneider, W. (1987). Cognitive strategies: Good users coordinate metacognition and knowledge. In: Vasta, R. & Whitehurst, G.J. (Eds.): Annals of Child Development, Vol.5., Greenwich, CT: JAI Press, 89-129.
- Renkl, A. (1996). Vorwissen und Schulleistung. In: Möller, J. & Köller, O. (Hrsg.): Emotionen, Kognitionen und Schulleistung. Weinheim: Beltz, 175-188.
- Renkl, A. (2001). Lernen durch Lehren. In: Rost, D.: Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Resnick, L.B. (1991). Shared cognition: Thinking as social practice. In: Resnick, L.B., Levine, J., Teasley, S. (Hrsg.): Perspectives on socially shared cognition. Washington, DC: American Psychological Association, 1-20.

- Rheinberg, F. (1996). Lernstrategien und schulische Leistungen. In: Möller, J. & Köller, O. (Hrsg.): Emotionen, Kognitionen und Schulleistung. Weinheim: Beltz, 23-48.
- Rhöneck von, C. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. In: Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.): Schülervorstellungen in der Physik. Köln: Aulis-Verlag Deubner, 167-172.
- Ross, M. (1975). Saliency of reward and intrinsic motivation. *Journal of Personality and Social Psychology* 32, 245-254.
- Schank, G., Schoenthal, G. (1983). *Gesprochene Sprache. Eine Einführung in Forschungsansätze und Analysemethoden.* Tübingen: Max Niemeyer Verlag.
- Scharnhorst, U. (2001). Anchored instruction: Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 3, 471-490.
- Schecker, H. (1998). *Physik – Modellieren. Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physikunterricht.* Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Schecker, H., Gerdes, J. (1999). Messung und Konzeptualisierungsfähigkeit in der Mechanik – Zur Aussagekraft des Force Concept Inventory. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Jg. 5, Heft 1, 75-89.
- Schneider, W. (1985). Developmental trends in the metamemory – memory behavior relationship: An integrative review. In: Forrest-Pressley, G.E. et al. (Hrsg.): *Metacognition, cognition, and human performance.* Vol.1, Orlando, FL: Academic Press, 57-109.
- Schnotz, W. (2001). Conceptual Change. In: Rost, D.: *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie.* Weinheim: Psychologie Verlags Union, Verlagsgruppe Beltz.
- Simkin, S., Maier, M. (2004). Using Just-in-Time Teaching Techniques in the Principles of Economics Course. *Social Science Computer Review* (22.4), 444-456.
- Snow, R., Swanson, J. (1992). Instructional Psychology: Aptitude, Adaption, and Assessment. *Annual Review of Psychology*, 43, 583-626.
- Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education* 5(1), 49-59.
- Stadler, M., Kruse, P. (1992). Der radikale Konstruktivismus: ein Antirealismus? In: Sandkühler, H.-J. (Hrsg.): *Wirklichkeit und Wissen*, 87-100. Bremen: Zentrum Philosophische Grundlagen der Wissenschaften.

- Straka, G., Macke, G. (2002). Ausubels Theorie des bedeutungsvollen verbalen Lernens. In: Straka, G., Macke, G. (Hrsg.): Lern – lehr – theoretische Didaktik. Münster: Waxmann.
- Strike, K., Posner, G. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: Duschl, R., Hamilton, R. (Hrsg.): Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice. NY: State University of NY, 147-176.
- Trautner, H. (1981). Psychologische Theorien der Geschlechtsrollenentwicklung. In: Degenhardt, A. & Trautner, H. (Hrsg.): Geschlechtstypisches Verhalten. München: Beck, 50-84.
- Urban, D., Mayerl, J. (2006). Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH.
- Vallerand, R., Bissonnette, R. (1993). Intrinsic, extrinsic, and amotivational styles as predictors of behavior: A prospective study. *Journal of Personality and Social Psychology* 60, 599-620.
- Walberg, H. (1969). Physics, Femininity, and Creativity. *Developmental Psychology*, Vol.1, No.1, 47-54.
- Webb, N.M. (1991). Task-related verbal interaction and mathematics learning in small groups. *Journal for Research in Mathematics Education*, 22, 366-389.
- Weinert, F.E. (1983). Metakognition und Motivation als Determinanten der Lerneffektivität: Einführung und Überblick. In: Weinert, F.E. & Kluwe, R.H. (Hrsg.): Metakognition und Lernen. Stuttgart: Kohlhammer, 9-21.
- Weinstein, C.E., Mayer, R.E. (1986). The teaching of learning strategies. In: Wittrock, M.C. (Ed.): *Handbook of research on teaching*. New York: Mac Millan.
- Weizsäcker v., C. (1971). *Die Einheit der Natur*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG.
- White, R., Gunstone, R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education* 11, 577-586.
- Whitehead, A. (1929). *The aims of education and other essays*. NY: MacMillan.
- Widodo, A., Duit, R. (2003). Physics lessons as analysed using the Constructivist Oriented Science Classrooms (COSC) categories. In: Pitton, A. (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP): Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie (Band 23)*, 126-128. Münster: LIT Verlag.
- Wilhelm, T. (2005). Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch – ikonischer Reprä-

---

sentationen und graphischer Modellbildung. Studien zum Physik- und Chemielernen (Band 46). Berlin: Logos Verlag.

Witkin, A., Donald, G. (1982). Cognitive Styles: Essence and Origins. Psychological Issues. Monograph 51. NY: International Universities Press, Inc.

Wittgenstein, L. (1994). Bemerkungen über die Grundlagen der Mathematik. Frankfurt: Suhrkamp.

Wodzinski, R. (1996). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Müller, R., Wodzinski, R., Hopf, M. (Hrsg.): Schülervorstellungen in der Physik. Köln: Aulis-Verlag Deubner, 23-39.

Wygotski, L.S. (1987). Ausgewählte Schriften. Bd. 2: Arbeiten zur psychischen Entwicklung der Persönlichkeit. Berlin: Volk und Wissen.

**Lebenslauf****Persönliche Angaben**

Thomas Poth  
 Bannenbergr. 17  
 76855 Annweiler  
 06346/928288  
[poth@uni-landau.de](mailto:poth@uni-landau.de)

Geboren am 20. September 1966 in Würzburg  
 Heirat am 25. Februar 2000 in Mexiko  
 Geburt von Sohn Jonathan am 15. Mai 2003

**Ausbildung**

1972-1985	Schulbildung Abschluss Abitur in Zweibrücken
1985-1986	Wehrdienst in Zweibrücken
1986-1994	<b>Universität Kaiserslautern</b> Studium Physik/Sozialkunde (Lehramt Gymnasien)
1994	1. Staatsexamen
1994-1996	<b>Studienseminar Speyer</b> Referendariat für das Lehramt an Gymnasien am Hans-Purmann-Gymnasium in Speyer
1996	2. Staatsexamen

**Beruflicher Werdegang**

1996-1997	<b>Oberstufenzentrum Elbe-Elster I, Herzberg (Brandenburg)</b> Lehrtätigkeit im Bereich Sozialwesen und Ernährung/Hauswirtschaft (duale Berufsausbildung) in den Fächern Politische Bildung/Wirtschaftslehre, Soziologie
1997-1998	<b>Naturwissenschaftliches Technikum Dr. Künkele, Landau</b> Lehrtätigkeit in den Bildungsgängen Biologie, Chemie in den Fächern Physik, Mathematik, Sozialkunde, Einführung in die EDV
1998-2000	<b>Deutsche Schule Colegio Humboldt, Puebla (Mexiko)</b> Lehrtätigkeit in den deutschmuttersprachlichen sowie fremdsprachlichen Klassen in den Fächern Physik und Sozialkunde
1999	Beförderung zur Bundesprogrammlehrkraft
seit 2000	<b>Trifelsgymnasium Annweiler</b> Lehrtätigkeit in den Fächern Physik und Sozialkunde
2002	Ernennung zum Studienrat
2005	Ernennung zum Oberstudienrat

**Fremdsprachen**

Spanisch ausgezeichnet  
Englisch sehr gut  
Französisch Grundkenntnisse (Schulunterricht)

**Besondere Tätigkeiten/Qualifikationen**

2007-2008	Fernstudienkurs Didaktik und Methodik Deutsch als Fremdsprache, Universität Kassel (Abschluss im Juli 2008)
2000	Fortbildungsseminar zum Thema "Die Arbeit mit dem DFU-Handbuch", Colegio Humboldt, Mexiko City
2002	Gewährung der Leistungsprämie als Anerkennung erbrachter herausragender Leistungen durch die Schulleitung des Trifelsgymnasiums
2002-2006	Fünfstündige Abordnung an das Landesmedienzen- trum in Koblenz zur Realisierung des MultiMechan- ics Projects
2004; 2005	Realisierung von Lehrerfortbildungen zum Me- dieneinsatz im Physikunterricht an der Universität Kaiserslautern und am LMZ Koblenz
2003; 2004; 2005	Vorträge zum MultiMechanics Project und zum Just-in-Time - Teaching Verfahren im Rahmen der Benutzertagungen des LMZ in Mainz
2002	Realisierung des Lichtprojektes
2003	Auszeichnung des Lichtprojektes durch Science on Stage und Einladung nach Noordwijk/Niederlande zur Präsentation des Projektes
2004	Auszeichnung des MultiMechanics Projects durch Science on Stage und Einladung nach Noordwijk zur Präsentation des Projektes

---

(Unterschrift)

---

**ERKLÄRUNG**

Ich erkläre, dass ich meine Dissertationsschrift selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die benutzten Quellen, wörtlich oder inhaltlich entnommene Stellen beziehungsweise Anteile etwaig beteiligter Mitarbeiter sowie anderer Autoren wurden als solche kenntlich gemacht.

Ferner erkläre ich, dass ich die hier vorgelegte Dissertationsschrift nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe.

Weiterhin erkläre ich, dass ich weder die gleiche noch eine andere Abhandlung in einem anderen Fachbereich oder einer anderen wissenschaftlichen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Landau, den 2.05.2009

---

(Thomas Poth)

**ANHANG**

## ANHANG

<b>ANHANG A:</b>	<b>DIDAKTISCHE ORTE DER JITT-AUFGABEN MECHANIK (SCHULSTUDIE).....</b>	<b>264</b>
<b>ANHANG B:</b>	<b>DIDAKTISCHE ORTE DER JITT-AUFGABEN EDYNAMIK .....</b>	<b>265</b>
<b>ANHANG C:</b>	<b>JITT-AUFGABEN MECHANIK.....</b>	<b>268</b>
<b>ANHANG D:</b>	<b>JITT-AUFGABEN ELEKTRODYNAMIK .....</b>	<b>286</b>
<b>ANHANG E:</b>	<b>ABBILDUNGS- UND BILDNACHWEIS (JITT-AUFGABEN) .....</b>	<b>298</b>
<b>ANHANG F:</b>	<b>UNTERRICHTSSEQUENZEN MECHANIK.....</b>	<b>299</b>
<b>ANHANG G:</b>	<b>UNTERRICHTSFORMEN UND -VERFAHREN MECHANIK .....</b>	<b>300</b>
<b>ANHANG H:</b>	<b>UNTERRICHTSSEQUENZEN ELEKTRODYNAMIK .....</b>	<b>302</b>
<b>ANHANG I:</b>	<b>UNTERRICHTSFORMEN UND -VERFAHREN IN DER ELEKTRODYNAMIK.....</b>	<b>303</b>
<b>ANHANG J:</b>	<b>JITT-STUNDE „MECHANIK“ - OH-FOLIE MIT STATEMENTS .....</b>	<b>304</b>
<b>ANHANG K:</b>	<b>JITT-STUNDE „MECHANIK“ - SCREENSHOTS DER EINGESETZTEN ANIMATION.....</b>	<b>305</b>
<b>ANHANG L:</b>	<b>JITT-STUNDE „EDYNAMIK“ - OH-FOLIE MIT STATEMENTS .....</b>	<b>306</b>
<b>ANHANG M:</b>	<b>FCI.....</b>	<b>307</b>
<b>ANHANG N:</b>	<b>FKB .....</b>	<b>316</b>
<b>ANHANG O:</b>	<b>REFLEXIONSBÖGEN 1 UND 2 .....</b>	<b>321</b>
<b>ANHANG P:</b>	<b>MPEX.....</b>	<b>325</b>
<b>ANHANG Q:</b>	<b>CSE .....</b>	<b>327</b>
<b>ANHANG R:</b>	<b>CSM.....</b>	<b>340</b>
<b>ANHANG S:</b>	<b>KTE .....</b>	<b>350</b>

<b>ANHANG T: ECCE I.....</b>	<b>359</b>
<b>ANHANG U: ECCE II.....</b>	<b>371</b>
<b>ANHANG V: DIDAKTISCHE ORTE JITT-AUFGABEN MECH. (UNISTUDIE) ....</b>	<b>374</b>
<b>ANHANG W: GRUNDLAGEN DER KLASSISCHEN PHYSIK: VORLESUNGSSEQUENZEN .....</b>	<b>375</b>
<b>ANHANG X: FRAGEBOGEN ZUM FACH PHYSIK .....</b>	<b>377</b>
<b>ANHANG Y: REFLEXIONSBOGEN 2 (UNISTUDIE) .....</b>	<b>379</b>

## Anhang A: Didaktische Orte der JiTT-Aufgaben Mechanik (Schulstudie)

JiTT Nr	Sequenz	Warm Up (1) Puzzle (2)	Bezug auf FCI-Item Nr	Bezug auf FKB-Item Nr	Zeitraum in Schulstunden	Bemerkungen
1	1: Beschreibung von Bewegungen	1		1-9; 10-17; 25-32	0,5	Polnaher Sternhimmel
2	1: Beschreibung von Bewegungen	2	6,7,23	1-9; 10-17; 25-32	1	Bewegung und Bezugssysteme
3	2: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(A)	1	20,21		0,5	Transport einer Kugel vom Boden auf einen Schrank
4	2: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(A)	2	20,21	1-9	0,5	Puckbewegung
5	2: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(A)	1	20,21	1-9	1	Alltagsvorstellung vs physikalische Vorstellung Geschwindigkeit
6	4: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(B)	1	21	5-17	0,5	Beschleunigung bei Aerobic
7	4: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(B)	1	20,21	1-9	0,5	Beschleunigung im t-v-Diagramm
8	4: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(B)	1	21	5-17	0,5	Beschleunigung beim Lauf gegen eine Mauer
9	4: Charakteristi- sche Größen zur Beschrei- bung...(B)	1	20, 21	5-17	0,5	Beschleunigung bei anfahrendem Fahrrad
10	5: Beschreibung Kreisbewe- gungen	2	4,1	5-17	1	Ellipsenbahn Planet um Sonne

JiTT Nr	Sequenz	Warm Up (1) Puzzle (2)	Bezug auf FCI-Item Nr	Bezug auf FKB-Item Nr	Zeitraum in Schulstunden	Bemerkungen
11	2: Charakteristische Größen zur Beschreibung... (A); 6: Bewegungsgleichungen $a = \text{const}$	2	20,21,29	1-9	0,5	Golfball auf nassem Rasen
12	8: Erhaltung von Bewegung	2	2,4,10,13,14,27		1	Waggonaufgabe
13	8: Erhaltung von Bewegung	1	15		0,5	Feuerwerkskörper
14	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	2,4,5,10,11,13,14	18-24; 25-32	1	Ei fällt zu Boden
15	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	2,4,5,10,11,13,14	18-24; 25-32	1,5	Ball senkrecht in die Höhe geworfen
16	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	1	10,25	18-24; 25-32	1	Fläche unter t-F-Kurve
17	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	11,15	18-24; 25-32	1	Ball und Blumentopf
18	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	2,4,8,10,12,13,14,18,24,25,27	18-24; 25-32	0,5	Roter / grüner Holzklötz
19	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	1-4, 8-14, 18, 22,24,25,27,28	18-24; 25-32	0,5	Zwei verbundene Wagen; Kraftpfeildarstellungen
20	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	2,4,9,10,11,12,13,14	18-24; 25-32	1,5	Magdeburger Halbkugeln
21	9: Bewegung und Änderung von Bewegung	2	4,8,9,10,12,16,17,18,19,22,23,28,29	18-24; 25-32	1	Schlitten; geneigte Ebene
22	11: Kräfte bei der Kreisbewegung	2	4,5,9,10,16,17,18,19,22,28	18-24; 25-32	1	Fahrstuhlaufgabe

## Anhang B: Didaktische Orte der JiTT-Aufgaben Edynamik

JiTT Nr	Sequenz	Warm Up (1) Puzzle (2)	Bezug auf KTE	Bezug auf ECCE-Item Nr	Bezug auf CSE-Item Nr	Bezug auf CSM-Item Nr	Zeitraum in Schulstunden	Bemerkungen
1	1: elektrische Stromkreise	1	1-9	1,9,27-38			1	Stromkreise unterschiedlicher Länge
2	1: elektrische Stromkreise	1	1-9	1,6,7,9,10, 25-38			1	Amperemeter an unterschiedlichen Stellen
3	1: elektrische Stromkreise	1	1-9	1,2,3,4,8,9,11, 27-38			1	Zwei Lichtquellen mit unterschiedlichen Widerständen
4	1: elektrische Stromkreise	1	8-10	5,16,25,26			1	Ohmsches Gesetz
5	1: elektrische Stromkreise	2	10-13	2-5, 9,11,12, 23-38			1	Oszilloskop als Stromstärkemesser
6	2: Elektrostatik: Dynamische Aspekte	2			1		0,5	Popper-Statement zu physik. Theorien am Beispiel des Ladungsbe-griffes
7	2: Elektrostatik: Dynamische Aspekte	2			2, 20,21		0,5	Polarisation (Styroporkugel)
8	2: Elektrostatik: Dynamische Aspekte	1			5-9, 17-19		0,5	Symmetrie Newton - Coulomb (!)
9	2: Elektrostatik: Dynamische Aspekte	2			12,13,23,24		0,5	Quadrupolfeld (!)
10	2: Elektrostatik: Dynamische Aspekte	2			12,13,25		1	Faradayscher Käfig: Koaxialkabel

JiTT Nr	Sequenz	Warm Up (1) Puzzle (2)	Bezug auf KTE	Bezug auf ECCE-Item Nr	Bezug auf CSE-Item Nr	Bezug auf CSM-Item Nr	Zeitraum in Schulstun- den	Bemerkungen
11	3: Elektrostatik: Energetische Aspekte	1			14,15,26-30		1	Symmetrie Newton - Coulomb (II)
12	3: Elektrostatik: Energetische Aspekte	2			14,15,26-30		1	Quadrupolfeld (II)
13	3: Elektrostatik: Energetische Aspekte	2			14,15,26-30		0,5	Quadrupolfeld (III)
14	4: Kondensatoren	1			1		1	Begriff "Kapazität"
15	4: Kondensatoren	1	1-9	1,9,27-38			1	Parallelschaltung von Kondensa- toren
16	4: Kondensatoren	2			14,15,26-30		1	Dielektrikum
17	5: Natur der elektrischen Ladung (A)	1			25		1,5	Elektron und Masse
18	6: Elektromag- netismus (A)	1				5,11,12	1	Modellvorstellung vom Permanent- magnetismus; Orientierungssinn von Zugvögeln
19	6: Elektromag- netismus (A)	2				1-4,6,20	0,5	Stromdurchflos- sene Stange im Magnetfeld
20	8: Elektromag- netismus (B)	1				10,13,15-17	1	Uhrengenerator
21	8: Elektromag- netismus (B)	2		39-42		15,16	1	Frequenzabhang- igkeit des induk- tiven Widerstan- des
22	8: Elektromag- netismus (B)	2		43-45		15,16	2	Einschaltvorgang im Spulenstrom- kreis
23	8: Elektromag- netismus (B)	2		39-42			1	Frequenzabhang- igkeit des kapazi- tiven Widerstan- des
24	10: Wechsel- stromkreise (B)	1		43-45			1	Schwingkreis

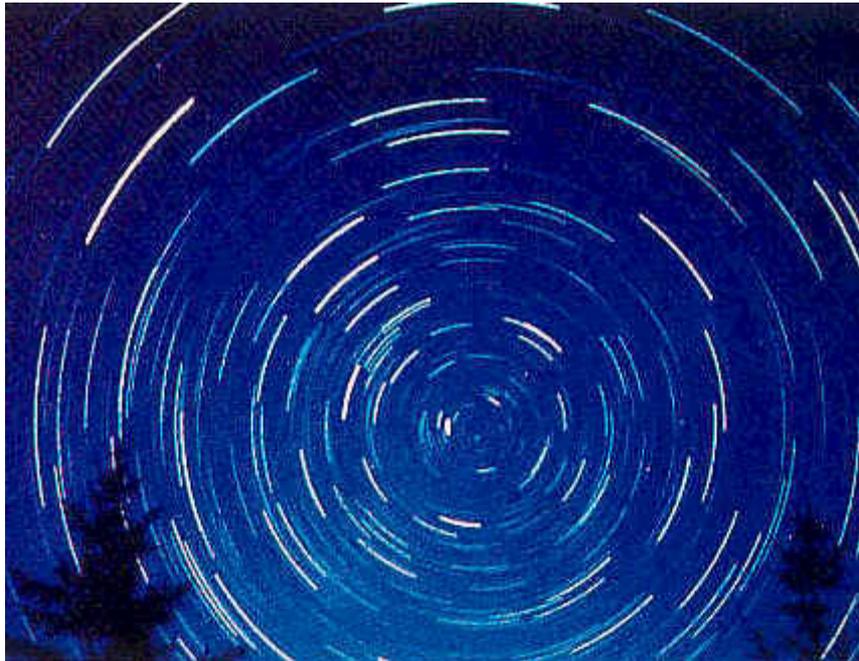
## Anhang C: JiTT-Aufgaben Mechanik

### JiTT-Aufgabe 1:

Die Abbildung unten zeigt eine Langzeitaufnahme des polnahen Sternenhimmels.

Nimm Stellung zu folgender Aussage:

"Die Sterne bewegen sich auf kreisförmigen Bahnen um den Polarstern"



---

### Formular

Deine Antwort:

Formularbeginn

---

abschicken

Formularende

---

**JiTT-Aufgabe 2:**

Johann Wolfgang befindet sich in einem Zug, der sich mit 20 km/h durch die Lüneburger Heide bewegt.

Parallel zum Zug ist ein roter Twingo unterwegs; seine Schnelligkeit beträgt 35 km/h. Johann Wolfgang läuft mit gleichbleibender Schnelligkeit in Fahrtrichtung durch den Zug. Er legt in 3 Sekunden 12 Meter zurück.

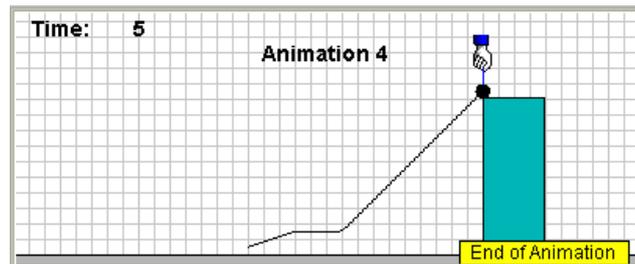
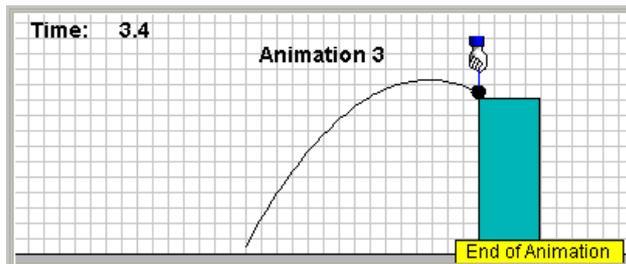
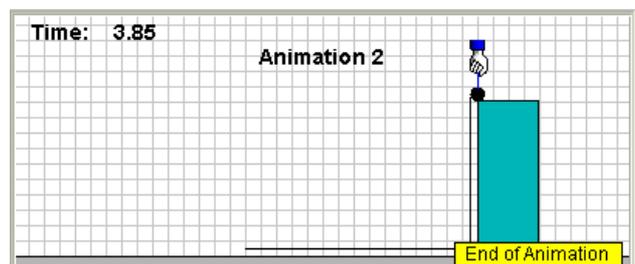
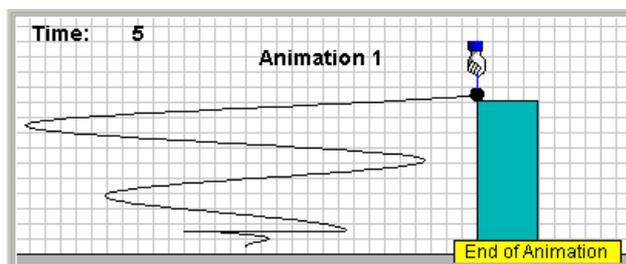
1. Berechne die Geschwindigkeit Johann Wolfgangs im Hinblick auf folgende Bezugssysteme:
    - Zug
    - Boden
    - Twingo.
  
  2. Nimm Stellung zu folgender Aussage: "Bewegung ist eine innere Eigenschaft eines Körpers". Entscheide in diesem Zusammenhang, welche der in Teil 1 berechneten Geschwindigkeiten nun die wahre Geschwindigkeit Johann Wolfgangs ist.
-

**JiTT-Aufgabe 3:**

Eine Bowlingkugel wird auf vier verschiedene Weisen vom Boden auf einen Schrank gehoben. In den vier Abbildungen unten sind jeweils die Bewegungsbahnen dargestellt. Das Anheben beginnt in allen vier Fällen zum Zeitpunkt  $t = 0\text{s}$ .

Bemerkung: Eine Kästchenlänge entspricht  $0,1\text{m}$ , Zeitangaben in Sekunden.

1. Bestimme für alle vier Fälle jeweils die Verschiebung (Distanz) sowie die durchschnittliche Geschwindigkeit.
2. In welchen Fällen ist die Schnelligkeit so groß wie die Geschwindigkeit, in welchen ist sie größer bzw. kleiner? (Begründung!)



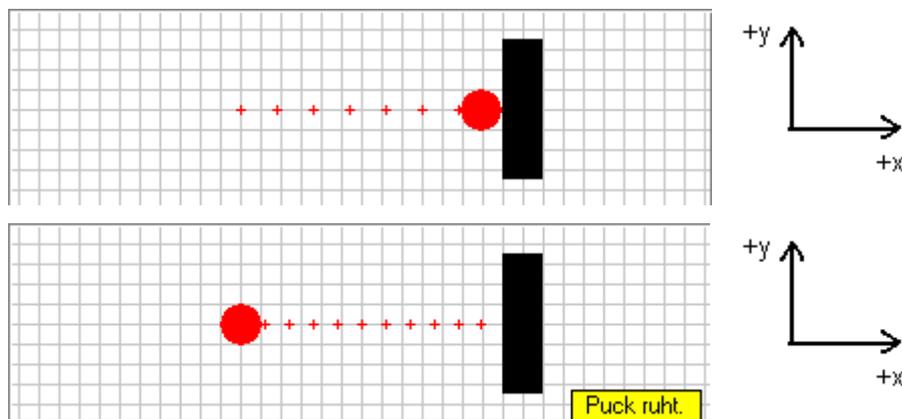
**JiTT-Aufgabe 4:**

Ein Eishockey-Puck rutscht von links kommend gegen eine Wand, prallt daran ab und rutscht zurück. Während dieses Vorgangs wurden nach jeweils gleichen Zeiträumen von 0,2s Bahnmarkierungen (rote Kreuze) gezeichnet; sie geben den momentanen Ort des Schwerpunktes des Pucks an.

Abbildung 1 zeigt den Puck im Moment des Zusammenpralls mit der Wand, Abbildung 2 zeigt ihn am Ende des Bewegungsvorganges.

Bemerkung: Eine Kästchenlänge entspricht der Distanz 0,5m.

Berechne die durchschnittliche Geschwindigkeit während des **gesamten** Bewegungsvorganges. Erläutere kurz deine Vorgehensweise.

**JiTT-Aufgabe 5:**

Versuche zu ergründen, welche Vorstellungen man im Alltag vom Begriff "Geschwindigkeit" hat. Worin unterscheidet sich die Alltagsvorstellung von der physikalischen Vorstellung, die man sich von diesem Begriff macht?

**JiTT-Aufgabe 6:**

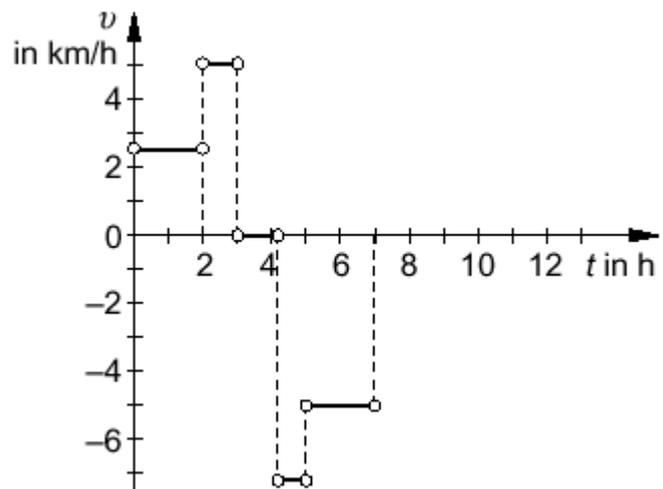
Während Aerobic-Übungen werden häufig die Knie sowie andere Gelenke arg in Mitleidenschaft gezogen. Schuld daran sind hohe Beschleunigungen.

Wann treten solche hohen Beschleunigungen auf?

**JiTT-Aufgabe 7:**

In der Abbildung unten ist das  $v(t)$ -Diagramm eines Bewegungsvorgangs dargestellt.

1. Beschreibe die Bewegung.
2. Interpretiere das Geschehen zu den Zeitpunkten  $t = 2\text{h}$ ,  $3\text{h}$ ,  $4\text{h}$ ,  $5\text{h}$

**JiTT-Aufgabe 8:**

Schätze die Beschleunigung ab, die dein Körper aufweist, wenn du mit Schrittgeschwindigkeit gegen eine Mauer läufst.

(Tipp: Welche Schnelligkeitswerte sind im Spiel, in welchem Zeitraum findet das Drama statt)

**JiTT-Aufgabe 9:**

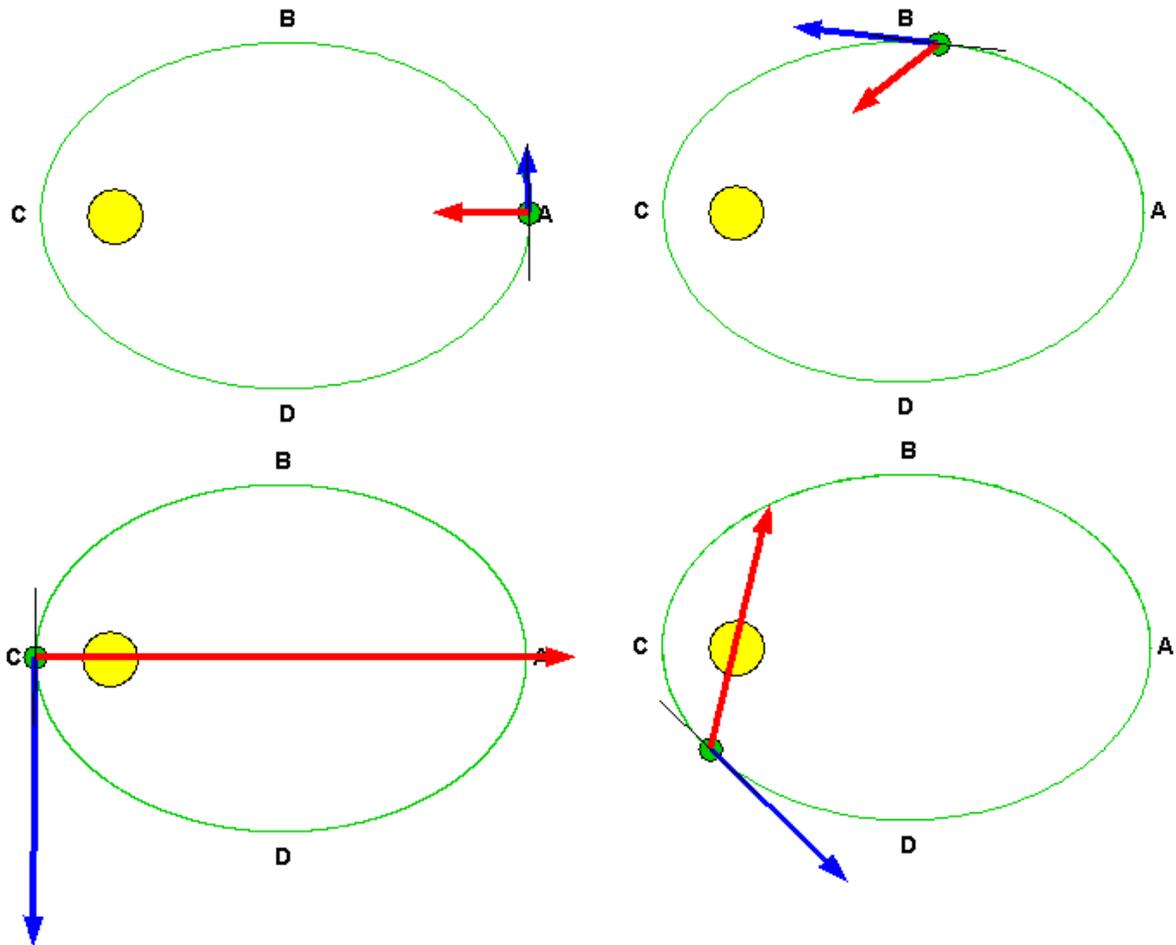
Wie stark kann man ein Fahrrad aus dem Stand heraus beschleunigen?

1. Ermittle durch Überlegung eine quantitative Abschätzung des Beschleunigungswertes.
2. Entwickle ein Experiment, mit dem die Frage geklärt werden kann.

**JiTT-Aufgabe 10:**

Die Abbildungen zeigen vier Momentaufnahmen der Bewegung eines grün dargestellten Planeten um die Sonne.

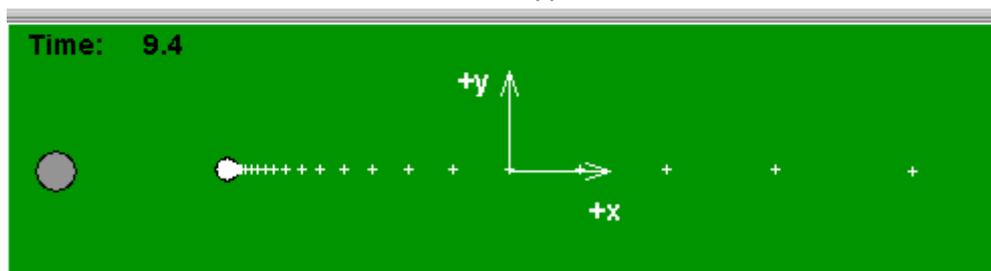
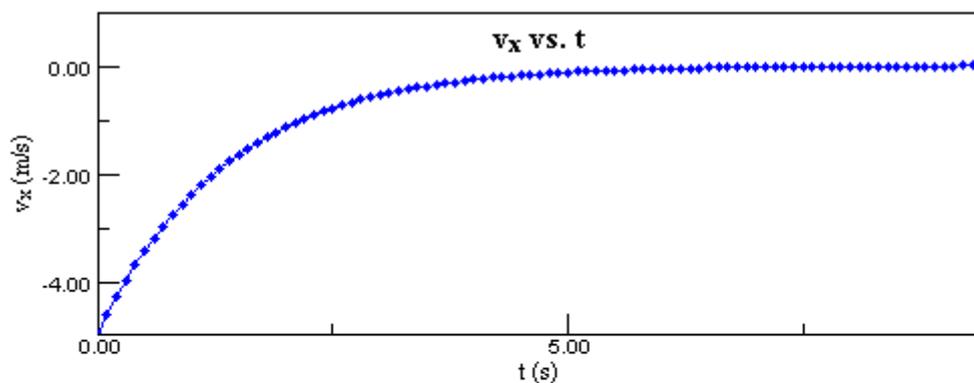
Analysiere die Bewegung in detaillierter Form. Nutze dazu insbesondere die in den Abbildungen vorhandenen Pfeile.



**JiTT-Aufgabe 11:**

Ein Golfball (weiß) wird auf einem nassen, ebenen Rasen geschlagen. Entlang seiner Bahn sind Markierungen (schwarze Kreuze) eingezeichnet (siehe Abbildung).

1. Wir betrachten das Zeitintervall  $[0;5\text{s}]$ : Wächst die Geschwindigkeit an, wird sie kleiner oder bleibt sie gleich?
2. Wir betrachten das Zeitintervall  $[0;5\text{s}]$ : Wächst die Schnelligkeit an, wird sie kleiner oder bleibt sie gleich?
3. Welche physikalische Bedeutung hat die Fläche unter der Kurve des Graphen  $v_x(t)$ ?

**JiTT-Aufgabe 12:**

Ein Gedankenexperiment:

Ein offener Güterwaggon rollt reibungsfrei mit konstanter Geschwindigkeit eine Gleisstrecke entlang. Es beginnt zu regnen.

Welche Konsequenzen hat das auf die Bewegung des Waggons?

**JiTT-Aufgabe 13:**

Am Himmel zersprühen Feuerwerkskörper.



Nimm Stellung zu folgender Behauptung:

"Bei der Explosion eines Feuerwerkskörpers entsteht Bewegung"

---

**JiTT-Aufgabe 14:**

Ein Ei fällt zu Boden. Vernichtung von Bewegung?

(Ausführliche Begründung des eigenen Standpunktes)

---

**JiTT-Aufgabe 15:**

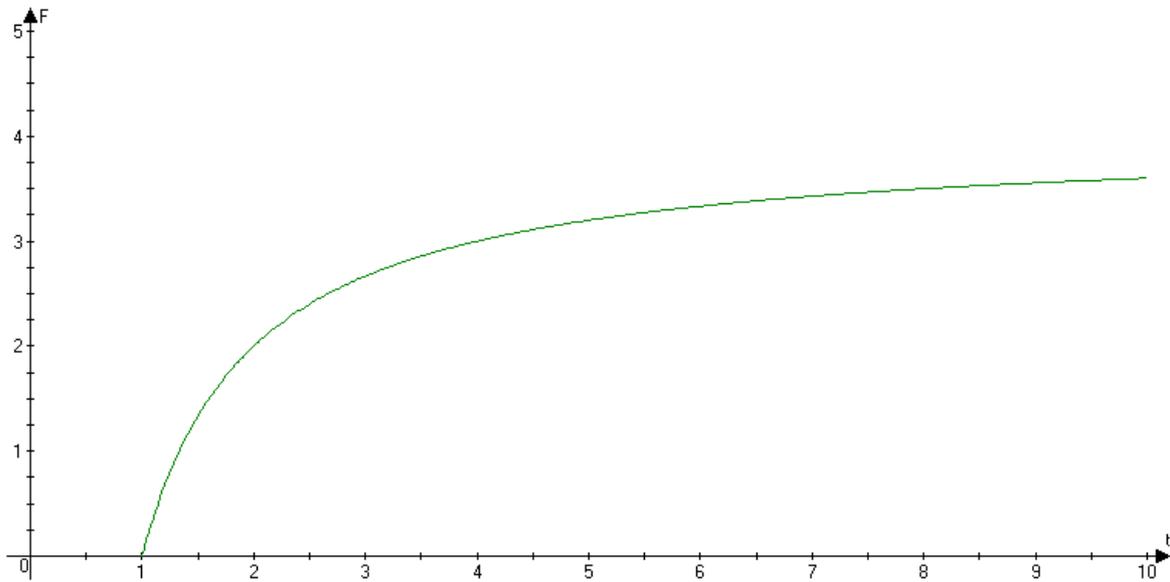
Ein Kind wirft seinen Ball senkrecht in die Höhe. Wo ist die Bewegung im Hochpunkt seiner Bahn?

(Begründe ausführlich)

---

**JiTT-Aufgabe 16:**

Die Abbildung unten zeigt die auf einen (zunächst ruhenden) Körper wirkende Kraft  $F$  (in Newton) in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  (in Sekunden):



Schätze den Impuls des Körpers zum Zeitpunkt  $t = 7$  s mit Hilfe eines graphischen Näherungsverfahrens ab.

---

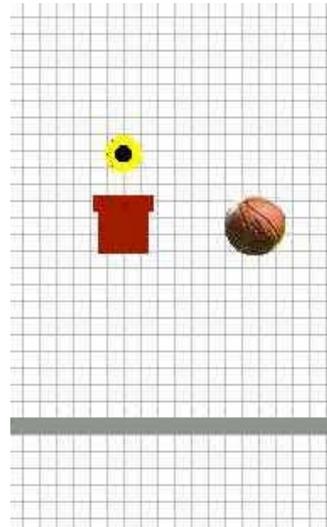
**JiTT-Aufgabe 17:**

Ein Ball und ein Blumentopf mit identischer Masse fallen aus der gleichen Höhe auf einen Tisch. Der Blumentopf stoppt auf dem Tisch, der Basketball hüpft zurück und erreicht erneut die Anfangshöhe.

Frage:

Welcher Gegenstand (Blumentopf, Basketball) erfährt durch die Kollision mit dem Tisch die größere Impulsänderung?

(Ausführliche Begründung)

**JiTT-Aufgabe 18:**

Ein großer Holzblock der Masse 2 kg befindet sich in Kontakt mit einem kleineren Block der Masse 1 kg. Von außen wirkt eine konstante Kraft von 12 N. Abbildung 1 zeigt die Körper zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  in Ruhe; in Abbildung 2 ist ein Schnappschuss der Bewegung zum Zeitpunkt  $t_1$  zu sehen. Wir gehen davon aus, dass sich die Körper auf einer reibungsfreien Unterlage befinden.

Frage:

Wie groß ist die Kraft des kleineren Blocks auf den großen, wie groß die Kraft des großen Blocks auf den kleineren? Begründen Sie ausführlich.

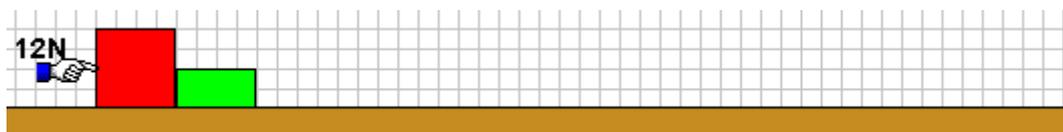


Abbildung 1

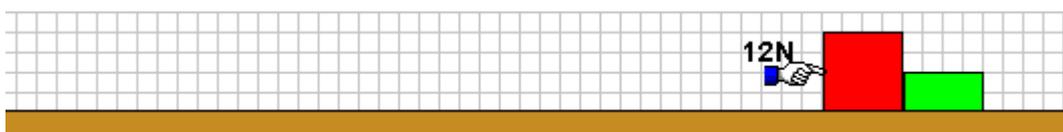


Abbildung 2

**JiTT-Aufgabe 19:**

Die Abbildung zeigt zwei schneller werdende Wagen, die von einer Hand gezogen werden. Die Masse des roten Wagens  $W_r$  sei größer als die des blauen Wagens  $W_b$ . Die Verbindungsseile  $S_1$  (Verbindung Hand- $W_r$ ) und  $S_2$  (Verbindung  $W_r$ - $W_b$ ) bestehen aus dem gleichen Material und haben unterschiedliche Massen, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Die Beschleunigung des "Zuges" sei  $10\text{m/s}^2$ .

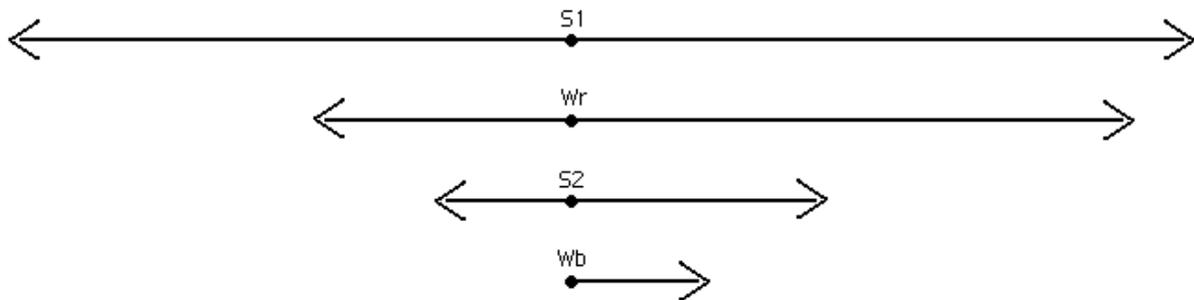


Abbildung

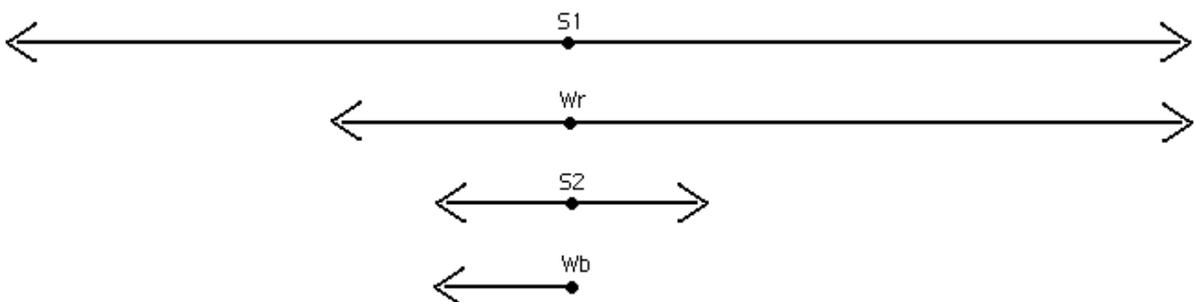
Im folgenden sind die Körper der obigen Abbildung in ihrer Schwerpunktsdarstellung repräsentiert. Außerdem findet man an den Schwerpunkten angreifende Kraftpfeile.

Fragen:

1. Welche der folgenden beiden Darstellungen ist die physikalisch korrekte?
2. Bestimme die Massen der verschiedenen Körper. Der Kraftbetrag von einem Newton entspricht einer Pfeillänge von etwa 0,88 cm. (Tipp: Die Pfeildarstellungen ausdrucken)



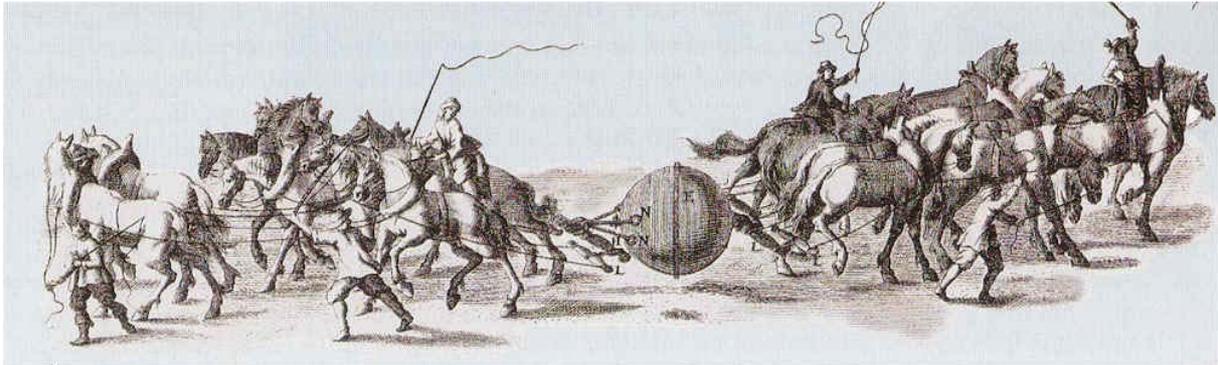
Darstellung 1



Darstellung 2

**JiTT-Aufgabe 20:**

Im 17. Jahrhundert fügte der Magdeburger Physiker Otto von Guericke zwei Halbschalen aus Bronze zusammen und evakuierte sie mit einer Pumpe. Zwei Teams aus jeweils acht Pferden, die an die beiden Halbschalen gespannt wurden, waren nicht in der Lage, die Halbschalen zu trennen - obschon sie auseinander fielen, wenn man den Innenraum erneut mit Luft flutete.



Angenommen, von Guericke hätte eine der Halbschalen an eine stabile deutsche Eiche gebunden und beide Pferdeteams an der anderen ziehen lassen. Wie groß wäre in diesem Fall die Kraft auf die Halbschalen im Vergleich zur wirkenden Kraft im Originalversuch gewesen?

**JiTT-Aufgabe 21:**

Ein Schlitten befindet sich auf einer geneigten Ebene und wird dort infolge der Reibung auf einem Platz gehalten. Nun verändert man den Neigungswinkel der Ebene gerade so lange, bis der Schlitten sich zu bewegen beginnt. Danach verändert man den Neigungswinkel nicht mehr.

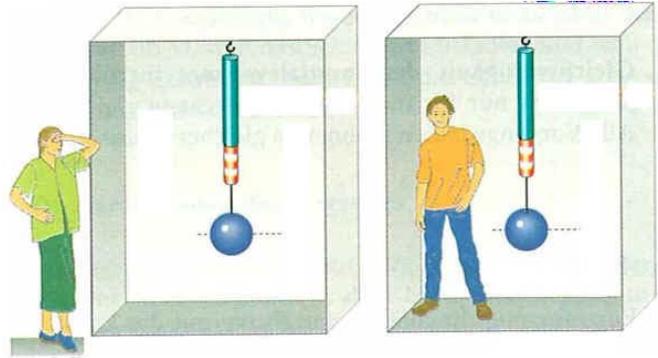
Beschreibe die Bewegung, die der Schlitten ausführt.

**JiTT-Aufgabe 22:**

Die Abbildung rechts zeigt zwei Beobachter A (grün) und B (orange), die die beschleunigte Bewegung eines Fahrstuhls sowie einer an einem Newtonmeter befestigten Kugel beobachten und analysieren.

Frage:

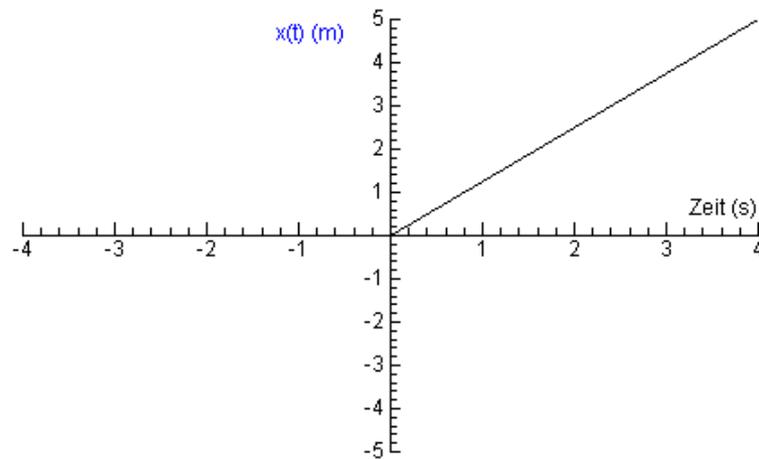
Wie sieht die Analyse des ruhenden Beobachters A aus, wie die des mitbewegten Beobachters B?



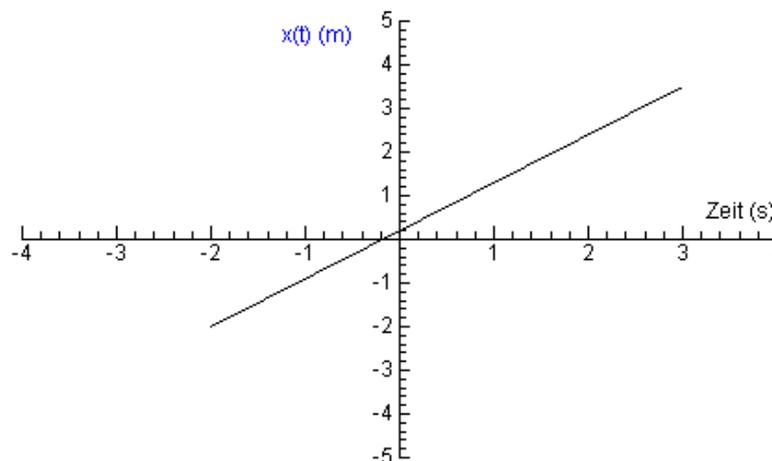
**JiTT- Aufgabe 23:**

Zwei Sprinter sprinten los, es ergeben sich die beiden unten abgebildeten  $x(t)$ -Diagramme.

Erläutern Sie in möglichst detaillierter Form die beiden Bewegungsvorgänge. Worin unterscheiden sie sich?



Sprinter 1

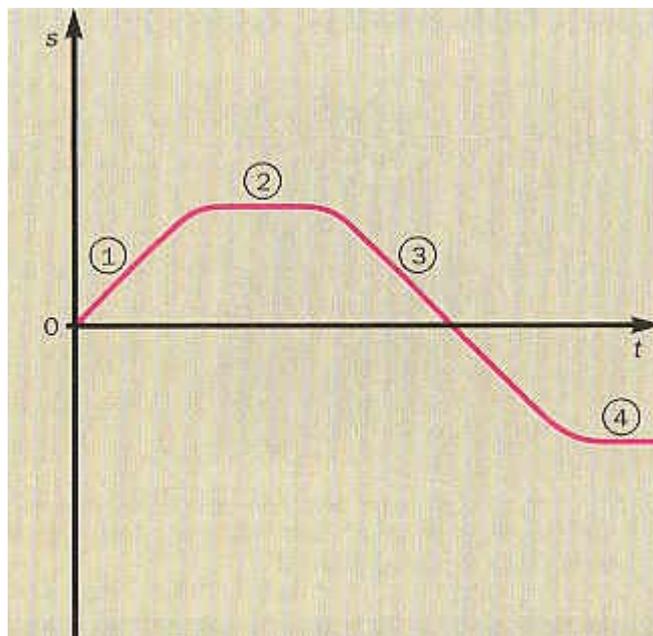


Sprinter 2

---

**JiTT-Aufgabe 24:**

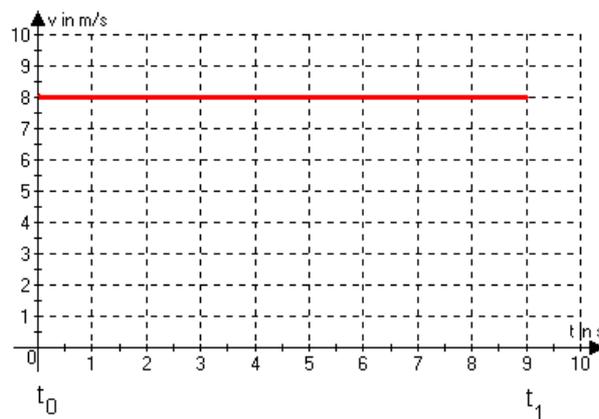
Die Abbildung unten zeigt ein  $s(t)$ -Diagramm. Erläutern Sie die einzelnen Phasen des Vorganges.



**JiTT-Aufgabe 25:**

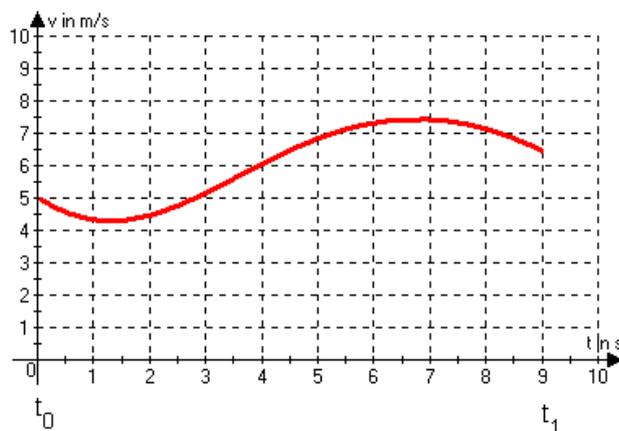
1. Abbildung 1 zeigt das t-v-Diagramm eines eindimensionalen Bewegungsvorgangs:

Entwickeln Sie eine Methode zur **graphischen** (nicht rechnerischen!) Bestimmung der im Zeitraum  $dt = t_1 - t_0$  zurückgelegten Distanz. Wie groß ist die zurückgelegte Distanz im Rahmen der Bewegung von Abbildung 1?



2. Abbildung 2 zeigt das t-v-Diagramm eines zweiten eindimensionalen Bewegungsvorgangs:

Auf welche Weise kann man **graphisch** die im Zeitraum  $dt = t_1 - t_0$  zurückgelegte Distanz ermitteln? Schätzen Sie die im Rahmen der Bewegung von Abbildung 2 zurückgelegte Distanz **graphisch** ab. Beschreiben Sie Ihre Vorgehensweise.



**JiTT-Aufgabe 26:**

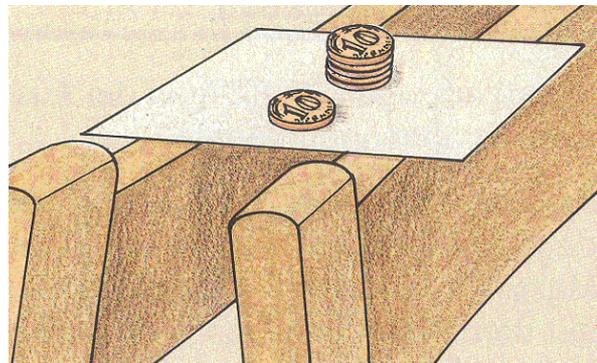
Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem man im Labor (bzw. vor einer Schulklasse) die Proportionalität zwischen beschleunigender Kraft und Beschleunigung experimentell bestätigen kann. Erläutern Sie in detaillierter Form die Versuchsdurchführung.

*Anmerkung:* Die Funktionsweise des Lichtschrankenmechanismus` zur Bestimmung der Beschleunigung muss nicht analysiert werden.

**JiTT-Aufgabe 27:**

Auf einer Pappscheibe befinden sich eine Einfachmünze sowie eine (aus Einzelmünzen zusammengelebte) Fünffachmünze. Die Scheibe wird mit einem Ruck weggezogen:

Welche der beiden Münzen kommt zuerst auf dem Fußboden an? Begründen Sie ausführlich.

**JiTT-Aufgabe 28:**

Ein Mensch sitzt in seinem zunächst stehenden Automobil und gibt Gas.

Analysieren Sie den nun beobachtbaren Vorgang auf der Grundlage folgender Bezugssysteme:

- Bezugssystem A eines an der Straße stehenden Beobachters;
- Bezugssystem B des im Automobil sitzenden Fahrers.

Beziehen Sie sich insbesondere auf den wahrgenommenen Bewegungszustand und rechtfertigen Sie in diesem Zusammenhang die Einführung (= *Erfindung*) von Trägheitskräften.

**JiTT-Aufgabe 29:**

Richard trägt einen Koffer (Masse: 3 kg) eine Distanz von 100m. Dabei hält er eine gleichbleibende Geschwindigkeit von 2 m/s.

Mike trägt einen schwereren Koffer (Masse: 6 kg) eine Distanz von 50 m. Er bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 1,5 m/s.

*Frage:*

An welchem Koffer wurde ein größeres Maß an Arbeit verrichtet?

---

**JiTT-Aufgabe 30:**

Macht es Sinn, von negativer Energie zu sprechen? Begründen Sie Ihren Standpunkt.

---

**JiTT-Aufgabe 31:**

In einem Zug, der mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h unterwegs ist, läuft ein Junge (90 kg) mit einer Geschwindigkeit von 3 m/s in Fahrtrichtung durch ein Zugabteil.

Nachdem der Zug seine Geschwindigkeit auf 60 km/h erhöht hat, läuft der Junge erneut mit 3 m/s in Fahrtrichtung durch das Zugabteil.

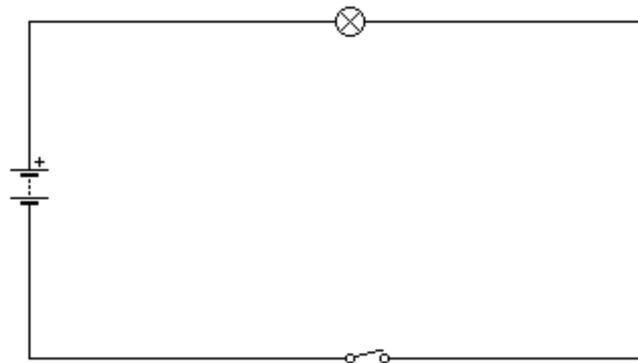
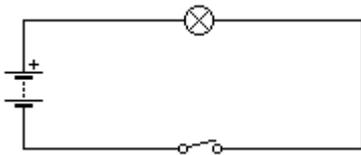
Bestimmen Sie die Änderung der kinetischen Energie des Jungen infolge der Erhöhung der Geschwindigkeit des Zuges. Begründen Sie.

---

## Anhang D: JiTT-Aufgaben Elektrodynamik

### JiTT-Aufgabe 1:

In der Abbildung sind zwei Stromkreise dargestellt, deren Verbindungskabel über den Widerstand Null verfügen. Die Batterien liefern die gleiche Spannung, die Glühlampen sind baugleich. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  s werden beide Schalter geschlossen.



Frage:

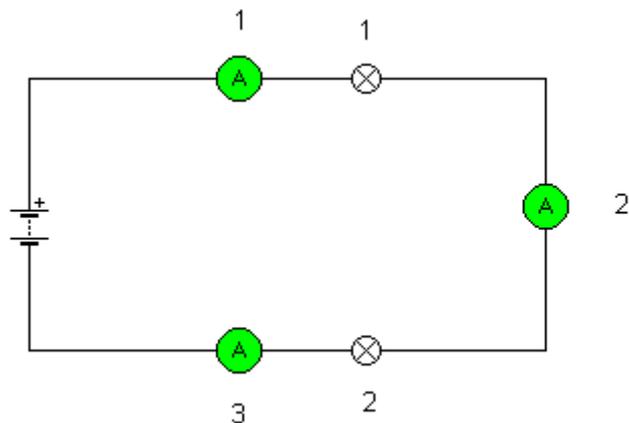
Welche Glühlampe leuchtet als erste auf? Begründe ausführlich.

### JiTT-Aufgabe 2:

In der Abbildung rechts ist ein Stromkreis mit zwei Glühlampen, einer Batterie und drei Amperemetern dargestellt. Glühlampe 1 hat einen größeren Widerstand als Glühlampe 2.

Frage:

Welches Amperemeter zeigt die größte Stromstärke, welches die kleinste? Begründe ausführlich.

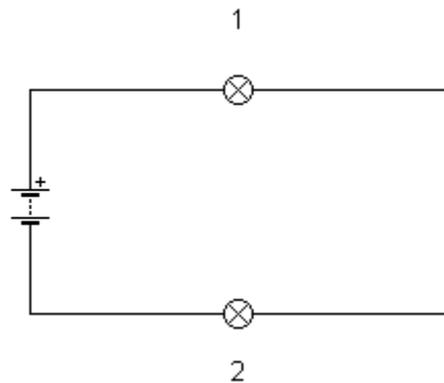


**JiTT-Aufgabe 3:**

In einem Stromkreis befinden sich eine Batterie sowie zwei Glühbirnen. Glühbirne 1 hat einen größeren Widerstand als Glühbirne 2. Man beobachtet, dass eine der beiden Glühbirnen leuchtet, die andere nicht.

Frage:

Welche der beiden Glühbirnen leuchtet?  
Begründe ausführlich.

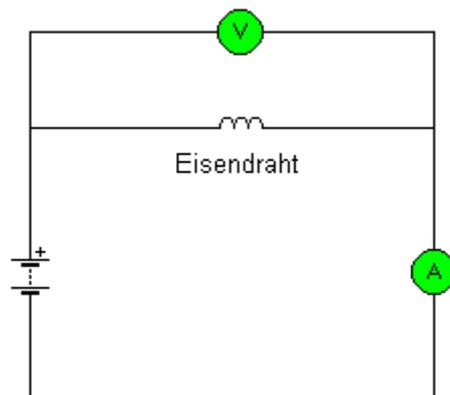
**JiTT-Aufgabe 4:**

Mit Hilfe des in der Abbildung dargestellten Versuchsaufbaus soll das Ohmsche Gesetz (Proportionalität zwischen  $U$  und  $I$ ) gezeigt werden. Die Spannungsquelle liefert eine veränderbare Spannung, als Energieumwandler dient ein Draht aus Eisen.

Die Auswertung des Versuches zeigt, dass keine Proportionalität zwischen  $U$  und  $I$  gegeben ist.

Fragen:

1. Begründe, weshalb das Ohmsche Gesetz im oben beschriebenen Versuch nicht bestätigt wird.
2. Erläutere, auf welche Weise der Versuch abgeändert werden müsste, um Proportionalität zwischen  $U$  und  $I$  beobachten zu können.



**JiTT-Aufgabe 5:**

Die Abbildung zeigt einen Stromkreis, in dem sich neben einer Glühbirne ein Frequenzgenerator befindet, der eine Spannung  $U$  liefert, die sich periodisch mit hoher Geschwindigkeit ändert. Um die Stromstärke zu bestimmen, möchte man ein Oszilloskop einsetzen (warum?).

Frage:

Auf welche Weise ist das möglich?

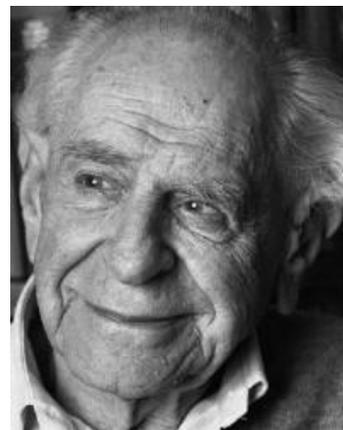
Tipp:

(Informiere dich in deinen Mittelstufenunterlagen über die Funktionsweise eines Oszilloskops)

**JiTT-Aufgabe 6:**

Der österreichische Philosoph KARL POPPER (1902 - 1994) vertrat den Standpunkt, dass physikalische Theorien (also auch physikalische Modellvorstellungen) nicht *entdeckt* sondern *erfunden* werden.

Erläutere diesen Standpunkt am Beispiel der Modellvorstellungen "elektrische Ladung", "positive Ladung", "negative Ladung". (TR PFG 274 (Franklin-Text))



Anmerkung: PFG ist das Kürzel für das in der Mittelstufe verwendete Physikbuch des Cornelsen-Verlages „Physik für Gymnasien“.

**JiTT-Aufgabe 7:**

Die im Schulversuch verwendete Graphitkugel wird durch eine Styroporkugel ersetzt, die Durchführung bleibt gleich. Welches Ergebnis erwartest du?

Anmerkung: Im Schulversuch wurde der an einem Faden aufgehängten Graphitkugel ein elektrostatisch aufgeladener Luftballon genähert.

**JiTT-Aufgabe 8:**

Mit Sir Isaac Newtons Mechanik wurde die Gravitations-Wechselwirkung verstehbar. Der ungeheure Erfolg der Lehre Newtons brachte Charles Augustin de Coulomb dazu, analoge Überlegungen für den Bereich der Elektrostatik anzustellen.



Sir Isaac Newton (1642 - 1727)

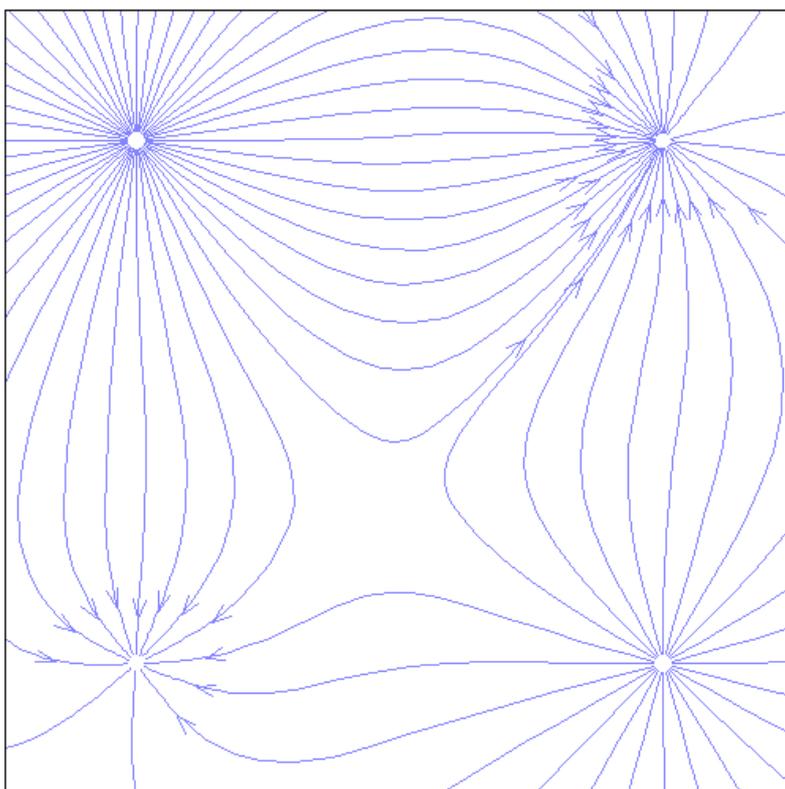


Charles Augustin de Coulomb  
(1736 - 1806)

1. Wie könnten solche (auch formalen) Analogien aussehen?
  2. Entwickle eine Größe, mit der man starke elektrische Felder von schwachen unterscheiden kann.
  3. Mit welcher Methode könnte man elektrische Felder graphisch darstellen? Welche Eigenschaften des elektrischen Feldes können mit Hilfe der von dir beschriebenen Methode veranschaulicht werden?
-

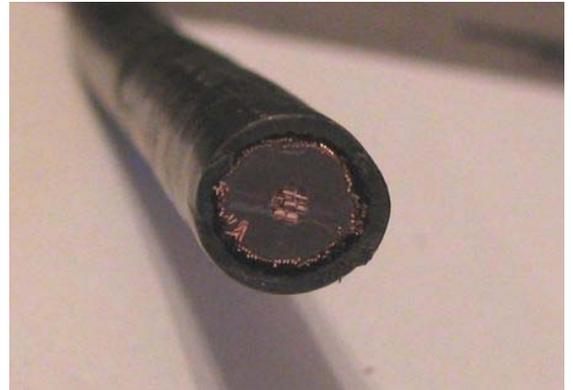
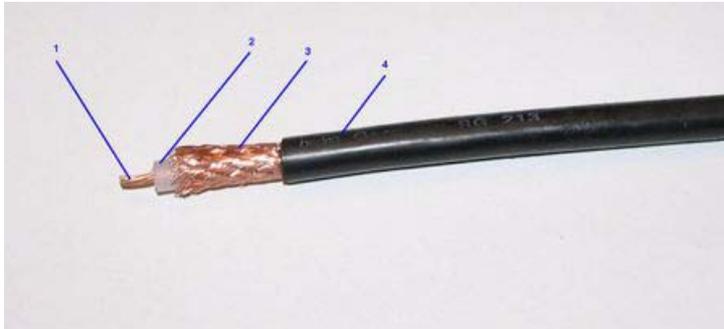
**JiTT-Aufgabe 9:**

Das in der Abbildung mit Feldlinien dargestellte elektrische Feld wird von vier Punktladungen erzeugt. Welche Aussagen kann man über diese Ladungen machen?  
*Begründe deinen Standpunkt!*



**JiTT-Aufgabe 10:**

Um Leitungen, die elektrische Signale übertragen, vor dem Einfluss äußerer elektrischer Felder zu schützen, verwendet man **Koaxialkabel**:



1. Seele beziehungsweise Innenleiter
2. Isolation zwischen Innen- und Außenleiter
3. Außenleiter beziehungsweise *Schirmung* (Metall!)
4. Schutzmantel

Suche nach einer Begründung für den abschirmenden Effekt von Koaxialkabeln.

---

**JiTT-Aufgabe 11:**

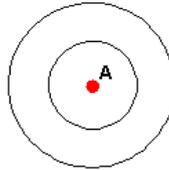
Im Rahmen der Newtonschen Mechanik entwickelten wir einen **dynamischen** sowie einen **energetischen** Ansatz, um Gravitationsfelder voneinander unterscheiden zu können.

Wende den energetischen Ansatz nun auch auf elektrostatische Felder an. Stelle Analogie-Betrachtungen an, begründe und dokumentiere sie.

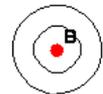
---

**JiTT-Aufgabe 12:**

Die Abbildung rechts zeigt das Quadrupolfeld aus Aufgabe JiTT 9. Die konzentrischen Kreise um die Ladungen A und B stellen die Äquipotentiallinien mit den Potentialwerten  $\varphi_1 = 0,5V$  sowie  $\varphi_2 = +1V$



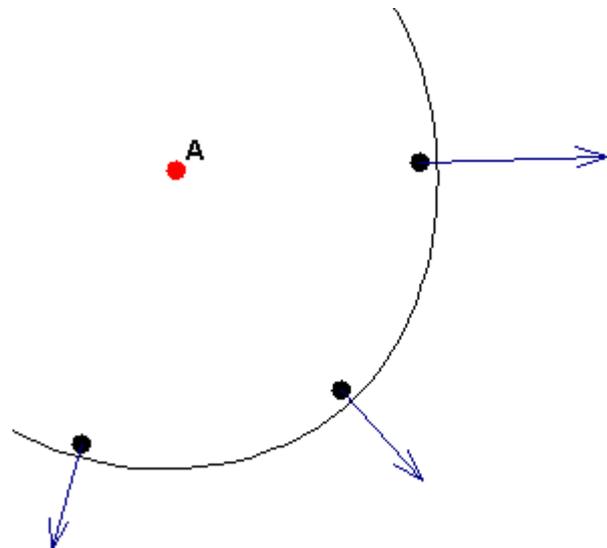
- Erläutere in detaillierter Form, weshalb die Linien um Ladung A größere Radien als die entsprechenden Flächen um Ladung B haben.
- Begründe des weiteren, weshalb die Flächen um Ladung B näher beieinander liegen als die entsprechenden Flächen um Ladung A.

**JiTT-Aufgabe 13:**

Die Abbildung unten zeigt einen Teil des Quadrupolfeldes aus Aufgabe JiTT 9. Um die Ladung A herum ist eine Äquipotentiallinie dargestellt. Des weiteren erkennt man einen (schwarz gezeichneten) Probekörper und die Kräfte, die auf ihn an drei verschiedenen Stellen des elektrischen Feld wirken.

Frage:

Wie stehen Kraftvektoren und Äquipotentiallinien zueinander? Begründe!



**JiTT-Aufgabe 14:**

Nimm Stellung zu folgender Überlegung:

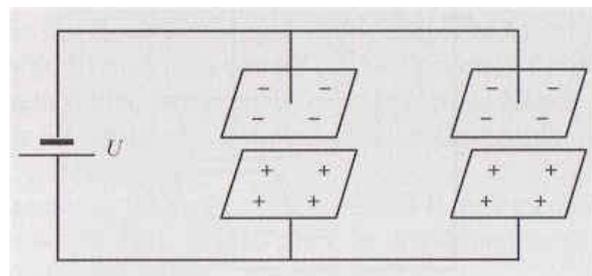
"Um die Kapazität einer Platte heraus zu bekommen, nehme ich eine zweite und ver-  
sehe beide Platten mit der Ladung  $+Q$ . Gemäß der Formel  $Q = C \cdot U$  bestimme ich  
dann  $C$ ".

**JiTT-Aufgabe 15 :**

Die Abbildung rechts zeigt die Parallel-  
schaltung zweier Kondensatoren. Die  
beiden Kondensatoren sollen durch einen  
einzigsten ersetzt werden.

Frage:

Welche Kapazität hat der Ersatzkonden-  
sator?

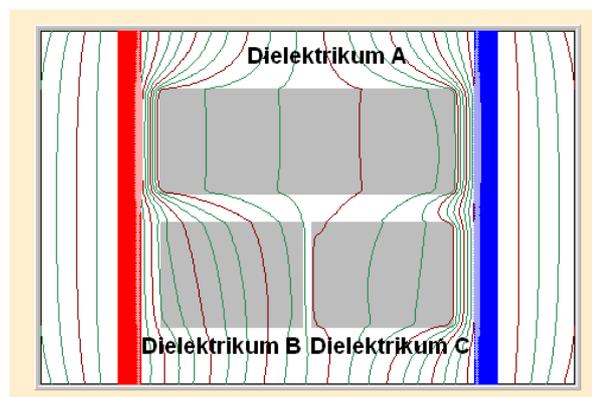
**JiTT-Aufgabe 16:**

Führe im Metzler, S. 199, eine Textrecherche zum Thema "Dielektrikum" durch. No-  
tiere die wichtigsten Aspekte in Stichpunkten.

Der Kondensator (siehe Abbildung) wur-  
de **zunächst** ohne Dielektrika aufgeladen  
und daraufhin von der Spannungsquelle  
getrennt. **Danach** fügte man die drei Die-  
lektrika A-C ein. Die Linien stellen Äqui-  
potentiallinien dar.

Frage:

Welches Dielektrikum verfügt über die  
größte Dielektrizitätszahl, welches über  
die kleinste? Erläutere ausführlich.



**JiTT-Aufgabe 17:**

Wir betrachten ein Elektron, das in das homogene Feld eines (luftleer gepumpten) Kondensators geschossen wird.

Gehen wir einmal davon aus, dass der Vorgang mit Hilfe der Newtonschen Mechanik beschreibbar ist.

Fragen:

1. Welche kinematischen und dynamischen Gesetzmäßigkeiten würden dann zur Anwendung kommen? Erläutere möglichst detailliert.
2. Welche Form sollte die Bahnkurve vor, im bzw. hinter dem Kondensator haben? Begründe deinen Standpunkt.

Tipp:

Analyseverfahren der Basketballbewegung

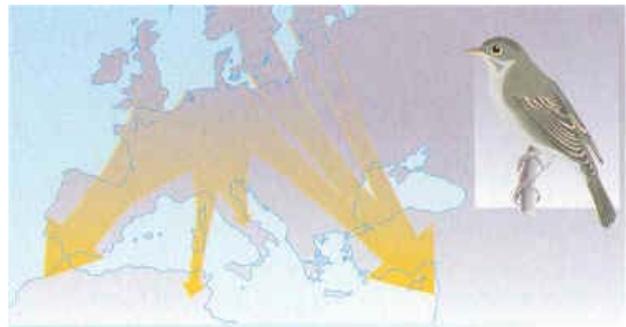
---

**JiTT-Aufgabe 18:**

Zugvögel nutzen das Phänomen des Permanentmagnetismus zur Orientierung.

Fragen:

1. Welche Modellvorstellung vom Permanentmagnetismus haben die Physiker entwickelt? (Physikbuch Mittelstufe!)
2. Versuche zu ergründen, auf welche Weise Zugvögel den Permanentmagnetismus nutzen. (Internet, Bio-Buch)



**JiTT-Aufgabe 19:**

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen eine blaue Stange in einem homogenen Magnetfeld, dessen Feldlinien aus der Displayebene hinausweisen.

Die Stange (Länge  $l = 0,144 \text{ m}$ ) wird von einem konstanten Strom durchflossen. Das Newtonmeter am oberen Fensterrand zeigt jeweils den Betrag der Kraft an, die notwendig ist, um die Stange zu halten (die Kraft ist in Newton, die Magnetfeldstärke in Tesla angegeben).

Fragen:

1. In welcher Richtung bewegen sich die Elektronen durch den Draht?
2. Welche Masse hat die Stange?

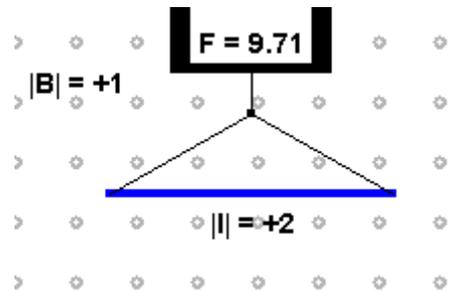


Abbildung 1

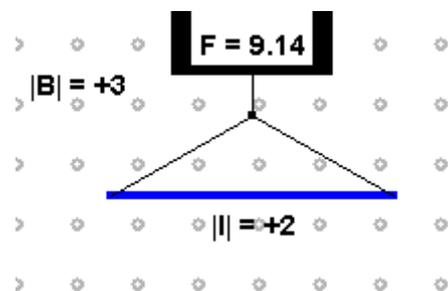


Abbildung 2

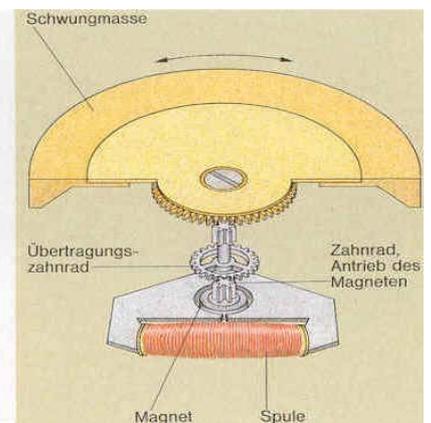
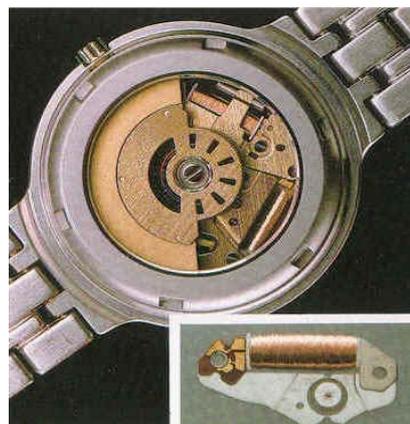
**JiTT-Aufgabe 20:**

Im linken Bild ist einer der kleinsten Generatoren der Welt zu sehen. Er ist kaum 2 cm lang, nur wenige Millimeter breit und liefert die nötige Spannung für eine Quarzarmbanduhr. Rechts sind die Hauptbestandteile des Generators dargestellt.

Frage:

Wie funktioniert der Generator?  
Erläutere ausführlich.

Nutze zur Bearbeitung der Aufgabe ein Physikbuch der Mittelstufe bzw. deine Unterrichtsmittschrift.



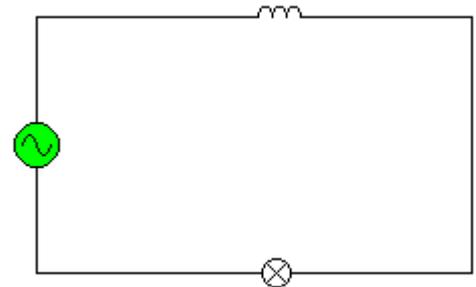
**JiTT-Aufgabe 21:**

In einem Stromkreis befindet sich ein Frequenzgenerator, eine Birne sowie eine Spule (Abbildung rechts). Die Birne leuchtet.

Die Frequenz der Wechselspannung, die der Generator gibt, wird langsam erhöht.

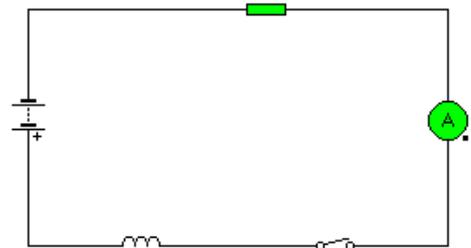
Frage:

Welche Beobachtung wird man machen? Begründe ausführlich.

**JiTT-Aufgabe 22:**

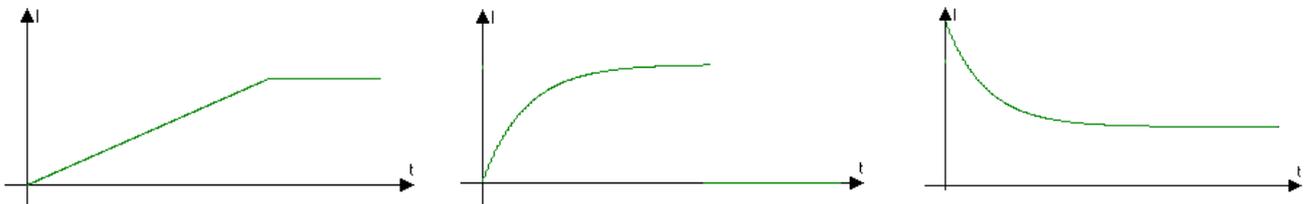
Im rechts abgebildeten Stromkreis befindet sich eine Spule, eine Batterie, ein offener Schalter, ein ohmscher Widerstand und ein Stromstärkemessgerät.

Zum Zeitpunkt  $t = 0\text{s}$  wird der Schalter geschlossen und die Stromstärke  $I$  in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet.



Frage:

Welcher der drei Graphen zeigt den (qualitativ) korrekten  $I$ -Verlauf? Begründe ausführlich.



**JiTT-Aufgabe 23:**

In einem Stromkreis befindet sich ein Frequenzgenerator, ein Kondensator und eine Glühbirne. Liefert der Generator eine Wechselspannung der Frequenz  $f_0$ , leuchtet die Birne hell.

Frage:

Welche Beobachtung macht man bei stetiger Verringerung der Frequenz  $f$  der Wechselspannung des Generators? Begründe deinen Standpunkt in ausführlicher Form.

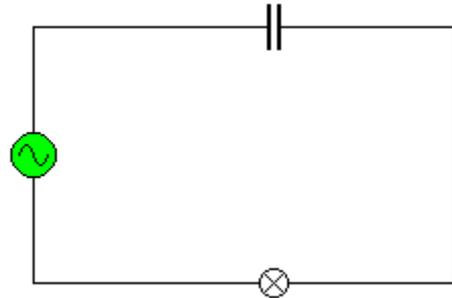
**JiTT-Aufgabe 24:**

Abbildung 1 zeigt einen Wechselstromkreis. Die Angaben an den Kondensatoren sind die Kapazitäten in Farad, die Angabe an der Spule die Induktivität in Henry. Der Frequenzgenerator liefert eine Rechteckspannung mit der Frequenz  $f = 400$  Hz (Abbildung 2).

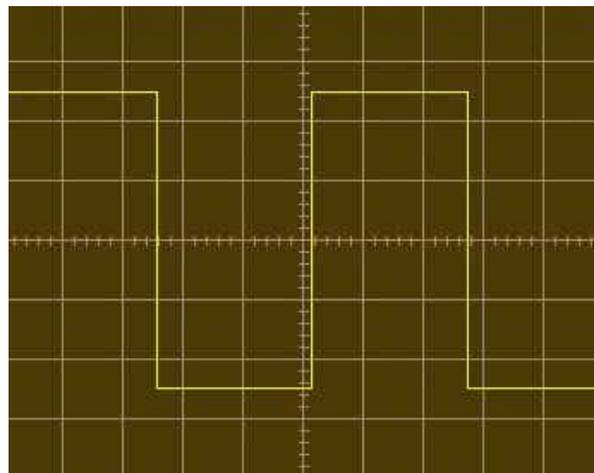
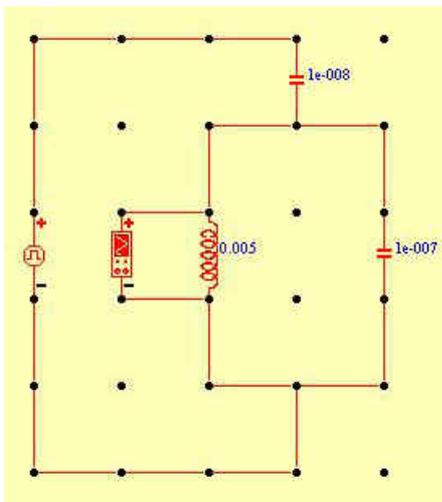
Frage:

Welchen Spannungsverlauf  $u(t)$  wird man auf dem Oszilloskopschirm (Oszilloskop parallel zur Spule) beobachten?

Tipps:

Wie verhält sich ein geladener Kondensator im Stromkreis?

Bestimme die Thomsonfrequenz des Schwingkreises und setze sie in Beziehung zur Frequenz des Generators.



**Anhang E:       Abbildungs- und Bildnachweis (JiTT-Aufgaben)**

## Mechanik

- JiTT 1       Kuhn, W. (Hrsg.). Kuhn Physik 2. Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig 2000, S. 8
- JiTT 3,4, 10,11,17, 18,19       Aufgabentexte: Copyright Prentice Hall. All rights reserved.  
Screenshots einiger Physlet-Animationen;  
Informationen zur Physlet-Technik unter:  
<http://webphysics.davidson.edu/applets/applets.html>
- JiTT 13       Kuhn, W. (Hrsg.). Kuhn Physik 2. Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig, 2000, S. 43
- JiTT 20       Deutsches Museum (2004). Meisterwerke aus dem Deutschen Museum I Bildmaterial unter:  
<http://www.deutsches-museum.de/sammlungen/ausgewaehlte-objekte/meisterwerkei/halbkugel/>
- JiTT 23       Grehn, J., Krause, J. (Hrsg.). Metzler Physik. Schroedel Verlag GmbH, Hannover, 1998, S. 57
- JiTT 24       Boysen, G. (Hrsg.). Oberstufe Physik Gesamtband. Cornelsen Verlag, Berlin, S. 15
- JiTT 27       Boysen, G. (Hrsg.). Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Länderausgabe C, Teilband 2. Cornelsen Verlag, Berlin, S. 25

## Elektrodynamik

- JiTT 1-5, 21-23       Abbildungen erstellt mit Crocodile Clips. Nähere Informationen unter <http://www.crocodile-clips.com>
- JiTT 9,16, 19,24       Aufgabentexte: Copyright Prentice Hall. All rights reserved.  
Screenshots einiger Physlet-Animationen;  
Informationen zur Physlet-Technik unter:  
<http://webphysics.davidson.edu/applets/applets.html>
- JiTT 6       Bildmaterial unter [openparachute.wordpress.com/2008/06/](http://openparachute.wordpress.com/2008/06/)
- JiTT 8       Bildmaterial unter <http://www.nd.edu/~dharley/HistIdeas/Newton.html>  
Bildmaterial unter [www.discoverhover.org/.../images/Coulomb.jpg](http://www.discoverhover.org/.../images/Coulomb.jpg)
- JiTT 10       Bildmaterial unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Koaxialkabel>
- JiTT 15       Kuhn, W. (Hrsg.). Handbuch der experimentellen Physik. Sekundarbereich II. Band 5/1: Elektrizitätslehre I/1, S. 81
- JiTT 18       Bader, F., Oberholz, H.-W. (Hrsg.). Dorn-Bader Physik. Gymnasium Sek 1, 2001, Schroedel Verlag GmbH, Hannover, S. 169
- JiTT 20       Boysen, G. (Hrsg.). Physik für Gymnasien. Sekundarstufe I. Länderausgabe C, Teilband 2. Cornelsen Verlag, Berlin, S. 167

## Anhang F: Unterrichtssequenzen Mechanik

Nr	Sequenz	zentrale Zielsetzung	zentrale Methode	Zeitraum (Schulstunden)
1	Beschreibung von Bewegungen	Bewegung hat Richtung; Beschreibung von Bewegung benötigt Bezugssystem	Fahrradversuch; Tischversuch (Bezugssysteme; siehe Metzler); 2xJiTT	2
2	Charakteristische Größen zur Beschreibung von Bewegungen (A)	Zweidimensionale Beschreibung von Bewegung; Durchschnittsgrößen und Momentangrößen; Vektorrechnung	Videoanalyse "Bahnkurve eines Basketballs"; 3xJiTT	7 (8)
3	Bewegungsgleichungen der geradlinig-gleichförmigen Bewegung	Unabhängigkeitsprinzip; Bewegungsgleichungen; Graphische Methode zur Gewinnung der B.g.	VA "x-Komponente der Bahnkurve des Basketballs"; Turmsprung; traditionelle Schulbuchübungen	8
4	Charakteristische Größen zur Beschreibung von Bewegungen (B)	Zweidimensionale Beschreibung von Bewegung; Durchschnitts- und Momentangrößen; $a=g$ ; $F=m \cdot a$	VA "Bahnkurve des Basketballs"; 4xJiTT	5 (6)
5	Beschreibung von Kreisbewegungen	Beschreibende Größen; Bogenmaß; $a$ und $F$ in Richtung Kreismittelpunkt	VA "Bahnkurve Rotorblatt Windkraftanlage"; ausgedehnte Schulbuchrecherche; 1xJiTT; traditionelle Schulbuchaufgaben	6
6	Bewegungsgleichungen der geradlinigen gleichmäßig beschleunigten Bewegung	Bewegungsgleichungen; Graphische Methode; Freier Fall	Ausgedehnte Schulbuchrecherche; 1xJiTT; traditionelle Schulbuchaufgaben	3
7	Modellbildung am Beispiel der Bewegung entlang einer schiefen Ebene	Numerische Integration	VA "Wagen entlang schiefe Ebene, Neigung variabel"; Modellbildung und Simulation	5
8	Erhaltung von Bewegung	Impuls=Bewegungsgröße; Impulserhaltung; Bewegung hat eine Richtung	VA "Kollision zweier Pucks"; 2xJiTT	7
9	Bewegung und Veränderung von Bewegung	Kraft bedeutet Änderung von Bewegung; 1.,2.,3. Newtonsches Axiom	Gedankenexperimente; Demo-Experiment zum WWP; ausgedehnte Schulbuchrecherche; 8xJiTT	14 (17)
10	Aerodynamik	Umgang mit mehreren Kräften, die an Körper angreifen; Newtonsche Maschine; Strömungstypen; Einblick Bionik	VA "Fallende Kugel/Fallender Trichter"; Modellbildung und Simulation	9
11	Kräfte bei der Kreisbewegung	Zentripetalkräfte; Zentrifugalkräfte; Trägheitskräfte; Corioliskräfte	Freihandversuch "Kugel an Faden"; Gedankenexperiment; ausgedehnte Schulbuchrecherche; 1xJiTT	9

**Anhang G: Unterrichtsformen und -verfahren Mechanik**

<b>Unterrichtsform/-verfahren</b>	<b>Unterrichtszeit (in %)</b>	<b>Beispiele</b>
fragend-entwickelnder Unterricht	30%	Bewegung und Bezugssystem; Unabhängigkeitsprinzip; Definition der Durchschnittsbeschleunigung
entdeckender Unterricht	20%	Bahnkurve Basketball; Kreisbewegung; Impuls; Aerodynamik
darbietender Unterricht	10%	Definition der Durchschnittsgeschwindigkeit; Momentangeschwindigkeit; Bionik
festigender Unterricht	40%	JiTT 2,4,5,10,18,19,21
induktiv-deduktives Verfahren	60% / 40%	i.: Bewegungsgesetze aus dem Basketball-Video; Impulserhaltung aus der Kollision der Pucks; d.: Versuche zur schiefen Ebene (VA und MB); Aerodynamik- Praktikum; Demo-Experiment zum WWP
exemplarisches Verfahren	60%	Analyse des Basketballwurfes; Analyse der Rotorbewegung einer Windkraftanlage; Analyse der Kollision zweier Pucks
analytisches / synthetisches Verfahren	70% / 20%	a.: Basketballwurf, Rotorbewegung; s.: Aerodynamik (Modellbildung)
problemorientiertes Verfahren	40%	Fahrradversuch (Bewegungsrichtung); Tischversuch (Bezugssystem); Gedankenexperiment "Junge wirft Ball hoch"



## Anhang H: Unterrichtssequenzen Elektrodynamik

Nr	Sequenz	zentrale Zielsetzung	zentrale Methode	Zeitraum (Schulstunden)
1	elektrische Stromkreise	Konzept der geschlossenen Ladungskette; Charakteristische Größen; serielle+parallele Stromkreise; Kirchhoffsche Gesetze	JITT-Aufgaben; Demo-Experimente; 5XJITT	7 (9)
2	Elektrostatik: Dynamische Aspekte	Influenz, Polarisierung; Symmetriebetrachtungen Gravitation - Elektrostatik; Gewitterbildung	JITT-Aufgaben; Demo-Computeranimationen (Feldlinienbilder); 5XJITT	6 (8)
3	Elektrostatik: Energetische Aspekte	Symmetriebetrachtungen Gravitation - Elektrostatik; elektrische Felder in der Tierwelt	JITT-Aufgaben; Demo-Computeranimationen (Äquipotentialbilder); 3XJITT	13
4	Kondensatoren	K=Energiespeicher; Auflade- und Entladekurve; Modellbildung; Kondensatorschaltungen; Dielektrika; Piezos, Drucker	Gruppenarbeit; Schülerexperiment und Modellbildung; traditionelle Übungsaufgaben; 3XJITT	15 (16)
5	Natur der elektrischen Ladung (A)	Elementarladung; laminare Strömung; Trägheit der Elementarladung; Bewegung von Ladungsträgern in el. Feldern	Gruppenarbeit; Computersimulation Millikan; Schulbuchrecherche; Demo-Experiment zur Strahlablenkung in Efeldern; traditionelle Übungsaufgaben; 1XJITT	8
6	Elektromagnetismus (A)	Permanentmagnetismus und Rutherford'sches Atommodell; Symmetriebetrachtungen G-Feld - E-Feld - B-Feld; Hall-Effekt; Magnetfelder in der Tierwelt	Demo-Experiment "Fadenstrahlröhre", ausgedehnte Schulbuchrecherche; traditionelle Übungsaufgaben; 2XJITT	5
7	Natur der elektrischen Ladung (B)	Massenspektroskopie; Bestimmung der Elektronenmasse	Demo-Experiment "Fadenstrahlröhre"; Textrecherche "Kometensonde "Stardust"; traditionelle Übungsaufgaben	4
8	Elektromagnetismus (B)	Induktion; Selbstinduktion; 2. Kirchhoffsches Gesetz; Energie des B-Feldes	Demo-Experimente zu Spannungsgeneratoren, Frequenzabhängigkeit des induktiven / kapazitiven Widerstandes; Einschaltvorgang Spule; Gruppenarbeit zur Selbstinduktion; traditionelle Übungsaufgaben; 4XJITT	15 (17)
9	Wechselstromlehre (A)	Phasenlage von u und i bei Widerstand, Kondensator und Spule	Modellbildung (Gruppenarbeit) und Demo-Experimente	3
10	Wechselstromlehre (B)	parallele und serielle Wechselstromkreise; Berechnung von Wskreisen; gedämpfter Schwingkreis; Parallelresonanzkreis; Frequenzfilter; Zeigerdiagramme aus der Mechanik	Demo-Experiment zum Parallelresonanzkreis; ausgedehnte Schulbuchrecherche; Modellbildung (Gruppenarbeit) und Demo-Experiment; Behandlung im Hinblick auf den Bau eines Mittelwellenempfängers; 1XJITT	10

## Anhang I: Unterrichtsformen und -verfahren in der Elektrodynamik

Unterrichtsform/-verfahren	Unterrichtszeit (in %)	Beispiele
fragend-entwickelnder Unterricht	51%	Influenz / Polarisierung / Symmetrie „Gravitation“ – „Elektrostatik“; Ladungsbewegung in Feldern; Parallelresonanzkreis
entdeckender Unterricht	15%	Kondensatorentladung; Millikan-Versuch; Halleffekt; Selbstinduktion
darbietender Unterricht	15%	ILS- /LLZ-Systeme; Tolman-Versuch; Effektivwerte; Dielektrikum
festigender Unterricht	19%	JiTT 9,10,12,13,16,19,21
induktiv-deduktives Verfahren	50% / 50%	i: Ursache des Permanentmagnetismus; Rutherford'sches Atommodell d: Kondensatorentladung; Hallsonde; gemischte Wechselstromkreise
exemplarisches Verfahren	60%	Mittelwellenempfänger; Erfindung der Ladungen; Feldlinien in verschiedenen Bereichen; Zeigerdiagramme
analytisches / synthetisches Verfahren	80% / 20%	a: Koaxialkabel; ILS; Polarlichter; Uhrgenerator; Parallelresonanzkreis; s: Mittelwellenempfänger; Massenspektrometer Stardust
problemorientiertes Verfahren	40%	Influenz, Polarisierung; Ohmsches Gesetz; UKW-Sender; Selbstinduktion; Kondensator als Spannungsquelle

## Anhang J: JiTT-Stunde „Mechanik“ - OH-Folie mit Statements

### JiTT 5 – Schülerstatements

Am häufigsten wird der Begriff Geschwindigkeit im Alltag für Gegenstände oder Lebewesen wie zum Beispiel ein Auto, ein Moped, ein Pferd oder ähnliches benutzt die eine bestimmte Strecke zurücklegen. Der Begriff Geschwindigkeit wird jedoch auch auf zeitliche Veränderungen anderer Größen bezogen. So spricht man beispielsweise von der Geschwindigkeit einer Temperaturänderung oder der Geschwindigkeit, mit der eine Population wächst, oder sich eine Kultur entwickelt.

Hi,

Die Vorstellung die man im Alltag von Geschwindigkeit hat wird durch zurückgelegte Strecke pro Zeiteinheit definiert. Im Alltag werden sämtliche "unnötigen" Aspekte (Bezugssystem, Richtung) unterschlagen, weil es zum Beispiel einem Beobachter, der die Geschwindigkeit eines Autos bestimmen will, sch\*\*egal ist ob das Auto auf ihn zufährt, oder von ihm Weg.

Bsp(Richtung):

Kein normaler Mensch (Physiker sind dabei ausgeschlossen) würde sich an die Straße stellen und sagen:"Das Auto fährt 90km/h, und der rote Twingo auf der Gegenfahrbahn schafft nur -15km/h."

Bsp(Bezugssystem):

Polizisten würden einen riesen Ärger bekommen wenn sie einem Autofahrer den sie mit 215km/h auf der Landstraße verfolgen den Titel "Raser" aberkennen, nur weil er aus ihrer Sicht fast stehen geblieben ist.

Im Alltag werden also die Aspekte weggelassen, die die Geschwindigkeit zur Pfeilgröße machen.

Hi

Im Alltag stellt man sich unter Geschwindigkeit vor, wie schnell(Strecke in einem Zeitabschnitt) man eine Distanz zurücklegt.

Die physikalische Vorstellung von Geschwindigkeit ist wie schnell die kürzeste Distanz zwischen Anfang und Endpunkt zurückgelegt wird.

Was wir im Alltag als Geschwindigkeit verstehen ist physikalisch gesehen die Schnelligkeit.

Was wir im physikalischen als Geschwindigkeit verstehen ist im Alltag Schwachsinn. Bsp.

Ich fahre mit dem Rad von Hauenstein nach Annweiler. Dafür brauche ich 30 min.

Die kürzeste Verbindung beträgt ca. 8km. Nur fahre ich mit dem Rad unterwegs über Lug und Schwanheim. Die Weglänge beträgt weitaus mehr als 8 km. Trotzdem fahr ich physikalisch gesehen nur 16 km/h.

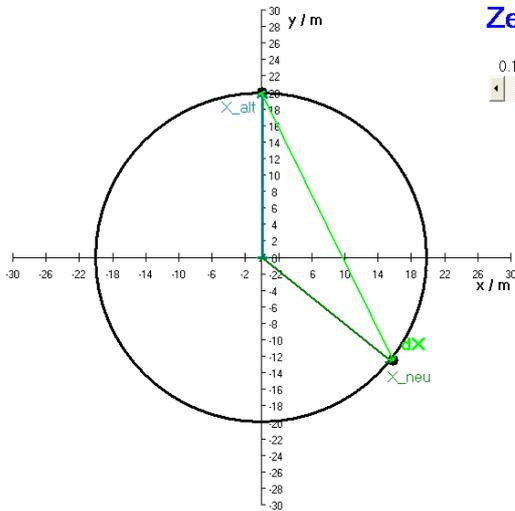
Oder noch besser.

Ich fahre danach von Annweiler wieder zurück, bin also 60 min für die doppelte Strecke unterwegs.

In der Physik fuhr ich mit 0 Km/h von Hauenstein nach Annweiler und zurück und benötigte 60 min. Faszinierende Logik.

## Anhang K: JiTT-Stunde „Mechanik“ - Screenshots der eingesetzten Animation

Ein Auto fährt mit 10 m/s einen Kreis mit Radius von 20 m:



Zeitintervall eingeben:



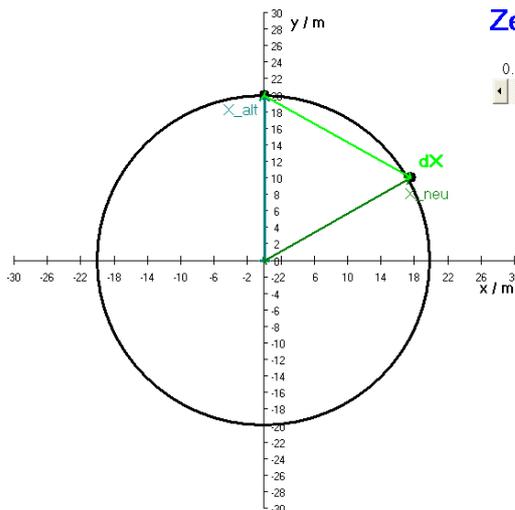
Aus dX und dt berechnet:

$$v_D = 8.02 \text{ m/s}$$

Richtung von  $v_D$ :



Ein Auto fährt mit 10 m/s einen Kreis mit Radius von 20 m:



Zeitintervall eingeben:



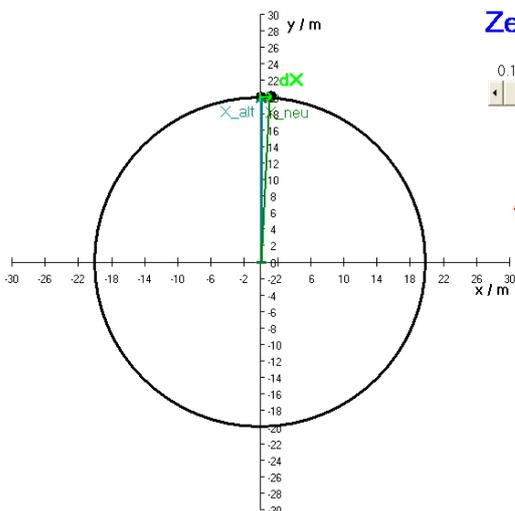
Aus dX und dt berechnet:

$$v_D = 9.55 \text{ m/s}$$

Richtung von  $v_D$ :



Ein Auto fährt mit 10 m/s einen Kreis mit Radius von 20 m:



Zeitintervall eingeben:



Aus dX und dt berechnet:

$$v_D = 10.00 \text{ m/s}$$

Richtung von  $v_D$ :



## Anhang L: JITT-Stunde „Edynamik“ - OH-Folie mit Statements

### JITT 16 – Schülerstatements

Das Dielektrikum hat letzten Endes die Funktion die Spannung zwischen den beiden Kondensatorplatten zu verringern. Eine geringere Spannung hat auch ein schwächeres Feld zur Folge. Da die Feldliniendichte Auskunft über die Stärke eines Feldes gibt, muss theoretisch das Dielektrikum, in dem die Feldliniendichte am kleinsten ist, den größten kapazitätssteigernden Effekt und somit die größte Dielektrizitätszahl haben.

Um in einem elektrischen Feld von einer Äquipotenziallinie zur nächsten zu gelangen, muss Arbeit verrichtet werden. Betrachtet man 2 Äquipotenziallinien A und B, so muss man in jedem elektrischen Feld das gleiche Maß an Arbeit verrichten um z.B. von A nach B zu gelangen. Wie man im obigen Bild erkennen kann, ist es bei Dielektrikum A bei gleich grosser verrichteter Arbeit möglich, näher an die gegenüberliegende Platte zu gelangen wie bei B und C. Bei C gelangt man bei gleicher verrichteter Arbeit näher an die andere Platte wie bei B. Aus dieser Beobachtung lässt sich schliessen, dass die Oberflächenladung von Dielektrikum A die grösste Ladungsmenge des Kondensators bindet. Hier ist das elektrische Feld nun am schwächsten.

Wie auf Seite 199 beschrieben, habe ich durch eine Schwächung des elektrischen Feldes durch ein Dielektrikum zwischen zwei unterschiedlich geladenen Platten, eine geringere Spannung [Durch die Polarisierung im Dielektrikum erzeuge ich ein dem äusseren, polarisierenden Feld entgegenwirkendes Feld, welches zu einer Schwächung des äusseren Feldes im Inneren der Platten führt, womit ich ein resultierendes, geschwächtes Feld im Kondensator erhalte (ähnlich Koaxialkabel)]. Da sich an den Ladungsmengen auf den Platten des Kondensators aber nichts verändert hat, steigt die Kapazität des Kondensators, wo wir schon fast bei der Dielektrizitätszahl angelangt wären.

Der nahezu konstante Abstand zwischen zwei Äquipotentiallinien in einem Dielektrikum lässt auf einen isotropen Körper bestehen. D.h.: Das Potential nimmt im Körper gleichmässig ab.

Soweit so gut, nur liegen die Kondensatorplatten in der gezeigten Abbildung an jeder Stelle auf dem gleichen Potenzial. Die Spannung über dem Kondensator wäre also an jeder Stelle die Selbe. Und zwar immer die Gleiche wie ohne Dielektrikum. Somit würde sich die Kapazität gar nicht ändern. Die Dielektrizitätszahl wäre immer 1. Es tut mir leid, aber ich glaub hier steig ich aus :).

**Anhang M: FCI****Force Concept Inventory (FCI)-Test**

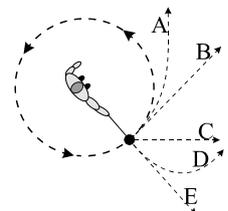
(nach Hestenes; übersetzt von Schecker und Gerdes, formatiert und bebildert von Wilhelm)

- A1 Zwei Kugeln aus Metall werden vom Dach eines eingeschossigen Gebäudes zum gleichen Zeitpunkt fallengelassen. Beide Kugeln haben den gleichen Radius, aber die eine ist doppelt so schwer wie die andere. Für die Zeit bis zum Auftreffen gilt:
- A) Die schwerere Kugel braucht etwa die halbe Zeit.
  - B) Die leichte Kugel braucht etwa die halbe Zeit.
  - C) Beide brauchen etwa die gleiche Zeit.
  - D) Die schwerere Kugel braucht deutlich weniger Zeit, aber nicht unbedingt nur die halbe Zeit.

- A2 Stelle dir einen Frontalzusammenstoß zwischen einem Lastwagen (LKW) und einem Kleinwagen (PKW) vor. Für den Zeitraum des Zusammenpralls gilt:
- A) Der LKW übt eine größere Kraft auf den PKW aus als der PKW auf den LKW.
  - B) Der PKW übt eine größere Kraft auf den LKW aus als der LKW auf den PKW.
  - C) Die beiden Fahrzeuge üben keine Kräfte aufeinander aus. Der PKW wird einfach deshalb zerdrückt, weil er dem LKW im Wege ist.
  - D) Der LKW übt eine Kraft auf den PKW aus, aber der PKW übt keine Kraft auf den LKW aus.
  - E) Der LKW übt die gleiche Kraft auf den PKW aus wie der PKW auf den LKW.

- A3 Zwei Stahlkugeln, von denen eine doppelt so viel wiegt wie die andere, rollen beide mit der gleichen Geschwindigkeit über die Kante eines waagrecht stehenden Tisches. Alle Effekte von Luftreibungskräften sollen außer Acht gelassen werden. Für die weitere Bewegung gilt:
- A) Beide Kugeln prallen in etwa derselben Entfernung vom Tisch auf den Boden.
  - B) Die schwere Kugel trifft etwa auf der halben Entfernung vom Tisch auf wie die leichte.
  - C) Die leichte Kugel trifft etwa auf der halben Entfernung vom Tisch auf wie die schwere.
  - D) Die schwere Kugel trifft deutlich dichter am Tisch auf den Boden auf als die leichte, aber nicht notwendigerweise auf der halben Entfernung.
  - E) Die leichte Kugel trifft deutlich dichter am Tisch auf den Boden auf als die schwere, aber nicht notwendigerweise auf der halben Entfernung.

- A4 Ein schwerer Ball ist am Faden befestigt und wird, wie in der Abbildung gezeigt, im Kreis horizontal herumgeschwungen. An dem gekennzeichneten Punkt reißt plötzlich der Faden. Der Vorgang wird von oben betrachtet: Welchen Weg nimmt der Ball, nachdem der Faden gerissen ist?



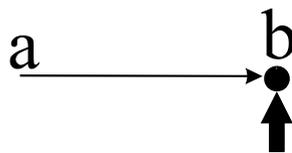
- A5 Ein Junge wirft eine Stahlkugel senkrecht nach oben. **Alle Effekte von Luftreibungskräften sollen außer Acht gelassen werden.**

Welche Kraft bzw. Kräfte wirken auf die Kugel während ihrer Flugphase, also nachdem sie die Hand des Jungen verlassen hat und bevor sie auf den Boden trifft?

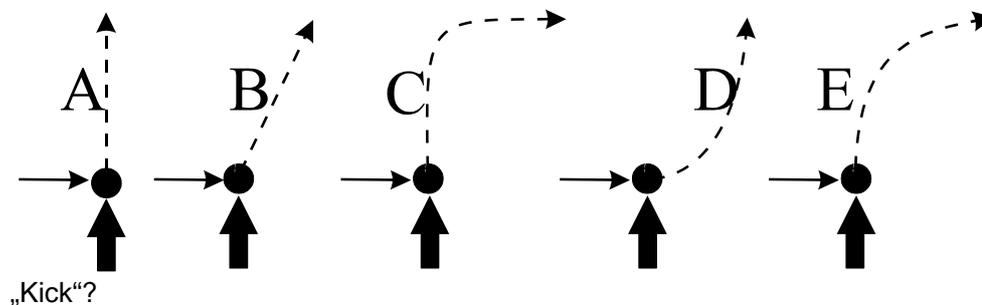
- A) Das Gewicht der Kugel vertikal nach unten, zusammen mit einer stetig abnehmenden nach oben gerichteten Kraft.
- B) Keine der genannten Kräfte. Die Kugel fällt zur Erde zurück, weil das ihrem natürlichen Verhalten entspricht.
- C) Eine stetig abnehmende nach oben gerichtete Kraft für den Zeitraum nach dem Verlassen der Hand bis zum höchsten Punkt. Danach wirkt eine stetig zunehmende Gravitationskraft nach unten, wenn sich das Objekt der Erde nähert.
- D) Eine konstante nach unten gerichtete Gravitationskraft, zusammen mit einer nach oben gerichteten Kraft, die stetig abnimmt, bis die Kugel ihren höchsten Punkt erreicht. Danach wirkt nur die konstante nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- E) Nur eine konstante nach unten gerichtete Gravitationskraft.

zu A6 bis A9

Den folgenden Fragen liegt folgende Situation zugrunde: Die Abbildung zeigt eine Scheibe, die mit konstanter Geschwindigkeit auf einer reibungsfreien horizontalen Oberfläche (Tisch) von Punkt „a“ nach Punkt „b“ gleitet. Wenn die Scheibe „b“ erreicht, erhält sie einen kurzzeitigen horizontalen „Kick“ in Richtung des dicken Pfeils.



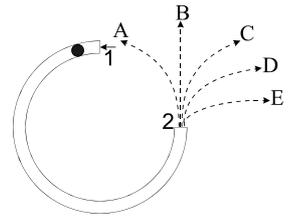
- A6 Welche der gezeigten Bahnkurven beschreibt die Bewegung der Scheibe **nach** dem



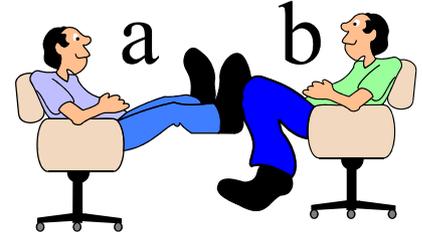
- A7 Wie groß ist das Tempo der Scheibe, **nachdem** sie den „Kick“ bekommen hat?
- A) Gleich groß wie das Tempo  $v_0$  vor dem „Kick“.
  - B) So groß wie das Tempo  $v$ , das von dem „Kick“ bewirkt wird und unabhängig von  $v_0$  ist.
  - C) So groß wie die Summe von  $v_0$  und  $v$ .
  - D) Kleiner als  $v_0$  und auch als  $v$ .
  - E) Größer als  $v_0$  und auch als  $v$ , aber kleiner als die Summe der beiden.
- A8 Wie entwickelt sich das Tempo der Scheibe (siehe Aufgabe 6) bei einer **reibungsfreien** Bewegung **nach** dem „Kick“?
- A) keine Änderung
  - B) stetig zunehmend
  - C) stetig abnehmend
  - D) eine Zeitlang zunehmend, danach abnehmend
  - E) eine Zeitlang konstant, dann abnehmend

- A9 Die wesentlichen Kräfte, die auf die Scheibe **nach** dem „Kick“ wirken, sind:
- A) Die nach unten gerichtete Kraft aus der Gravitation und der Effekt des Luftdrucks.
  - B) Die nach unten gerichtete Gravitationskraft und die horizontale Kraft des Impulses in Richtung der Bewegung.
  - C) Die nach unten gerichtete Gravitationskraft, die nach oben gerichtete Kraft, die durch den Tisch ausgeübt wird, sowie eine horizontale Kraft des Impulses in Richtung der Bewegung.
  - D) Die nach unten gerichtete Gravitationskraft und eine nach oben gerichtete Kraft, die vom Tisch auf die Scheibe ausgeübt wird.
  - E) Es wirken keine Einzelkräfte auf die Scheibe.

- A10 Die Abbildung zeigt einen von oben betrachteten kreisförmigen Kanal, der in der horizontalen Ebene fest auf dem Tisch verankert ist. Ein Ball tritt bei „1“ in den Kanal ein und verlässt ihn bei „2“. Welche der in der Abbildung gezeigten Bahnkurven beschreibt am besten den Weg des Balls, wenn er den Kanal bei „2“ verlässt und weiter über den Tisch rollt?



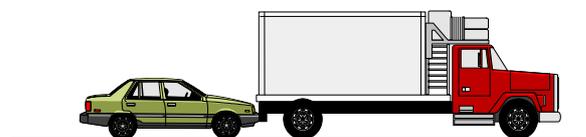
- A11 Zwei Schüler, von denen Schüler „a“ die Masse 95 kg und Schüler „b“ die Masse 77 kg hat, sitzen sich in zwei gleichen Bürostühlen direkt gegenüber. Schüler „a“ stellt seine Füße auf die Knie von Schüler „b“ (s. Abbildung). Schüler „b“ hat seine Füße angehoben. Plötzlich streckt Schüler „a“ seine Beine aus, wodurch beide Stühle in Bewegung versetzt werden. Welche Aussage trifft zu:



- A) Keiner der Schüler übt eine Kraft auf den anderen aus.
  - B) Schüler „a“ übt eine Kraft auf „b“ aus, aber „b“ übt keine Kraft auf „a“ aus.
  - C) Jeder der Schüler übt eine Kraft auf den anderen aus, aber „b“ übt die größere Kraft aus.
  - D) Jeder der Schüler übt eine Kraft auf den anderen aus, aber „a“ übt die größere Kraft aus.
  - E) Jeder der Schüler übt eine gleich starke Kraft auf den anderen aus.
- A12 Ein Buch liegt auf einem Tisch. Welche Einzelkräfte aus der folgenden Liste wirken auf das Buch?
1. Eine nach unten gerichtete Kraft durch die Gravitation.
  2. Eine nach oben gerichtete Kraft durch den Tisch.
  3. Eine nach unten gerichtete Gesamtkraft durch den Luftdruck.
  4. Eine nach oben gerichtete Gesamtkraft durch den Luftdruck.
- A) nur 1
  - B) 1 und 2
  - C) 1, 2 und 3
  - D) 1, 2 und 4
  - E) Da sich das Buch in Ruhe befindet, wirkt auch keine Kraft.

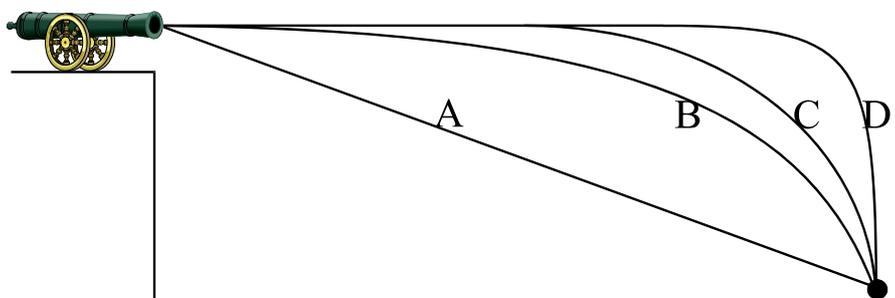
A13 und A14

Für die folgenden Aufgaben gilt folgende Situation: Ein LKW bleibt mit Motorschaden liegen und wird von einem Kleinwagen (Auto) zur nächsten Tankstelle geschoben.



- A13 Während das Auto beschleunigt, um beim Schieben auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu kommen, gilt:
- Die Stärke der Kraft, mit der das Auto gegen den LKW drückt, ist genauso groß wie die Kraft, mit der der LKW gegen das Auto drückt.
  - Die Stärke der Kraft, mit der das Auto gegen den LKW drückt, ist kleiner als die Kraft, mit der der LKW gegen das Auto drückt.
  - Die Stärke der Kraft, mit der das Auto gegen den LKW drückt, ist größer als die Kraft, mit der der LKW gegen das Auto drückt.
  - Der Motor des Autos läuft; daher übt das Auto eine Kraft aus, während es gegen den LKW drückt. Aber der LKW-Motor läuft nicht; daher kann der LKW nicht gegen das Auto drücken.
  - Weder der LKW noch das Auto üben eine Kraft aus. Der LKW wird einfach deshalb nach vorne geschoben, weil er dem Auto im Wege steht.
- A14 Nachdem der Fahrer des Autos die gewünschte Geschwindigkeit erreicht hat, mit der er den Lastwagen konstant vor sich herschieben will, fährt er mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Jetzt gilt:
- Die Stärke der Kraft, mit der das Auto gegen den LKW drückt, ist genauso groß wie die Kraft, mit der der LKW gegen das Auto drückt.
  - Die Stärke der Kraft, mit der das Auto gegen den LKW drückt, ist kleiner als die Kraft, mit der der LKW gegen das Auto drückt.
  - Die Stärke der Kraft, mit der das Auto gegen den LKW drückt, ist größer als die Kraft, mit der der LKW gegen das Auto drückt.
  - Der Motor des Autos läuft; daher übt das Auto eine Kraft aus, während es gegen den LKW drückt. Aber der LKW-Motor läuft nicht; daher kann der LKW nicht gegen das Auto drücken.
  - Weder der LKW noch das Auto üben eine Kraft aus. Der LKW wird einfach deshalb nach vorne geschoben, weil er dem Auto im Wege steht.
- A15 Wenn ein Hartgummiball („Flummy“) aus der Ruhe fallengelassen wird und vom Boden zurückprallt, kehrt sich seine Bewegungsrichtung um, weil
- die Energie des Balls erhalten bleibt
  - der Impuls des Balls erhalten bleibt
  - der Boden eine Kraft auf den Ball ausübt, die den Fall abbremst und den Ball dann nach oben treibt
  - der Boden im Wege ist, der Ball aber seine Bewegung fortsetzen muss
  - Keine der Aussagen A) bis D) trifft zu.

- A16 Welche der eingezeichneten Bahnkurven beschreibt die Flugbahn der Kanonenkugel am

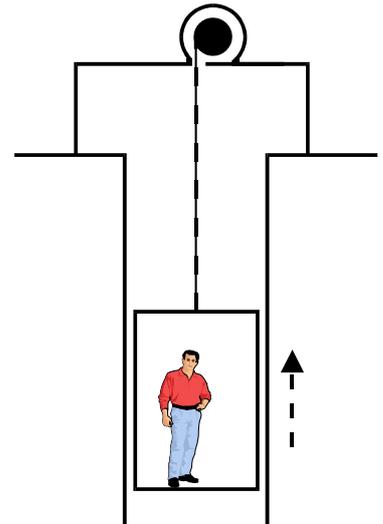


besten?

A17 Ein Stein, der vom Dach eines einstöckigen Gebäudes heruntermfällt:

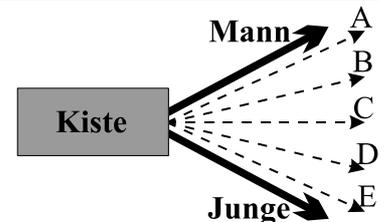
- A) Erreicht seine Maximalgeschwindigkeit bald nachdem er losgelassen wurde und fällt dann mit konstanter Geschwindigkeit.
- B) Beschleunigt während des Falls; vorrangig deshalb, weil der Stein sich der Erde nähert und deshalb die Gravitationsbeschleunigung zunimmt.
- C) Fällt wegen der natürlichen Tendenz aller Objekte, auf die Erde zuzufallen.
- D) Beschleunigt, weil auf ihn die Gravitationskraft wirkt.
- E) Fällt wegen einer Kombination der Gravitationskraft und dem Luftdruck, der den Stein herunterdrückt.

A18 Bei dieser Aufgabe soll davon ausgegangen werden, dass etwaige **Reibungskräfte** aufgrund von Luftwiderstand so gering sind, dass sie **vernachlässigt** werden können. Ein Fahrstuhl wird in einem Fahrstuhlschacht über ein Stahlseil heraufgezogen. Die Kabine bewegt sich während des Heraufziehens mit **konstanter Geschwindigkeit**. Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung korrekt?

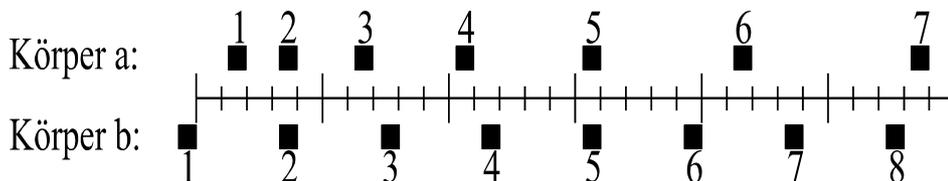


- A) Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist größer als die nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- B) Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist genauso stark wie die nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- C) Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist kleiner als die nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- D) Die Kabine bewegt sich nach oben, weil das Seil kürzer wird; nicht etwa weil das Seil eine Kraft auf die Kabine ausübt.
- E) Die nach oben gerichtete Kraft durch das Stahlseil ist größer als die nach unten gerichtete Kombination aus der Gravitationskraft und dem Effekt des Luftdrucks.

A19 Zwei Personen, ein großer, sehr kräftiger Mann und ein kleiner Junge, ziehen so kräftig wie sie können an zwei Seilen, die an einer Kiste befestigt sind (s. Abbildung, Sicht von oben). Welche der Bahnen A - E beschreibt den Weg der Kiste am besten, während die beiden ziehen?



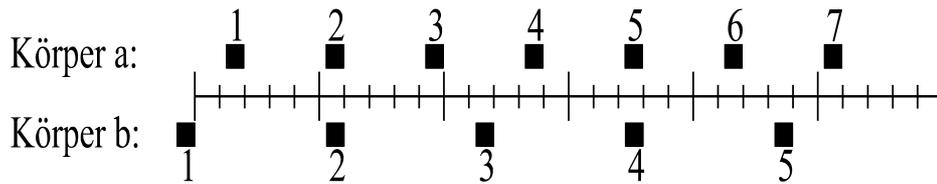
A20 Die Abbildung zeigt die Positionen zweier Körper im zeitlichen Abstand von jeweils 0,2s. Die Körper bewegen sich nach rechts.



Haben die beiden Körper irgendwann einmal die gleiche Geschwindigkeit?

- A) Nein
- B) Ja, zum Zeitpunkt 2
- C) Ja, zum Zeitpunkt 5
- D) JA, zu den Zeitpunkten 2 und 5
- E) Ja, irgendwann im Zeitintervall von 3 und 4

A21 Die Abbildung zeigt die Positionen zweier Körper in gleichen zeitlichen Abständen. Die Körper bewegen sich nach rechts.



Vergleiche die Beschleunigungen der beiden Körper:

- A) Beschleunigung von „a“ > Beschleunigung von „b“
- B) Beschleunigung von „a“ = Beschleunigung von „b“ > 0 m/s<sup>2</sup>
- C) Beschleunigung von „b“ > Beschleunigung von „a“
- D) Beschleunigung von „a“ = Beschleunigung von „b“ = 0 m/s<sup>2</sup>
- E) Die Informationen reichen für eine Antwort nicht aus.

A22 Ein Golfball bewegt sich längs eines „Fairway“ mit folgender Flugbahn durch die Luft (s.

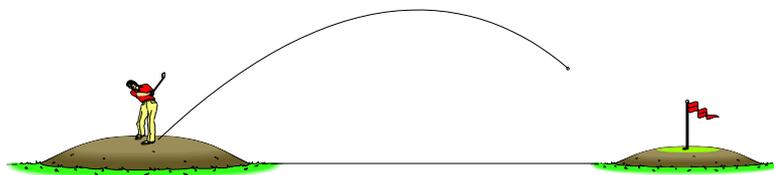


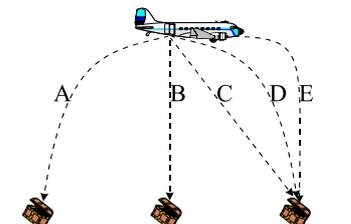
Abbildung).

Welche Kraft wirkt, bzw. welche Kräfte wirken während der gesamten Flugphase auf den Ball, also **nachdem** der Ball den Schläger verlassen hat?

1. die Gravitationskraft
2. die Abschlagskraft
3. die Luftwiderstandskraft

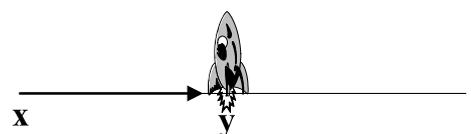
- A) nur 1
- B) 1 und 2
- C) 1, 2 und 3
- D) 1 und 3
- E) 2 und 3

A23 Eine Kiste fällt versehentlich aus dem Frachtraum eines Flugzeuges, während das Flugzeug in horizontaler Richtung fliegt. Wenn man den Vorgang von der Erde aus beobachtet: Welche Kurve beschreibt die Flugbahn der Kiste nach dem Herunterfallen am besten? Der Luftwiderstand soll hier keine Rolle spielen.



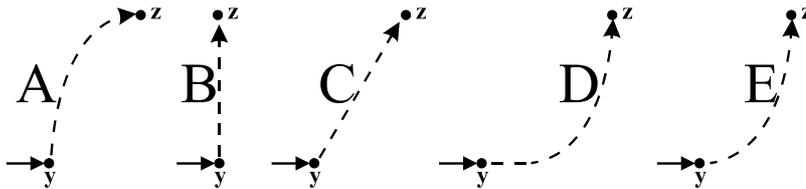
A24 bis A27

Für die nächsten vier Fragen gilt folgende Situation: Ein Raumschiff, das sich im Weltraum von Position „x“ nach Position „y“ bewegt, wird nicht von Kräften beeinflusst. Am Punkt „y“ wird der Raketentor motor gezündet. Er erzeugt einen konstanten Schub im rechten Winkel zur Linie „xy“. Nachdem Punkt „z“ erreicht ist, wird der Motor wieder abgeschaltet.



• Z

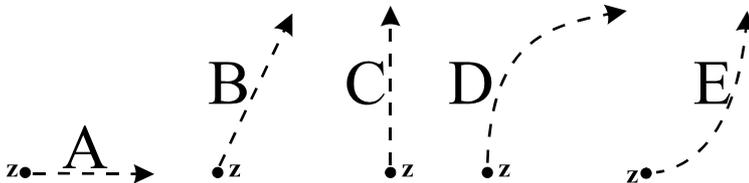
A24 Welche Kurve beschreibt die Bahn der Rakete von „y“ nach „z“ am besten?



A25 Während sich das Raumschiff von „y“ nach „z“ bewegt:

- A) bleibt das Tempo konstant.
- B) nimmt das Tempo dauernd zu.
- C) nimmt das Tempo stetig ab.
- D) nimmt das Tempo eine Zeitlang zu und bleibt dann konstant.
- E) bleibt das Tempo eine Zeitlang konstant und nimmt dann ab.

A26 Bei „z“ wird der Raketenmotor abgeschaltet. Welche Bahnkurve wird das Raumschiff danach beschrieben?



A27 Hinter dem Punkt „z“

- A) bleibt das Tempo konstant.
- B) nimmt das Tempo stetig zu.
- C) nimmt das Tempo stetig ab.
- D) nimmt das Tempo eine Zeitlang zu und bleibt dann konstant.
- E) bleibt das Tempo eine Zeitlang konstant und nimmt dann ab.

A28 Eine Kiste wird mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2 m/s über den Boden gezogen. Was kann man über die Kräfte aussagen, die auf die Kiste wirken:

- A) Wenn die Kraft auf die Kiste verdoppelt wird, erhöht sich die Geschwindigkeit auf 4 m/s.
- B) Die Stärke der Kraft, die bei konstanter Geschwindigkeit auf die Kiste ausgeübt werden muss, muss größer sein als die Gewichtskraft.
- C) Die Stärke der Kraft, die bei konstanter Geschwindigkeit auf die Kiste ausgeübt werden muss, muss gleich der Stärke der Reibungskräfte sein.
- D) Die Stärke der Kraft, die bei konstanter Geschwindigkeit auf die Kiste ausgeübt werden muss, muss größer sein als die Stärke der Reibungskräfte, die der Bewegung entgegenstehen.
- E) Es gibt zwar eine Kraft, die aufgebracht werden muss, um die Kiste zu bewegen, aber die externen Kräfte, so wie Reibung, sind keine „realen“ Kräfte. Sie leisten lediglich Widerstand gegen die Bewegung.

A29 Die Kiste (s. vorherige Aufgabe) rutscht mit einer bestimmten Geschwindigkeit über den Boden, als die Kraft, die auf die Kiste wirkt, plötzlich aufhört. Dann wird die Kiste:

- A) sofort stillstehen.
- B) sich für eine sehr kurze Zeit mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegen und dann zum Halten kommen.
- C) sofort langsamer werden.
- D) sich mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegen.
- E) für eine sehr kurze Zeit an Geschwindigkeit zunehmen und dann zum Stehen kommen

**Lösungsblatt zum FCI-Test**

Pseudonym: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Kreuze deutlich für jede Aufgabe einen der Buchstaben A bis E an, der deiner Ansicht nach die Situation angemessen beschreibt.

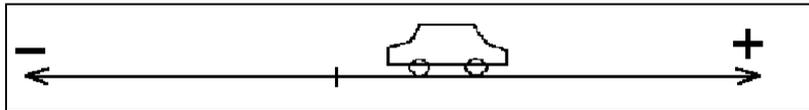
1	A	B	C	D	E
2	A	B	C	D	E
3	A	B	C	D	E
4	A	B	C	D	E
5	A	B	C	D	E
6	A	B	C	D	E
7	A	B	C	D	E
8	A	B	C	D	E
9	A	B	C	D	E
10	A	B	C	D	E
11	A	B	C	D	E
12	A	B	C	D	E
13	A	B	C	D	E
14	A	B	C	D	E
15	A	B	C	D	E
16	A	B	C	D	E
17	A	B	C	D	E
18	A	B	C	D	E
19	A	B	C	D	E
20	A	B	C	D	E
21	A	B	C	D	E
22	A	B	C	D	E
23	A	B	C	D	E
24	A	B	C	D	E
25	A	B	C	D	E
26	A	B	C	D	E
27	A	B	C	D	E
28	A	B	C	D	E
29	A	B	C	D	E

## Anhang N: FKB

### Anleitung zu allen Aufgaben:

Beantworte alle Fragen nur in den Lücken auf dem Antwortblatt.

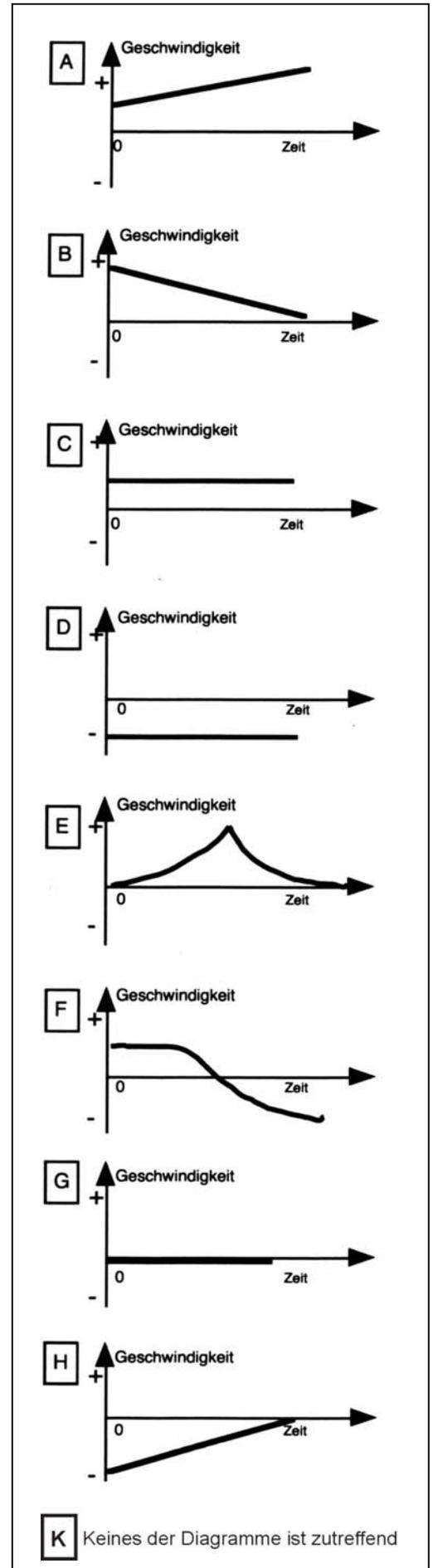
**Situation:** Die Fragen 1 - 9 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



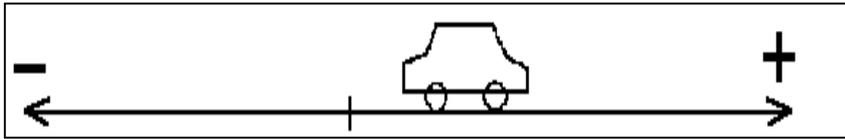
**Aufgabe:** Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den Buchstaben (A bis H) des Geschwindigkeit-Zeit-Graphen, der zu der Bewegung des Autos paßt, die in jeder Angabe beschrieben ist.

**Hinweis:** Du darfst jeden Graphen mehrmals auswählen oder auch gar nicht. Wenn Du meinst, dass keiner richtig ist, antworte mit K.

- ☞ 1. Das Auto bewegt sich nach rechts mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.
- ☞ 2. Das Auto steht.
- ☞ 3. Das Auto bewegt sich nach links mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.
- ☞ 4. Das Auto ändert seine Bewegungsrichtung.
- ☞ 5. Die Geschwindigkeit des Autos nimmt gleichmäßig zu.
- ☞ 6. Das Auto bewegt sich mit konstanter Beschleunigung nach rechts.
- ☞ 7. Die Geschwindigkeit nach rechts nimmt gleichmäßig ab.
- ☞ 8. Die Entfernung des Autos zum Start nimmt bei einer Bewegung nach rechts gleichmäßig zu.
- ☞ 9. Nenne alle Zeit-Geschwindigkeitsdiagramme, die zeigen, dass das Auto sich beschleunigt bewegt.



**Situation:** Die Fragen 10-17 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann.



**Aufgabe:** Unterschiedliche Bewegungen des Autos sind unten beschrieben. Wähle den Buchstaben (A bis H) des Beschleunigung-Zeit-Graphen, der zu der Bewegung des Autos paßt, die in jeder Angabe beschrieben ist.

**Hinweis:** Du darfst jeden Graphen mehrmals auswählen oder auch gar nicht. Wenn Du meinst, dass keiner richtig ist, antworte mit K.

10. Das Auto bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit.
11. Das Auto bewegt sich nach rechts (in positive Richtung) und wird gleichmäßig immer schneller.
12. Das Auto bewegt sich nach rechts und wird gleichmäßig immer langsamer.
13. Das Auto bewegt sich nach links (in negative Richtung) mit einer konstanten Geschwindigkeit.
14. Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer schneller.
15. Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer langsamer.
16. Nenne alle Zeit-Beschleunigungs-Diagramme, die zeigen, dass das Auto sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt.
17. Nenne alle Zeit-Beschleunigungs-Diagramme, die zeigen, dass das Auto seine Geschwindigkeit gleichmäßig erhöht oder erniedrigt.

**Beschleunigung**

**A**

**Beschleunigung**

**B**

**Beschleunigung**

**C**

**Beschleunigung**

**D**

**Beschleunigung**

**E**

**Beschleunigung**

**F**

**Beschleunigung**

**G**

**Beschleunigung**

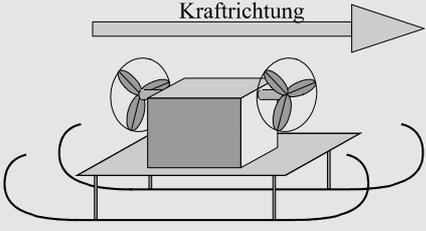
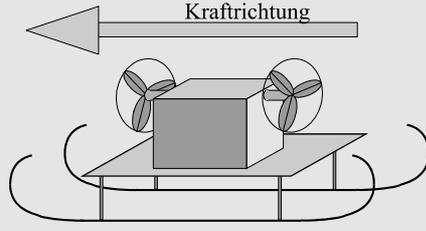
**H**

**K** Keines der Diagramme ist zutreffend

**Situation:** Ein Schlitten bewegt sich auf einer Eisfläche. Die Reibung und der Luftwiderstand sind bei dieser Bewegung so klein, dass sie **vernachlässigt** werden können. Auf dem Schlitten befindet sich ein ferngesteuerter Propeller, mit dem (ferngesteuert) auf den Schlitten unterschiedliche Kräfte ausgeübt werden können.

**Aufgabe:** Wähle die eine Kraft (A bis G), die den Schlitten so bewegt, wie es in jeder der Fragen 18-24 unten beschrieben ist. Die einzelnen Fragen sind dabei unabhängig voneinander.

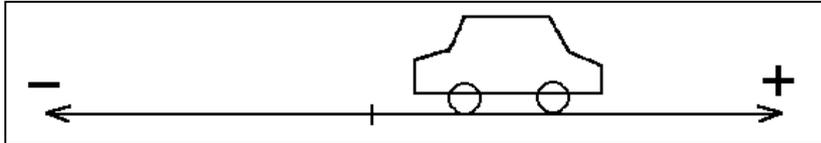
**Hinweis:** Du kannst jede der Kräfte **A** bis **G** mehrmals für die Fragen 1-7 auswählen oder auch gar nicht, aber wähle nur eine Antwort pro Frage. Wenn Du meinst, dass keine Antwort richtig ist, antworte mit **K**.

	<p>Die Kraft ist nach rechts gerichtet und</p> <p><b>A.</b> ihre Stärke(Größe) nimmt zu.</p> <p><b>B.</b> hat konstante Stärke.</p> <p><b>C.</b> nimmt an Stärke ab.</p>
<p><b>D.</b> Es wird keine Kraft benötigt.</p>	
	<p>Die Kraft ist nach links gerichtet und</p> <p><b>E.</b> nimmt an Stärke ab.</p> <p><b>F.</b> hat konstante Stärke.</p> <p><b>G.</b> nimmt an Stärke zu.</p>
<p><b>K.</b> Keine Antwort ist richtig.</p>	

- ☞ 18. Der Schlitten bewegt sich nach rechts. Bei welcher Kraft bewegt er sich weiterhin nach rechts und wird gleichmäßig immer schneller (konstante Beschleunigung)?
- ☞ 19. Der Schlitten bewegt sich nach links. Bei welcher Kraft bewegt er sich weiterhin nach links mit einer konstanten Geschwindigkeit?
- ☞ 20. Der Schlitten bewegt sich nach rechts. Bei welcher Kraft wird er gleichmäßig immer langsamer (konstante Beschleunigung)?
- ☞ 21. Der Schlitten bewegt sich nach links. Bei welcher Kraft bewegt sich weiterhin nach links und wird gleichmäßig immer schneller (konstante Beschleunigung)?
- ☞ 22. Der Schlitten wurde aus der Ruhe gestartet und geschoben, bis er eine feste (konstante) Geschwindigkeit nach rechts erreichte. Bei welcher Kraft bewegt sich der Schlitten mit dieser Geschwindigkeit weiter?
- ☞ 23. Der Schlitten bremst gleichmäßig ab und hat eine konstante Beschleunigung nach rechts. Welche Kraft ist für diese Bewegung verantwortlich?
- ☞ 24. Der Schlitten bewegt sich nach links. Bei welcher Kraft wird er gleichmäßig immer langsamer (konstante Beschleunigung)?

**Situation:** Die Fragen 25-32 beziehen sich auf ein Spielzeugauto, das sich nach rechts oder links entlang einer horizontalen Linie (der x-Achse eines Koordinatensystems) bewegen kann. Nimm an, dass die Reibung und der Luftwiderstand so klein sind, dass sie vernachlässigt werden können.

**Aufgabe:** Eine Kraft wirkt auf das Auto. Wähle für jede der unten gemachten Aussagen einen Kraftgraphen aus den



Graphen **A** bis **H** aus, der es ermöglicht, dass die beschriebene Bewegung des Autos besteht.

**Hinweis:** Du darfst jede Möglichkeit (**A** bis **H**) mehrfach wählen oder überhaupt nicht. Wenn du denkst, dass keine korrekt ist, wähle **K**.

- ☞ 25. Das Auto bewegt sich nach rechts (in positive Richtung) mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.
- ☞ 26. Das Auto ist in Ruhe.
- ☞ 27. Das Auto bewegt sich nach rechts und wird gleichmäßig immer schneller (konstante Beschleunigung).
- ☞ 28. Das Auto bewegt sich nach links (in negative Richtung) mit einer festen (konstanten) Geschwindigkeit.
- ☞ 29. Das Auto bewegt sich nach rechts und wird gleichmäßig immer langsamer (konstante Beschleunigung).
- ☞ 30. Das Auto bewegt sich nach links und wird gleichmäßig immer schneller (konstante Beschleunigung).
- ☞ 31. Das Auto bewegt sich nach rechts, wird schneller und dann langsamer.
- ☞ 32. Das Auto wurde nach rechts gestoßen und dann losgelassen. Welcher Graph beschreibt die Kraft, nachdem das Auto losgelassen wurde?

**A**

**B**

**C**

**D**

**E**

**F**

**G**

**H**

**K** Keines der Diagramme ist zutreffend

**Anhang: FKB Lösungsblatt**

1	C
2	G
3	D
4	F
5	A
6	A
7	B
8	C
9	ABEFH
10	E
11	B
12	D
13	E
14	D
15	B
16	E
17	BD
18	B
19	D
20	F
21	F
22	D
23	B
24	B
25	E
26	E
27	A
28	E
29	B
30	B
31	G
32	E

## Anhang O: Reflexionsbögen 1 und 2

<b>Reflexionsbogen 1 zum Fach PHYSIK</b> Datum: Kurs:	Pseudonym:  Geschlecht: weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>
---	---

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den **Unterricht dieses Schuljahres** (also den Zeitraum „Beginn dieses Schuljahres“ bis „heute“):

Trifft gar nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft voll und ganz zu
- -	-	(-)	(+)	+	+ +

1. Der Physikunterricht machte mir besonderen Spaß.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
2. Ich fand meinen Physikunterricht besonders schlecht.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
3. Ich fühlte mich im Physikunterricht in höherem Maße unwohl als im früheren Physikunterricht.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
4. Der Unterrichtsstoff in Physik war für mich leichter zu verstehen als der Unterrichtsstoff früherer Zeiten.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
5. Es fiel mir in diesem Schuljahr schwerer als in früheren Jahren, den Stoff zu behalten.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
6. Meine Leistungen in Physik waren nach meiner eigenen Einschätzung besser als in früheren Jahren.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
7. Obwohl ich sehr viel für Physik arbeite, fiel mir das Fach in diesem Schuljahr besonders schwer.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
8. Ich beteiligte mich vergleichsweise häufig am Physikunterricht.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
9. Um dem Physikunterricht dieses Schuljahres folgen zu können, war ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit erforderlich.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
10. Ich glaube, dass die anderen Schüler meine Leistungen in diesem Schuljahr für besonders schlecht halten.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
11. Ich glaube, dass mein Physiklehrer meine Leistungen in diesem Schuljahr vergleichsweise gut einschätzt.	- -   -   (-)   (+)   +   + +
12. In meiner Freizeit beschäftigte ich mich auch über die Hausaufgaben hinaus in stärkerem Maße als früher mit Themen, die mit Physik zu tun haben.	- -   -   (-)   (+)   +   + +

13. Ich strengte mich in diesem Schuljahr in Physik generell mehr an als in anderen Fächern.	-- - (-) (+) + ++
14. Das Erledigen der Hausaufgaben war in der Regel zeitaufwendiger als in anderen Fächern.	-- - (-) (+) + ++
15. Ein physikalisches Problem zu lösen machte weniger Spaß als früher.	-- - (-) (+) + ++
16. Ich empfinde ein stärkeres Interesse für die Newtonsche Mechanik als für die Elektrodynamik.	-- - (-) (+) + ++

<b>Reflexionsbogen 2/1 zum Fach PHYSIK</b>	Pseudonym:
	Datum:
	Kurs:
Geschlecht: weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>	

Trifft gar nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft voll und ganz zu
--	-	(-)	(+)	+	++

1. Die JiTT-Hausaufgaben sind für mich schwerer zu lösen als „normale“ Hausaufgaben.	-- - (-) (+) + ++
2. Ich finde die JiTT-Hausaufgaben interessanter als „normale“ Hausaufgaben.	-- - (-) (+) + ++
3. Ich lernte durch JiTT-Hausaufgaben mehr als durch „normale“ Hausaufgaben.	-- - (-) (+) + ++
4. Ich fühlte mich durch JiTT in unzumutbarer Weise kontrolliert.	-- - (-) (+) + ++
5. Ich sollte in der Schule stets das Recht haben, den Zeitpunkt der Hausaufgaben-Anfertigung selbst zu bestimmen.	-- - (-) (+) + ++
6. Zur Erledigung der JiTT-Hausaufgaben war mehr Zeit vonnöten als für „normale“ Physik-Hausaufgaben.	-- - (-) (+) + ++
7. Fachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Aufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben.	-- - (-) (+) + ++
8. Sprachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Hausaufgaben wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben.	-- - (-) (+) + ++
9. Ich hatte meistens ein mulmiges Gefühl, wenn mein Hausaufgaben-Statement auf der Folie präsentiert wurde.	-- - (-) (+) + ++



<b>Reflexionsbogen 2/3 zum Fach PHYSIK</b> Datum: Kurs:	Pseudonym:  Geschlecht: weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>
---	---

19. Du hast in den vergangenen Wochen den JiTT-Hausaufgabentyp kennen gelernt. Wo liegen deiner Meinung nach Vorteile dieses Hausaufgabentyps, wo Nachteile?

20. Du hast in den vergangenen Wochen das JiTT-Unterrichtsverfahren kennen gelernt. Wo liegen deiner Meinung nach Vorteile des Verfahrens, wo Nachteile?

## Anhang P: MPEX

Hier sind 34 Aussagen, die deine Meinung über das Fach Physik beschreiben oder nicht beschreiben. Du sollst jede Aussage bewerten, indem du eine Zahl zwischen 1 und 5 einkreist, wobei die Nummern folgendes bedeuten:

1: Starke Ablehnung	2: Ablehnung	3: Neutral	4: Zustimmung	5: Starke Zustimmung
---------------------	--------------	------------	---------------	----------------------

Beantworte die Fragen durch Einkreisen der Nummer, die deine Vorstellung am Besten ausdrückt. Arbeite schnell. Denk nicht zu lange über die Bedeutung jeder einzelnen Aussage nach. Sie sollen unkompliziert und einfach verstanden werden. Wenn du eine Aussage nicht verstehst, lasse sie aus. Wenn du sie verstehst, aber keine bestimmte Meinung hast, wähle 3. Wenn ein Punkt zwei Aussagen kombiniert und du lehnt eine davon ab, wähle 1 oder 2.

1	Alles, was ich tun muss, um die meisten grundlegenden Ideen in diesem Fach zu verstehen, ist einfach, die Texte lesen, die meisten Aufgaben bearbeiten und/oder im Unterricht aufmerksam sein.	1 2 3 4 5
2	Alles, was ich bei einer Herleitung oder einem Beweis einer Formel lerne, ist, dass die Formel richtig ist und dass es ok ist, sie zum Lösen von Aufgaben zu benutzen.	1 2 3 4 5
3	Ich gehe meine Hefteinträge gründlich durch, um für Abfragen/Stegreifaufgaben/Schulaufgaben vorbereitet zu sein.	1 2 3 4 5
4	„Aufgabenlösen“ bedeutet in Physik, die Probleme an Sachverhalte oder Gleichungen anzupassen und dann Werte einzusetzen, um eine Zahl herauszubekommen.	1 2 3 4 5
5	Physiklernen brachte mich dazu, meine Vorstellungen darüber, wie die physikalische Welt funktioniert, zu verändern.	1 2 3 4 5
6	Ich verbringe viel Zeit damit, wenigstens einige Herleitungen oder Beweise, die im Unterricht oder im Schulbuch vorkommen, zu verstehen.	1 2 3 4 5
7	Ich lese Texte (Heft/Schulbuch) im Detail und arbeite viele vorgestellte Beispiele durch.	1 2 3 4 5
8	In diesem Fach erwarte ich nicht, dass ich die Gleichungen in einer intuitiven Weise verstehe; sie müssen als gegeben hingenommen werden.	1 2 3 4 5
9	Der beste Weg für mich, um Physik zu lernen, ist, viele Aufgaben zu lösen statt ein paar sorgfältig im Detail zu lösen.	1 2 3 4 5
10	Physikalische Gesetze haben wenig Beziehung zu dem, was ich in der realen Welt erfahre.	1 2 3 4 5
11	Ein gutes Verständnis der Physik ist für mich nötig, um meine beruflichen Ziele zu erreichen. Eine gute Note in diesem Fach ist nicht genug.	1 2 3 4 5
12	Wissen in Physik besteht aus vielen Informationsstücken, von denen jedes in erster Linie zu einer speziellen Situation passt.	1 2 3 4 5
13	Meine Note in diesem Fach ist in erster Linie abhängig davon, wie vertraut ich mit dem Stoff bin. Einsicht oder Kreativität hat damit wenig zu tun.	1 2 3 4 5
14	Physiklernen ist eine Sache des Erwerbs von Wissen, das sich speziell in Gesetzen, Prinzipien und Gleichungen findet, die im Unterricht und/oder im Schulbuch vorgegeben werden.	1 2 3 4 5
15	Wenn beim Lösen einer physikalischen Aufgabe meine Berechnung ein Ergebnis ergibt, das sich klar von dem unterscheidet, was ich erwartet habe, dann muss ich der Berechnung vertrauen.	1 2 3 4 5

16	Die Herleitung oder der Beweis einer Gleichung im Unterricht oder im Schulbuch hat wenig mit Aufgabenlösen oder mit den Fertigkeiten zu tun, die ich brauche, um in diese Fach erfolgreich zu sein.	1 2 3 4 5
17	Nur sehr wenige besonders befähigte Leute sind in der Lage, Physik wirklich zu verstehen.	1 2 3 4 5
18	Um Physik zu verstehen, denke ich manchmal über meine persönlichen Erfahrungen nach und beziehe sie auf das Thema, das ich untersuche.	1 2 3 4 5
19	Am Entscheidenden beim Lösen einer physikalischen Aufgabe ist, die richtige Gleichung zu finden, um sie zu nützen.	1 2 3 4 5
20	Wenn ich mich nicht an eine einzelne Gleichung erinnere, die ich in einer Prüfung für eine Aufgabe brauche, dann gibt es nicht viel, was ich (legal!) tun kann, um draufzukommen.	1 2 3 4 5
21	Wenn ich auf zwei unterschiedliche Ansätze für eine Aufgabe komme und diese verschiedene Lösungen ergeben, würde es mich nicht beunruhigen; ich würde einfach die Antwort wählen, die mir am vernünftigsten erscheint. (Nimm an, die Lösung ist nicht im Schulbuch angegeben.)	1 2 3 4 5
22	Physik bezieht sich auf die reale Welt und manchmal hilft es, über die Verbindungen nachzudenken; aber es ist selten wichtig für das, was ich in dem Unterrichtsfach tun muss.	1 2 3 4 5
23	Die Hauptfähigkeit, die ich in diesem Fach erwerbe, ist, dass ich lerne, wie man physikalische Aufgaben löst.	1 2 3 4 5
24	Das Ergebnis einer Prüfung gibt mir keine brauchbare Anleitung, wie ich mein Verständnis des Unterrichtsstoffes verbessern kann.	1 2 3 4 5
25	Physiklernen hilft mir, Situationen im täglichen Leben zu verstehen.	1 2 3 4 5
26	Während ich die meisten Probleme in Prüfungen oder Hausaufgaben löse, denke ich explizit über die Strukturen nach, die der Aufgabe zugrundeliegen.	1 2 3 4 5
27	Physik „Verstehen“ bedeutet im Allgemeinen, in der Lage zu sein, sich an etwas zu erinnern, das man gelesen hat oder gezeigt bekommen hat.	1 2 3 4 5
28	Viel Zeit (halbe Stunde oder mehr) für die Arbeit an einer Aufgabe aufzuwenden ist Zeitverschwendung. Wenn ich nicht schnell Erfolg habe, bin ich besser dran, wenn ich jemanden frage, der mehr weiß als ich.	1 2 3 4 5
29	Ein bedeutendes Problem in diesem Fach ist, in der Lage zu sein, alle Informationen auswendig zu lernen, die man wissen muss.	1 2 3 4 5
30	Die Hauptfähigkeit, die ich in diesem Fach erwerbe, ist, dass ich lerne, wie man über die physikalische Welt logisch denkt.	1 2 3 4 5
31	Die Fehler, die ich in den Aufgaben in den Hausaufgaben und Prüfungen mache, sind für mich ein Anhaltspunkt zu erfahren, was ich tun muss, um den Stoff besser zu verstehen.	1 2 3 4 5
32	Um in der Lage zu sein, eine Gleichung bei einer Aufgabe zu nützen (besonders bei einer Aufgabe, die ich vorher noch nicht gesehen habe), muss ich mehr wissen, als was jeder Ausdruck in der Gleichung bedeutet.	1 2 3 4 5
33	Es ist möglich, dieses Fach zu bestehen (die Note „4“ oder besser zu bekommen) ohne Physik sehr gut zu verstehen.	1 2 3 4 5
34	Physiklernen erfordert in hohem Maße, die Informationen, die ich im Unterricht und/oder im Schulbuch erhalten habe, zu überdenken, umzustrukturieren und umzugestalten.	1 2 3 4 5

## Anhang Q: CSE

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_  
Schülervorstellungen Elektrizitätslehre

Bemerkung: Der Ausdruck „Teilchen“ beschreibt hier einen Gegenstand ohne Größe oder Struktur.

1)

Eine hohle Metallkugel ist elektrisch neutral (kein Ladungsüberschuss). Eine geringe Menge an negativer Ladung wird plötzlich an einem Punkt P auf der Metallkugel platziert. Wenn wir einige Sekunden später den negativen Ladungsüberschuss prüfen, finden wir folgende Möglichkeiten:

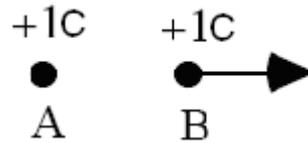
- a) Der gesamte Ladungsüberschuss bleibt um Punkt P herum erhalten.
- b) Der Ladungsüberschuss hat sich gleichmäßig über die Außenoberfläche der Kugel verteilt.
- c) Der Ladungsüberschuss wird gleichmäßig über die Innen- und Außenoberfläche der Kugel verteilt.
- d) Der größte Teil der Ladung ist noch immer im Punkt P, ein Teil jedoch hat sich über die Kugel verteilt.
- e) Es bleibt kein Ladungsüberschuss übrig.

2)

Eine hohle Kugel aus Isoliermaterial ist elektrisch neutral (kein Ladungsüberschuss). Eine kleine Menge an negativer Ladung wird plötzlich in einen Punkt P auf der Außenseite der Kugel gebracht. Wenn wir einige Sekunden später den negativen Ladungsüberschuss prüfen, finden wir folgende Möglichkeiten:

- a) Der gesamte Ladungsüberschuss bleibt um Punkt P herum erhalten.
- b) Der Ladungsüberschuss hat sich gleichmäßig über die Außenoberfläche der Kugel verteilt.
- c) Der Ladungsüberschuss hat sich gleichmäßig über die Innen- und Außenoberfläche verteilt.
- d) Der größte Teil der Ladung ist immer noch im Punkt P, ein Teil jedoch hat sich über die Kugel verteilt.
- e) Es bleibt kein Ladungsüberschuss übrig.

**Fragen 5,6,7 und 8:**

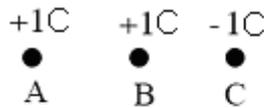


Die obige Abbildung zeigt ein Teilchen (B) mit einer resultierenden elektrischen Ladung von +1C. Einen Zentimeter weiter links befindet sich ein weiteres Teilchen (A) mit der gleichen Ladung. Der Pfeil steht für die Größe und Richtung der elektrischen Kraft, die auf B wirkt (hervorgerufen durch die Anwesenheit von A).

In den folgenden vier Fragen geht es jeweils um drei gleiche Ladungen, die jeweils einen Zentimeter voneinander entfernt sind. Jede Ladung ist abhängig von den elektrischen Kräften, die hervorgerufen werden von anderen geladenen Teilchen.

5)

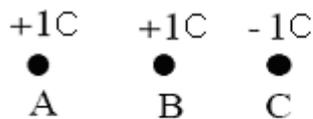
Welcher der untenstehenden Pfeile beschreibt am besten die resultierende Kraft auf die Ladung B?



- (a) ← (b) ← (c) → (d) → (e) Null

6)

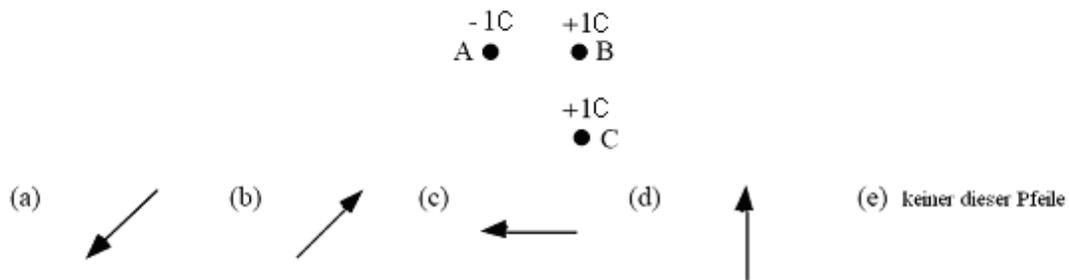
Welcher der untenstehenden Pfeile beschreibt am besten die resultierende Kraft auf die Ladung C?



- (a) ← (b) ← (c) → (d) → (e) Null

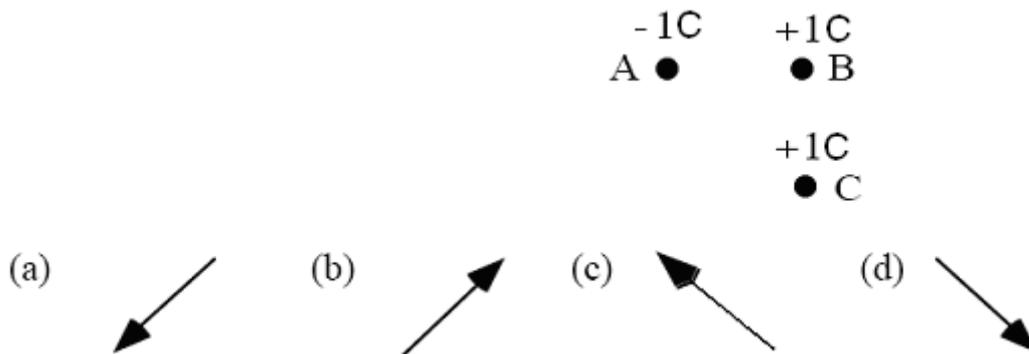
7)

Welcher der Pfeile zeigt in Richtung der resultierenden Kraft auf die Ladung B?



8)

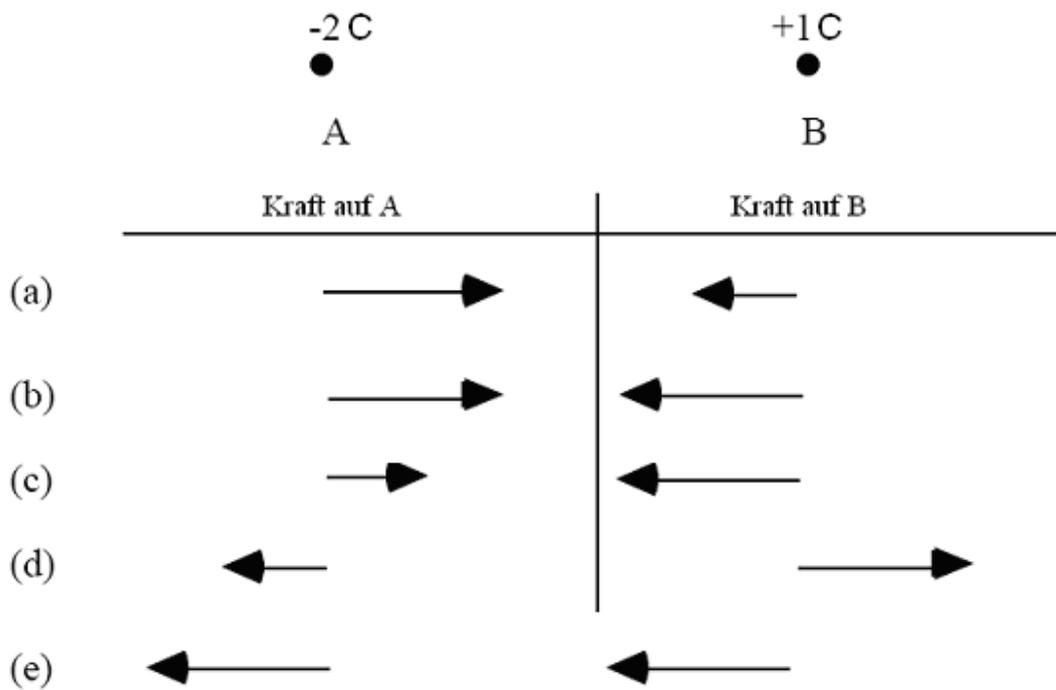
Welcher der untenstehenden Pfeile beschreibt am besten die Richtung der resultierenden Kraft auf die Ladung C?



9)

Die untenstehende Abbildung zeigt ein Teilchen (B) mit einer elektrischen Ladung von  $+1C$ . Einige Zentimeter weiter links befindet sich ein weiteres Teilchen (A) mit einer resultierenden Ladung von  $-2C$ .

Wähle das Vektorpaar (= Pfeilpaar) aus, das die elektrische Kraft auf A, verursacht von B, korrekt vergleicht mit der elektrischen Kraft auf B, verursacht von A.



**Für die Fragen 12-15:**

Eine positive Ladung wird im Raum in einem homogenen, dreidimensionalen elektrischen Feld angeordnet.

12)

Das gleichbleibende elektrische Feld, wie oben beschrieben, könnte zustande gekommen sein durch...

- a) zwei parallele Plastikstäbe mit homogener, entgegengesetzter Ladungsverteilung (positive Ladung auf einem Stab und negative Ladung auf dem anderen).
- b) zwei parallele, sehr große Plastikplatten mit homogener, entgegengesetzter Ladungsverteilung (positive Ladung auf einer Platte, negative Ladung auf der anderen).
- c) zwei oder drei positive Ladungen, die sich auf der einen Seite des Raumes befinden, und eine gleiche Anzahl an negativen Ladungen, die sich auf der anderen Seite des Raumes befinden.
- d) zwei große unterschiedliche magnetische Pole, die sich an verschiedenen Stellen des Raumes gegenüber stehen.
- e) keine der in den Aussagen a) bis d) beschriebenen Anordnungen. Aber durch eine andere Anordnung von Ladungen bzw. Polen.

13)

Wie wird die anschließende Bewegung aussehen, wenn die positive Ladung aus ihrer Ruhelage im homogenen elektrischen Feld gelöst wird?

- a) Sie wird sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegen.
- b) Sie wird sich mit konstanter Schnelligkeit bewegen.
- c) Sie wird sich mit konstanter Beschleunigung bewegen.
- d) Sie wird sich mit einer linear sich ändernden Beschleunigung bewegen.
- e) Sie wird in ihrer Anfangsposition verbleiben.

14)

Was passiert mit der potentiellen (=elektrischen) Energie der positiven Ladung, nachdem sie aus ihrer Ruhelage im homogenen elektrischen Feld gelöst wurde?

- a) Sie bleibt konstant, weil das elektrische Feld homogen ist.
- b) Sie bleibt konstant, weil die Ladung in Ruhe verbleibt.
- c) Sie wird größer, weil die Ladung sich in Richtung des elektrischen Feldes bewegt.
- d) Sie wird kleiner, weil die Ladung sich entgegengesetzt dem elektrischen Feld bewegt.
- e) Sie wird kleiner, weil die Ladung sich in Richtung des elektrischen Feldes bewegt.

15)

Was passiert mit der gesamten Energie des Systems (System bestehend aus positiver Ladung und elektrischem Feld), nachdem die Ladung im homogenen elektrischen Feld aus ihrer Ruhelage gebracht wurde?

- a) Sie bleibt konstant, weil die potentielle (=elektrische) Energie umgewandelt wird in kinetische Energie.
- b) Sie bleibt konstant, weil das elektrische Feld homogen ist.
- c) Sie wird kleiner, weil die Ladung sich von den Quellenladungen weg bewegt.
- d) Sie wird größer, weil die Ladung sich von den Quellenladungen weg bewegt.
- e) Sie wird kleiner, weil die sich Ladung in Richtung des elektrischen Feldes bewegt

**Fragen 17-19:**

Zwei kleine Gegenstände mit jeweils einer resultierenden Ladung von  $+1C$  üben eine Kraft der Größe  $F$  aufeinander aus.



Wir ersetzen einen der Gegenstände durch einen anderen, dessen resultierende Ladung  $+4C$  ist; der Abstand zwischen den Gegenständen bleibt unverändert.



17)

Die Größe der Kraft auf die Ladung  $+1C$  war ursprünglich  $F$ .

Wie groß ist die Kraft auf diese Ladung jetzt?

- a)  $16F$    b)  $4F$    c)  $F$    d)  $F/4$    e) andere Antwort

18)

Wie groß ist die Kraft auf die Ladung  $+4C$  jetzt?

- a)  $16F$    b)  $4F$    c)  $F$    d)  $F/4$    e) andere Antwort

Nun werden die Ladungen  $+1C$  und  $+4C$  dreimal soweit voneinander entfernt wie zuvor:



19)

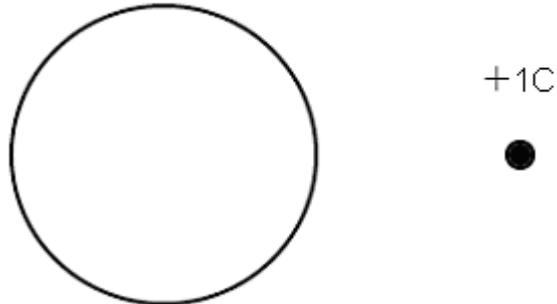
Wie groß ist die Kraft auf die Ladung  $+4C$ ?

- a)  $F/9$    b)  $F/3$    c)  $4F/9$    d)  $4F/3$    e) andere Antwort

20)

Die untenstehende Abbildung zeigt eine elektrische Ladung  $+1C$ , die sich in der Nähe einer hohlen, ungeladenen, leitenden Kugel (z.B. Kupfer) befindet. Welche Aussage ist korrekt?

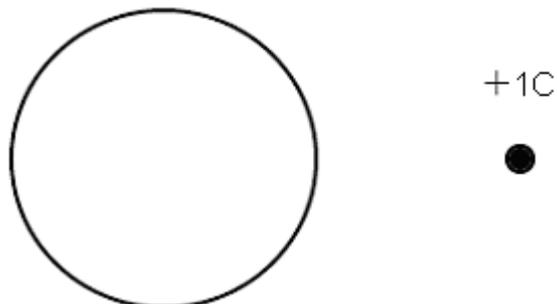
- a) Nur die Ladung  $+1C$  erfährt eine resultierende elektrische Kraft.
- b) Nur die leitende Kugel erfährt eine resultierende elektrische Kraft.
- c) Kugel und Ladung erfahren eine resultierende elektrische Kraft, jedoch nicht mit der gleichen Größe.
- d) Kugel und Ladung erfahren resultierende elektrische Kräfte, deren Beträge gleich groß sind.
- e) Es gibt keine elektrischen Kräfte.



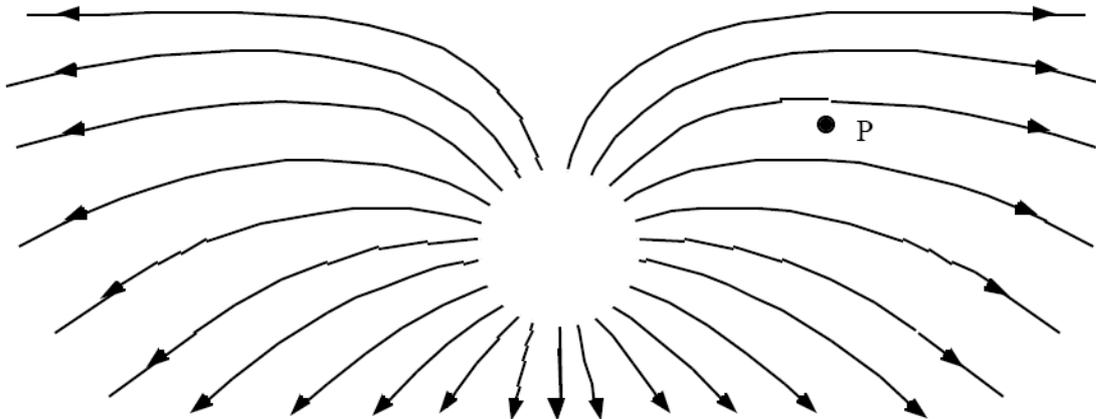
21)

Die untenstehende Abbildung zeigt eine elektrische Ladung  $+1C$ , die sich in der Nähe einer hohlen, isolierten Kugel (z.B. ein hohler Gummiball) befindet. Welche Aussage ist korrekt?

- a) Nur die Ladung  $+1C$  erfährt eine resultierende elektrische Kraft.
- b) Nur die isolierte Kugel erfährt eine resultierende elektrische Kraft.
- c) Kugel und Ladung erfahren eine resultierende elektrische Kraft, jedoch nicht mit der gleichen Größe.
- d) Kugel und Ladung erfahren eine gleich große resultierende elektrische Kraft.
- e) Es gibt keine elektrischen Kräfte.



Benutze das folgende Diagramm eines elektrischen Feldes zur Beantwortung der Fragen 23 und 24:



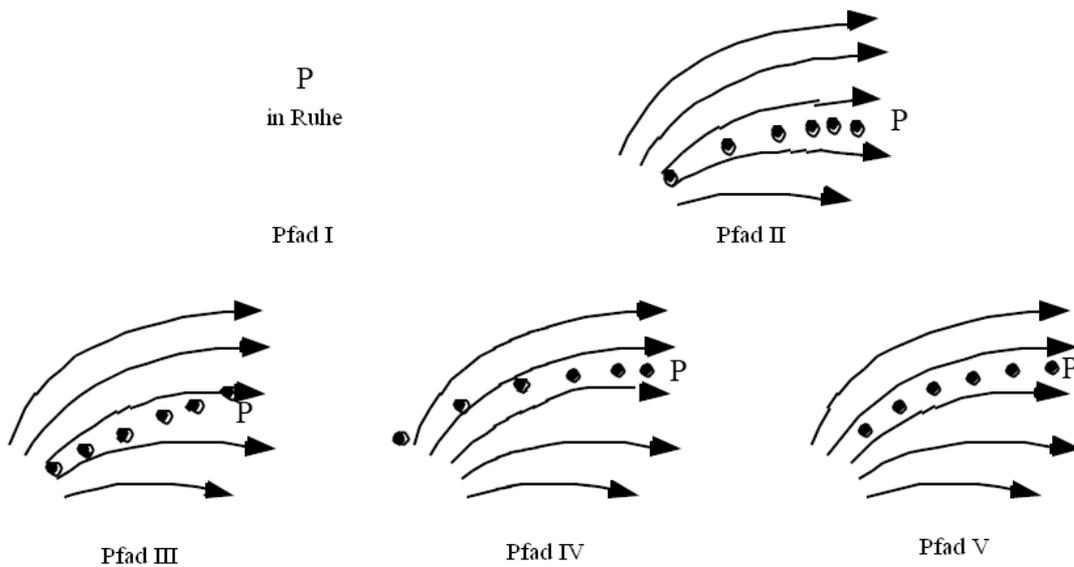
23)

Wie ist im oben stehenden Diagramm die Richtung der elektrischen Kraft auf eine negative Ladung im Punkt P?

- (a) ← (b) ↙ (c) → (d) ↗ (e) die Kraft ist Null

24)

Welcher untenstehende Pfad beschreibt am besten die Flugbahn im Vakuum für eine vom Punkt P ausgehende negative Ladung?



- a) Pfad I
- b) Pfad II
- c) Pfad III
- d) Pfad IV
- e) Pfad V

25)

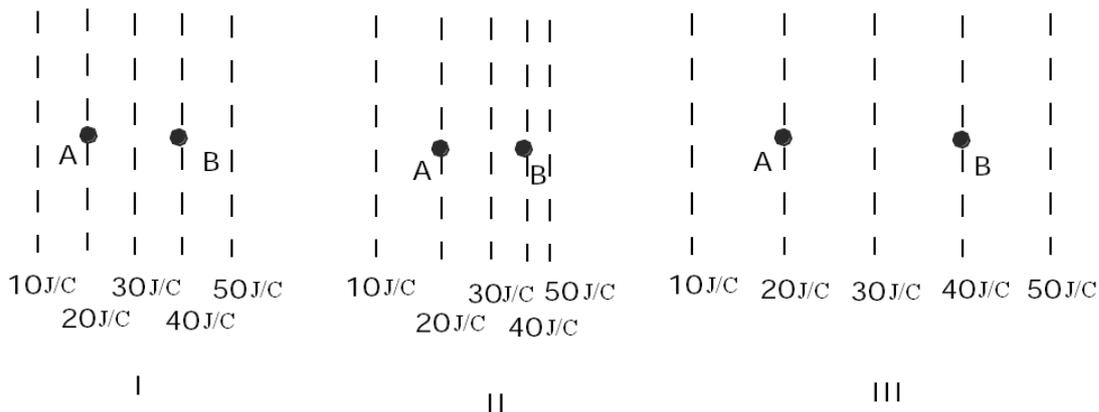
Ein Experiment zeigt, dass eine elektrische Kraft auf ein Teilchen wirkt. Wann kann dies der Fall sein?

- a) Das Teilchen muss sich bewegen.
- b) Ein elektrisches Feld muss vorhanden sein.
- c) Das Teilchen muss geladen sein.
- d) a) bis c) ist notwendig
- e) b) und c) sind notwendig

**Fragen 26-28:**

In den untenstehenden Abbildungen bedeuten die Striche Linien eines elektrischen Feldes mit gleichem Potential. (Eine Ladung, die sich auf einer Linie gleichen Potentials bewegt, würde eine konstante potenzielle (=elektrische) Energie besitzen).

Ein geladener Gegenstand wird direkt von Punkt A zu Punkt B bewegt. Die Ladung auf dem Gegenstand beträgt  $+1\mu\text{C}$ .



26)

Was kann man über die elektrische Arbeit sagen, die in den drei verschiedenen Fällen nötig ist, um die Ladung zu bewegen?

- a) In I muss die größte Arbeit verrichtet werden.
- b) In II muss die größte Arbeit verrichtet werden.
- c) In III muss die größte Arbeit verrichtet werden.
- d) Die in I und II zu verrichtende Arbeit ist gleich groß, jedoch kleiner als in III.
- e) In allen drei Fällen ist die zu verrichtende Arbeit gleich groß.

27)

Was kann man über die Stärke des elektrischen Feldes im Punkt B in den drei verschiedenen Fällen sagen?

- a)  $I > III > II$
- b)  $I > II > III$
- c)  $III > I > II$
- d)  $II > I > III$
- e)  $I = II = III$

In Aufgabe 28) betrachten wir Fall III:

28)

Was kann man über die Richtung der elektrischen Kraft, die vom Feld auf den mit  $+1\mu\text{C}$  geladenen Gegenstand ausgeübt wird, sagen, wenn sich der Gegenstand in A bzw. in B befindet?

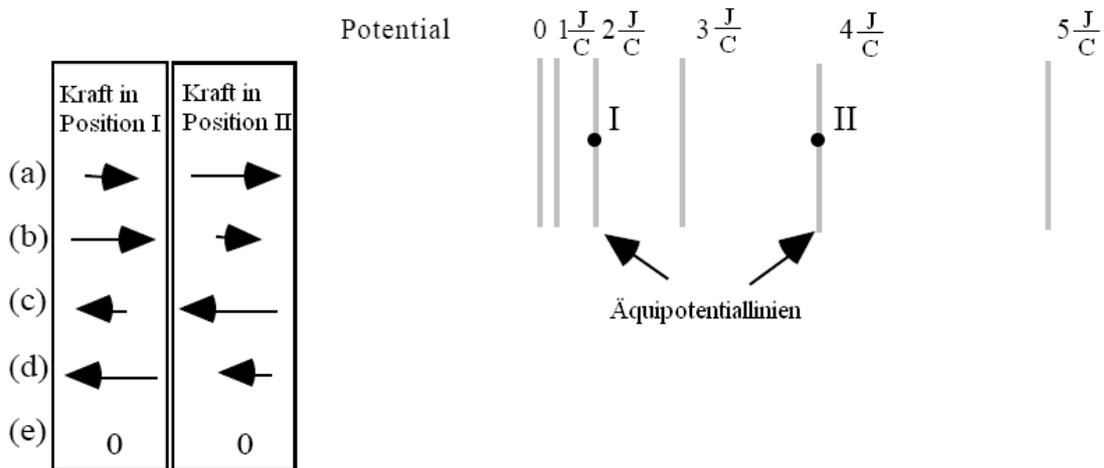
- a) Gegenstand in A: Kraft nach links gerichtet; Gegenstand in B: Kraft nach links gerichtet.
- b) Gegenstand in A: Kraft nach rechts gerichtet; Gegenstand in B: Kraft nach rechts gerichtet.
- c) Gegenstand in A: Kraft nach links gerichtet; Gegenstand in B: Kraft nach rechts gerichtet.
- d) Gegenstand in A: Kraft nach rechts gerichtet; Gegenstand in B: Kraft nach links gerichtet.
- e) Weder in A noch in B wirkt auf den Gegenstand eine elektrische Kraft.

29)

Ein Elektron wird auf die x-Achse gebracht; dort beträgt das elektrische Potential  $+10\text{J/C}$ . Welche der folgenden Aussagen ist korrekt?

- a) Das Elektron wird sich nach links bewegen (-x), da es negativ geladen ist.
- b) Das Elektron wird sich nach rechts bewegen (+x), da es negativ geladen ist.
- c) Das Elektron wird sich nach links bewegen (-x), da das Potential positiv ist.
- d) Das Elektron wird sich nach rechts bewegen (+x), da das Potential positiv ist.
- e) Mit den gegebenen Informationen kann man die Bewegung nicht vorhersagen.

Ein positiv geladenes Teilchen befindet sich in einem elektrischen Feld zunächst in Position I. Danach bringt man es in Position II:



30)

Welche Pfeilreihe oben links drückt am besten die relative Größe und Richtung der elektrischen Kraft aus, die auf das Teilchen in Position I bzw. in Position II ausgeübt wird?

**Anhang: Lösungsblatt CSE / CSM****Conceptual Survey in Electricity (CSE), Conceptual Survey in Magnetism (CSM), and Conceptual Survey in Electricity & Magnetism (CSEM)****1999-2000 Answer Key Form H**

Q#	CSE	Q#	CSM	Q#	CSEM	CSEM Q#	CSE Q#	CSM Q#
1	B	1	D	1	B	1	1	
2	A	2	E	2	A	2	2	
3	E	3	D	3	B	3	17	
4	D	4	A	4	B	4	18	
5	D	5	C	5	C	5	19	
6	B	6	C	6	E	6	7	
7	E	7	D	7	B	7	9	
8	A	8	A	8	B	8	10	
9	B	9	A	9	B	9	11	
10	B	10	D	10	C	10	13	
11	B	11	E	11	E	11	14	
12	B	12	E	12	D	12	16	
13	C	13	C	13	E	13	22	
14	E	14	D	14	D	14	32	
15	A	15	B	15	A	15	23	
16	D	16	D	16	E	16	29	
17	B	17	A	17	E	17	26	
18	B	18	B	18	D	18	27	
19	C	19	C	19	A	19	28	
20	D	20	E	20	D	20	30	
21	D	21	D	21	E	21		2
22	E			22	D	22		3
23	A			23	A	23		4
24	D			24	C	24		6
25	E			25	D	25		7
26	E			26	A	26		8
27	D			27	E	27		11
28	A			28	C	28		19
29	E			29	C	29		13
30	D			30	A	30		17
31	D			31	E	31		20
32	E			32	D	32		21

## Anhang R: CSM

Name:  
Schülvorstellungen „Magnetismus“

Kurs:

Datum:

*Bemerkung: Es kann davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen des irdischen Magnetfeldes in allen in den Aufgaben beschriebenen Situationen vernachlässigbar gering sind. i gibt die technische Stromrichtung an. Außerdem sei darauf hingewiesen, dass mit dem Begriff „Teilchen“ hier ein Objekt ohne Größe oder Struktur gemeint ist. Pro Multiple-Choice-Frage ist stets nur eine Antwort korrekt!*

1)

Ein Experiment zeigt, dass eine magnetische Kraft auf ein Teilchen wirkt. Welche der folgenden Bedingungen sind notwendig, damit die Magnetkraft existieren kann?

- a) Das Teilchen muss sich bewegen.
- b) Es muss ein Magnetfeld vorhanden sein.
- c) Das Teilchen muss geladen sein.
- d) Alle der oben genannten Bedingungen sind erforderlich.
- e) Sowohl b) als auch c), a) jedoch nicht.

2)

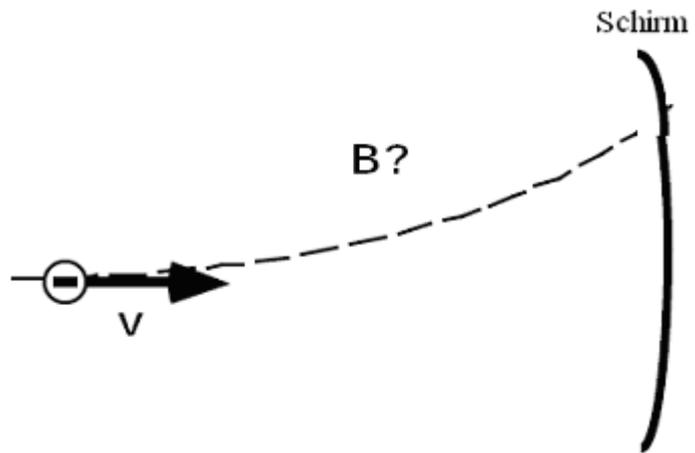
Was geschieht mit einer positiven Ladung, die sich in einem homogenen Magnetfeld in Ruhe befindet?

- a) Sie bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit, weil die Kraft konstant ist.
- b) Sie bewegt sich mit einer konstanten Beschleunigung, weil die Kraft konstant ist.
- c) Sie bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit in einem Kreis, weil die Kraft immer senkrecht zur Geschwindigkeit gerichtet ist.
- d) Sie beschleunigt in einem Kreis, weil die Kraft immer senkrecht zur Geschwindigkeit gerichtet ist.
- e) Sie verharrt in Ruhe, weil die Kraft sowie die Anfangsgeschwindigkeit null sind.

3)

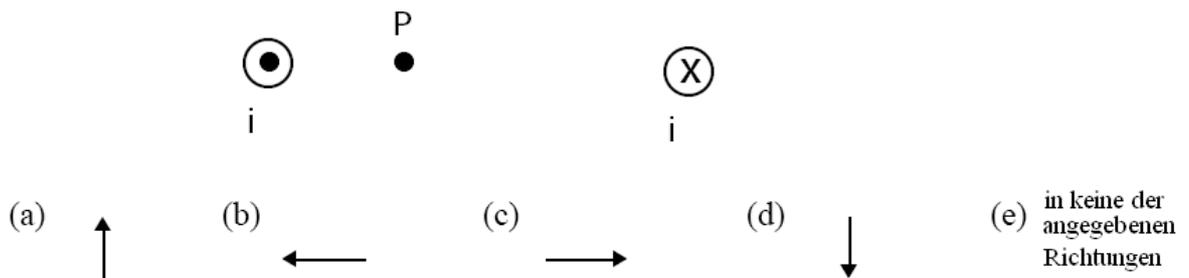
Ein Elektron bewegt sich horizontal auf einen Schirm zu. Aufgrund der Magnetkraft, die durch ein Magnetfeld  $B$  verursacht wird, bewegt sich das Elektron entlang der dargestellten Bahn. In welche Richtung zeigt das Magnetfeld?

- a) Nach oben
- b) Nach unten
- c) In die Seite hinein
- d) Aus der Seite heraus
- e) Das Magnetfeld weist in Richtung der gekrümmten Bahn



4)

Durch den linken Draht fließt ein großer Strom  $i$  aus dem Blatt heraus (siehe Diagramm). Durch den rechten Draht fließt ein großer Strom in das Blatt hinein. In welche Richtung zeigt das Magnetfeld in Punkt  $P$ ?



5)

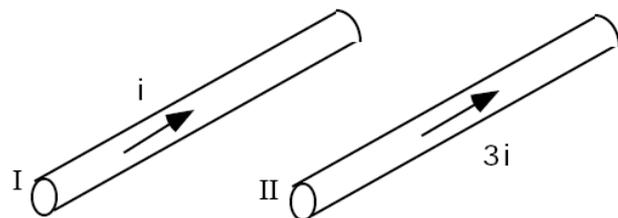
Stabmagneten besitzen einen Nordpol und einen Südpol. Was wird passieren, wenn man das Nord-Ende des einen Stabmagneten in die Nähe des Nord-Endes eines weiteren Stabmagneten bringt und warum?

- Die beiden Nordpole werden abgestoßen, denn gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
- Die beiden Nordpole werden angezogen, denn gleichnamige Ladungen ziehen sich an.
- Die beiden Nordpole werden abgestoßen, denn gleichnamige Pole stoßen sich ab.
- Die beiden Nordpole werden angezogen, denn gleichnamige Pole ziehen sich an.
- Sowohl a) als auch c).

6)

Die in der Abbildung dargestellten Drähte I und II führen die Ströme  $i$  und  $3i$ , beide in gleicher Richtung. Vergleichen Sie die Kräfte, die beide Drähte aufeinander ausüben.

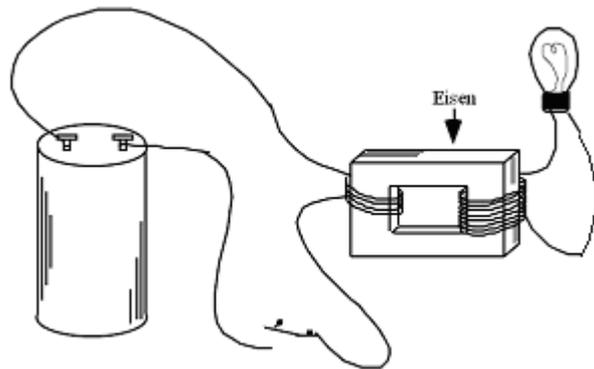
- Draht I übt eine größere Kraft auf Draht II aus als Draht II auf Draht I ausübt.
- Draht II übt eine größere Kraft auf Draht I aus als Draht I auf Draht II ausübt.
- Die Drähte üben gleich große Anziehungskräfte aufeinander aus.
- Die Drähte üben gleich große Abstoßungskräfte aufeinander aus.
- Die Drähte üben keine Kräfte aufeinander aus.



10)

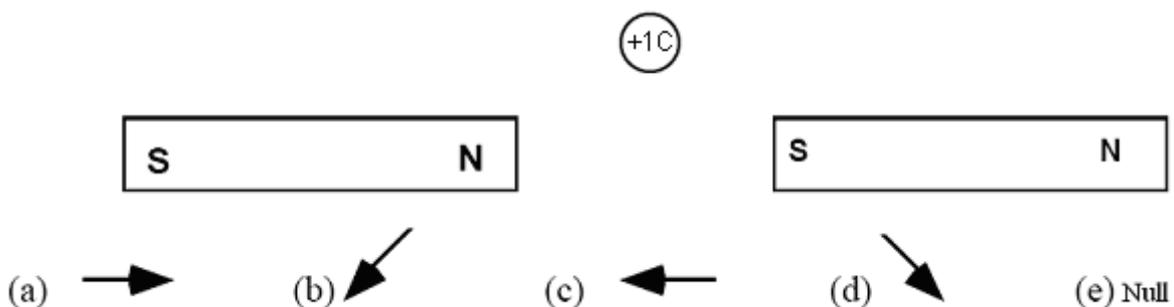
Ein isolierter Draht ist um die eine Seite eines Eisenkerns gewickelt, die Enden des Drahtes sind mit den Polen einer Batterie verbunden. Ein zweiter isolierter Draht ist um die andere Seite des Eisenkerns gewickelt und seine Enden sind durch eine Glühbirne miteinander verbunden. Ein Schalter, der geöffnet oder geschlossen werden kann, ist im Draht zur Batterie enthalten. Welche der folgenden Aussagen trifft für die Versuchsanordnung zu?

- Die Glühbirne wird leuchten, solange der Schalter geschlossen bleibt.
- Die Glühbirne wird nie leuchten, weil die beiden Drähte nicht miteinander verbunden sind, da sie isoliert sind.
- Die Glühbirne leuchtet nur in dem Augenblick, wenn der Schalter geschlossen wird und nicht, wenn er geöffnet wird.
- Die Glühbirne kann jedes mal in dem Augenblick leuchten, wenn der Schalter geöffnet oder geschlossen wird.
- Die Glühbirne leuchtet nie, da im Eisenkern kein Stromfluss vorhanden ist.



11)

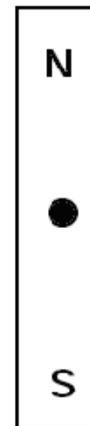
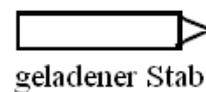
Ein positiv geladenes Teilchen (+1C) befindet sich in der Ebene zwischen zwei unveränderlichen Stabmagneten in Ruhe (siehe Bild). Der Magnet auf der linken Seite ist dreimal stärker als der Magnet auf der rechten Seite. Welche der unteren Möglichkeiten zeigt am besten die resultierende *magnetische* Kraft, die von den Magneten auf die Ladung ausgeübt wird?



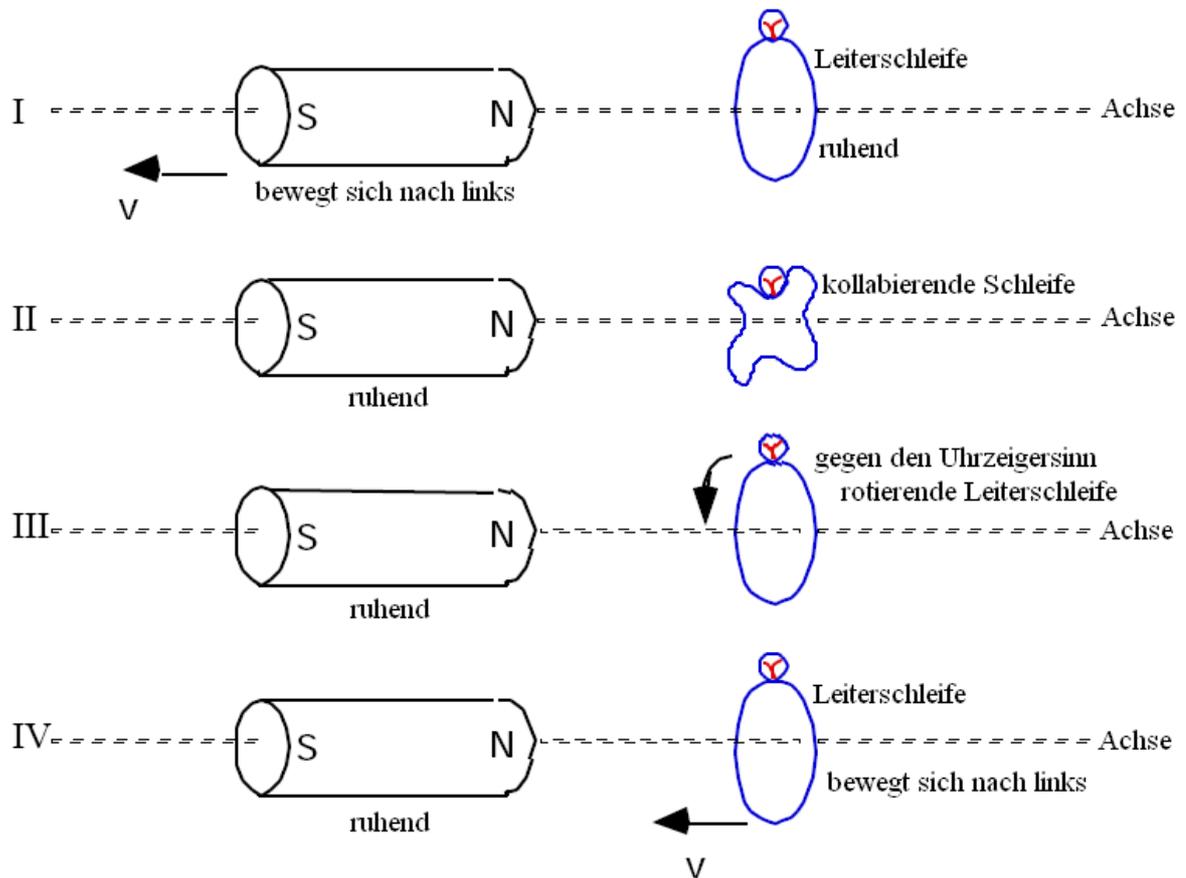
12)

Ein elektrisch geladener Stab wird nahe dem Mittelpunkt eines Magneten platziert. Der Magnet kann sich um den schwarz eingezeichneten Punkt drehen. Wie wird sich der Magnet verhalten?

- a) Wenn der Stab positiv geladen ist, dreht sich der Magnet im Uhrzeigersinn, denn positive Ladungen stoßen den Nordpol ab und ziehen den Südpol an.
- b) Wenn der Stab positiv geladen ist, dreht sich der Magnet gegen den Uhrzeigersinn, denn positive Ladungen stoßen den Südpol ab und ziehen den Nordpol an.
- c) Wenn der Stab negativ geladen ist, dreht sich der Magnet gegen den Uhrzeigersinn, denn negative Ladungen stoßen den Südpol ab und ziehen den Nordpol an.
- d) Sowohl a) als auch c) treffen zu.
- e) Der Magnet wird sich nicht drehen, da stehende Ladungen keine Magnetkraft auf irgendeinen Magnetpol ausüben.



Die unteren Abbildungen beziehen sich auf **die Frage 13**. Diese vier einzelnen Abbildungen enthalten einen zylindrischen Magneten und eine winzige Glühlampe (rot), die mit den Enden einer Schleife aus Kupferdraht verbunden ist. Die Ebene der Drahtschleife steht senkrecht zu der Bezugsachse. Die Bewegungszustände des Magneten und der Drahtschleife sind im Diagramm angezeigt. Die Geschwindigkeit wird mit  $v$  bezeichnet.



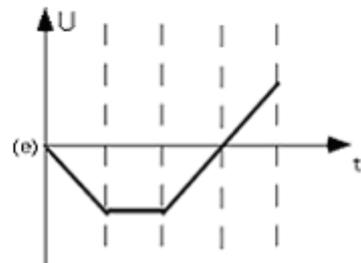
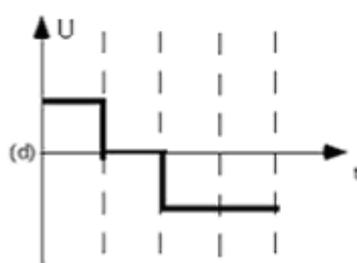
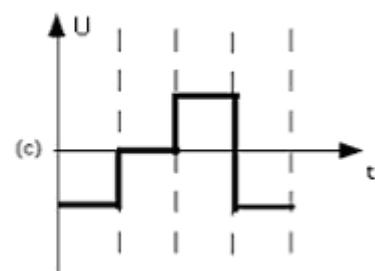
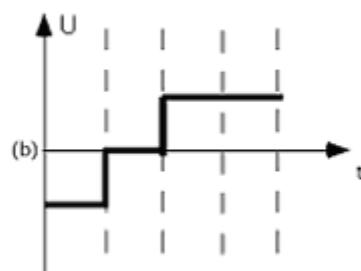
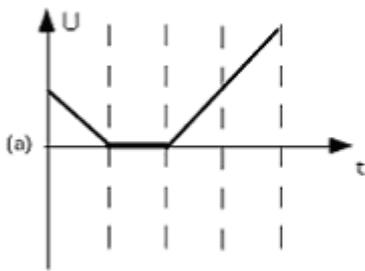
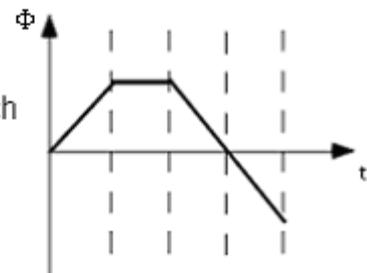
13)

In welcher der obigen Zeichnungen kann die Glühlampe leuchten?

- a) I, III, IV    b) I, IV    c) I, II, IV    d) IV    e) in keiner der dargestellten

15)

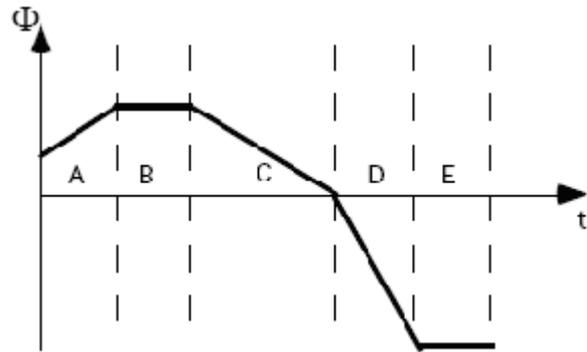
Rechts ist ein Graph mit dem magnetischen Fluss  $\Phi$  durch eine Spule als Funktion der Zeit  $t$  dargestellt. Welcher der unteren Graphen zeigt die induzierte Spannung  $U$  in Abhängigkeit von der Zeit?



16)

Unten rechts ist ein Graph dargestellt, der den magnetischen Fluss  $\Phi$  durch eine Spule als eine Funktion der Zeit  $t$  zeigt. In welchem Zeitintervall ist die induzierte Spannung über der Spule am größten?

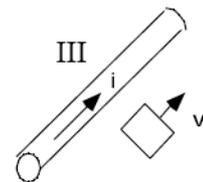
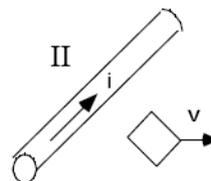
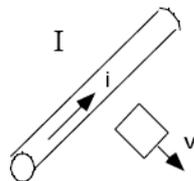
- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E



17)

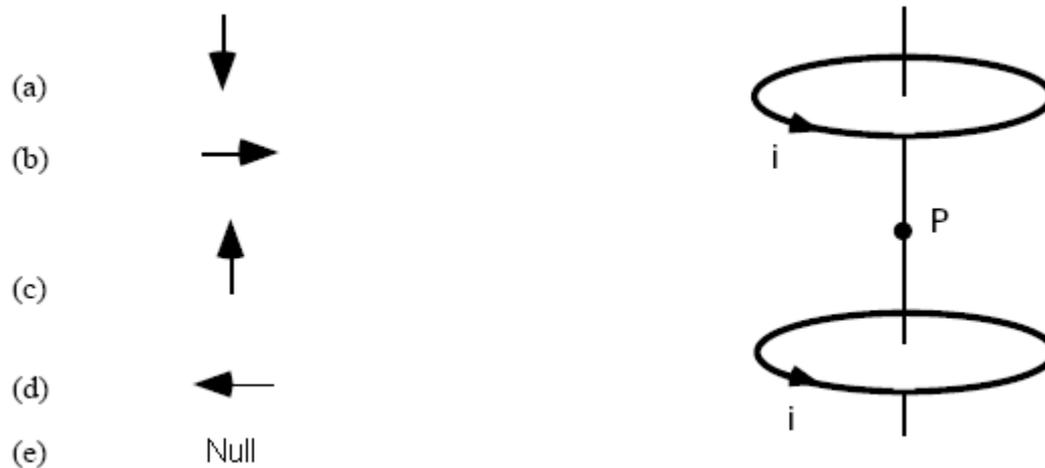
Ein sehr langer, gerader Draht führt einen gleichmäßigen ständigen Strom  $i$ . Rechteckige Metallschleifen, die sich in der gleichen Ebene wie der Draht befinden, bewegen sich mit der Geschwindigkeit  $v$  in die gezeigten Richtungen. Welche Schleife weist einen induzierten Strom auf?

- a) nur I und II
- b) nur I und III
- c) nur II und III
- d) alle Schleifen
- e) keine Schleife



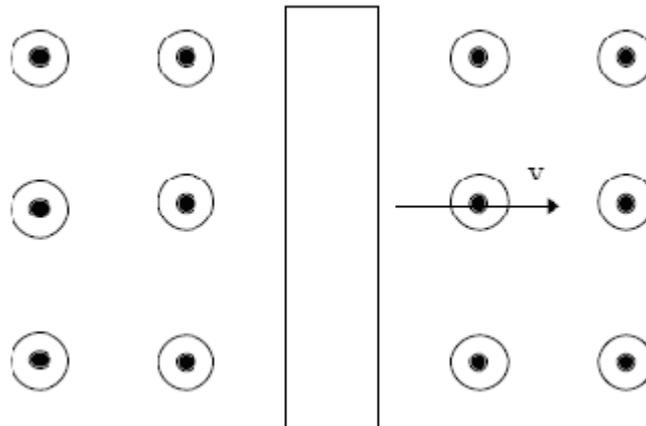
19)

Zwei identische Drahtschleifen führen die identischen Ströme  $i$ . Die Schleifen sind wie im Diagramm angeordnet. Welcher Pfeil zeigt am besten die Richtung des Magnetfeldes im Punkt P zwischen den Schleifen?

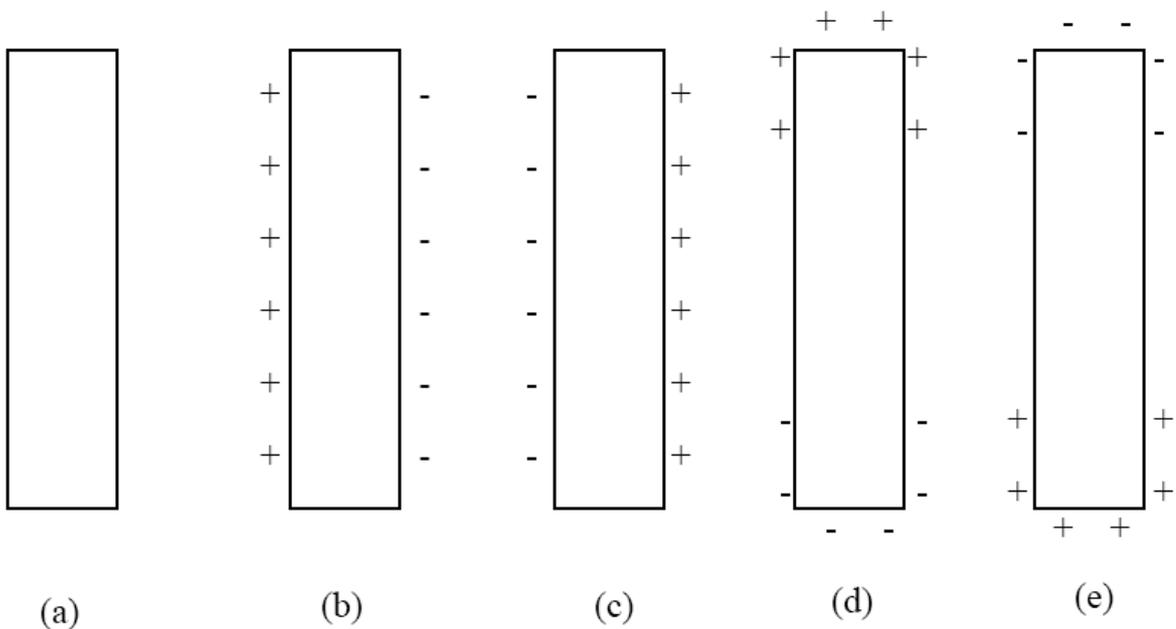


20)

Ein neutraler Metallstab bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  nach rechts durch eine Region, in der sich ein homogenes Magnetfeld befindet, das aus dem Blatt heraus zeigt. Das Magnetfeld wird durch einige große Spulen erzeugt, die nicht in der Zeichnung zu sehen sind.



Welches der folgenden Diagramme beschreibt die Ladungsverteilung auf der Oberfläche des Metallstabes am besten?



## Anhang S: KTE

Name:

Kurs:

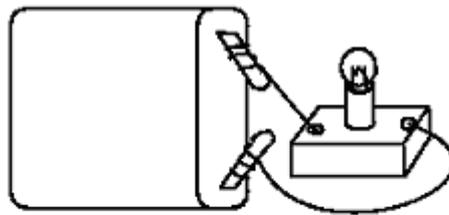
Datum:

Schülvorstellungen Elektrizitätslehre

*Bemerkung: In diesem Test handelt es sich ausschließlich um ideale Batterien (sie besitzen keinen Innenwiderstand). Ebenso sind verbindende Leitungen widerstandslos. Die Lampen in diesem Test besitzen nicht wie die meisten tatsächlichen Lampen einen vom Strom abhängigen Widerstand.*

1)

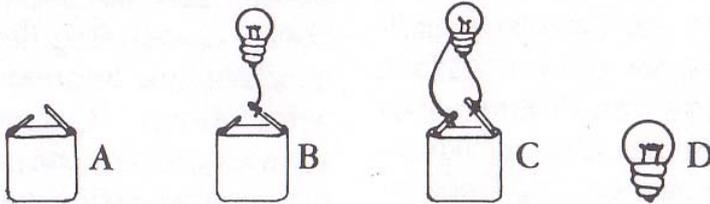
Du siehst hier ein Birnchen an eine Batterie angeschlossen. Das Birnchen leuchtet. Was ist richtig?



- |   | stimmt                   | falsch                   | weiß                     |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a) Das Birnchen verbraucht den elektrischen Strom ganz.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Die Birne verbraucht den Strom ein bisschen.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Der elektrische Strom von der Batterie zur Birne kommt unverbraucht von der Lampe wieder zur Batterie. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2)

Betrachte die vier Abbildungen A, B, C und D:

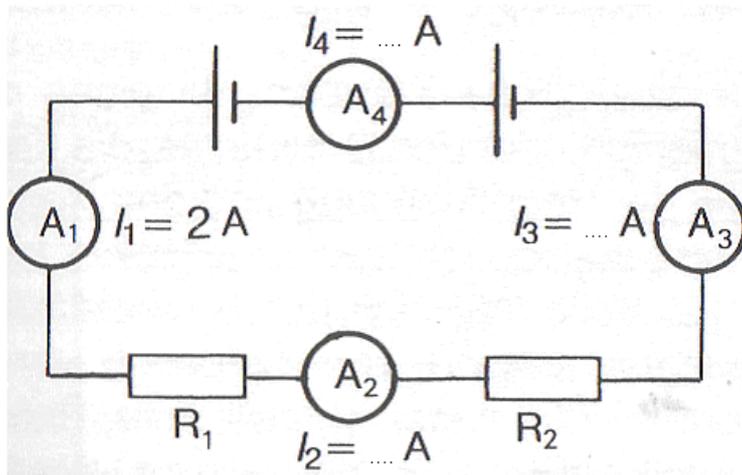


Lies nun die vier folgenden Sätze durch. Ein Satz kann auf mehrere Abbildungen zutreffen.

	A	B	C	D	weiß nicht
a) Das Lämpchen leuchtet in:	<input type="checkbox"/>				
b) Elektrischer Strom ist in:	<input type="checkbox"/>				
c) Elektrische Stromstärke ist in:	<input type="checkbox"/>				
d) Elektrische Spannung ist in:	<input type="checkbox"/>				

3)

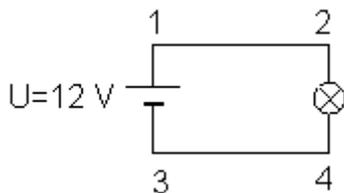
Im folgenden Stromkreis haben die beiden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  die Werte  $200\Omega$  bzw.  $400\Omega$ .



Ergänze die Messwerte bei den Amperemetern.

4)

a) Betrachte die folgende Schaltung:



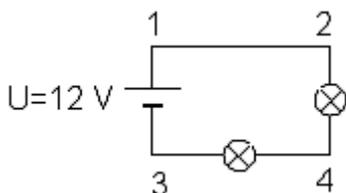
Wie groß ist in diesem Stromkreis die Spannung zwischen den Punkten:

1 und 2: ....V

2 und 3: ....V

3 und 4: ....V

b) Zwischen den Punkten 3 und 4 wird ein zweites Lämpchen der gleichen Sorte zugeschaltet:



Wie groß ist in dem Stromkreis mit zwei Lämpchen die Spannung zwischen den Punkten:

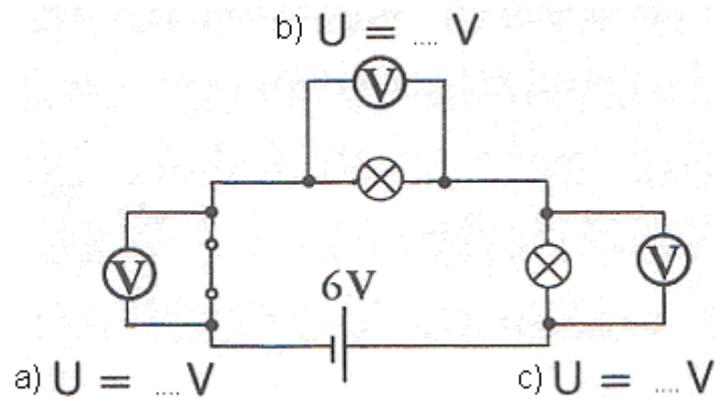
1 und 2: ....V

2 und 3: ....V

3 und 4: ....V

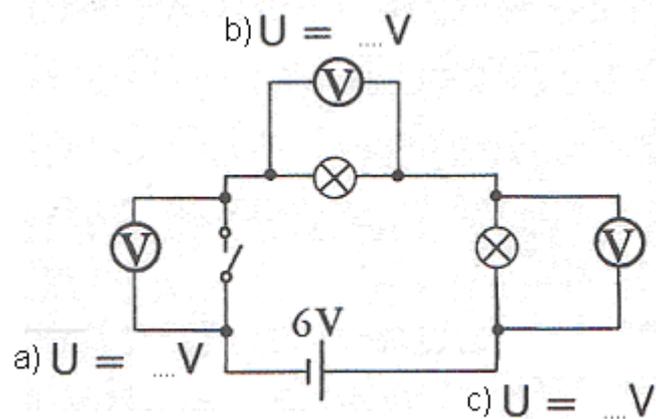
5)

Die folgende Schaltskizze enthält einen geschlossenen Schalter sowie zwei Lampen gleicher Bauart. Schreib an die Messinstrumente die Messwerte:



6)

Die folgende Schaltskizze enthält zwei Lampen gleicher Bauart sowie einen geöffneten Schalter. Schreib an die Messinstrumente die Messwerte:



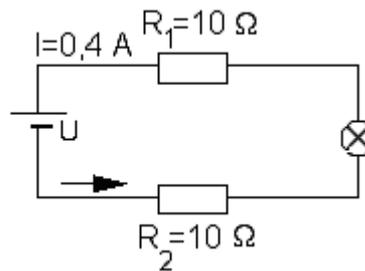
7)

Du findest hier einige Sätze zur elektrischen Spannung, zum elektrischen Strom und zur Energie. Lies jeden der untenstehenden Sätze und kreuze an!

- |  | stimmt                   | falsch                   | weiß<br>nicht            |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a) Die elektrische Spannung und der Strom kommen nur zusammen vor                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) Die elektrische Spannung kann auch einmal ohne den elektrischen Strom vorkommen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) Es gibt eine Situation, in der elektrischer Strom ohne Spannung vorkommt        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d) Der elektrische Strom ist Energie   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Die Fragen 8+9 beziehen sich auf den unten abgebildeten Stromkreis.

Im rechts abgebildeten Stromkreis beträgt die Stromstärke 0,4 A:



8)

Der Widerstand  $R_1$  wird durch den Widerstand  $R_3 = 20\Omega$  ersetzt.

- a) Die Stromstärke im Birnchen ist nun kleiner als 0,4 A.
- b) Die Stromstärke im Birnchen ist genau so groß wie vorher.
- c) Die Stromstärke ist jetzt größer als 0,4 A.

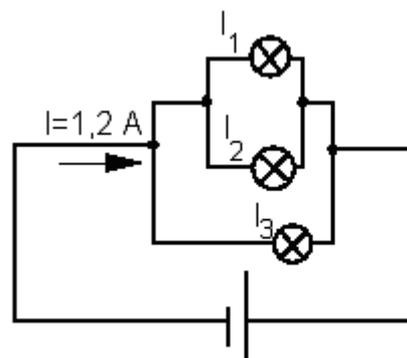
9)

Der Widerstand  $R_1$  wird wieder eingesetzt.  
Dann wird der Widerstand  $R_2$  durch den Widerstand  $R_3 = 20\Omega$  ersetzt.

- a) Die Stromstärke im Birnchen ist nun kleiner als 0,4 A.
- b) Die Stromstärke im Birnchen ist genau so groß wie vorher.
- c) Die Stromstärke ist jetzt größer als 0,4 A.

10)

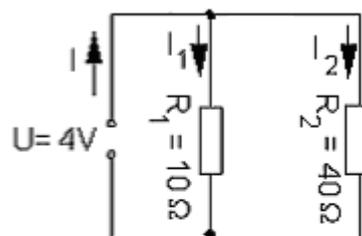
Die Birnchen im folgenden Stromkreis sind alle gleich. Ergänze die Stromstärken in den Verzweigungen.



- a)  $I_1 = \dots$  A
- b)  $I_2 = \dots$  A
- c)  $I_3 = \dots$  A

11)

Betrachte den Schaltkreis:



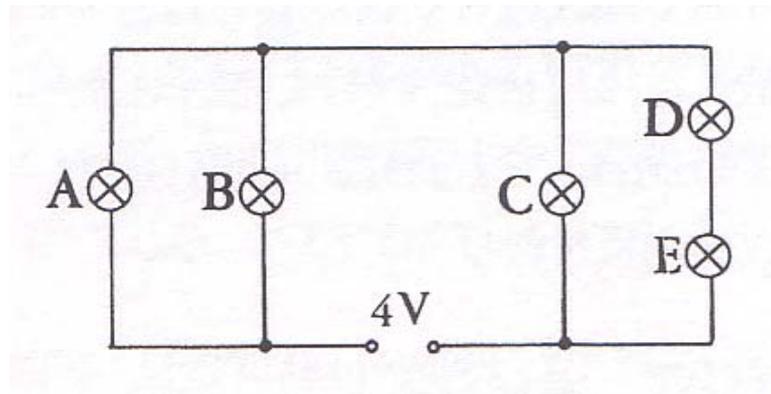
Der Widerstand  $R_2 = 40\Omega$  wird durch einen  $50\Omega$ -Widerstand ersetzt.

Wie verhalten sich die Ströme?

- |          | größer                   | gleich                   | kleiner                  |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a) $I_1$ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b) $I_2$ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c) $I$   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

13)

Die Lämpchen in der folgenden Schaltung sind alle gleich. Vergleiche die Helligkeit der Lämpchen B und C, kreuze an und begründe:



- a) B und C leuchten gleich hell.
- b) B leuchtet heller als C.
- c) C leuchtet heller als B.

**Anhang: KTE Lösungsblatt**

Frage Nr	Fragenteil	Korrekt:
1		c)
2	a)	C
	b)	C
	c)	C
	d)	A,B,C
3		$I_2=I_3=I_4=2A$
4	a)	1 und 2: 0V 2 und 3: 12V 3 und 4: 0V
	b)	1 und 2: 0V 2 und 3: 12V 3 und 4: -6V
5	a)	0V
	b)	3V
	c)	3V
6	a)	6V
	b)	0V
	c)	0V
7		b)
8		a)
9		a)
10)		$I_1=I_2=I_3=0,4A$
11)		$I_1$ gleich $I_2$ kleiner $I$ kleiner
13)		c)

## Anhang T: ECCE I

Name: \_\_\_\_\_ Kurs: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Schülervorstellungen Elektrizitätslehre

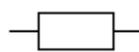
Bemerkung:

In diesem Test handelt es sich ausschließlich um ideale Batterien (sie besitzen keinen Innenwiderstand). Ebenso sind verbindende Leitungen widerstandslos.

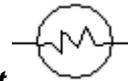
**Die Lampen in diesem Test besitzen nicht wie die meisten tatsächlichen Lampen einen vom Strom abhängigen Widerstand.**

**Das Symbol für Widerstände in den Zeichnungen ist eine Zickzacklinie:**

 (wie in angelsächsischen Quellen üblich) und nicht ein Rechteck:



(wie hier üblich). Das Symbol für eine Lichtquelle ist



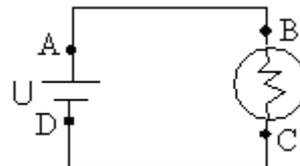
Pro Multiple-Choice-Frage ist stets nur eine Antwort korrekt!

1)

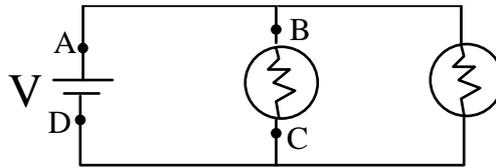
Betrachten Sie den Stromkreis auf der rechten Seite.

Was kann man über den Strom an verschiedenen Stellen im Stromkreis aussagen?

- Der Strom ist im Punkt A am größten.
- Der Strom ist im Punkt B am größten.
- Der Strom ist im Punkt C am größten.
- Der Strom ist im Punkt D am größten.
- Der Strom ist überall gleich groß.
- Der Strom ist zwischen A und B gleich und kleiner als zwischen C und D.
- Der Strom ist zwischen A und B gleich und größer als zwischen C und D.
- Der Strom ist überall gleich groß außer in der Lampe.
- Der Strom ist überall gleich groß außer in der Batterie.
- Keine der Aussagen trifft zu.



Für die **Fragen 2-5** wird eine zweite identische Lampe in den Stromkreis aus Frage 1 hinzugefügt:



2)

Vergleichen Sie den jetzigen Strom durch A mit dem Strom durch A mit nur einer Lampe.

- Der Strom im Punkt A ist jetzt doppelt so groß.
- Der Strom im Punkt A ist jetzt größer als zuvor, jedoch nicht doppelt so groß.
- Der Strom im Punkt A ist genau so groß.
- Der Strom im Punkt A ist jetzt halb so groß.
- Der Strom im Punkt A ist jetzt kleiner, jedoch nicht halb so groß wie zuvor.
- Keine der Aussagen trifft zu.

3)

Vergleichen Sie den Strom durch die Lampe zwischen B und C mit dem Strom zuvor mit nur einer Lampe im Stromkreis.

- Der Strom ist größer als zuvor.
- Der Strom ist gleich groß.
- Der Strom ist kleiner als zuvor.

4)

Vergleichen Sie die Helligkeit der Lampe zwischen B und C mit ihrer Helligkeit zuvor mit nur einer Lampe im Stromkreis.

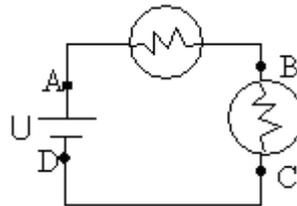
- Die Lampe ist heller als zuvor.
- Die Lampe ist genau so hell.
- Die Lampe ist nun weniger hell.

5)

Vergleichen Sie die Spannung über der Lampe ( $U_{BC}$ ) mit dem vorherigen Wert, als nur eine Lampe im Stromkreis war.

- Die Spannung ist jetzt doppelt so groß.
- Die Spannung ist jetzt größer als zuvor, jedoch nicht doppelt so groß.
- Die Spannung ist genauso groß.
- Die Spannung ist jetzt halb so groß.
- Die Spannung ist jetzt kleiner als zuvor, jedoch nicht halb so groß.
- Keine der Aussagen trifft zu.

Für die **Fragen 6-8** wird eine zweite identische Lampe wie unten dargestellt in den Stromkreis aus Frage 1 hinzugefügt:



6)

Vergleichen Sie den jetzigen Strom durch A mit dem Strom durch A mit nur einer Lampe im Stromkreis.

- Der Strom im Punkt A ist jetzt doppelt so groß.
- Der Strom im Punkt A ist jetzt größer als zuvor, jedoch nicht doppelt so groß.
- Der Strom im Punkt A ist genauso groß.
- Der Strom im Punkt A ist jetzt halb so groß.
- Der Strom im Punkt A ist jetzt kleiner als zuvor, jedoch nicht halb so groß.
- Keine der Aussagen trifft zu.

7)

Vergleichen Sie die Spannung über der Lampe ( $U_{BC}$ ) mit dem vorherigen Wert, als nur eine Lampe im Stromkreis war.

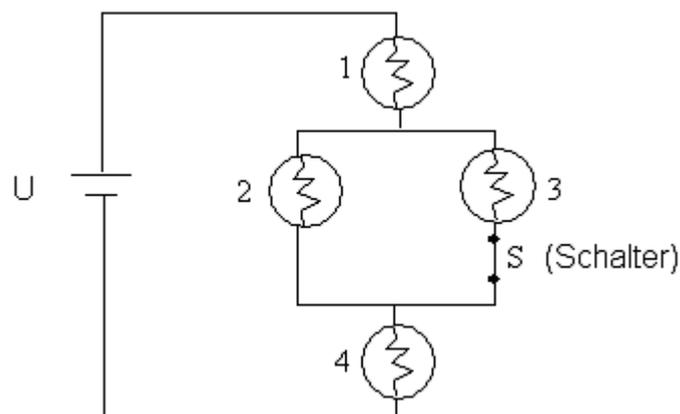
- Die Spannung ist jetzt doppelt so groß.
- Die Spannung ist jetzt größer als zuvor, jedoch nicht doppelt so groß.
- Die Spannung ist genauso groß.
- Die Spannung ist jetzt halb so groß.
- Die Spannung ist jetzt kleiner als zuvor, jedoch nicht halb so groß.
- Keine der Aussagen trifft zu.

8)

Vergleichen Sie die Helligkeit der Lampe zwischen B und C mit ihrer Helligkeit zuvor mit nur einer Lampe im Stromkreis.

- Die Lampe ist heller als zuvor.
- Die Lampe ist genau so hell.
- Die Lampe ist nun weniger hell.

Die **Fragen 9-16** beziehen sich auf den unten abgebildeten Stromkreis, in dem vier identische Lampen mit einer Batterie verbunden sind. Der Schalter S ist, wie dargestellt, anfänglich geschlossen.



9)

Welche der folgenden Antworten gibt die korrekte Helligkeitsreihenfolge der Lampen wieder?

- Alle Lampen sind gleich hell.
- 1,2,3,4 (von sehr hell bis am wenigsten hell).
- 1 ist am hellsten, 2 und 3 sind gleich hell, jedoch lichtschwächer als 1. 4 ist am wenigsten hell.
- 1 und 4 sind gleich hell. 2 und 3 sind ebenfalls gleich hell, jedoch lichtschwächer als 1 oder 4.
- 2 und 3 sind gleich hell. 1 und 4 sind ebenfalls gleich hell, jedoch lichtschwächer als 2 oder 3.
- 1 ist am hellsten, gefolgt von 4. 2 und 3 sind gleich hell, jedoch lichtschwächer als 4.
- Keine der Aussagen trifft zu.

10)

Welche der folgenden Antworten gibt die korrekte Reihenfolge der Ströme durch die Lampen wieder?

- a) Durch alle Lampen fließt der gleiche Strom.
- b) Der Strom durch 1 ist am größten, danach folgt der Größe nach 2 und 3, durch 4 ist er am kleinsten.
- c) Der Strom durch 1 ist am größten. Durch 2 ist er genauso groß wie durch 3, wobei beide kleiner sind als 1. Der Strom durch 4 ist am kleinsten.
- d) Die Ströme durch 1 und 4 sind gleich. Die Ströme durch 2 und 3 sind ebenfalls gleich, wobei beide kleiner sind als die durch 1 bzw. 4.
- e) Die Ströme durch 2 und 3 sind gleich. Die Ströme durch 1 und 4 sind ebenfalls gleich, wobei beide kleiner sind als die durch 2 bzw. 3.
- f) Der Strom durch 1 ist am größten, der durch 4 ist kleiner. Die Ströme durch 2 und 3 sind gleich, wobei beide kleiner sind als der Strom durch 4.
- g) Keine der Aussagen trifft zu.

11)

Welche der folgenden Antworten gibt die korrekte Reihenfolge der Spannungen über den Lampen wieder?

- a) Die Spannung ist über allen Lampen gleich groß.
- b) Die Spannung über den Lampen fällt von 1 bis 4.
- c) Die Spannung über 1 ist am größten. Die Spannungen über 2 und 3 sind gleich, wobei beide kleiner sind als die über 1. Die Spannung über 4 ist am kleinsten.
- d) Die Spannungen über 1 und 4 sind gleich. Die Spannungen über 2 und 3 sind ebenfalls gleich, wobei beide kleiner sind als die über 1 bzw. 4.
- e) Die Spannungen über 2 und 3 sind gleich. Die Spannungen über 1 und 4 sind ebenfalls gleich, wobei beide kleiner sind als die über 2 bzw. 3.
- f) Die Spannung über 1 ist am größten, die über 4 ist kleiner. Die Spannungen über 2 und 3 sind gleich, wobei beide kleiner sind als die über 4.
- g) Keine der Aussagen trifft zu.

12)

Was geschieht mit dem Strom durch Lampe 1, wenn der Schalter S geöffnet wird?

- a) Er wird größer.
- b) Er bleibt gleich.
- c) Er wird kleiner.
- d) Mit den gegebenen Informationen nicht zu beantworten.

13)

Was geschieht mit dem Strom durch Lampe 2, wenn der Schalter S geöffnet wird?

- a) Er wird größer.
- b) Er bleibt gleich.
- c) Er wird kleiner.
- d) Mit den gegebenen Informationen nicht zu beantworten.

14)

Auf der Grundlage Ihrer Antworten von 12) und 13) vergleichen Sie den Strom durch Lampe 2 bei geöffnetem Schalter mit dem Strom durch Lampe 1 bevor der Schalter geöffnet wurde:

- a) Der Strom durch Lampe 2 ist so groß wie der Strom durch Lampe 1 bevor S geöffnet wurde.
- b) Der Strom durch Lampe 2 ist größer als die Hälfte des Stromes durch Lampe 1 bevor S geöffnet wurde.
- c) Der Strom durch Lampe 2 ist die Hälfte des Stromes durch Lampe 1 bevor S geöffnet wurde.
- d) Der Strom durch Lampe 2 ist weniger als die Hälfte des Stromes durch Lampe 1 bevor S geöffnet wurde.
- e) Mit den gegebenen Informationen nicht zu beantworten.
- f) Keine dieser Aussagen trifft zu.

15)

Die Lampen 2 und 3 sind geschaltet...

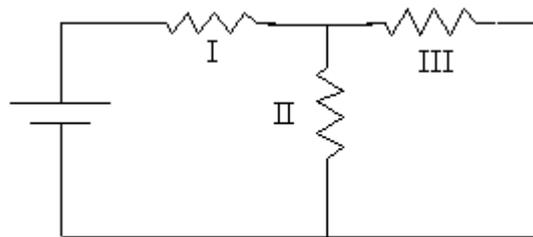
- a) ... in Reihe.
- b) ... parallel.
- c) ... in Reihe und parallel.
- d) ... weder in Reihe noch parallel.

16)

Die Lampen 1 und 3 sind geschaltet...

- a) ...in Reihe.
- b) ...parallel.
- c) ...in Reihe und parallel.
- d) ...weder in Reihe noch parallel.

Die **Fragen 23-24** beziehen sich auf die Abbildung unten. Sie zeigt einen Stromkreis mit drei Widerständen.



23)

Welche Widerstände in der Abbildung sind in Reihe geschaltet?

- a) I und II.
- b) I und III.
- c) II und III.
- j) Keine der Widerstände sind in Reihe geschaltet.

24)

Welche Widerstände in der Abbildung sind parallel geschaltet?

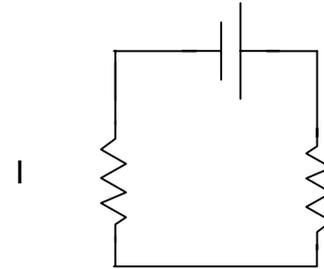
- a) I und II.
- b) I und III.
- c) II und III.
- d) Keine der Widerstände sind parallel geschaltet.

Die **Fragen 25-26** beziehen sich auf die drei Schaltbilder I, II und III auf der rechten Seite. Die Widerstände sind unterschiedlich.

25)

In welcher(n) Abbildung(en) befinden sich die beiden Widerstände in Serie?

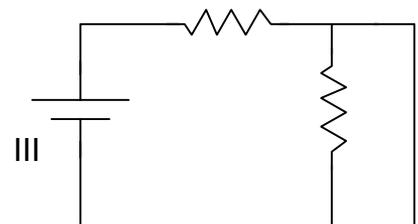
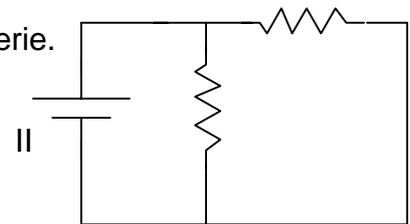
- a) I
- b) II
- c) III
- d) I und II
- e) I und III
- f) II und III
- g) I, II und III
- h) In keiner der Abbildungen sind die Widerstände in Serie.



26)

In welcher(n) Abbildung(en) sind die Widerstände parallel?

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I und II
- e) I und III
- f) II und III
- g) I, II und III
- h) In keiner der Abbildungen sind die Widerstände parallel.

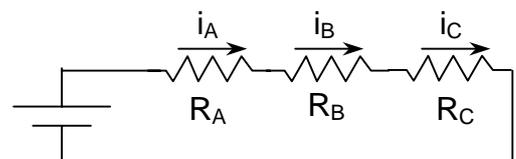


Die **Fragen 27-28** beziehen sich auf die rechte Abbildung. Hier sind alle drei Widerstände identisch:  $R_A = R_B = R_C$ .

27)

Was trifft für den Strom  $i_A$  durch  $R_A$  zu?

- a)  $= i_B$
- b)  $= i_C$
- c)  $= i_B = i_C$
- d)  $= i_B + i_C$
- e)  $= i_B - i_C$
- f) Keine der Möglichkeiten trifft zu.



28)

In welchem Verhältnis stehen  $i_B$  und  $i_C$  zueinander?

- a)  $i_B = 1/3 i_C$

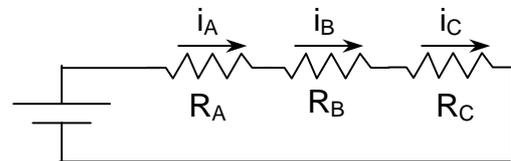
- b)  $i_B = 1/2 i_C$
- c)  $i_B = i_C$
- d)  $i_B = 2 i_C$
- e)  $i_B = 3 i_C$
- f) Keine der genannten Möglichkeiten trifft hier zu.

Die **Fragen 29-30** beziehen sich auf die Abbildung rechts. Hier ist  $R_A$  identisch mit  $R_B$ ,  $R_A$  und  $R_B$  sind jeweils halb so groß wie  $R_C$ :  $R_A = R_B = 1/2 R_C$ .

29)

Was trifft für den Strom  $i_A$  durch  $R_A$  zu?

- a)  $= i_B$
- b)  $= i_C$
- c)  $= i_B = i_C$
- d)  $= i_B + i_C$
- e)  $= i_B - i_C$
- f) Keine dieser Möglichkeiten ist korrekt.



30)

In welchem Verhältnis stehen  $i_B$  und  $i_C$ ?

- a)  $i_B = 1/3 i_C$
- b)  $i_B = 1/2 i_C$
- c)  $i_B = i_C$
- d)  $i_B = 2 i_C$
- e)  $i_B = 3 i_C$
- f) Keine dieser Möglichkeiten trifft zu.

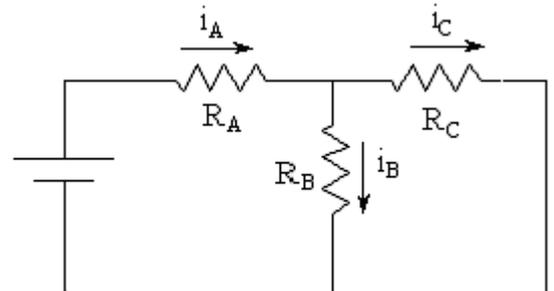
Die **Fragen 31-32** beziehen sich auf die rechte Abbildung. Alle drei Widerstände sind identisch:

$$R_A = R_B = R_C.$$

31)

Was trifft für den Strom  $i_A$  durch  $R_A$  zu?

- a)  $= i_B$
- b)  $= i_C$
- c)  $= i_B = i_C$
- d)  $= i_B + i_C$
- e)  $= i_B - i_C$
- f) Keine der Möglichkeiten ist korrekt.



32)

Wie sieht das Verhältnis zwischen  $i_B$  und  $i_C$  aus?

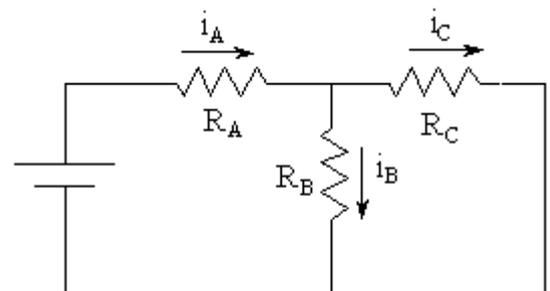
- a)  $i_B = 1/3 i_C$
- b)  $i_B = 1/2 i_C$
- c)  $i_B = i_C$
- d)  $i_B = 2 i_C$
- e)  $i_B = 3 i_C$
- f) Keine von diesen Möglichkeiten trifft zu.

Die **Fragen 33-34** beziehen sich auf die rechte Abbildung.  $R_A$  ist identisch mit  $R_B$ ,  $R_A$  und  $R_B$  sind jeweils halb so groß wie  $R_C$ :  $R_A = R_B = 1/2 R_C$ .

33)

Was trifft für den Strom  $i_A$  durch  $R_A$  zu?

- a)  $= i_B$
- b)  $= i_C$
- c)  $= i_B = i_C$
- d)  $= i_B + i_C$
- e)  $= i_B - i_C$
- f) Keine der oberen Möglichkeiten ist richtig.



34)

In welchem Verhältnis stehen  $i_B$  und  $i_C$  zueinander?

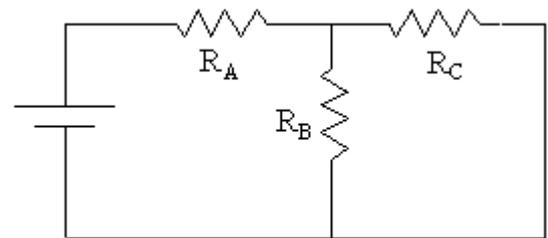
- a)  $i_B = 1/3 i_C$
- b)  $i_B = 1/2 i_C$
- c)  $i_B = i_C$
- d)  $i_B = 2 i_C$
- e)  $i_B = 3 i_C$
- f) Keine der oberen Möglichkeiten ist richtig.

Die **Fragen 35-36** beziehen sich auf das Schaltbild rechts, in welchem  $R_A$ ,  $R_B$  und  $R_C$  voneinander unterschiedliche Werte haben.

35)

Durch welche Widerstände in der Abbildung fließt die gleiche Stromstärke?

- a)  $R_A$  und  $R_B$
- b)  $R_A$  und  $R_C$
- c)  $R_B$  und  $R_C$
- d) alle
- e) Die Angaben sind nicht ausreichend.
- j) Keine



36)

Bei welchen Widerständen in der Abbildung herrscht der gleiche Spannungsabfall?

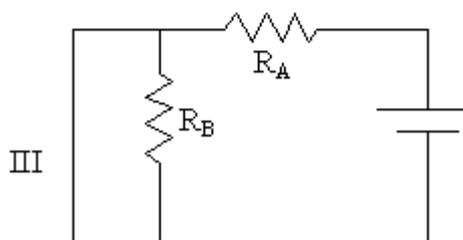
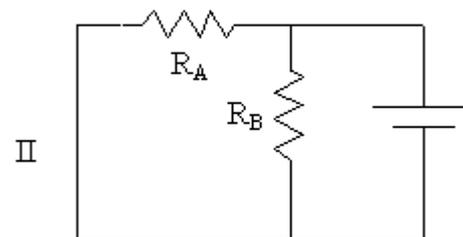
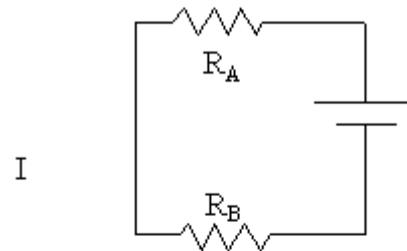
- a)  $R_A$  und  $R_B$
- b)  $R_A$  und  $R_C$
- c)  $R_B$  und  $R_C$
- d) alle
- e) Die Angaben sind nicht ausreichend.
- f) Keine

Die **Fragen 37-38** beziehen sich auf die Schaltbilder rechts.  $R_A$  und  $R_B$  haben unterschiedliche Werte.

37)

Bei welcher(n) Abbildung(en) fließt durch  $R_A$  und  $R_B$  der gleiche Strom?

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I und II
- e) I und III
- f) II und III
- g) I, II und III
- h) In keiner der Abbildungen fließt durch die Widerstände der gleiche Strom.



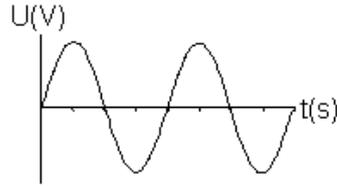
38)

In welcher(n) Abbildung(en) verfügen die Widerstände  $R_A$  and  $R_B$  über den gleichen Spannungsabfall?

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I und II
- e) I und III
- f) II und III
- g) I, II und III
- h) Keine der Abbildungen zeigt Widerstände, die über den gleichen Spannungsabfall verfügen.

## Anhang U: ECCE II

Ein Wechselstrom-Signalgenerator, , produziert eine veränderliche (sinusförmige) Spannung als Funktion der Zeit (siehe Graph):

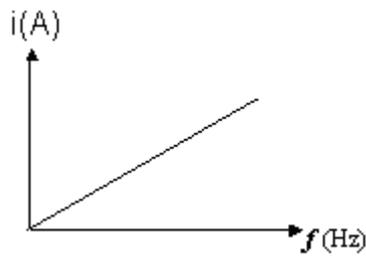


Der Signalgenerator wird in die vier unten abgebildeten Schaltkreise eingebaut. Danach misst man die Stromstärke im Schaltkreis in Abhängigkeit von der gelieferten Frequenz  $f$  des Signalgenerators. Die Stromstärke wird mit Hilfe des Amperemeters **A** gemessen.

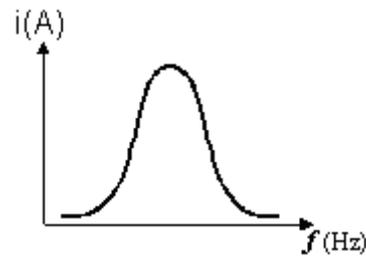
Die anderen Bestandteile des Stromkreises sind: ein Kondensator (**C**), ; eine Spule (**L**), ; und ein Widerstand (**R**), .

Wähle für jeden der folgenden vier Graphen das Schaltbild aus der Auswahl rechts aus, dessen Stromstärke-Frequenz-Beziehung durch den Graphen korrekt dargestellt wird. (Kennzeichne zusammengehörige Graphen und Schaltbilder mit Pfeilen.)

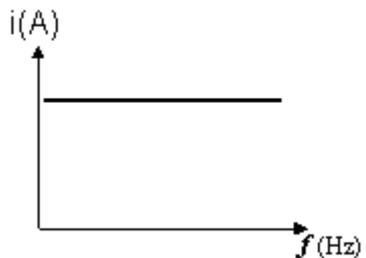
39)



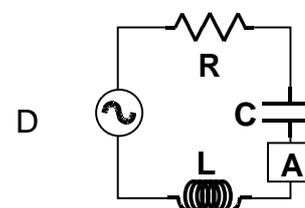
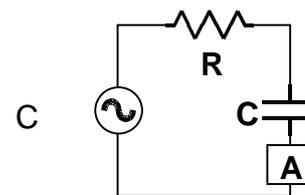
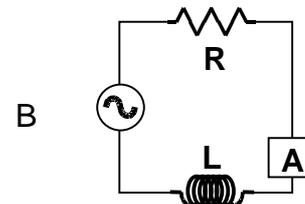
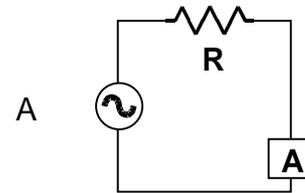
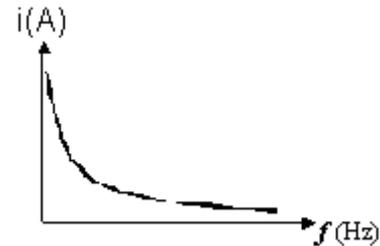
40)



41)

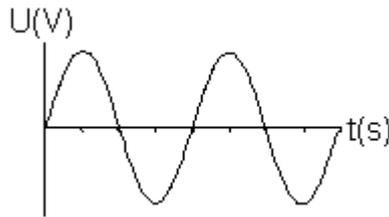


42)



E Keine von diesen

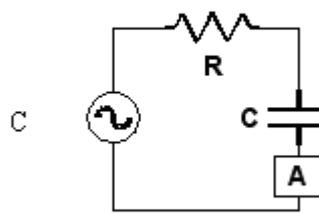
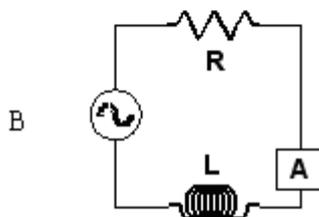
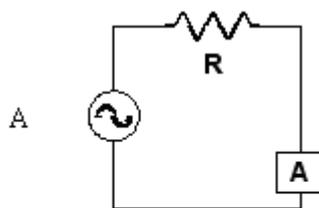
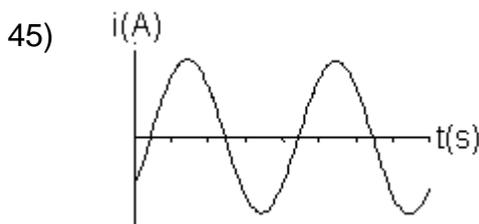
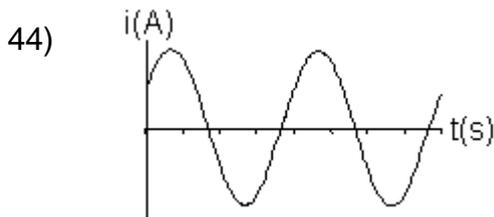
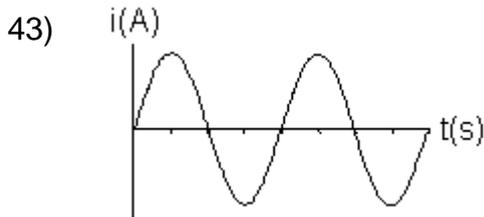
Ein Wechselstrom-Signalgenerator, , produziert eine veränderliche (sinusförmige) Spannung als Funktion der Zeit (siehe Graph).



Man baut den Signalgenerator in die drei unten abgebildeten Schaltkreise ein und trägt die Stromstärke, die vom Amperemeter, , gemessen wird, als eine Funktion der Zeit auf.

Die weiteren Bestandteile des Stromkreises sind: ein Kondensator (**C**), ; eine Spule (**L**), ; und ein Widerstand (**R**), .

Wähle für jeden der folgenden drei Graphen das Schaltbild aus der Auswahl rechts aus, dessen Stromstärke-Zeit-Beziehung durch den Graphen korrekt dargestellt wird. (Kennzeichne zusammengehörige Graphen und Schaltbilder mit Pfeilen.)



D. Keine von diesen

**Lösungsblatt ECCE I+II**

1.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2.	<u>A</u>	B	C	D	<u>E</u>	F	G	H	I	J
3.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
4.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
5.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
6.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
7.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
8.	A	B	<u>C</u>	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
9.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
10.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
11.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
12.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
13.	<u>A</u>	B	C	D	E	F	G	H	I	J
14.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
15.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
16.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
17.	A	<u>B</u>	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
18.	A	<u>B</u>	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
19.	A	<u>B</u>	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
20.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
21.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
22.	<u>A</u>	B	C	D	E	F	G	H	I	J
23.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	<u>J</u>
24.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	<u>J</u>
25.	<u>A</u>	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
26.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
27.	A	<u>B</u>	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
28.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
29.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
30.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
31.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
32.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
33.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
34.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
35.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	<u>J</u>
36.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
37.	<u>A</u>	B	C	D	E	F	G	H	I	J
38.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
39.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	<u>J</u>
40.	A	B	C	<u>D</u>	E	F	G	H	I	J
41.	<u>A</u>	B	C	D	E	F	G	H	I	J
42.	A	<u>B</u>	C	D	E	F	G	H	I	J
43.	<u>A</u>	B	C	D	E	F	G	H	I	J
44.	A	B	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J
45.	A	<u>B</u>	<u>C</u>	D	E	F	G	H	I	J

## Anhang V: Didaktische Orte JiTT-Aufgaben Mech. (Unistudie)

JiTT Nr	Sequenz	Warm Up (1) Puzzle (2)	Bezug auf FCI-Item Nr	Bemerkungen
2	2.2: Beschreibung von Bewegungen	1	6,7,23	Bewegung und Bezugssysteme
23	2.3.1: Geradlinig gleichförmige Bewegung	1	6,7,8,20,21	Bewegungs- diagramme
24	2.3.1: Geradlinig gleichförmige Bewegung	1	6,7,8,20,21	Bewegungs- diagramme
4	2.3.1: Momentan- und Durchschnitts- geschwindigkeit	1	20,21	Puckbewegung
25	2.3.2: Geradlinig, gleichmäßig beschleunigte Bewegung	1	20,21	Graphische Methode zur Distanz- bestimmung
26	3.1: Newtonsche Axiome: 2.N.A	1	1,3,4,5,9,12, 15, 17,18,22,23, 24-29	Versuch zur Grundgleichung
27	3.1: Newtonsche Axiome: 1.+2.N.A.	2	1,3,4,5,9,12, 15, 17,18,22,23, 24-29	Münzversuch
18	3.1: Newtonsche Axiome: 3.N.A	2	2,4,8,10,12- 14,18,24,25, 27	Roter / grüner Holzklotz
28	3.2.3: Schein- und Trägheitskräfte	2	4,1	Beschleunigte Bewegung und Bezugssysteme
29	4.1.1: Arbeit bei konstanter Kraft und veränderlicher Kraft	1	15	Arbeit und Energie- umwandlung
30	4.2: Energiebegriff in der Mechanik	1	15	Energiekonzept
31	4.2.2: Zusammenhang von Arbeit und Energie	1	15	Energie und Bezugssystem



<p>Spannenergie</p> <p>4.3 <i>Energieerhaltungssatz</i></p> <p>4.4 <i>Mechanische Leistung</i></p> <p>4.5 <i>Impulserhaltungssatz</i> Definition von Impuls und Kraftstoß Herleitung des Zusammenhangs von Kraftstoß und Impuls Erweiterung des 2. Newtonschen Axioms</p> <p>4.6 <i>Anwendungen zu den Erhaltungssätzen</i> Impulserhaltungssatz am Beispiel des zentralen elastischen Stoßes Impulserhaltungssatz am Beispiel des unelastischen Stoßes</p>		
<p><b>5. Gravitation</b></p> <p>5.1 <i>Das Newtonsche Gravitationsgesetz</i></p> <p>5.2 <i>Messung der Gravitationskonstanten</i></p> <p>5.3 <i>Gezeiten</i></p> <p>5.4 <i>Kosmische Geschwindigkeiten</i></p> <p>5.5 <i>Keplersche Gesetze und Weltbilder</i></p>		
<p><b>6. Schwingungen</b></p> <p>6.1 <i>Zum Schwingungsbegriff</i></p> <p>6.2 <i>Der harmonische Oszillator</i></p> <p>6.3 <i>Ausgewählte Schwingungsbeispiele</i> <i>Das mathematische Pendel</i> <i>Das Foucault Pendel</i> <i>Das physikalische Pendel</i></p> <p>6.4 <i>Resonanz</i></p> <p>6.5 <i>Schwingungsarten</i></p> <p>6.6 <i>Überlagerungen von Schwingungen</i></p>		
<p><b>7. Wellen</b></p> <p>7.1 <i>Polarisation von Wellen</i></p> <p>7.2 <i>Huygensches Prinzip</i></p> <p>7.3 <i>Energie einer Welle</i></p> <p>7.4 <i>Das Doppler Prinzip</i></p> <p>7.5 <i>Ultraschall in der Medizin</i></p>		
<p><b>8. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase</b></p> <p>8.1 <i>Elastische Verformung, Hooksches Gesetz</i></p> <p>8.2 <i>Ruhende Flüssigkeiten</i> <i>Schweredruck</i> <i>Auftrieb, Schwimmstabilitäten</i> <i>Archimedisches Prinzip</i></p> <p>8.3 <i>Druck in Gasen</i> <i>Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Dichte</i> <i>Schweredruck in Gasen, Barometrische Höhenformel</i></p> <p>8.4 <i>Strömende Flüssigkeiten und Gase (Strömungsmechanik)</i> <i>Einteilungen von Strömungen</i> <i>Kontinuitätsgleichung, Bernoullische Gleichung, Druckmessung</i></p>		
<p><b>9. Mechanik starrer Körper</b></p> <p>9.1 <i>Modell starrer Körper</i></p> <p>9.2 <i>Kräfte am starren Körper, Drehmoment</i></p> <p>9.3 <i>Trägheitsmoment</i></p> <p>9.4 <i>Grundgesetz der Dynamik des rotierenden starren Körpers</i></p> <p>9.5 <i>Steinerscher Satz</i></p> <p>9.6 <i>Drehimpuls, Drehimpulserhaltungssatz</i></p>		

## Anhang X: Fragebogen zum Fach Physik

Ich hatte Physik in der Oberstufe

- als Leistungskurs
- als Grundkurs
- abgewählt

Ich studiere

- Lehramt für RS
- Lehramt für GHS
- \_\_\_\_\_

Physik ist mein

- 1./2. Fach
- weiteres Fach

Mit diesem Fragebogen sollen Sie Auskunft darüber geben, wie der Physikunterricht **Ihrer Meinung nach** bislang in Ihrer Schul- bzw. Universitätszeit gewesen ist. Kreuzen Sie bitte bei jeder Aussage die Ziffer an, die am deutlichsten Ihren Standpunkt widerspiegelt.

### Die Ziffern haben dabei die Bedeutung wie Noten in der Schule:

**Die Aussage...**

- ① = ... trifft voll und ganz zu.
- ② = ... trifft zu.
- ③ = ... trifft eher zu.
- ④ = ... trifft eher nicht zu.
- ⑤ = ... trifft nicht zu.
- ⑥ = ... trifft gar nicht zu.

1. Physikunterricht macht Spaß.	①	②	③	④	⑤	⑥
2. Der Unterrichtsstoff in Physik ist für mich verständlich.	①	②	③	④	⑤	⑥
3. Ich schaue zu Hause in Büchern, im Internet oder ähnlichem nach, um mehr zu Themen aus dem Physikunterricht zu erfahren.	①	②	③	④	⑤	⑥
4. Meine Leistungen in Physik sind nach meiner eigenen Einschätzung gut.	①	②	③	④	⑤	⑥
5. Ich beteilige mich aktiv am Physikunterricht.	①	②	③	④	⑤	⑥
6. Ich erwarte, dass meine Leistungen in Physik in Zukunft gut sein werden.	①	②	③	④	⑤	⑥
7. In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch über die Übungen hinaus mit Themen, die mit Physik zu tun haben.	①	②	③	④	⑤	⑥
8. Es gelingt mir meistens, die Aufgaben im Physikunterricht zu lösen.	①	②	③	④	⑤	⑥

**Die Aussage...**

① = ... trifft voll und ganz zu.

② = ... trifft zu.

③ = ... trifft eher zu.

④ = ... trifft eher nicht zu.

⑤ = ... trifft nicht zu.

⑥ = ... trifft gar nicht zu.

9. Ich freue mich auf den Physikunterricht.	①	②	③	④	⑤	⑥
10. Ich bin im Physikunterricht konzentriert.	①	②	③	④	⑤	⑥
11. Ich strenge mich in Physik mehr an als in anderen Fächern.	①	②	③	④	⑤	⑥
12. Ein physikalisches Problem zu lösen, macht mir Spaß.	①	②	③	④	⑤	⑥
13. Durch die Aufgaben kann ich das behandelte Thema verstehen.	①	②	③	④	⑤	⑥
14. Ich spreche oft mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge aus dem Physikunterricht.	①	②	③	④	⑤	⑥
15. Physik ist mein Lieblingsfach.	①	②	③	④	⑤	⑥
16. Im Physikunterricht geht es um Dinge, die mit dem täglichen Leben zu tun haben.	①	②	③	④	⑤	⑥
17. Die Organisation des Physikunterrichts beschneidet meine Möglichkeiten, frei zu planen, wann ich anfallende Arbeit für das Fach erledige.	①	②	③	④	⑤	⑥
18. Mir gefällt der Physikunterricht.	①	②	③	④	⑤	⑥
19. Wenn ich mich mit einem physikalischen Problem beschäftige, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	①	②	③	④	⑤	⑥
20. Meine Probleme und Vorstellungen bezüglich eines Themas werden bei der Planung und Durchführung des Unterrichts berücksichtigt.	①	②	③	④	⑤	⑥

## Anhang Y: Reflexionsbogen 2 (Unistudie)

Vorlesung Mechanik Wintersemester 07/08			
			<input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich
Pseudonym	Alter	Semesterzahl	Geschlecht

Trifft gar nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft voll und ganz zu
--	-	(-)	(+)	+	++

1. Die JiTT-Übungen sind für mich schwerer zu lösen als „normale“ Übungen.	--   -   (-)   (+)   +   ++
2. Ich finde die JiTT-Übungen interessanter als „normale“ Übungen.	--   -   (-)   (+)   +   ++
3. Studenten werden durch JiTT in unzumutbarer Weise kontrolliert.	--   -   (-)   (+)   +   ++
4. Studenten sollten stets das Recht haben, den Zeitpunkt der Übungs-Anfertigung selbst zu bestimmen.	--   -   (-)   (+)   +   ++
5. Zur Erledigung der JiTT-Übungen war mehr Zeit vonnöten als für „normale“ Physik-Übungen.	--   -   (-)   (+)   +   ++
6. Fachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Übungen wichtiger als bei „normalen“ Hausaufgaben.	--   -   (-)   (+)   +   ++
7. Sprachliche Korrektheit war mir bei den JiTT-Übungen wichtiger als bei „normalen“ Übungen.	--   -   (-)   (+)   +   ++
8. Ich hatte meistens ein mulmiges Gefühl, wenn mein Übungs-Statement auf der Folie präsentiert wurde.	--   -   (-)   (+)   +   ++
9. Das Präsentieren des Statements eines Studenten in der Veranstaltung läuft auf eine Bloßstellung dieses Studenten hinaus.	--   -   (-)   (+)   +   ++
10. Das Diskutieren der Statements während der Veranstaltung war sehr interessant.	--   -   (-)   (+)   +   ++
11. In JiTT-Veranstaltungen habe ich den Unterrichtsstoff sehr gut verstanden.	--   -   (-)   (+)   +   ++
12. Um dem Unterrichtsverlauf während einer JiTT-Veranstaltung folgen zu können, ist ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit notwendig.	--   -   (-)   (+)   +   ++
13. In JiTT-Veranstaltungen fiel es mir sehr schwer, wichtige Aspekte des behandelten Stoffes in mein Heft zu notieren.	--   -   (-)   (+)   +   ++
14. Beim JiTT-Verfahren wiegen die Nachteile schwerer als die Vorteile.	--   -   (-)   (+)   +   ++

<b>Reflexionsbogen 2 zum Fach PHYSIK</b> Datum: Kurs:	Pseudonym:  Geschlecht: weiblich <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/>
---	---

15. Sie haben in den vergangenen Wochen den JiTT-Übungstyp kennen gelernt. Wo liegen Ihrer Meinung nach Vorteile dieses Übungstyps, wo Nachteile?

16. Sie haben in den vergangenen Wochen das JiTT-Unterrichtsverfahren kennen gelernt. Wo liegen Ihrer Meinung nach Vorteile des Verfahrens, wo Nachteile?