

Untersuchungen zum flow-Erleben bei Experimenten als physikalische Lerngelegenheit

Jirka Müller

Univ.-Diss.

zur Erlangung des akademischen Grades

"doctor rerum naturalium"

(Dr. rer. nat.)

in der Wissenschaftsdisziplin "Physikdidaktik"

eingereicht an der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

Institut für Physik und Astronomie

der Universität Potsdam

Ort und Tag der Disputation:

Potsdam, 28.08.2020

Hauptbetreuer: Herr Prof. Dr. Andreas Borowski

Betreuer*innen: Herr Prof. Dr. Andreas Borowski, Frau Dr. Uta Magdans

Gutachter*innen: Herr Prof. Dr. Andreas Borowski,
Frau Prof. Dr. Heike Theyßen,
Herr Prof. Dr. Amitabh Banerji

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
<https://doi.org/10.25932/publishup-48287>
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-482879>

Inhalt

1 Einführung	4
1.1 Motivation	4
1.2 Struktur der vorliegenden Arbeit	6
2 Flow-Erleben.....	8
2.1 Wesen des Flow-Erlebens	8
2.2 Flow-Erleben als eine Ursache von Motivation.....	10
2.3 Lernförderliche Wirkung des flow-Erlebens.....	17
2.4 Diskussion gängiger Testinstrumente zur Untersuchung des flow-Erlebens	20
2.5 Methodische Schlussfolgerungen aus bisherigen Untersuchungen	31
3 Empirischer Vergleich der Testinstrumente.....	33
3.1 Forschungsfragen zur Vermessung des flow-Erlebens.....	33
3.2 Design	35
3.3 Ergebnisse.....	35
3.3.1 Rohdaten	37
3.3.2 Ergebnisse zu FF1.....	40
3.3.3 Ergebnisse zu FF1a.....	46
3.3.4 Ergebnisse zu FF1b.....	53
3.3.5 Ergebnisse zu FF2.....	56
3.4. Diskussion	59
3.4.1 Diskussion der Rohdaten	59
3.4.2 Diskussion bezüglich FF1.....	59
3.4.3 Diskussion bezüglich FF1a.....	61
3.4.4 Diskussion bezüglich FF1b.....	63
3.4.5 Diskussion bezüglich FF2.....	63
3.4.6 Zusammenfassung der Diskussion	64
4 Flow-Erleben bei physikalischen Experimenten verbessern	65
4.1 Förderliche Elemente für das Flow-Erleben	65
4.2 Fördern von flow-Erleben bei physikalischen Experimenten als Lerngelegenheit	67
5 Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone (FELS)	70
5.1 Adaption eines Alltagsobjekts zur Nutzung im Physikunterricht.	70
5.2 Smartphoneexperimente im Physikunterricht.....	72
5.3 Forschend-entdeckendes Lernen	76
5.4 Kontexte	79
5.5 Durchführung der Smartphoneexperimente als Hausaufgaben	81
5.6 Synthese: Eine FELS – Sequenz.....	82

5.7 Weitere inhaltliche Beispiele.....	90
5.8 Mögliche Kompetenzentwicklung bei FELS	92
5.9 FELS - eine Zwischenbilanz	99
6 Empirische Untersuchung smartphonegestützter Experimente	100
6.1 Forschungsfragen zur Teilevaluierung von FELS	100
6.2 Design	103
6.2.1 Flow-Erleben in klassischen Laborexperimenten.....	104
6.2.2 Flow-Erleben bei Smartphoneexperimenten im Grundpraktikum.....	105
6.2.3 Flow-Erleben bei Smartphoneexperimenten im Kurs Physikalische Schulexperimente	105
6.3 FELS light.....	107
6.4 Ergebnisse.....	109
6.4.1 Ergebnisse zu FF3.....	109
6.4.2 Ergebnisse zu FF4.....	111
6.4.3 Ergebnisse zu FF5.....	112
6.4.4 Ergebnisse zu FF6.....	113
6.5 Diskussion	114
6.5.1 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF3	114
6.5.2 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF4	114
6.5.3 Zwischenfazit zum flow-Erleben in physikalischen Experimenten	115
6.5.4 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF5	116
6.5.5 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF6	116
7. Zusammenfassung.....	118
8. Ausblick.....	121
Anhang	122
A.1 Detailbeschreibungen der durchgeführten Smartphoneexperimente	122
A.2 Aufgabenblätter der durchgeführten Smartphoneexperimente.....	126
Experimentieraufgabe Beschleunigung	126
Experimentieraufgabe Schwingung	128
Experimentieraufgabe Rotation.....	130
A.3 Bedingungsanalyse.....	132
Abbildungsverzeichnis.....	135
Tabellenverzeichnis	136
Abkürzungsverzeichnis	138
Literaturverzeichnis	140
Danksagung	150

1 Einführung

1.1 Motivation

„Es genügt, sich im Zimmer umzusehen, um buchstäblich bei fast jedem Gegenstand oder Einrichtung in irgendeiner Weise auf naturwissenschaftlich-technische Produkte zu stoßen. Deshalb ist die Feststellung leicht einsehbar, daß die Beschäftigung mit Naturwissenschaft und Technik die zivilisatorische Weltveränderung primär möglich gemacht hat.“ (Buchholz, 1969, S. 196) Der Technisierungsgrad nimmt seitdem weiter zu und hat heutzutage mit Smartphones als tragbarer Computer und Kommunikationsplattform ubiquitäre Ausmaße erreicht.

Um zunächst die Schüler*Innenleistung zu verbessern, erfolgte seit dem PISA-Schock bei der Kultusministerkonferenz (KMK) ein konsequentes Umdenken von Unterricht. Anstatt auf das aus Inhalten und Strukturelementen bestehende Fachwissen zu fokussieren, wurden Lernziele im Sinne einer Kompetenzentwicklung definiert. Nach Weinert (2001, S.27) sind Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“. Dadurch änderte sich die Zielsetzung von Unterricht weg von einer Input- und hin zu einer Outputorientierung. Im Rahmen dieser Outputorientierung werden Schüler*Innen handelnd tätig. Bereits XunZi fand vor über 2000 Jahren für die Umorientierung von Lehr- zu Lernzielen Worte. Für ihn dauert „wahres Lernen [...] an, bis es in Handlung umgesetzt ist“ (XunZi, 1994, S. 81).

Umso erstaunlicher ist es, dass Physik als Grundlagen schaffende Naturwissenschaft seit mindestens 20 Jahren das unbeliebteste Schulfach in Deutschland (IPN Interessensstudie, PISA 2015) ist. Gleichwohl die Ergebnisse bei den physikbezogenen PISA-Tests allmählich besser werden und ein allgemeines Interesse an Physik als Wissenschaft besteht, möchten deutlich weniger Schüler*Innen als im OECD Durchschnitt einen Beruf im so genannten MINT (Mathematik Informatik Naturwissenschaften Technik)-Bereich ergreifen (PISA 2015). Diese Problematik verschärft den Fachkräftemangel (Dallmann, 2019) in diesen für die Wirtschaft wichtigen Berufen noch einmal zusätzlich.

Börlin (2012) fand heraus, dass in Deutschland ein Großteil der im Physikunterricht zur Verfügung stehenden Zeit für Experimente sowie deren Vor- und Nachbereitung verwendet wurde. Daher müssen Schüler*innen vor allem zum Experimentieren bzw. zur Vor- und Nachbereitung von Experimenten motiviert werden. Wenn die Lernenden nicht motiviert sind, nutzen auf Schüler*Innenhandlungen

ausgerichtete und kompetenzorientierte Lernarrangements wenig, da Motivation nach Weinert (2001) eine Voraussetzung für Kompetenz und damit auch für deren Entwicklung ist.

Motivation ist die „aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand“ (Rheinberg, 2010, S. 379), d.h. Schüler*Innen beschäftigen sich mit Physik, weil für sie z. B. eine gute Note in Physik wichtig ist. Im Idealfall aber sollten die Schüler*Innen sich von sich aus mit Physik beschäftigen wollen, ohne auf äußere Anreize wie Noten angewiesen zu sein. Nur mit dieser intrinsischen Motivation beschäftigen sich Lernende lang genug mit dem Thema und erleben dabei Freude. Leider ist das Desinteresse an Physik scheinbar generationsübergreifend in der Gesellschaft verankert, sodass die Schüler*Innen eher noch in ihrer Einstellung bestärkt werden. Dies macht eine Motivationsänderung nicht nur noch schwieriger und zeitaufwändiger. Vielleicht müssen hierfür auch in Anlehnung an Planck (1948) die alten Ansichten aussterben, bevor sich neue durchsetzen können. Das könnte bedeuten, dass es einen langen und zähen, ja generationsübergreifenden Prozess darstellen könnte.

Psychologische Konstrukte wie Motivation und Einstellungen sind zeitlich jedoch eher stabil (Scheffer & Heckhausen, 2010) und erfordern gezielte und langfristige Intervention zur Einflussnahme oder gar Änderung. Selbst bei längeren Treatments ist dies nur schwer zu erreichen und selbst wenn Schüler*Innen Spaß erleben, lernen sie aufgrund der hierfür aufgewendeten Zeit die zu erwerbenden Kompetenzen nicht umfänglich (Prenzel et al., 2008).

Noch ist aber unklar, wie sich Motivation bei Lernenden gezielt steigern lässt. Forschende Physiker bspw. berichten oft von kurzen, aber sehr freudig empfundenen Erlebnissen, in denen sie mühelos und völlig selbstvergessen Probleme bearbeiten. Dieses so genannte flow-Erleben gilt als zentrale Motivationsursache Forschender (Csikszentmihalyi, 2014b). Die zentralen Fragen sind also, was flow-Erleben ist und wie es bei Lernenden während der Beschäftigung mit Physik erzeugt werden kann.

Nach Rheinberg (2010, S. 380) ist flow-Erleben „das selbstreflexionsfreie gänzliche Aufgehen in einer glatt laufenden Tätigkeit, bei der man trotz voller Kapazitätsauslastung das Gefühl hat, den Geschehensablauf noch gut unter Kontrolle zu haben.“ Die Theorie des flow-Erlebens (Csikszentmihalyi, 2014a) bietet einen die Selbstwirksamkeitserwartung (Deci & Ryan, 1993) ergänzenden Erklärungsansatz für Motivation an. So werden flow-Erleben auslösende Tätigkeiten auf der Suche nach flow-Erleben wiederholt ausgeführt. Hierdurch entwickelt sich im zeitlichen Verlauf Motivation für diese Tätigkeiten (vgl. Unterkapitel 2.2).

Immerhin setzen sich Schüler*Innen während des flow-Erlebens intensiver mit dem physikalischen Lerngegenstand auseinander und wenden entsprechende Kompetenzen verstärkt an. Darüber hinaus würde das den Wunsch bei den Schüler*Innen freisetzen, sich erneut mit Physik auseinander zu setzen.

Aufgrund von kurzfristigen, flow-Erleben verursachenden Lerngelegenheiten kann demnach langfristig Motivation für den Physikunterricht generiert werden. Demnach ist es sinnvoll, flow-Erleben beim Erlernen von Physik gezielt hervorzurufen.

Um flow-Erleben in der Physik zu induzieren, wurden im Rahmen dieser Forschungsarbeit zwei unterschiedliche Ansätze gewählt. Beim ersten Ansatz wurde das flow-Erleben bei der Durchführung von Smartphoneexperimenten im Alltag untersucht. Dies soll eine Abschätzung erlauben, in wie weit diese Art des Experimentierens einen Beitrag zur Motivationssteigerung beim Physiklernen leisten kann. Da in der Literatur quasi keine vergleichenden Daten klassischer physikalischer Lerngelegenheiten als Referenz vorlagen, wurden diese für die Durchführung klassischer Praktikumsexperimente in einem zweiten Ansatz selbst generiert.

Zur weiteren Untersuchung im Rahmen physikalischer Lerngelegenheiten wird in dieser Arbeit das zu untersuchende Phänomen als flow-Erleben bezeichnet. Das daraus abgeleitete psychologische Konstrukt wird hingegen als flow bezeichnet, um Verwechslungen des Phänomens mit dem Konstrukt und den daraus abgeleiteten Messmethoden vorzubeugen.

1.2 Struktur der vorliegenden Arbeit

Die verschiedenen Messinstrumente für das flow-Erleben scheinen untereinander nicht immer konsistente Ergebnisse zu liefern (vgl. Unterkapitel 2.4). Zur Einordnung eigener Ergebnisse in den Forschungsstand ist aber ein Vergleich der mit z. T. unterschiedlichen Instrumenten erhobenen Ergebnisse nötig. Dies verlangt, dass die verschiedenen Testinstrumente von einer spezifischen Schwerpunktsetzung abgesehen das gleiche Konstrukt messen müssen. Zur Überprüfung der Validität eines solchen Vergleichs wird die in dieser Studie eingesetzte Flow-Kurz-Skala (FKS) von Reichwald et al. (2003) um ein weiteres Testinstrument für flow ergänzt, welches als Referenzrahmen bei der inhaltlichen Validierung anderer Testverfahren genutzt wird. Die Ergebnisse beider Testverfahren können so direkt miteinander verglichen werden, unabhängig von der Situation bzw. Handlung, in der sich der Proband befand. Nach der Untersuchung der inhaltlichen Konsistenz beider Testinstrumente zum flow-Erleben, werden in einem zweiten Schritt die gleichen Daten zur gruppenspezifischen Analyse der einzelnen Lerngelegenheiten genutzt. Dieses zweigeteilte Vorgehen wird als nötig erachtet, um die Lerngelegenheiten valide zu charakterisieren. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten, ist die Arbeit entsprechend in einen methodischen und einen inhaltlich-forschenden Abschnitt zweigeteilt

Im Ersten Teil, in Kapitel zwei und drei, wird Flow als psychologisches Konstrukt vorgestellt. Dabei werden flow-Erleben charakterisiert sowie Studien vorgestellt und diskutiert, die Zusammenhänge

zwischen flow und lernförderlichen affektiven bzw. kognitiven Aspekten herausfanden (u.a. Pfister, 2002; Rheinberg et al., 2003; Krombass et al., 2007; Püttner, 2009). In diesem Rahmen werden auch drei grundsätzlich verschiedene Messmethoden des flow sowie ausgewählte Studien auf der methodischen Ebene kritisch diskutiert. Zur Aussagengenerierung wird oft nur eine bzgl. des flow-Erlebens formal definierte zwei-Item-Messung genutzt, gleichwohl es immer wieder Zweifel an der inhaltlichen Validität dieses Testverfahrens gibt (Pfister, 2002; Rheinberg et al., 2003; Aellig, 2004; Krombass et al., 2007). Im Rahmen der Daten aus den beiden Lernarrangements wird die formal definierte Messmethode mit der inhaltlich definierten Flow Kurzsкала (FKS) (Rheinberg et al., 2003) verglichen. Die Auswahl von Studierenden anstatt Schüler*Innen als Probanden ist das Ergebnis der kritischen Auseinandersetzung des methodischen Vorgehens einiger ausgewählter Studien.

Im zweiten Teil dieser Arbeit werden im vierten und fünften Kapitel aus der Theorie heraus Ansätze zur Verbesserung des flow-Erlebens herausgearbeitet und auf das Lernen physikalischer Inhalte am Beispiel von Experimenten bezogen. Aus diesen Ansätzen heraus wird mit FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone) ein Lernarrangement vorgestellt, bei dem Lernende smartphonegestützt experimentieren (Müller, Magdans & Borowski, 2018a). FELS erhebt den Anspruch, einen motivationalen Brückenschlag zwischen Alltagserfahrungen der Lernenden und dem vermeintlich davon entfernten Physikunterricht zu bilden. Wenn aus theoretischer Sicht flow-Erleben eine Ursache von Motivation ist (vgl. Unterkapitel 2.3.), sollte sich dieser motivationssteigernde Anspruch auch beim flow-Erleben der Lernenden wieder finden lassen. Im sechsten Kapitel erfolgt die entsprechende Untersuchung zweier Lernarrangements. In beiden Lernarrangements führten Studierende physikalische Experimente durch. Beim Ersten handelt es sich um klassische Laborexperimente, die im schulischen Rahmen als tradierte Schüler*innenexperimente im Fachraum durchgeführt werden. Beim zweiten Lernarrangement handelt es sich um in der Lebenswelt der Lernenden durchgeführte Smartphoneexperimente.

Studierende wurden als Probanden ausgewählt, weil sie u. a. eine Positivauswahl darstellen. Sollte diese Positivauswahl kaum flow-Erleben während der Experimente verspüren, wird flow-Erleben von normalen Schüler*innen wahrscheinlich noch geringer ausfallen. Ferner findet mit diesen erhobenen Daten eine Teilevaluation von FELS statt.

Die Kapitel 7 und 8 fassen die Kernaussagen dieser Arbeit noch einmal zusammen und geben einen Ausblick auf künftige Forschungsbereiche.

2 Flow-Erleben

Zum besseren Verständnis soll an dieser Stelle noch einmal Motivation kurz definiert und der in Unterkapitel 2.2 diskutierte Zusammenhang zum flow-Erleben kurz dargelegt werden. Der Begriff Motivation umfasst alle Ursachen, Antriebe sowie Anreize einer Handlungsbereitschaft sowie das Streben nach Zielen. Motivation ist damit „ein gedankliches Konstrukt für Prozesse, die Verhalten aktivieren sowie dieses hinsichtlich seiner Richtung, Ausdauer und Intensität steuern“ (Hobmair et al., 1997, S. 158). Wird die Analogie der klassischen Mechanik verwendet, in der Kräfte u.a. Ursachen für Bewegungsänderungen darstellen, so wären Motivationen Ursachen für Handlungsänderungen. Ein wichtiger Nebenschauplatz dabei ist die Erforschung von Motivationsursachen. Die Kenntnis von Motivationsursachen würde entsprechende Stellschrauben zur Motivationssteigerung vorhersagen. Das flow-Erleben stellt eine solche Ursache dar (s. Unterkapitel 2.2).

Dieses Theoriekapitel soll das flow-Erleben mitsamt seiner Relevanz für das Lernen charakterisieren und bildet die Grundlage für Kapitel 4. Darüber hinaus wird das erste Set an Forschungsfragen (s. Kapitel 3) durch die Diskussion verschiedener psychometrischer Zugänge zum flow hergeleitet.

2.1 Wesen des Flow-Erlebens

Erste Motivationstheorien bis in die 50er Jahre hinein modellierten Leistungsmotivation (Rheinberg, 1989). Dabei wurde zwischen einem erfolgssuchenden und einem misserfolgsvermeidenden Motiv unterschieden. Der Fokus lag hierbei auf Prozessen, die ergebnisorientiert waren, beispielsweise Ansehens- oder Lohnerwerb. Der Kontext des Lehrens und Lernens konnte mit diesen Theorien nicht zufriedenstellend modelliert werden. Zu viele Beobachtungen von Lernenden als Einzelfälle konnten nicht erklärt werden, was Handlungsempfehlungen an Lehrende schwierig bzw. unbefriedigend machte (Rheinberg, 1989). Ende der 70er Jahre führte Csikszentmihalyi (1985) eine Interviewstudie unter anderem mit Bergsteigern als Probanden durch. Ziel dieser Interviewstudie war es herauszufinden, warum Menschen Tätigkeiten wie Bergsteigen oder Tanzen ausüben, die eben nicht auf ein weiterführendes Ziel hin ausgerichtet sind bzw. deren Resultate nicht mit einem Gütemaßstab gemessen werden. Csikszentmihalyi (2014a) fand in seiner Untersuchung mit verschiedenen Probandengruppen drei gemeinsame Auswirkungen heraus, die er unter dem Konstrukt des flow-Erlebens subsummierte. Flow-Erleben stellt demnach die Vereinnahmung des Bewusstseins in der Tätigkeit dar, gibt ein Gefühl der Kontrolle und verändert das Zeitgefühl.

Die Vereinigung von Tätigkeit und Bewusstsein entsteht, weil die Aufmerksamkeit einzig auf die ausgeübte Tätigkeit ausgerichtet ist und alles andere nicht mehr ins Bewusstsein gelangt. Äußere

Stimuli und Gedanken abseits der Tätigkeit werden ausgeschlossen. Dies schließt auch Gedanken wie Hoffnungen und Befürchtungen bzw. Erinnerungen mit ein, sodass Vergangenheit und Zukunft im Moment des flow-Erlebens für dieses Individuum aufhören zu existieren (Csikszentmihalyi, 2014b).

Ein weiterer interessanter Effekt des flow-Erlebens ist die Einschränkung des Zeitgefühls. Während des flow-Erlebens ist die Aufmerksamkeit vollständig auf die Tätigkeit ausgerichtet, die von Moment zu Moment durchgeführt wird. Dieses Eintauchen in die Tätigkeit selbst bewirkt, dass die Zeit scheinbar schneller vergeht. Die Uhrzeit wird also ersetzt durch Erlebnissequenzen der Aktivität (Csikszentmihalyi, 2014b). Einstein beschrieb in seiner Metapher zur Relativität der Zeit genau das vom flow-Erleben induzierte veränderte Zeitgefühl: „Eine Stunde mit einem hübschen Mädchen vergeht wie eine Minute, aber eine Minute auf einem heißen Ofen scheint eine Stunde zu dauern“ (Calaprice, 1997, S. 154). Auch das Gefühl für Timing entsteht nach Csikszentmihalyi (2014 a) nicht durch ein reines Zeitgefühl, sondern aus einer Herausforderungssituation heraus. Die Ursache der beim flow-Erleben veränderten Zeitwahrnehmung hat bereits James (1890) beschrieben. Für ihn entsteht Langeweile genau dann, wenn das Verstreichen der Zeit selbst bewusst wahrgenommen wird, wobei Langeweile und Angst quasi konkurrierende Wahrnehmungszustände zum flow-Erleben darstellen (s. Unterkapitel 2.4).

Im Gegensatz zum Alltag gibt es im flow-Erleben keine Befürchtung, die Kontrolle zu verlieren. Dies gilt umso mehr bei Extremsportarten. Wegen der dort herrschenden, freiwillig eingegangenen Risiken müssen die Kontrollverlustmöglichkeiten gegen null gehen. Im Gegensatz zum alltäglichen Straßenverkehr können alle Risiken an einer Wand beim Klettern gut abgeschätzt werden. Gleichwohl erwähnt werden muss, dass es sich in diesem Beispiel eher um das Abschätzen von Möglichkeiten und weniger von Gegebenheiten handelt. Flow-Erlebnisse sind nicht zuletzt deswegen so angenehm und befriedigend, weil dieses Kontrollgefühl die Sorge eines Misserfolgs der Handlung reduziert. Aus philosophischer Sicht wäre zu klären, ob das eher reflexive Gefühl der Kontrolle über die Handlung bereits während der Handlung oder erst rückblickend auf die Handlung nach deren festgestellten Meisterung vorliegt. Dies kann jedoch empirisch nicht geklärt werden, weil aus psychometrischer Sicht eine Selbsteinschätzung zur aktuell ausgeführten Handlung zeitlich (unmittelbar) nach der einzuschätzenden Handlung stattfindet.

Zur Ausschärfung des Konstrukts flow wurden in weiteren fragebogenbasierten Folgestudien Zusammenhänge zwischen bekannten psychometrischen Konstrukten und dem flow-Erleben gesucht. Ziel war dabei die Ausschärfung der phänomenologischen Beschreibung des flow-Erlebens sowie die Überführung in eine theoriebasierte Beschreibung. Hierfür wurde die experience sampling method (ESM) entwickelt. Die Probanden gehen während der ESM-Untersuchung ihren normalen Tagesablauf nach. Sobald die Probanden benachrichtigt werden, füllen diese jeweils einen Fragebogen aus. Dies

erfolgt mehrmals über den Tag verteilt zu für die Probanden unbekanntem Uhrzeiten. Hierdurch sollten die Probanden ihre Einschätzungen bezogen auf die aktuell ausgeführte Tätigkeit für ein möglichst breites Tätigkeitsspektrum sowohl während der Arbeitszeit als auch im Privaten dokumentieren. Dabei sollte das Flow als Konstrukt ausgeschärft werden. Die Ergebnisse verfeinerten die oben aufgelisteten Auswirkungen zu einer Reihe von Merkmalen, die von Rheinberg ausformuliert wurden:

- „Handlungsanforderungen und Rückmeldungen werden als klar und interpretationsfrei erlebt, so dass man jederzeit und ohne nachzudenken weiß, was jetzt als richtig zu tun ist.
- Man fühlt sich optimal beansprucht und hat trotz hoher Anforderung das sichere Gefühl, das Geschehen noch unter Kontrolle zu haben.
- Der Handlungsablauf wird als glatt erlebt. Ein Schritt geht flüssig in den nächsten über, als liefe das Geschehen gleitend wie aus einer inneren Logik. (Aus dieser Komponente rührt wohl die Bezeichnung »Flow«.)
- Man muss sich nicht willentlich konzentrieren, vielmehr kommt die Konzentration wie von selbst, ganz so wie die Atmung. Es kommt zur Ausblendung aller Kognitionen, die nicht unmittelbar auf die jetzige Ausführungsregulation gerichtet sind.
- Das Zeiterleben ist stark beeinträchtigt; man vergisst die Zeit und weiß nicht, wie lange man schon dabei ist. Stunden vergehen wie Minuten.
- Man erlebt sich selbst nicht mehr abgehoben von der Tätigkeit, man geht vielmehr gänzlich in der eigenen Aktivität auf (sog. »Verschmelzen« von Selbst und Tätigkeit). Es kommt zum Verlust von Reflexivität und Selbstbewusstheit.“ (Rheinberg, 2000, S. 153)

Wenn diese Merkmale im Rahmen einer Tätigkeit erfüllt sind, kann von Flow-Erleben gesprochen werden. Unklar ist jedoch, ob alle Merkmale die gleiche Wertigkeit besitzen oder wohlmöglich in kausalem Zusammenhang zueinander stehen (Aellig, 2004). Trotzdem kann das Flow-Erleben phänomenologisch zusammenfassend als „das selbstreflexionsfreie gänzliche Aufgehen in einer glatt laufenden Tätigkeit, bei der man trotz voller Kapazitätsauslastung das Gefühl hat, den Geschehensablauf noch gut unter Kontrolle zu haben“ (Rheinberg et al., 2010, S.380) beschrieben werden.

2.2 Flow-Erleben als eine Ursache von Motivation

Flow-Erleben gilt als starke Triebkraft für die Ausbildung von intrinsischer Motivation sowie für die Verbesserung von Fertigkeiten (Csikszentmihalyi, 2014a). Rheinberg (2010) merkt hierzu an, dass das Gegensatzpaar intrinsisch – extrinsisch zu Verwirrungen führe. Grund hierfür ist die Nutzung dieses Begriffspaares in der Literatur für verschiedene Sachverhalte. Bisherige Motivationstheorien können

bezogen auf die Nutzung des Begriffs intrinsische Motivation in zwei Kategorien eingeteilt werden (Aellig, 2004). Einerseits wird der Ursprung in der Person selbst gesehen und meint nichts anderes als eine handlungsorientierte Bedürfnisbefriedigung. Viele Theorien lassen sich dabei (Lepper & Henderlong, 2000) einem Bedürfnis der Neugierde, der Herausforderung, der Kontrolle oder des Kontexts zuordnen. Die vielzitierte und recht bekannte Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993, 2002) kann in diese Gruppe von Theorien eingeordnet werden (Aellig, 2004). Im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie streben Menschen nach Erfüllung der Bedürfnisse nach Kompetenzerleben, Autonomieerleben und der sozialen Eingebundenheit. Handlungen, bei denen die Bedürfnisse nach Autonomieerleben, Kompetenzerleben und sozialer Eingebundenheit erfüllt sind, führen durch die Bedürfnisbefriedigung zu einem gewissen Wohlbefinden und werden wiederholt. Dies führt letztlich zu intrinsischer Motivation für die entsprechende Handlung. Die Wunscherfüllung von Kompetenzerwerb und Selbstbestimmung sind demnach die entscheidenden Ziele einer Handlung (Schneider, 1996). Das Genießen „von aufregendem Risiko“ (Rheinberg, 2010, S. 369) oder „das Einssein mit der Natur“ (Rheinberg, 2010, S. 369) können mit der Selbstbestimmungstheorie jedoch nicht erklärt werden.

Darüber hinaus gibt es Motivationsansätze, die ein Erleben in der Tätigkeit als Ursache intrinsischer Motivation propagieren und sich durch die Fokussierung auf Emotionserleben gleichsam bei den zuvor genannten einordnen ließen und damit ergänzend zu diesen angeordnet werden können (Aellig, 2004). Andere Ansätze strukturieren hingegen die gegebenen Situationen anstatt nach Ursachen zu suchen. Dabei wird die Tätigkeit selbst als eine Art Ziel definiert. Je nach Theorie wird dabei zwischen Handlung und Ergebnis, der Kontextzugehörigkeit von Tätigkeit und Ergebnis bzw. Folgen sowie

zwischen Ergebnis und Folgen unterschieden. Das erweiterte kognitive Motivationsmodell von Rheinberg (1989) lässt sich hier einordnen (vgl. Abb. 2.1).

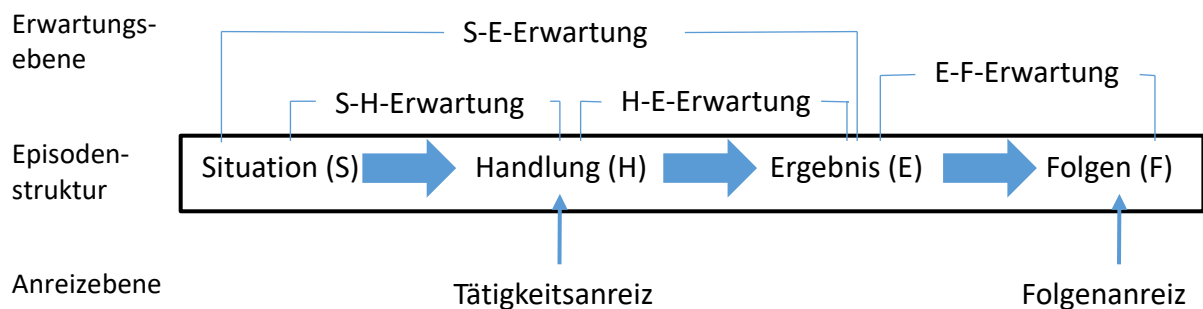


Abb. 2.1: Erweitertes kognitives Motivationsmodell, das eine Handlungsepisode motivational auf Grundlage von Erwartungen und Anreizen modelliert (nach Rheinberg, 1989, S. 104). Die real von außen beobachtbare, aber subjektiv vom durchlaufenden Individuum gedeutete Episodenstruktur wird von verschiedenen Erwartungen des in der Episodenstruktur befindlichen Individuums beeinflusst. Je nachdem, wie ausgeprägt die einzelnen Erwartungen sind, wird eine Handlung ausgeführt oder auch nicht. Die Anreizebene stellt hingegen eine motivationale Interpretationsebene der beobachteten Episodenstruktur dar.

Nach dem erweiterten kognitiven Motivationsmodell (Reichwald, 1989) kann als beobachtbare Episodenstruktur im Rahmen einer gegebenen Situation eine Handlung mit einem gewissen Ergebnis erfolgen, das wiederum Folgen nach sich ziehen kann (vgl. Abb. 2.1). Das Fortlaufen der Episodenstruktur kann mit der Erwartungsebene modelliert werden. In Abhängigkeit von den einzelnen Erwartungen eines Individuums in der Situation wird vom Individuum eine Handlung ausgeführt. Wenn beispielsweise erwartet wird, dass die Situation ohne eigene Handlung in ein Ergebnis mündet, wird dies die Motivation handelnd tätig zu werden verringern. Die Erwartung, dass aufgrund der Handlung ein erwünschtes Ergebnis eintritt, wird hingegen zum Handeln motivieren. Darüber hinaus kann eine Person Folgen auf Grundlage eines Ergebnisses erwarten. Die Anreizebene stellt eine motivationale Interpretation der Erwartungen des Individuums dar. Der Tätigkeitsspezifische Vollzugsanreiz stellt demnach eine Interpretation der Situations-Handlungserwartung dar. Die Anreize künftiger Umwelt- und Binnenzustände, auch als zielorientierte Anreize bezeichnet, bilden analog die Erwartungen bzgl. der Folgen ab.

Als Ersatz für die zum Teil widersprüchliche Definition intrinsischer und extrinsischer Motivation werden von Rheinberg (2010) tätigkeitsspezifische und zielorientierte Anreize vorgeschlagen. Durch die Betonung auf zentriert können auch Handlungen beschrieben werden, die Anteile von Tätigkeitsanreizen und Folgenanreizen in sich vereinen. Es ist zwar vergleichsweise einfach eine Person über einen zielzentrierten Ansatz zum Handeln zu veranlassen. Zum Beispiel kann die von einer/m

Lernenden erwartete Freude der Lehrkraft über die Erfolge der/s Lernenden sich motivierend auf den Lernprozess auswirken.

Das Problem aber wird an diesem Beispiel bereits deutlich. In einer Studie mit Studierenden fand Rheinberg (1989) heraus, dass nur 36 % des wachen Alltags mit Tätigkeiten verbracht wurden, die einem zielorientierten Anreiz unterlagen und damit aufgrund der erwarteten oder erhofften Folgen ausgeführt wurden. 48 % der vollführten Handlungen ließen sich hingegen einem tätigkeitszentrierten Anreiz zuordnen, wurden also um ihrer selbst willen ausgeführt. Die restlichen 16 % der Handlungen verfielen auf Routinehandlungen, was auf eine gute Operationalisierbarkeit hindeutet. Tätigkeitszentrierte Anreize nach Rheinberg (2010), die um ihrer selbst willen ausgeübt werden, werden in anderen Studien als autotelisch bezeichnet (Aellig, 2004).

Physiklernen als Tätigkeit kann in beiden Anreizkategorien eingeordnet werden. Ein zielorientierter Anreiz würde vorliegen, wenn zur Erlangung einer guten Note gelernt werden würde. Der tätigkeitszentrierte Anreiz hingegen liegt vor, wenn die Beschäftigung mit Physik an sich Spaß macht und dabei das Lernen entsprechender Inhalte als eine Art Nebeneffekt bereitwillig in Kauf genommen wird. Die Evaluation der in einer Tätigkeit gesammelten Erfahrung führt zu einer von drei Konsequenzen, nämlich dem Weitermachen oder Wiederholen, der Veränderung der ausgeübten Tätigkeit sowie dem Abbruch (*Csikszentmihalyi*; 2014a). Im Sinne einer Motivationsgenerierung bezogen auf das Physiklernen besteht ein Interesse an einen der ersten beiden Konsequenzen. Ohne ein Erfreuen an der Tätigkeit selbst oder ggf. weiterer externer Anreize zur Ausübung dieser wird die Tätigkeitsausführung, hier das Physiklernen, beendet.

Folgeanreize wie Belohnungen können dabei nicht beliebig gesteigert werden und ein zu gehäuftes Auftreten schmälert deren Wertigkeit (Rheinberg, 2010). Für das Erfreuen an der Handlung selbst erscheint glücklicherweise sogar die ursprüngliche Eingangsmotivation der Handlung irrelevant zu sein. Aellig (2004) warnt daher auch, flow-Erleben mit tätigkeitszentriertem Anreiz gleichzusetzen. Flow-Erleben stellt einerseits nur eine mögliche Form eines tätigkeitszentrierten Anreizes dar. Andererseits kann auch bei einer Handlung auf Grundlage eines zweckzentrierten Anreizes während des Handlungsvollzugs ein flow-Erleben als eine Begleiterscheinung der Handlung entstehen und ihr damit einen tätigkeitsorientierten Anreizcharakter verleihen. Dies kann so weit führen, dass die zunächst zweckzentrierten Anreize während der Handlung durch das flow-Erleben in den Hintergrund treten und tätigkeitszentrierte Anreize der Handlung die Fortführung eben dieser bestimmen. Dies wird als Paradoxon der Leistungsmotivation bezeichnet (Rheinberg, 2010). In diesem Zusammenhang kann auch das so genannte Paradoxon der Leistungsmotivation (Rheinberg, 2010) die motivationssteigernde Wirkung des flow-Erlebens bzgl. formellen Lerngelegenheiten ausschärfen.

Leistungsmotivation ist für sich genommen ein Folgeanreiz, der mit der Zielerreichung weg fällt. Das Lernen für einen Physiktest hört mit dem erfolgreichen Bestehen des Testes auf. Manchmal mag es aber vorkommen, dass auch nach dem Test weiter gelernt wird, um eine ggf. bessere Note durch mündliche Mitarbeit oder ähnliches zu erreichen. Der Wunsch nach immer besserer Performanz erschafft einen Tätigkeitsanreiz aus einem implizierten Leistungsmotiv heraus (Rheinberg, 2010). Die Lernenden werden quasi angezogen von Situationen mit Herausforderungen im Rahmen eines effizient-optimalen Funktionierens. Ziele werden in den Dienst von Tätigkeitsvorlieben gestellt. Beim Malen und im (kunst)handwerklichen Bereich tritt zuweilen das Ergebnis hinter der Schaffensfreude zurück und ein flow-Erleben findet statt.

Unter geeigneten Bedingungen erzeugt flow-Erleben zusätzlich eine Korruptionresistenz (Rheinberg, 2010). Hentsch (1992) fand heraus, dass das flow-Erleben der stärkste Motivationsgrund zum Anfertigen von Bildern bei professionellen Malern ist. Im Gegensatz zu Menschen, die dieser Passion als Hobby nachgehen und denen ein Tätigkeitsanreiz unterstellt werden kann, erhalten professionelle Maler zielzentrierte Anreize in Form von Geld in zum Teil nicht unerheblichem Ausmaß. Trotz diesem externen ausgelösten zielzentrierten Anreiz wurden die professionellen Maler eben nicht korrumpiert und verloren nicht ihre tätigkeitzentrierten Anreize. Rheinberg (2010) argumentiert dies, dass professionelle Maler als Experten ihres Handwerks auch komplexe Handlungsabläufe automatisiert ausführen können. Dadurch stellt sich ein glatter Verlauf der Tätigkeit ein, sie haben ein flow-Erleben.

Wenn flow-Erleben also die Vereinnahmung in die Handlung darstellt, dann führt flow-Erleben zum Erfreuen an der Tätigkeit und damit auch zu einer intrinsischen Befriedigung. Das so genannte Circumplexmodell des Befindens (vgl. Abb. 2.2) modelliert menschliche Emotionen sowie den Drang Tätigkeiten auszuführen und beinhaltet als Modell die positive Aktivierung (PA) und negative Aktivierung (NA) als Kombinationen von Valenz (V) und Aktivierung (A), die ebenfalls mit abgebildet werden (Rheinberg, 2010). Jede dieser Skalen kann dabei niedrig oder hoch ausgeprägt sein und beschreibt eine Gefühlslage. PA geht von träge, müde, gelangweilt und unkonzentriert zu tatkräftig, hellwach, konzentriert und begeistert. NA reicht von entspannt, gut gelaunt, ruhig und sorgenfrei bis gestresst, verärgert, nervös und besorgt. VA bildet den Gemütszustand von unglücklich und

unzufrieden bis zu glücklich und zufrieden ab. Aktivierung stellt den Grad des Antriebs für Verhalten dar und löst Emotionen aus.

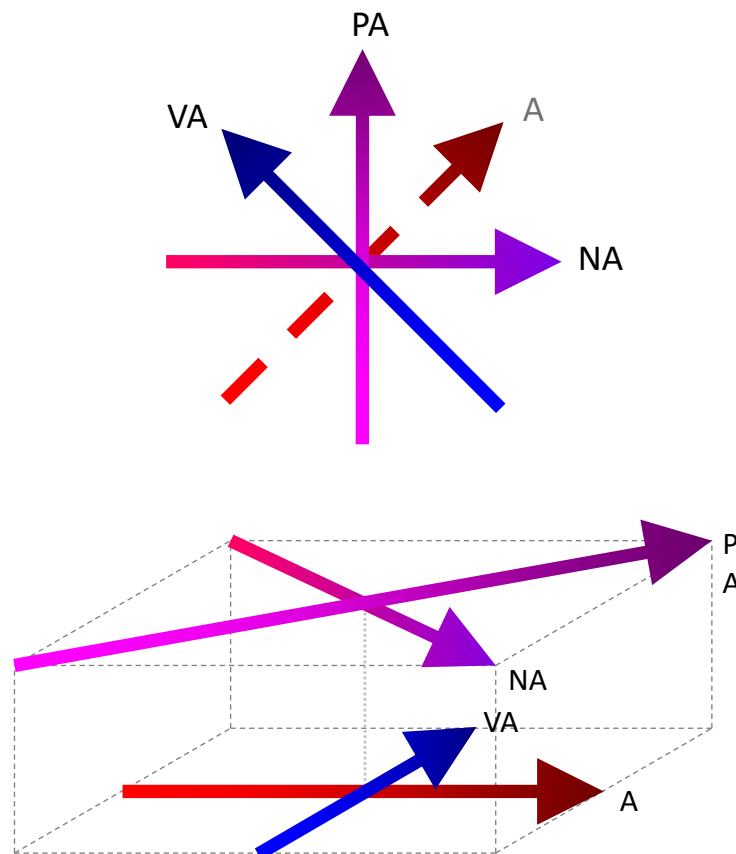


Abb. 2.2: Das Circumplexmodell des Befindens (oben) (nach Rheinberg, 2010, S. 376) modelliert auf den Achsen Valenz (VA) menschliche Emotionen und auf der Achse Aktivierung (A) den Grad des Antriebes, eine Handlung zu vollführen bzw. eine Emotion auszuleben. Positive und negative Aktivierung (PA bzw. NA) stellen eine positiv bzw. eine negativ konnotierte Verschränkung der Achse Aktivierung mit der Achse Valenz dar. Die Verschränkung ist durch eine additive Farbmischung der Achsen dargestellt. Da positive und negative Aktivierung eigene psychometrische Konstrukte mit eigenen Testinstrumenten darstellen, werden sie als eigenständige Achsen dargestellt. Aufgrund der Wichtigkeit im Rahmen neuerer Forschung wurden die Achsen entsprechend so rotiert, dass positive und negative Aktivierung in den Vordergrund rücken. Dieses Modell beinhaltet damit zwei eigenständige Koordinatensysteme, die einen gemeinsamen Wertebereich abdecken und ineinander transformiert werden können (unten).

Motivation im Allgemeinen ist nach Rheinberg (2008, S. 379) die „aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand“ und wird am treffendsten durch die positive Aktivierung charakterisiert. Die negative Aktivierung entspricht dabei einer Besorgniskomponente und ist damit eine Hemmnis für eine Handlung. Untersuchungen (Pfister, 2002; Aellig, 2004; Rheinberg, 2010) zeigten, dass zumindest auch teilweise gewisse Hochphasen der negativen Aktivierung während Hochphasen der positiven Aktivierung existieren. Interpretiert wird

dies mit einer aufmerksamkeitserschaffenden leicht besorgten Erregung, die im Fall von Klettern als Handlung das Überleben sichern kann (Rheinberg, 2010) und hierdurch nicht notwendigerweise motivationshemmend wirken muss.

Beim flow-Erleben wird die Motivation zum Ausüben der Tätigkeit aus der Tätigkeit selbst heraus generiert und stellt somit einen tätigkeitszentrierten Anreiz dar, bei dem PA und VA ggf. zeitlich versetzt hoch ausgeprägt sind (Rheinberg, 2010, Pfister, 2002). Csikszentmihalyi (2014a) verwendet hierfür den Ausdruck „emergent motivation“. Demnach sind das Erleben von Absorbiertheit sowie Interesse als Inbegriffe des flow-Erlebens Hauptursachen tätigkeitszentrierter Anreize.

Als eine Theorie über die Generierung von Motivation und damit letztlich der Beweggründe menschlichen Handelns und Verhaltens wird die Theorie des flow zum Teil ganzheitlich gedeutet. Gleichwohl flow-Erleben häufig positiv konnotiert wird, kann es aber auch negative Folgen für das Individuum und die Gesellschaft haben. „Like other forms of energy, from fire to nuclear fission, it can be used for both positive and destructive ends“ (Csikszentmihalyi & Rathunde, 1993, S. 91). Rheinberg (2010) stellte fest, dass die Intensität des flow-Erlebens beim Motorradfahren mit entsprechenden Unfällen mit einem Korrelationskoeffizienten¹ $r = 0.32$ korreliert. Im Fall von Soldaten kann dies auch auf das Bekämpfen und Töten von Feinden zutreffen, welches als erfreulich erlebt wird (Harari, 2008).

Gleichwohl Csikszentmihalyi seine Theorie als allumfassend ansieht und damit einen „Motor der gesamten Menschheitsentwicklung“ (Aellig, 2004, S. 49) gefunden zu haben glaubt, so hat sie doch Grenzen. Im Rahmen einer ganzheitlichen Theorie zur Erklärung menschlichen Verhaltens wurden auch nicht überprüfbare Hypothesen aufgestellt, von denen sich diese Arbeit inhaltlich distanziert. Dennoch soll im Rahmen einer Gültigkeitsgrenze des Modells flow anhand ausgewählter Hypothesen dieser Art erklärt werden, dass die flow-Theorie nicht die einzige Erklärung menschlichen Verhaltens darstellen kann. So wird die Suche nach flow-Erleben im ansonsten langweiligem Alltag als eine mögliche Ursache von Jugendkriminalität und Drogenkonsum interpretiert (Csikszentmihalyi, 2014b). Schüler (2007) begründet dies damit, dass flow-Erleben über den psychischen Belohnungsfaktor, durch den flow-Erleben mit als Ursache für Motivation gilt, zur Abhängigkeit führen kann. Andere Tätigkeiten, welche kein flow-Erleben auslösen, werden im Zweifelsfall zu Gunsten von Tätigkeiten wie z.B. Spielen, Internetnutzen und Drogenkonsum aufgegeben (Schüler, 2007). Als Steigerung dieser Aussage sieht Csikszentmihalyi (2014b) die steigende Suizidrate in einem Mangel an flow-Erleben an und leitet von

¹ Der Korrelationskoeffizient r ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier Größen und stellt die Wurzel des Bestimmtheitsmaßes dar. Dabei können Werte zwischen -1 und 1 angenommen werden. Bei $r < |0.3|$ wird von einem kleinen, bei $r > |0.5|$ von einem guten und bei $r > |0.8|$ von einem starken Zusammenhang gesprochen. Ein $r = 0$ entspricht einer gleichmäßig verteilten Punktwolke. Das Vorzeichen gibt dabei die Richtung der Abhängigkeit an.

der Notwendigkeit der Zielklarheit für ein flow-Erleben ab, dass das Erwachsenwerden kein anerkanntes Ziel mehr sei. Empirisch überprüfbar ist diese Hypothese aus ethischen Gründen jedoch nicht. Ferner begründet Csikszentmihalyi (2014a) mit der Theorie zum flow auch gesamtgesellschaftliche Prozesse. Am Beispiel der Puritaner argumentiert Csikszentmihalyi (2014b), dass ihre Lebensweise zu Beginn flow-Erleben auslöste, in späteren Generationen jedoch nicht mehr. Puritaner waren demnach eine religiöse Gesellschaft, die sich selbst Regeln auferlegte. Gleichwohl es ihnen verboten ist, Vergnügen zu haben und ungezwungen zu sein, produzierten die Regeln viele Momente des Genusses. Durch klare Regeln, ein klares Ziel und eine entsprechende Messvorschrift gelang es demnach Calvin, das Leben der Menschen in eine Art "Spiel" zu konvertieren, welches viele Momente mit einem flow-Erleben auslösen konnte. Zu dem Zeitpunkt, als die einst frei auferlegten Regeln zu Zwängen wurden und durch die Etablierung zu langweilen begannen, wurden die Momente mit flow-Erleben weniger bzw. hörten auf.

Wie Csikszentmihalyi (2014b) zusammenfassend beschreibt, ist flow-Erleben eine Motivationsursache. Er interpretiert flow-Erleben als inversen Wunsch, woanders zu sein und etwas anderes tun zu wollen. Im Gegensatz dazu liegen im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie die Ursachen einer Handlung nicht unmittelbar in der Handlung selbst, sondern werden am Ende durch die Handlung als Ziel erreicht. Durch die Verschiedenheit der Selbstbestimmungstheorie und der des flow-Erlebens sei erwähnt, dass sich beide Theorien zur Erklärung intrinsischer Motivation ergänzen können (Krombass, Urahn & Harms, 2007).

2.3 Lernförderliche Wirkung des flow-Erlebens

In den wenigsten Studien wurde das flow-Erleben als alleiniges psychometrisches Konstrukt gemessen. Für eine Aufklärung des Wesens des flow-Erlebens war es von Beginn an wichtig, flow-Erleben mit anderen psychometrischen Konstrukten in Beziehung zu setzen und damit das Wesen vom flow-Erleben zu erforschen. Vorrangig betraf dies das Gebiet der Motivation und des emotionalen Befindens sowie verschiedene Kontrollvariablen wie das Vorhandensein einer Zielvorstellung in verschiedenen Situationen, zumeist während der Ausübung eines Hobbys bzw. alltäglicher Handlungen in Freizeit und beruflicher Tätigkeiten. Im weiteren Verlauf kamen auch Lernsituationen hinzu.

Aus theoretischer Sicht verstärkt flow-Erleben die Fähigkeitsentwicklung über drei verschiedene Stränge (Landhäuser & Keller, 2012; Ruth et al., 2017). Wie in Unterkapitel 2.2 gezeigt, steigert flow-Erleben die Motivation und damit die Bereitschaft, sich länger und häufiger mit einem Gegenstand zu beschäftigen bzw. eine Handlung auszuüben. Pozas, Löffler, Schnotz & Kauertz (2018) zeigten, dass Interesse sich nicht direkt auf die Handlung auswirkt, sondern über flow-Erleben mediiert wird. Ruth

et al. (2017) fanden in ihrer Studie zum Rezipieren von Musik ebenfalls einen Zusammenhang zwischen flow-Erleben und Mögen heraus. Flow-Erleben tritt nicht nur bei positiven Einstellungen und Emotionen auf, es kann diese auch hervorrufen und damit Gelerntes stabil verankern.

Darüber hinaus wirkt sich flow-Erleben direkt auf die aktuell noch in der Ausführung befindliche Handlung positiv aus (Pozas et al., 2018). Bei steigender Intensität des flow-Erlebens stellen sich Lernende für sie selbst größeren Anforderungen, müssen sich dem mit gesteigerten Fähigkeiten stellen und beschäftigen sich intensiver mit dem Lerngegenstand (Landhäuser & Keller, 2012). Bereits Woodworth (1918) hatte die Vermutung, dass Absorption in der Handlung förderlich für die entsprechende Fähigkeitsentwicklung ist. Auch Rheinberg (2010) stellte fest, dass flow-Erleben durch die Absorbiertheit lernförderlich wirkt, sofern die ausgeübte Tätigkeit nicht zu riskant ist. Im Besonderen scheint dies beim autonomiefördernden Lernen der Fall zu sein. Wenn Lehrkräfte das Schüler*innenhandeln nicht mehr durch entsprechendes Eingreifen stören, sondern die Schüler*innen ihr eigenes Tempo beim Bearbeiten der Aufgaben wählen können, hatten Schüler*innen ein stärkeres flow-Erleben (Hofferber et al., 2015). Einerseits verhindert das Eingreifen der Lehrkraft eine tiefere Absorbiertheit in die Schüler*innenhandlung und führt damit zu einem Reduzieren des flow-Erlebens (Hofferber et al., 2015). Andererseits begünstigt die Wahl des eigenen Tempos, etc. die wahrgenommene Passung zwischen Anforderung und Fähigkeit, was das flow-Erleben begünstigt (Hofferber et al., 2015).

Je intensiver und länger Lernende sich mit einem Lerngegenstand auseinandersetzen, desto mehr werden entsprechende Kompetenzen sowohl in Qualität als auch in Quantität genutzt und schlussendlich trainiert. Dies betrifft im Besonderen Handlungen, bei denen die Schüler*innen produktorientiert entweder Aufgaben per plug&chuck lösen oder aber möglichst zügig Protokolle mit entsprechend unsorgsam akquirierten Messwerten versehen wollen, um möglichst zügig fertig zu werden oder diese als unangenehm empfundene Situation hinter sich zu haben (Sander 2000). Flow-Erleben kann genau dem entgegenwirken, wie Püttmann (2009) herausfand.

Püttmann (2009) ließ in ihrer Studie ein Physiklernprogramm von Schüler*innen bearbeiten, welches aus mehreren gleichartigen Aufgaben bestand, wobei nach jeder Aufgabe unter anderem das flow-Erleben mittels Fragebögen sowie andere Variablen der Nutzung des Lernprogramms vom PC mit aufgezeichnet wurden. Das flow-Erleben korrelierte dabei mit der Qualität der Mediennutzung im Lernprogramm mit $r = 0.46^{***2}$ und mit der zeitlichen Dauer der Mediennutzung mit $r = 0.30^{**}$, wobei

² In dieser Arbeit werden drei verschiedene Signifikanzstufen genutzt. Höchstsignifikant wird mit *** kodiert und liegt bei $p \leq 0.001$ vor. Hochsignifikant wird mit ** kodiert und liegt bei $p \leq 0.01$ vor. Signifikant wird mit * kodiert und liegt bei $p \leq 0.05$ vor. Die Irrtumswahrscheinlichkeit p der zu prüfenden Hypothese gibt an, wie wahrscheinlich das erhaltene Ergebnis für den Fall ist, dass die Daten aus einer gleichverteilten Grundgesamtheit ermittelt wurden und die getestete Hypothese fälschlicherweise angenommen wird.

es keine geschlechertypischen Unterschiede gab (Püttmann, 2009). Obwohl flow-Erleben als höchst flüchtig angesehen wird (Hoblitz, 2015), blieb das flow-Erleben mit guten bis sehr hohen Korrelationskoeffizienten von $0.66 \leq r \leq 0.98^{**}$ intraindividuell über die gesamte Treatmentlänge stabil (Püttmann, 2009). Das flow-Erleben korrelierte mit der an die Nutzung des Lernprogramms anschließenden Testleistung mit $r = 0.52^{**}$ sowie mit der Motivation mit $0.51 \leq r \leq 0.73^{**}$ (Püttmann, 2009).

Auch andere Studien stützen diese Ergebnisse. Engeser et al. (2005) haben das flow-Erleben beim freiwilligen Lernen von Fremdsprachen bzw. bei der Bearbeitung von Übungsaufgaben im Rahmen einer verpflichtenden Statistikvorlesung gemessen. Beim Fremdsprachenlernenklärte das zuvor ermittelte flow-Erleben rund 10 % der Leistungsvarianz der Prüfung auf und bei der Statistikklausur noch 4 % der Leistungsvarianz (Engeser et al., 2005). Für die Statistikklausur bedeutet dies, dass das flow-Erleben während dem Rechnen der Übungsaufgaben genauso viel Varianz der Klausurleistung erklärte, wie das Ergebnis des Vorwissenstests (Engeser et al., 2005). Bischof (2003) stellte in diesem Rahmen jeweils eine Korrelation zwischen dem flow-Erleben und der Klausurnote von $r = 0.48^{**}$ sowie dem subjektiv erlebtem Lernzuwachs von $r = 0.41^{**}$ fest. Darüber hinaus stellten Krombass et al. (2007) in ihrer Studie zum Besuch eines Naturkundemuseums fest, dass das von ihnen ermittelte flow-Erleben gut mit den Skalen zur Selbstbestimmtheit, also Vergnügen, Wahlfreiheit und Kompetenzerleben mit $0.37 \leq r \leq 0.64$ aber nur schwach zu Anspannung mit $-0.19 \leq r \leq -0.35$ korreliert. Ibáñez et al. (2014, S.3) kamen so zu dem Schluss, dass „a main challenge in education is to foster learners' flow state.“ Die Ergebnisse der in diesem Unterkapitel genannten Studien scheinen diesen Schluss zu stützen. Allerdings sind Korrelationen keine Kausalitäten und die Wirkrichtung ist nicht immer bekannt. Ein Indiz liefert das Ergebnis von Krombass et al. (2007), deren gemessener höherer Wissenserwerb bei einem flow-Erleben während der Bearbeitungszeit der Aufgaben nicht signifikant war. Rheinberg (2010) stellte zudem einen Expertiseeffekt fest, bei dem Menschen mit auf die ausgeübte Handlung bezogenen hohen Fähigkeiten leichter in ein flow-Erleben kamen bzw. ein intensiveres flow-Erleben hatten. Püttmann (2009) hat ebenfalls einen Vorwissenstest durchgeführt und stellte eine Korrelation von $r = 0.40^{**}$ zwischen dem flow-Erleben und dem Vorwissen fest.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass gleichwohl die Wirkrichtung nicht immer eindeutig bekannt ist, flow-Erleben trotz allem mit lernförderlichen kognitiven und affektiven Komponenten gemeinsam auftritt. Da keine negativen Wirkungen für das Lernen bekannt sind, ist flow-Erleben minimal eine Begleiterscheinung leistungsstarker Lernender, im besten Fall geschlechterunabhängig lernförderlich für alle Lernenden egal welchen Niveaus. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, flow-Erleben in Lernsituationen zu fördern bzw. diese so zu gestalten, dass die lernenden ein möglichst intensives flow-Erleben haben (vgl. Kapitel 4).

2.4 Diskussion gängiger Testinstrumente zur Untersuchung des flow-Erlebens

Im vorherigen Unterkapitel wurden positive Korrelationen und Effekte des flow-Erlebens auf lernförderliche Konstrukte diskutiert. Die verwendeten Testinstrumente sind leider nicht immer identisch, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Bisher wurden im Wesentlichen drei verschiedene empirische Zugänge in der Literatur bei der Konstruktion von Testinstrumenten zur Messung des flow-Erlebens benutzt. Die verschiedenen Messvorschriften haben entsprechende Schwerpunktsetzungen. Leider stellt sich immer wieder heraus, dass sie auch in der Kernaussage zum flow-Erleben voneinander abweichende Aussagen generieren. Deswegen werden in diesem Unterkapitel die drei wesentlichen empirischen Zugänge chronologisch vorgestellt und aufeinander bezogen, da dies in der Literatur nur selten in einem verständnisfördernden Umfang erfolgte.

Aellig (2004) wies auf das Dilemma hin, dass ohne weitere Informationen über flow keine gute Messvorschrift für dieses Konstrukt kreiert werden kann und ohne ein valides Testinstrument keine Informationen über den Erlebniszustand des flow-Erlebens gesammelt werden können. Insofern wurden mögliche Auslösebedingungen und Eigenschaften des Erlebniszustands genutzt, um flow als Konstrukt ausschärfen zu können. Zunächst muss an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass implizit flow-ähnliche Konzepte zuvor bereits existierten. So kann das Modell des optimalen Erregungsniveaus nach Berlyne (1960) genannt werden. Demnach sehen sich Menschen mit vielen verschiedenen Reizen konfrontiert, die in der Bewusstheit verschiedener Fähigkeiten und Ressourcen entsprechend zum Handeln herausfordern. Gleichwohl dieser empirische Zugang nur ein Merkmal des flow-Erlebens abdeckt, bot es sich für Csikszentmihalyi (1995) daher an, flow als Verhältnis aus erlebter Anforderung und Fähigkeit zu definieren, um das synthetische Verhältnis des flow-Erlebens und einem wie auch immer positiv gearteten Gefühlszustand nicht durch einen analytischen Zugang leiden zu lassen. In der vorliegenden Arbeit wird diese Standardmessmethode über Jahrzehnte hinweg als zwei-Item-Messung bezeichnet. Da die zwei-Item-Messung ein Teilaspekt des in dieser Arbeit genutzten Testinstruments darstellt (vgl. Kapitel 3), wird sie im Folgenden zusammen mit den modellartigen Interpretationen ausführlicher diskutiert.

Der empirische Zugang der zwei-Item-Messung deckt nur ein Merkmal des flow-Erlebens ab. Hierin begründet sich bereits das Problem bisheriger Forschung zum flow-Erleben. Anstatt Testinstrumente zu inhaltlichen Komponenten des flow-Erlebens anhand der aus den Interviewstudien bekannten Merkmale (s. Unterkapitel 2.1) zu konstruieren, wurden die formalen Aspekte Herausforderung und Fähigkeit zur Messung benutzt und ein flow-Erleben entsprechend postuliert. Aellig (2004) umschreibt diese passend als die subjektiv empfundene Konfrontation mit einer Vielzahl an zum Handeln herausfordernden Möglichkeiten, die mit der Bewusstheit der eigenen Fähigkeiten und Ressourcen abgeglichen werden. Das hieraus entstehende Diagonalmodell (Abb. 2.3) bildet die drei möglichen Ergebnisse dieses Abgleichs mit den Bereichen Besorgnis bzw. Angst, der Langeweile und dem flow-Erleben ab.

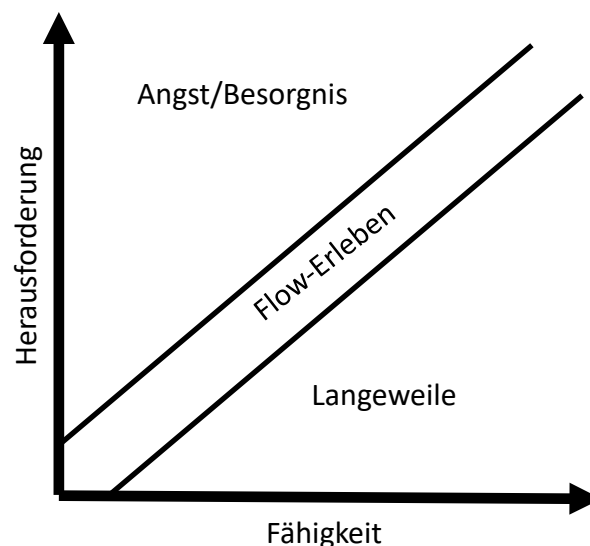


Abb. 2.3: Das Diagonalmodell (nach Krombass et al., 2007) postuliert flow-Erleben in einem dünnen Kanal als Passung zwischen erlebter Herausforderung und empfundener Fähigkeit. Übersteigt die Herausforderung die Fähigkeit, wird Angst oder Besorgnis erlebt. Übersteigt die Fähigkeit die Herausforderung entsteht Langeweile.

Diese Art der Messung bietet einen großen testökonomischen Vorteil. Bei der Untersuchung eines kaum bekannten und aus wenigen Interviews heraus postulierten Empfindungszustands, bei dem der Handlungskontext und der Untersuchungszeitpunkt Einflüsse darstellen, muss die Messmethode entsprechend gewählt werden. Hierfür entwickelten Csikszentmihalyi et al. (1977) die so genannte experience sampling method (ESM). Die Probanden bekamen Fragebögen ausgehändigt, die sie bei Erreichen eines vorher ausgemachten Signals ausfüllen sollten. Dies ermöglichte die Untersuchung verschiedener Handlungskontexte zum Zeitpunkt des Erlebens, benötigte aber einen entsprechend kurzen Fragebogen. Beide relevante Skalen wurden daher mit jeweils nur einem Item gemessen.

Qualitative Studien hingegen können nur sehr aufwendig, wenn überhaupt, zum Zeitpunkt der Handlungsausführung durchgeführt werden. Aus den Ergebnissen der Erlebnisqualitätsforschung (Aellig, 2004; Pfister, 2002) kann abgeleitet werden, dass retrospektive Messverfahren eher als ungeeignet eingestuft werden sollten.

Die ESM Messungen ergaben, dass ein flow-Erleben zwar bei dem postulierten Gleichgewicht von Herausforderung und Fähigkeit vorliegt, aber nur bei einem individuell überdurchschnittlichen Niveau. Ist das Niveau hingegen unterhalb des individuellen Durchschnitts, wird eine Art Apathie oder Teilnahmslosigkeit verspürt. Aufgrund dieser empirischen Ergebnisse wurde das Diagonalmodell (Abb. 2.3) zum Quadrantenmodell (Abb. 2.4) erweitert, welches bis heute zur Messung des flow-Erlebens genutzt wird (Aellig, 2004; Pfister, 2002). Diese Erweiterung verlagert den Bereich, bei dem flow-Erleben wahrgenommen wird. Demnach lösen Handlungen flow-Erleben aus, deren erlebte Anforderungen sowie die empfundene Fähigkeit auf einem individuell überdurchschnittlichen Niveau befinden. Eine exakte Passung wie noch beim Diagonalmodell wird hierfür nicht mehr eingefordert. Gleichwohl der Teil des ehemaligen schmalen Kanals in der unteren linken Ecke des Diagramms nun nicht mehr mit flow-Erleben interpretiert wird, hat sich durch den Wegfall der Forderung nach einer exakten Passung der Bereich des flow-Erlebens verbreitert. Auch wurden die beiden unteren Quadranten im Laufe der Zeit immer wieder umbenannt. Untersuchungen (Pfister, 2002; Aellig, 2004; Krombass et al., 2007) zeigten eine vergleichsweise positive Konnotation des Quadranten mit überdurchschnittlicher Fähigkeit im Vergleich zu unterdurchschnittlichen Anforderungen. Entsprechend verschob sich auch je nach Autor die Bezeichnung. Zuerst wurde der eben beschriebene Quadrant mit Langeweile gleichgesetzt, später wurde er als Entspannung gedeutet und der Apathie-Quadrant wurde zusätzlich mit Langeweile bezeichnet (Pfister, 2002).

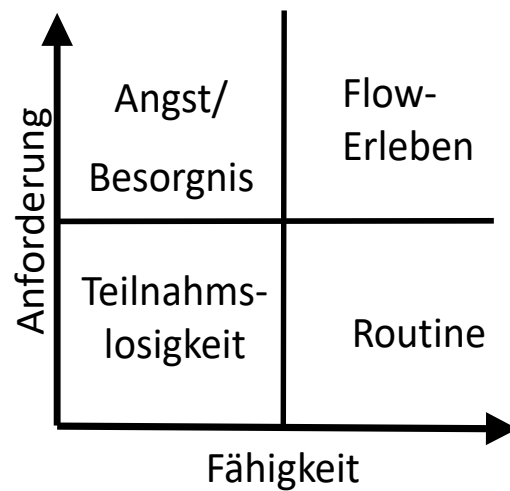


Abb. 2.4: Das Quadrantenmodell (nach Krombass et al., 2007) postuliert flow-Erleben erlebter Anforderung und empfundener Fähigkeit auf einem individuell überdurchschnittlichem Niveau. Sind beide jedoch auf einem individuell unterdurchschnittlichem Niveau wirkt das Individuum apathisch. Übersteigt die Anforderung die Fähigkeit, wird Angst oder Besorgnis erlebt. Übersteigt die Fähigkeit die Anforderung entsteht Entspannung.

Rheinberg et al. (2003) merken zu beiden Modellen (vgl. Abb. 2.3 und 2.4) an, dass Herausforderung eine nicht adäquate Skala darstellt. Nach der Leistungsmotivationstheorie (Atkinson, 1957) ist Herausforderung bereits das Zusammenspiel aus empfundener Anforderung und Fähigkeit. Entsprechend haben sie das dazugehörige Item in Anforderung umgeschrieben. Messungen bei Sportlern untermauern diesen Ansatz. Die von Läufern eingeschätzte Anforderung korreliert mit objektiv bestimmten Laktatwerten ($r = 0.43^*$) sowie gemessenen Herzfrequenzen ($0.6 < r < 0.7^*$), sodass Anforderung eine inhaltliche valide Verbalisierung des entsprechenden Items darstellt (Reinhardt et al., 2006). Pfister (2002) relativiert dieses Vorgehen und zeigt, dass die Mittelwerte beider Einzelitems sich fast nicht unterscheiden und mit $r = 0.75$ bei einer Standardabweichung von $SD = 0.13$ im Mittel korrelieren. Beide Items wurden sehr ähnlich beantwortet, nur die Standardabweichung war beim Herausforderungs-Item mit $SD = 1.89$ etwas größer als beim Anforderungsitem mit $SD = 1.74$, was auf eine „leichte Tendenz zu stärkeren individuellen Unterschieden“ hindeutet (Pfister, 2002, S. 122). Zusammenfassend kommt Pfister (2002, S. 127) zu dem Schluss, dass „Anforderungen und Herausforderung praktisch gleich verteilt und hoch positiv korreliert“ sind und es sich unter der Bedingung einer reflexiven Situationseinschätzung wohl um zwei Seiten eines Konstrukts handelt.

Über die Berechnung von Korrelationskoeffizienten wurden ebenso die Beziehungen zwischen Fähigkeit und Anforderung bzw. Herausforderung untersucht (Pfister, 2002). Auch hierbei gab es keine statistisch verwertbaren Unterschiede zwischen Anforderung und Herausforderung. Einzig der Grad der berechneten Korrelation zwischen Fähigkeit und Anforderung bzw. Herausforderung auf individueller Ebene streute stärker. Die Ergebnisse warfen hierdurch die Frage auf, ob auf individueller Ebene die Achsen Fähigkeit und Anforderung überhaupt völlig unabhängig voneinander sind. Dies stellt einen weiteren Zweifel an der traditionellen Operationalisierung des flow-Erlebens dar.

Darüber hinaus gibt es weitere Modellierungsansätze, um aus Messung von Anforderung und Fähigkeit das Maß an flow-Erleben zu bestimmen. Hier wären sowohl das Oktantenmodell sowie das Regressionsmodell zu nennen (Moneta, 2012). Das Oktantenmodell stellt gleichsam eine Erweiterung des Quadrantenmodells dar, indem es insgesamt acht Zustände aus der zwei-Item-Messung postuliert. Hieraus erwächst letztlich die gleiche Kritik wie beim Quadrantenmodell, weswegen auf weitergehende Erläuterungen hier verzichtet wird. Weiterhin kann das Regressionsmodell mit der Skala <Erfahrung> die zuvor beschriebene Messmethode in eine dritte Dimension erweitern. Auch ist unklar, welche Erlebnis- und Erfahrungskomponenten zwingend gleichbedeutend mit flow-Erleben sind. Das Vorgehen ist ebenfalls wie bei den zuvor genannten Modellen eine Postulierung von flow-Erleben aufgrund formaler Kriterien.

Um die Zwei-Item-Messung umgehen zu können, wurde der dem flow-Erleben innewohnender theoretisch postulierte Befindenzustand gemäß des PANAVA Modells (s. Abb. 2.2) empirisch untersucht (Aellig, 2004; Pfister, 2002). Ziel war es, ein valides Testinstrument für flow-Erleben zu entwickeln, um flow-Erleben unabhängig vom Postulat der zwei-Item-Messung hinsichtlich der Erlebnisqualität und den Auslösebedingungen in verschiedenen Kontexten bestimmen zu können (Aellig, 2004). Untersucht wurden hierbei die Konstrukte positive Aktivierung, negative Aktivierung und Valenz. Negative Aktivierung (NA) umfasst dabei als Befindlichkeitscharakter handlungshemmende Entspanntheit bei niedrigen Skalenwerten bis handlungswirksame Gestresstheit bei hohen und positive Aktivierung (PA) umfasst die Spanne der handlungshemmenden Lustlosigkeit bei niedrigen Skalenwerten bis hin zur handlungswirksamen Energiegeladenheit bzw. Motiviertheit bei hohen Skalenwerten. Valenz deckt den Bereich von Unzufriedenheit bei niedrigen Skalenwerten bis Zufriedenheit bei hohen Skalenwerten ab.

Pfister (2002) stellte zunächst die Abhängigkeiten zwischen den Befindlichkeitsaspekten des PANAVA-Modells und den beiden Konstrukten Anforderung sowie Fähigkeit fest. Anforderungen haben demnach einen positiven Einfluss auf PA, weil sie ein energiegeloses und motiviertes Engagement befördern. Zeitgleich nehmen aber auch die Stressgefühle zu, sodass die NA ebenfalls ansteigt. Hierdurch nehmen letztlich Glücksgefühle und damit die Valenz ab. Eine steigende Fähigkeit mindert

den Stress und steigert zunächst die Zufriedenheit, was positiv auf die Valenz wirkt. Auch die PA entwickelt sich hierdurch, gleichwohl nicht so stark wie durch die erlebte Anforderung. Der Effekt der Fähigkeit auf die Valenz ist dabei quadratisch, aber nur linear auf die PA (Pfister, 2002). Diese Ergebnisse spiegeln sich auch in den Befindlichkeitscharakteren der jeweiligen Quadranten des Quadrantenmodells wieder. Im flow-Quadrant ist die PA am größten und die NA sowie die Valenz sind durchschnittlich ausgeprägt. Im Angst-Quadranten ist die NA am größten ausgeprägt, die Valenz hat hingegen die niedrigsten Werte. Im Apathie-Quadranten herrschte eine Energie- und Lustlosigkeit, die sich in niedrigen Werten der PA spiegelt. Im Entspannungs-Quadranten liegen Entspannung und Ruhe vor, die sich in tiefen Werten für NA und auch PA sowie in hohen Werten für die Valenz widerspiegeln. Eine empirische Studie von Aellig (2004) konnte diese Überlegungen als Gruppierung im PANAVA-Modell im Wesentlichen finden (s. Abb. 2.5). Da es sich um Kletterer handelte, ist die Gruppe „Teilnahmslosigkeit“ wahrscheinlich nicht vorhanden, weil sich keine Kletteranfänger/Nichtkletterer darunter befanden. Nicht zuletzt durch die Interpretation einer entsprechenden Häufigkeitsverteilung im Rahmen einer Clusteranalyse konnte ein Erlebnisprofil gezeichnet werden, „welches mit großer Wahrscheinlichkeit Flow abbildet“ (Aellig, 2004, S. 154).

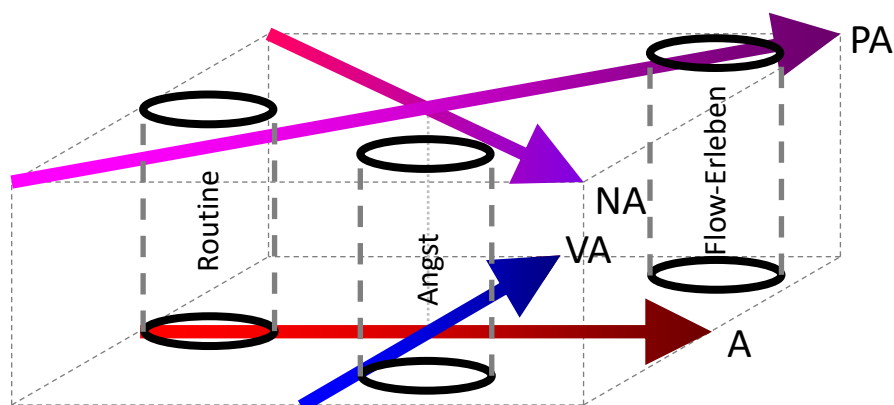


Abb. 2.5: Die im Rahmen einer Clusteranalyse gefundenen Befindenzustände wurden mit den aus dem Quadrantenmodell heraus postulierten Erlebniszuständen interpretiert und als flow-Erleben, Angst und Entspannung im Circumplexmodell des Befindens verortet (nach Aellig, 2004, S. 154).

Pfister (2002) fand heraus, dass flow-Erleben in der Freizeit und in arbeitstechnischen Kontexten anders bzgl. der Valenz erlebt wird. Die von Pfister (2002) gemessene Valenz war bei flow-Erleben während freizeittlicher Aktivitäten theoriekonform hoch, in arbeitstechnischen Aktivitäten fiel die Valenz auch bei flow-Erleben relativ gering aus. Einzig die PA war theoriekonform in jedem Kontext stark ausgeprägt während der flow-Erleben. Aufgrund der kontextabhängigen Messniveaus der Valenz

postulierte Pfister (2002) zumindest zwei verschiedene flow-Zustände, einen Arbeitsflow und einen Freizeitflow.

Überraschenderweise wurden nebst hohen Werten der PA auch erhöhte Werte der NA gemessen (Pfister, 2002; Aellig, 2004; Rheinberg, 2010). Rheinberg (2010), aber insbesondere Aellig (2004) lösten die Messpunkte zeitlich auf. Aellig (2004) maß beim Bergklettern als Kontext bei als flow-Erleben interpretierten Messzeitpunkte hohe Werte für die PA, erhöhte Werte für die NA, jedoch keine stark erhöhten Werte für Valenz. Diese stellten sich zeitlich versetzt erst danach ein. Dieses empirische Ergebnis hatte Csikszentmihalyi (1997, S. 48) bereits erklärend vorhergesagt: „Erst wenn die Aufgabe bis zum Ende durchgeführt ist, haben wir Zeit und Musse und können auf das Geschehene zurückblicken. Dann aber überwältigt uns ein Gefühl der Dankbarkeit für das herausragende Erlebnis – und wir sind im Nachhinein glücklich.“ Für Aellig (2004) liefern diese Ergebnisse eine Erklärung für die positiven Schilderungen im Rahmen von Interviews im Vergleich zu den gemessenen Werten für Valenz und NA. Während die im Rahmen der NA gemessenen negativen Gefühle bei der Handlungsdurchführung präsent waren, wurde die Erinnerung daran durch die Glücksgefühle nach dem flow-Erleben quasi verdrängt. Dieses Nachlaufen kann die verschiedenen flow-Arten erklären, die Pfister (2002) postulierte. Allerdings werden Fragen bezüglich den Ergebnissen der ESM-Messungen aufgeworfen (Aellig, 2004). Offenbar können die Datenpunkte nicht so unabhängig voneinander aufgefasst werden, was die Korrelation mit anderen Konstrukten der Erlebnisqualität angeht.

Darüber hinaus gibt Aellig (2004) selbst zu, dass sich der Angst-Quadrant statistisch zu wenig vom flow-Quadranten in den Messungen unterschied, um das flow-Erleben einwandfrei aus der Erlebnisqualität heraus ableiten zu können. Darüber hinaus wurde die Frage aufgeworfen, ob nicht sogar eine kleine Überforderung zu flow-Erleben führen könne (Aellig, 2004).

Letztlich kommt auch hierbei die Forderung nach einer besseren Operationalisierung des flow-Erlebens auf. Formal haben Pfister (2002) und auch Aellig (2004) hingegen nur gezeigt, welche Komponenten des PANAVA-Modells mit den sich jeweils aus der Messung aus Anforderung und Fähigkeit ergebenden Quadranten korrelieren. Und obwohl es die Eingangsmotivation war, die Aussagen des Quadrantenmodells mit einem anderen Instrument zu ersetzen, setzte auch Pfister (2002) das entsprechende Verhältnis aus Anforderung und Fähigkeit bei einem individuell hohen Niveau dem flow-Erleben zur Aussagengenerierung gleich. Schallberger (2000, S.59) merkt dabei an, dass das Quadrantenmodell „zumindest statistisch gesehen erstaunlich gut“ funktioniert. Schiefele (1992) ging noch einen Schritt weiter. Für ihn sei es normal, „Flow mit der Passung von Herausforderung und Fähigkeit gleichzusetzen und dabei die Passung gewissermaßen als objektivstes Kriterium für das Auftreten von Flow aufzufassen“ (Schiefele, 1992, S.96).

Eine Messvorschrift für das flow-Erleben aus der Erlebnisqualität heraus abzuleiten, wird als zweifelhaft betrachtet. Die Messungen von Aellig (2004) zeigen selbst, dass statistisch sehr ähnliche Befindensqualitäten verschieden erlebt werden. Es darf daher angezweifelt werden, ob flow-Erleben und eine entsprechend geartete Erlebnisqualität eine bijektive Abbildung darstellt, wie sie aber für eine definitorische Messvorschrift benötigt werden würde.

Letztlich wurden nur formale Aspekte anstatt inhaltlicher Komponenten zur Erfassung des flow-Erlebens genutzt. Anstatt von der Messung eines Merkmals vage auf das Gesamtkonstrukt zu schließen, hat Aellig (2004) zusätzlich zu den zwei Items zur Fähigkeit und zur Anforderung das flow-Erleben auch inhaltlich über drei weitere likert-Items³ operationalisiert. Ob die Selbsteinschätzungen der beanspruchten Aufmerksamkeit, dem Aufgehen im Tun sowie ein schnelles Zeitvergehen bei mehr als drei Merkmalen des flow-Erlebens umfassend sind, darf bezweifelt werden. Ibáñez et al. (2014) haben hingegen einen 35 likert-Items umfassenden Test zur Erfassung des flow-Erlebens genutzt. Gleichwohl dieses Testinstrument valide zu sein scheint, ist es im gleichen Maß unpraktikabel. Wie in Unterkapitel 2.3 verdeutlicht, wird flow-Erleben als Kontrollvariable oder zur Bestimmung entsprechender Korrelationen mit anderen lernförderlichen Konstrukten genutzt. Um Probanden nicht aus dem Erleben ihrer jeweiligen Handlung heraus zu reißen, dürfen die eingesetzten Fragebögen nicht allzu lang werden. Dies gilt im besonderen Maß für ESM-Untersuchungen. 35 likert-Items sind aus testökonomischen Gründen zur Erfassung eines Konstrukts zu lang. Ibáñez et al. (2014) nutzen daher nicht grundlos die beiden Items bezüglich Anforderung und Fähigkeit, um in verschiedenen Zwischenschritten ihres Treatments testökonomisch vertretbar Messwerte für das flow-Erleben zu erheben.

³ Likert-Items sind Items, wo Probanden einen gegebenen Sachverhalt auf einer vorgegebenen Skala einschätzen sollen. Die Skala kann z.B. von „1“ bis „7“ oder auch von „trifft völlig zu“ bis „trifft überhaupt nicht zu“ reichen.

Einen anderen Weg haben Reichwald et al. (2003) eingeschlagen. Mit der Flow-Kurz-Skala (FKS) wurde ein valides Testinstrument geschaffen, welches flow-Erleben testökonomisch vertretbar erfassen kann (s. Abb. 2.6).

<flow>:	Cronbach's α 0.90
<gaV>:	Cronbach's $\alpha \approx 0.92$
	8) Ich weiß bei jedem Schritt, was ich zu tun habe.
	7) Die richtigen Gedanken/Bewegungen kommen wie von selbst.
	9) Ich habe das Gefühl, den Ablauf unter Kontrolle zu haben.
	4) Ich habe keine Mühe, mich zu konzentrieren.
	5) Mein Kopf ist völlig klar.
	2) Meine Gedanken bzw. Aktivitäten laufen flüssig und glatt.
<A>:	Cronbach's $\alpha \approx 0.80$
	6) Ich bin ganz vertieft in das, was ich gerade mache.
	1) Ich fühle mich optimal beansprucht.
	10) ich bin völlig selbstvergessen.
	3) Ich merke gar nicht, wie die Zeit vergeht.
<Besorgnis>:	Cronbach's $\alpha \approx 0.80$
	11) Es steht etwas Wichtiges auf dem Spiel.
	12) Ich darf jetzt keine Fehler machen.
	13) Ich mache mir Sorgen über einen Misserfolg.
Anforderung:	14) Verglichen mit anderen Tätigkeiten, die ich sonst mache, ist die jetzige Tätigkeit
Fähigkeit:	15) Ich denke, meine Fähigkeiten auf diesem Gebiet sind ...
AP:	16) Für mich persönlich sind die jetzigen Anforderungen ...

Abb. 2.6: Die dreizehn likert-Items der FKS sind den einzelnen (Sub-)Skalen <glatter, automatisierter Verlauf>, <Absorbiertheit> und <flow> sowie <Besorgnis> zugeordnet und die Reliabilitäten der entsprechenden (Sub-)Skalen sind mit erwähnt (Rheinberg et al., 2003). Hinzu kommen drei zusätzliche Einzel-Items zur Anknüpfung an bisheriger Forschung zum flow-Erleben. Die aufgeführten Reliabilitäten sind der Literatur entnommen und demonstrieren die Verwendbarkeit des Testinstruments. Die entsprechenden Reliabilitäten der eigenen Messungen sind in Tabelle 3.1 nachzulesen.

Die FKS besteht aus zehn sieben-stufigen likert-Items, die als <flow> mit einem Cronbach's α^4 um 0.90 das flow-Erleben messen (Rheinberg et al., 2003; Püttmann, 2009). Wie in Abbildung 2.6 zu sehen ist, zeigten Faktorenanalysen jedoch, dass die zehn Items der FKS sich auf die zwei Subskalen glatter, automatisierter Verlauf (<gaV>) und Absorbiertheit (<A>) verteilen (Rheinberg et al., 2003). Die FKS wurde mit der Skala <Besorgnis> um drei sieben-stufige likert-Items sowie drei neun-stufigen likert-Einzelitems zur Erfassung von Anforderung, Fähigkeit und der Anforderungspassung (AP) ergänzt. <Besorgnis> weist mit einem Cronbach's $\alpha \approx 0.80$ eine gute Reliabilität auf. AP stellt eine logische Verknüpfung von <Anforderung> und <Fähigkeit> dar und soll die Anbindung an bisheriger Forschung gewährleisten.

Die Reliabilitäten der einzelnen (Sub-)Skalen sind gut und für die Validität (Rheinberg et al., 2003) sprachen verschiedene Argumente. Es sind Kontexte logisch nachvollziehbar, bei denen entweder die <A> bzw. <gaV> höchste Werte erreichen und beide Subskalen als unabhängig voneinander gelten können. So lieferten sportliche Aktivitäten höchste Werte beim <gaV>, (körperliche) Intimitäten hingegen für <A>. Ohne eine Verknüpfung mit qualitativen Instrumenten bleibt es vorerst offen, ob für ein flow-Erleben ein hoher Gesamtwert für <flow> ausreicht, oder zusätzlich auf beiden Subskalen ein Grenzwert überschritten sein muss. Ferner wurden weitere theoriekonforme Zusammenhänge festgestellt. Fast die Hälfte der Varianz von <flow> konnte durch Ergebnisse des Fragebogens für aktuelle Motivation (FAM) aufgeklärt werden, flow-Erleben und Motivation bedingen also einander. <flow> korrelierte darüber hinaus mit $r = 0.54$ mit der PA bzw. mit $r = 0.62$ mit der NA (Rheinberg et al., 2003). Auch stimmten die Graphenverläufe mit theoretischen Überlegungen überein. Rheinberg et al. (2003) fanden heraus, dass sich in einem <flow>(AP)-Diagramm eine nach unten geöffnete Parabel mit dem Scheitelpunkt bei einer optimalen Anforderungspassung um den Skalenwert fünf ergab. Im <Besorgnis>(AP)-Diagramm hingegen waren die Messwerte gut mit einer Gerade beschreibbar. Die Beziehungen zu AP sollten getroffene Aussagen mit denen des Quadrantenmodells verknüpfen. Allerdings ist es fraglich, ob dies mit AP in Gänze gelang. Mit AP wird die empfundene Herausforderung erfragt, die nach Pfister (2002) nur eine andere Fassade der Anforderung darzustellen scheint. Auch wurde damit das Postulat des Quadrantenmodells verworfen, dass flow-Erleben nur bei jeweils individuell überdurchschnittlich empfundenen Anforderungen und Fähigkeiten zustande kommt. Stattdessen wurde wieder zum Diagonalmmodell Bezug genommen, also der ersten und durch die ESM-

⁴ Chronbach's α ist ein Maß für die Reliabilität einer Skala und beschreibt die interne Konsistenz einer aus mehreren Items bestehenden Skala. Ein Chronbach's $\alpha > 0.7$ gilt als akzeptabel und > 0.9 als exzellent. Dabei können Werte von $-\infty$ bis 1 angenommen werden, gleichwohl nur positive Werte interpretierbar sind. Chronbach's α kann jedoch nicht prüfen, ob die Skala eindimensional ist oder aber mehrere Konstrukte umfasst.

Messungen widerrufenen Interpretation der zwei-Item-Messung. Inwieweit sich die Ergebnisse der FKS mit den Postulaten der zwei-Item-Messung decken, bleibt daher offen.

Als Zwischenfazit kann in diesem Unterkapitel festgehalten werden, dass es verschiedene Erforschungsansätze für das flow-Erleben gibt (vgl. Abb. 2.7). Nach anfänglichen qualitativen Studien wurde das flow-Erleben durch die Messung eines Merkmals durch zwei Items theoriebasiert geschlussfolgert. Als das Phänomen des flow-Erlebens mit seinen Auslösebedingungen und Befindensqualitäten weiter ausgeschärft wurde, kamen erhebliche Zweifel an der Validität dieser auf zwei Items basierenden Messung des flow-Erlebens auf. Letztlich sollten zur Feststellung des flow-Erlebens lediglich inhaltliche und keine formalen Aspekte heran gezogen werden. Aufgrund der Untersuchung in verschiedensten Kontexten mit ESM-Messungen, müssen entsprechende Testinstrumente aber vergleichsweise kurz ausfallen. Die FKS als valides und testökonomisches Instrument bietet sich daher als Testinstrument zur Erfassung des flow-Erlebens an.

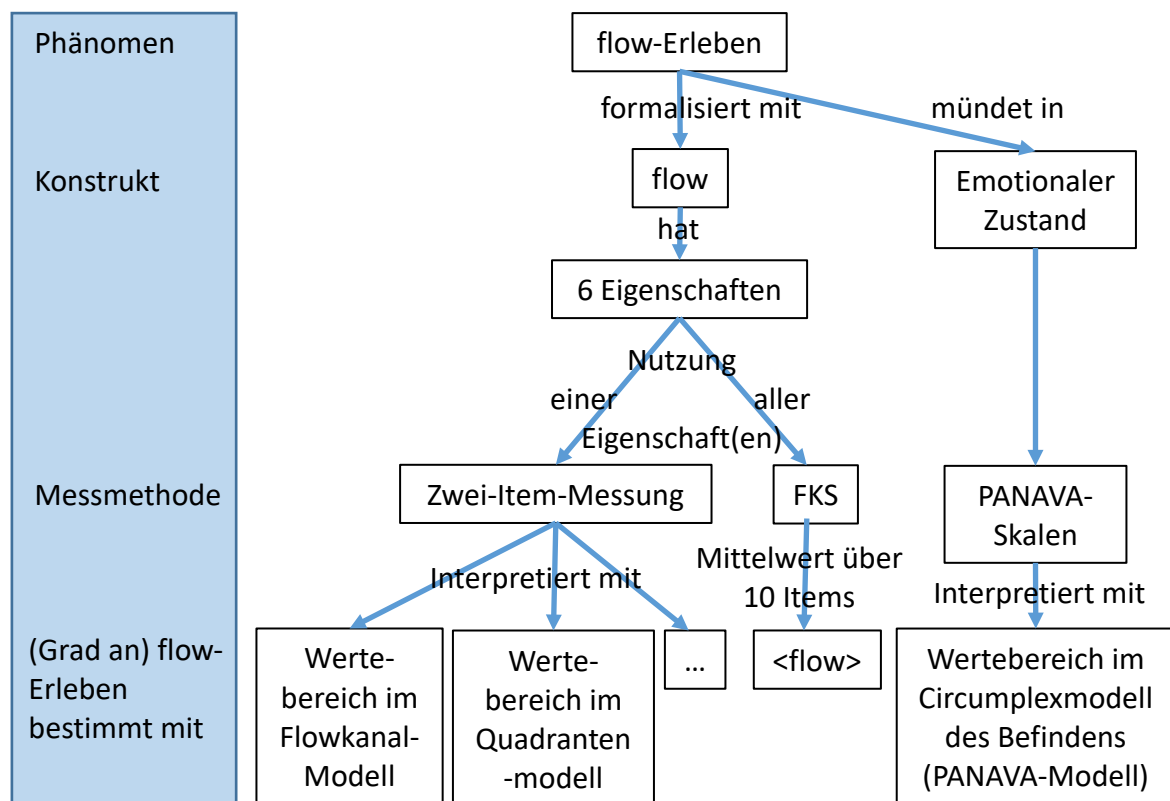


Abb. 2.7: Überblick gängiger Testverfahren des flow-Erlebens und deren Ableitungen.

2.5 Methodische Schlussfolgerungen aus bisherigen Untersuchungen

Im vorangegangenen Unterkapitel 2.4 wurden verschiedene Testinstrumente und Herangehensweisen zur Erfassung des flow-Erlebens diskutiert. In diesem Unterkapitel werden ausgewählte methodische Vorgehensweisen bei der Auswertung von psychometrisch bestimmtem flow-Erleben näher betrachtet.

Aellig (2004) stellte Auffälligkeiten bei ESM-Messungen zur Befindensqualität fest und interpretierte diese als Erinnerungseffekte (vgl. Unterkapitel 2.4). Demnach überlagerte die zuletzt erlebte (Teil-) Situation mit der entsprechenden Erlebnisqualität vorherige und konnotiert diese entsprechend positiver oder negativer. Auch wenn empirische Untersuchungen hierzu noch ausstehen, legen Vermutungen nahe, dass auch Messungen des flow-Erlebens aus der Retrospektive heraus berichtet oder untersucht entsprechend verzerrte Ergebnisse liefern (Aellig, 2004). Mézes et al. (2012) untersuchten, ob die Kenntnis des Ausgangs eines Experiments die freiwillige Durchführung desselbigen beeinflusst. Hierfür wurde ein zweigeteiltes Treatment durchgeführt und das flow-Erleben am Ende des Treatments erfasst. Während des Treatments sahen die Probanden ein Video mit einem Experiment. Danach durften sie das gleiche Experiment selbst durchführen, mussten dies aber nicht zwingend. Aufgrund der oben geschilderten Erinnerungseffekte ist es allerdings fragwürdig, ob das Anschauen des Videos, die eigene Experimentdurchführung oder eine verzerrte Mischung aus beidem durch die kindlichen Probanden eingeschätzt worden ist. Zumindest für das flow-Erleben ist dies nicht klar zu beantworten. Methodisch besser wäre es gewesen, trotz einer weiteren Hürde in Form des Ausfüllens des Fragebogens entsprechende affektive Konstrukte nach jeder einzelnen Handlung zu messen, in diesem Fall also nach dem Anschauen des Videos sowie nach dem ggf. durchgeführten Experiment.

Verschiedene Testinstrumente für das gleiche psychometrische Konstrukt zu nutzen und die Übereinstimmung beider Instrumente zu ermitteln erlaubt es, neue Instrumente zu validieren oder bessere Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Forscher zu ziehen. Anstatt die Werte für <flow> der FKS mit den Ergebnissen der zwei-Item-Messung zu vergleichen, haben Krombass et al. (2007) über die Messung der beiden Items Anforderung und Fähigkeit das flow-Erleben ausschließlich über den flow-Quadranten postuliert, anstatt <flow> zu bestimmen. Trotzdem wurden mit Ausnahme von <flow> die mit dem FKS ermittelten (Sub-)Skalen innerhalb des Quadrantenmodells verortet. Die Ergebnisse von Rheinberg et al. (2005) zweifeln jedoch zumindest teilweise die Ergebnisse der Studie von Krombass et al. (2007) an, weil die Vorhersage des Quadrantenmodells, gemessen mit dem Item AP, nur 12,7 % der Varianz der Skala <flow> ausmacht. Insofern ist eine Interpretation der Subskalen der FKS mit den Aussagen des Quadrantenmodells ohne entsprechende Varianzanalysen der eigenen Werte als schwierig einzustufen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass aus methodischer Sicht zur Untersuchung des flow-Erlebens immer nur eine Tätigkeit ausgeführt werden sollte. Diese sollte dabei mit Hilfe von Fragebögen bzw. Interviews entweder mitten in der Tätigkeit oder direkt nach Abschluss der Tätigkeit untersucht werden. Die Ergebnisse verschiedener Messverfahren für das flow-Erleben im Rahmen einer eben skizzierten eindeutigen Handlung können und sollten miteinander verglichen werden. Allerdings sollten Ergebnisse eines Instruments nicht unreflektiert zur Auswertung des anderen heran gezogen werden.

3 Empirischer Vergleich der Testinstrumente

Wie in Unterkapitel 2.4 dargelegt, werden in der Forschung vorrangig zwei verschiedene Testinstrumente verwendet, die zwei-Item-Messung sowie die FKS als Stellvertreter merkmalsorientierter Fragebögen. Die zwei-Item-Messung ist sehr einfach zu messen. Ergebnisse dieser formal definierten Messvorschrift werden im Rahmen des Quadrantenmodells gedeutet. Dem gegenüber steht mit der testökonomisch noch vertretbaren FKS eine inhaltlich definierte Messvorschrift.

3.1 Forschungsfragen zur Vermessung des flow-Erlebens

Verschiedene Studien (Pfister, 2002; Rheinberg et al., 2003; Aellig, 2004; Rheinberg et al., 2005; Ruth et al., 2017) haben Zweifel erhoben, dass Messungen des flow-Erlebens über das Quadrantenmodell sehr valide sind. Reichwald et al. (2005) überführten hierzu die Forderung nach Passung zwischen Anforderung und Fähigkeit in ein eigenes Item. Anstatt flow-Erleben quasi binär mit dem Quadrantenmodell abzubilden, wurde das likert-Item AP als Anforderungspassung definiert und zur Überprüfung der Aussagen des Quadrantenmodells benutzt. Reichwald et al. (2005) führten eine Varianzanalyse durch und stellten fest, dass 12,7 % der Varianz des mit dem FKS gemessenen <flow> durch das Quadrat des Items AP aufgeklärt wird. Die quadratische Abhängigkeit entspricht der Forderung einer optimalen Passung. Demnach werden die Werte für <flow> im Optimum maximal und abseits davon kleiner. Diese geringe Varianzaufklärung lässt jedoch an dem Postulat des Quadrantenmodells zweifeln, dass bei individuell überdurchschnittlich empfundenen Anforderungen und Fertigkeiten flow-Erleben auftritt. Die Forschungsfrage mit Hypothese lautet:

FF1: Inwiefern kann das Quadrantenmodell das flow-Erleben von Physikstudierenden bei der Durchführung physikalischer Experimente erfassen?

H1: Das Quadrantenmodell erfasst nicht alle Merkmale des Flow-Erlebens bei der Experimentdurchführung und gibt die Messwerte aus dem FKS nicht ausreichend wieder.

Zur Ursachenklärung werden die beiden Subskalen glatter automatisierter Verlauf (<gaV>) und Absorbiertheit (<A>) untersucht. Je leichter eine Aufgabe empfunden wird und je größer das eigene Können eingeschätzt wird, desto reibungsloser wird eine Handlung ausgeführt werden können. <gaV> sollte demnach besonders dann hoch sein, wenn Fähigkeit als hoch und Anforderung als Niedrig eingeschätzt werden. Stellvertretend sollte die eingeschätzte Herausforderung in Form der Anforderungspassung (AP) gering bei hohen Werten für <gaV> sein. Von einer Handlung eingenommen

wird man zumeist dann, wenn es viele Interaktionsmöglichkeiten gibt. Die Absorbiertheit in die Handlung (<A>) sollte demnach bei einem optimalen Wert von AP in Verbindung mit hohen Fähigkeiten stärker ausgeprägt sein.

FF1a⁵: Inwiefern können die Subskalen <gaV> und <A> die Einordnung von <flow> im Anforderungs-Fähigkeits-Diagramm erklären?

H1ai: <gaV> korreliert negativ mit AP und positiv mit Fähigkeit.

H1aii: <A> korreliert positiv mit Fähigkeit sowie dem Quadrat von AP.

H1aiii: Die einzelnen Abhängigkeiten der Subskalen <gaV> und <A> zu den zwei Items Anforderung und Fähigkeit können die Verteilung von <flow> im Anforderungs-Fähigkeits-Diagramm erklären.

Pfister (2002) zeigte, dass Herausforderung, im Rahmen der FKS durch AP gemessen, nicht unbedingt die Verschmelzung der beiden Items für Anforderung und Fähigkeit darstellt. Die Nutzung von AP anstelle des Quadrantenmodells (s. Rheinberg et al., 2005) kann demnach problematisch sein. Insofern stellt sich die folgende Forschungsfrage mit der zugehörigen Hypothese:

FF1b⁶: Inwiefern ist AP ein Indikator für das Anforderungs-Fähigkeits-Diagramm?

H1b: AP ist kein guter Indikator für das Anforderungs-Fähigkeits-Diagramm, weil es Bedeutungsüberschneidungen mit Anforderung gibt.

Neben dem flow-Erleben macht das Quadrantenmodell auch Aussagen über ein Gestresstsein bzw. eine angstartige Befindensqualität. Diese sollen auftreten, wenn die Anforderungen die Fähigkeiten deutlich übersteigen. Die zwei-Item-Messung mit dem Quadrantenmodell als Interpretation zur Bestimmung des flow-Erlebens wird angezweifelt (vgl. FF1). Daher ist es auch fraglich, ob die aus den Messungen postulierte Befindensqualität der Angst im Quadranten Angst vorliegt. Die Zusatzskala <Besorgnis> der FKS testet mit drei likert-Items diese Befindensqualität ab. Die sich ergebende Forschungsfrage mit Hypothese lautet:

FF2: Inwiefern kann das Quadrantenmodell Sorgen von Physikstudierenden bei der Durchführung physikalischer Experimente erfassen?

H2: Der postulierte Quadrant Angst stimmt nicht mit den Messungen von <Besorgnis> überein.

⁵ Für eine inhaltlich reichhaltigere Interpretation der Ergebnisse der ersten Forschungsfrage werden zwei Unterforschungsfragen FF1a und FF1b mit entsprechenden Hypothesen aufgestellt. Dies betrifft einerseits eine Detailanalyse der Subskalen von <flow>. Andererseits wird die Prämisse untersucht, ob AP wie in der Literatur als Ersatz für das Quadrantenmodell genutzt werden kann.

3.2 Design

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden Studierende im Rahmen zweier regulärer Lehrveranstaltungen bzgl. physikalischer Experimente getestet. Die Studierenden erhielten jeweils eine kurze Einführung zum Ablauf der Testung sowie zu dessen Hauptkonstrukt, dem flow-Erleben. In beiden Lehrveranstaltungen experimentierten immer zwei Studierende gemeinsam als Tandem und führten drei Experimente durch.

Insgesamt liegen $N = 287$ Messungen vor, wobei 43,2 % auf weibliche und 52,6 % auf männliche Personen entfallen. Bei den obigen Forschungsfragen handelt es sich nicht um Einzelaussagen über spezielle Treatments, sondern um Fragen zur Messmethode bzw. zum Modell des flow am Beispiel physikalischer Experimente. Eine detailliertere Aufschlüsselung der beiden Lehrveranstaltungen mit Beschreibungen der jeweiligen Lernarrangements erfolgt daher erst in Unterkapitel 6.2, wo diese einzeln untersucht und die entsprechenden Ergebnisse präsentiert werden.

Das verwendete Instrument ist die FKS mit der Zusatzskala <Besorgnis> (s. Abb. 2.6). Die likert-Items sind siebenstufig gewählt. Dazu kamen drei neunstufige likert-Items zur Einschätzung der eigenen Fähigkeit, der empfundenen Anforderung sowie deren Passung. Die ersten beiden Items ergeben die klassische zwei-Item-Messung des flow-Erlebens. Das dritte misst als AP die empfundene Herausforderung als Verknüpfung von Anforderung und Fähigkeit. Außerdem wurde die für flow-Erleben relevante persönliche Bedeutungseinstufung des Ziels mit einem sechsstufigen likert-item zur Berufsrelevanz (Massolt et al., 2018) gemessen. Das Instrument wurde mit wenigen biographischen Angaben wie dem Geschlecht und dem Studiengang sowie einer Aussage zum durchgeführten Experiment vervollständigt.

3.3 Ergebnisse

In diesem Unterkapitel werden die Werte des benutzten Testinstruments im Rahmen deskriptiver Statistik berichtet und die Untersuchungsergebnisse zu den Forschungsfragen dargelegt. Die Datenauswertung wurde mit dem Programm RStudio⁶ erstellt. Durch den APA-Standard werden Werte mit zwei Nachkommastellen angegeben, auch wenn die Messgenauigkeit dies nicht hergibt.

Zur Klärung inwieweit das Quadrantenmodell das flow-Erleben sowie die Sorgen von Physikstudierenden bei der Durchführung physikalischer Experimente erfassen kann ist es notwendig,

⁶ RStudio ist eine Umgebung für das Statistikprogramm R und ist open source. Zur Bearbeitung und Auswertung der Daten wird ein entsprechendes Skript geschrieben und als Programm ausgeführt.

die aus dem FKS inklusive deren Zusatzskalen erhobenen Daten gemäß der zwei-Item-Messung den einzelnen Quadranten zuzuordnen und diese als Gruppen untereinander zu vergleichen. Da das Quadrantenmodell vorrangig Aussagen über das flow-Erleben und den Erlebniszustand Angst macht, wurden <flow> und <Besorgnis> der FKS genutzt. Wie zuvor geschrieben, wurde für eine detailliertere Analyse untersucht, ob die Subskalen <gaV> und <A> die Einordnung von <flow> im Anforderungs-Fertigkeitsdiagramm erklären. An dieser Stelle wird auch überprüft, ob AP eine neunstufige Abbildung des Quadrantenmodells darstellt. Daher wird auch mit Regressionsanalysen untersucht, ob Fähigkeit und Anforderung viel Varianz von AP aufklären.

Auf eine z-Standardisierung wurde verzichtet. Bzgl. des flow-Erlebens werden zumeist verschiedene Tätigkeiten vergleichend gegenübergestellt. Bezogen auf die einzelnen Tätigkeiten ist zu erwarten, dass diese unterschiedliche Mittelwerte und Standardabweichungen aufweisen und damit verschiedene, jeweils eigene z-Standardisierungen benötigen würden, was aber deren Vergleichbarkeit untereinander einschränkt. In der Forschung wird jedoch diskutiert, ob es so genannte autotelische Personen (u.a. Pfister, 2002; Aellig, 2004) gibt (vgl. Unterkapitel 2.2). Diesen wird im Vergleich zu anderen Personen bei gleichen Tätigkeiten ein generell höheres flow-Erleben unterstellt. Daher macht eine z-Standardisierung nur Sinn, wenn diese personenweise über verschiedene Tätigkeiten hinweg erfolgt. Das flow-Erleben über diverse Tätigkeiten im Alltag und Beruf können mit der ESM tagesbegleitend erfasst werden. Im Rahmen dieser begrenzten Forschungsarbeit wurden entsprechende Daten jedoch nicht erhoben.

Die Grenze der Quadranten wurde bei beiden Achsen knapp oberhalb der Skalenmitte auf 5.001 gelegt. Die einzelnen Quadranten wurden als Gruppen zusammengefasst und miteinander verglichen. Bei den Vergleichen zwischen den einzelnen Gruppen wurde auf eine Alpha-Fehler-Akkumulierung Rücksicht genommen. Insgesamt gibt es mit den Vergleichen aus Kapitel 6 sechs zu testende Einzelhypothesen mit jeweils den gleichen Daten. Nach der Bonferroni-Holm-Prozedur wird das jeweilige Signifikanzniveau α_i der zu testenden i -ten Hypothese nach $\alpha_i = \frac{\alpha_{global}}{k-i+1}$ berechnet. α_{global} ist das zuvor festgelegte Signifikanzniveau und wird auf 0.05 festgelegt, k ist die Gesamtanzahl der mit den gleichen Daten zu testenden Hypothesen und i ist die Laufvariable mit $1 \leq i \leq k$. Daraus folgen $\alpha_1 = 0.008$, $\alpha_2 = 0.01$, $\alpha_3 = 0.01$, $\alpha_4 = 0.02$, $\alpha_5 = 0.03$ und $\alpha_6 = 0.05$. Damit unterschreiten die als statistisch verwertbar betrachtete p-Werte der in diesem Unterkapitel getesteten Einzelhypothesen dennoch das angepasste Signifikanzniveau, sodass entsprechend ausgewiesene Ergebnisse als signifikant zu betrachten sind.⁷

⁷ Ein T-Test prüft mit den aus den Daten berechneten t-Wert, ob es Unterschiede in den Mittelwerten zweier Gruppen gibt. Der zugehörige p-Wert gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Hypothese „es gibt einen Unterschied“ angenommen wird, gleichwohl es keinen Unterschied gibt. $p \leq \alpha$ wird als signifikant gedeutet. Die entsprechende Effektstärke Cohen's d gibt die Stärke des Unterschieds an. Bei $0.2 < d \leq 0.5$ ist es ein kleiner, bei $0.5 < d \leq 0.8$ ein mittlerer und bei $0.8 < d$ ein starker Effekt.

3.3.1 Rohdaten

Die Skalen des eingesetzten Testinstruments waren reliabel (s. Tab. 3.1).

(Sub-)Skala	Itemanzahl	Cronbach's α
Flow-Erleben (<flow>)	10	0.86
Glatte automatisierter Verlauf (<gaV>)	6	0.87
Absorbiertheit (<A>)	4	0.74
Angst-Erleben (<Besorgnis>)	3	0.87

Tab. 3.1: Aufgelistet ist die jeweilige Reliabilität mit der zur (Sub-)Skala gehörigen Itemanzahl des verwendeten Testinstruments. Die Reliabilitäten sind gut.

Das flow-Erleben wurde mit zwei verschiedenen Messmethoden bestimmt, nämlich über den Flow-Quadranten als ein Wertebereich im Rahmen der weit verbreiteten zwei-Item-Messung und mit der FKS. Auch das Angsterleben wurde über zwei Messmethoden ermittelt, nämlich über die Zusatzskala <Besorgnis> sowie über den Angst-Quadranten als ein Wertebereich im Rahmen der zwei-Item-Messung. Die klassische zwei-Item-Messung (s. Abb. 3.1) ergab eine erwartungsgemäße Verteilung. Demnach erlebten die Probanden in $N = 16$ (17)⁸ Messungen ein flow-Erleben, in $N = 139$ (142) Messungen Entspannung, in $N = 74$ (76) Messungen Teilnahmslosigkeit und in $N = 48$ (49) Messungen Angst.

⁸ Da einige Fragebögen fehlende Werte, so genannte Missings, aufwiesen, unterscheidet sich die Anzahl der Messungen je nach untersuchter (Sub-)Skala. Der Wert vor der Klammer stellt die kleinste Anzahl, der Wert in der Klammer die größte dar.

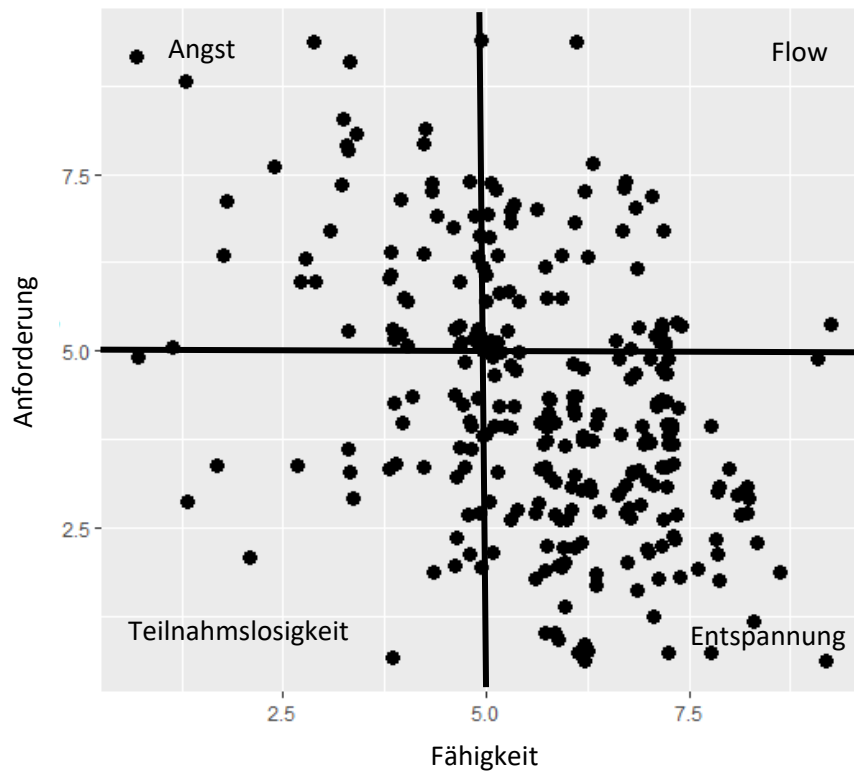


Abb. 3.1: Das Anforderungs-Fähigkeits- Diagramm ermöglicht nach der zwei-Item-Messung die Einordnung des Messzeitpunktes in flow-Erleben als einen von vier möglichen Zuständen (vgl. Kapitel 2.4). Jeder der vier Quadranten des Diagramms wird als einer dieser Zustände definiert. Der jeweilige Messwert basiert auf der Messung eines Items je Achse. Um alle Messpunkte optisch abbilden zu können, wurden diese z.T. leicht verschoben ins Diagramm eingetragen, da die Messwerte nur die diskreten Werte eins bis neun annehmen können.

In Tabelle 3.2 sind die Mittelwerte sowie deren Standardabweichungen aller getesteten (Sub-)Skalen der verwendeten Instrumente nach Quadranten aufgelistet.

Quadrant (Sub-)Skala	Flow	Entspannung	Angst	Teilnahmslosigkeit	Gesamt
Fähigkeit	6.41 (SD=0.51)	6.78 (SD=0.76)	3.96 (SD=1.14)	4.46 (SD=1.01)	5.66 (SD=1.53)
Anforderung	6.82 (SD=0.81)	3.22 (SD=1.20)	6.96 (SD=0.98)	3.99 (SD=1.08)	4.29 (SD=1.85)
<flow>	5.02 (SD=0.84)	5.00 (SD=0.85)	4.00 (SD=1.18)	4.55 (SD=0.92)	4.71 (SD=1.00)
<A>	4.93 (SD=0.97)	4.62 (SD=1.17)	4.49 (SD=1.27)	4.5 (SD=0.10)	4.58 (SD=1.12)
<gaV>	5.08 (SD=0.97)	5.26 (SD=0.92)	3.67 (SD=1.28)	4.58 (SD=1.06)	4.80 (SD=1.17)
<Besorgnis>	3.88 (SD=1.66)	3.47 (SD=1.56)	5.22 (SD=1.61)	3.85 (SD=1.51)	3.88 (SD=1.66)
AP	4.94 (SD=0.90)	4.23 (SD=1.15)	6.12 (SD=1.25)	4.96 (SD=1.12)	4.79 (SD=1.33)
Berufsrelevanz	5.13 (SD=1.03)	4.58 (SD=1.37)	4.55 (SD=1.28)	4.22 (SD=1.35)	4.51 (SD=1.34)

Tab. 3.2: In der Tabelle sind jeweils die Mittelwerte mit ihren Standardabweichungen der einzelnen (Sub-)Skalen des eingesetzten Testinstrumentes sowohl nach den einzelnen Quadranten des Quadrantenmodells aufgeschlüsselt als auch zusammengefasst über diese verzeichnet.

3.3.2 Ergebnisse zu FF1

Zur Untersuchung inwiefern das Quadrantenmodell das flow-Erleben abbildet, werden die Daten in einem ersten Schritt graphisch und tabellarisch dargestellt. Das flow-Erleben wird mit $\langle \text{flow} \rangle$ der FKS gemessen. Gemäß der Aussage des Quadrantenmodells sollte flow-Erleben häufiger und stärker im Quadrant Flow auftreten. Diese Aussage deckt sich jedoch nur teilweise mit den Daten der FKS (s. Abb. 3.2 und vgl. Tab. 3.2).

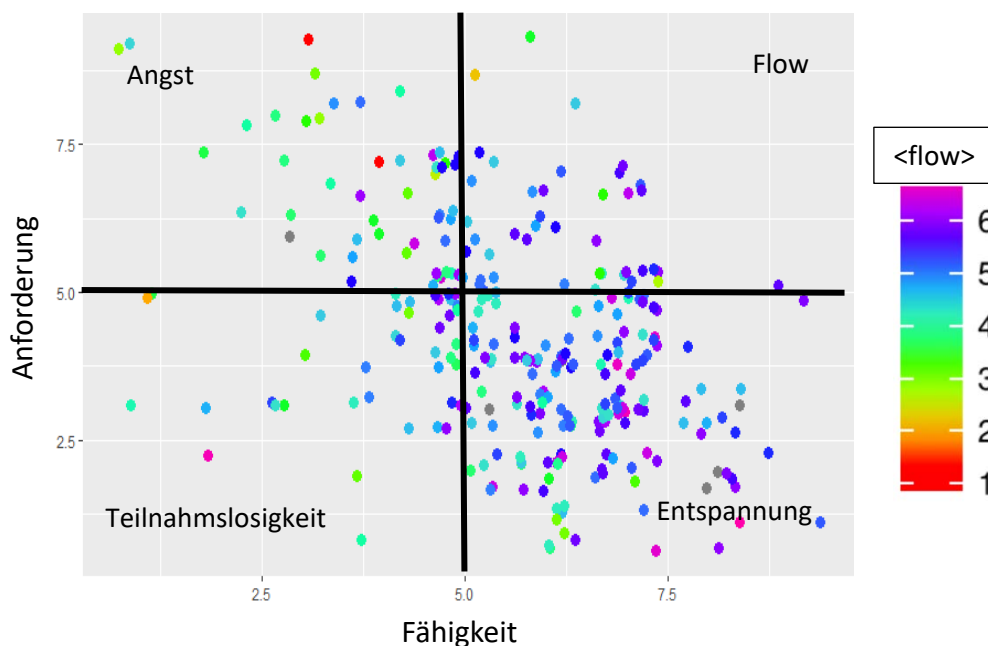


Abb. 3.2: Das Quadrantenmodell aus Abb. 3.1 wurde um die Dimension $\langle \text{flow} \rangle$ erweitert. Hierzu wurden die Datenpunkte entsprechend der Farbskala eingefärbt. Um alle Messpunkte optisch abbilden zu können, wurden diese z.T. leicht verschoben ins Diagramm eingetragen, da die Messwerte nur die diskreten Werte eins bis neun annehmen können. Niedrige Werte von $\langle \text{flow} \rangle$ treten optisch sichtbar in den Quadranten Angst und Teilnahmslosigkeit auf, hohe Werte in den Quadranten Flow und Entspannung. Die höchsten Werte von $\langle \text{flow} \rangle$ treten dabei im Entspannungs-Quadranten auf.

Im Vergleich mit den Quadranten Flow und Entspannung sind die Werte von $\langle \text{flow} \rangle$ in den Quadranten Angst und Teilnahmslosigkeit relativ gering. Die höchsten Einzelwerte für $\langle \text{flow} \rangle$ kommen im Entspannungs-Quadranten vor. Dies lässt vermuten, dass $\langle \text{flow} \rangle$ theoriekonform mit steigender Fähigkeit zunimmt, aber weitestgehend unabhängig von der Anforderung ist bzw. sogar bei steigender Anforderung sinkt. Auch die Gruppenvergleiche (s. Abb. 3.3) zeigen ein ähnliches Bild auf (vgl. Tab. 3.3).

(Sub-)Skala	Quadrant	Entspannung	Angst	Teilnahmslosigkeit
<flow>	Flow	t(154)= 0.09 p=0.93 d=0.02	t(63)= 3.28 p=0.002 d=0.93	t(90)= 1.94 p=0.06 d=0.52
	Entspannung	/	t(185)= 6.33 p<0.001 d=1.06	t(212)=3.60 p<0.001 d=0.52
	Angst	/	/	t(121)=-2.90 p=0.004 d=-0.54

Tab. 3.3: Die Ergebnisse der auf dem Quadrantenmodell beruhenden Gruppenvergleiche sind mit den üblichen Testwerten des Welch-Tests mit dem p-Wert und der Effektstärke pro Zelle aufgeführt. Zur besseren Übersicht sind alle signifikanten Ergebnisse fett gedruckt. Auffallend ist, dass die Quadranten Entspannung und Flow sich hinsichtlich <flow> entgegen der Theorie nicht unterscheiden. Der Welch-Test wurde ausgewählt, weil die Stichprobengröße und die Varianzen der zu vergleichenden Größen in den jeweiligen Gruppen nicht identisch waren.

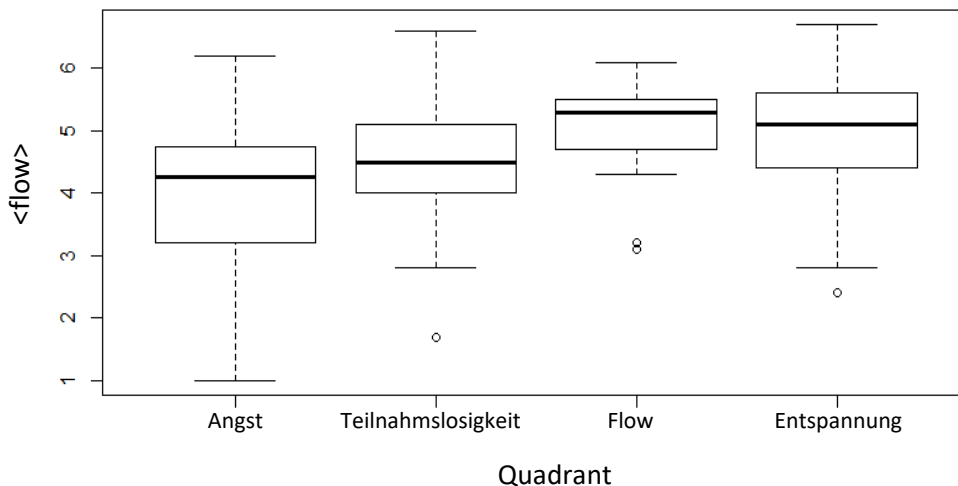


Abb. 3.3: Boxplots von <flow> für jeden Quadranten des Quadrantenmodells. Entgegen der Theorie ist <flow> im Flow-Quadrant weder am höchsten, noch unterscheiden sich die Quadranten Entspannung und Flow deutlich voneinander.

Gemäß der Theorie (vgl. Unterkapitel 2.4) sollten im Flow-Quadranten die stärksten flow-Erleben und damit die höchsten Werte von <flow> vorliegen. Auffällig ist, dass es bzgl. <flow> keine statistisch verwertbaren Unterschiede zwischen den Quadranten Flow und Entspannung gibt. Alle anderen Vergleiche zwischen den Quadranten weisen Unterschiede mit mittleren bis hohen Effekten auf, gleichwohl der Unterschied von Flow zur Teilnahmslosigkeit trotz mittlerer Effektstärke nur knapp nicht signifikant wird (s. Tab. 3.3).

Um andere, über die Interpretation des Quadrantenmodells hinausgehende Einflussfaktoren bzw. Merkmale des flow-Erlebens zu finden, wurden Regressionsanalysen für <flow> gerechnet (Tab. 3.4). Rheinberg et al. (2003) stellten einen kurvilinearen Verlauf des Graphen im <flow> (AP) – Diagramm fest. Zum Testen linearer Modelle wurde AP daher zunächst im Modell F1 linear belassen, im Modell F2 quadriert sowie im Modell F4 entsprechend zur vierten Potenz zur Berechnung einer linearen Regression benutzt (s. Abb. 3.4). <A> und <gaV> mussten als Subskalen von <flow> aus der Analyse entfernt werden, damit mögliche Einflüsse anderer Variablen nicht überdeckt werden. Ansonsten sind alle anderen Skalen in den F1, F2 und F4 identisch vorhanden. In Einklang zu Abb. 3.2 zeigen diese linearen Regressionen von <flow>, dass <flow> entgegen der Theorie (vgl. Unterkapitel 2.4) nicht von Anforderung, sondern nur von Fähigkeit abhängig ist. Bis auf AP⁴ scheinen alle anderen erhobenen Skalen keinen Einfluss auf <flow> zu haben. Das Modell F4 besitzt dabei die größte Varianzaufklärung und wird zu weiteren Analyseschritten genutzt. Trotzdem werden insgesamt nur 22 % der Varianz von <flow> aufgeklärt.

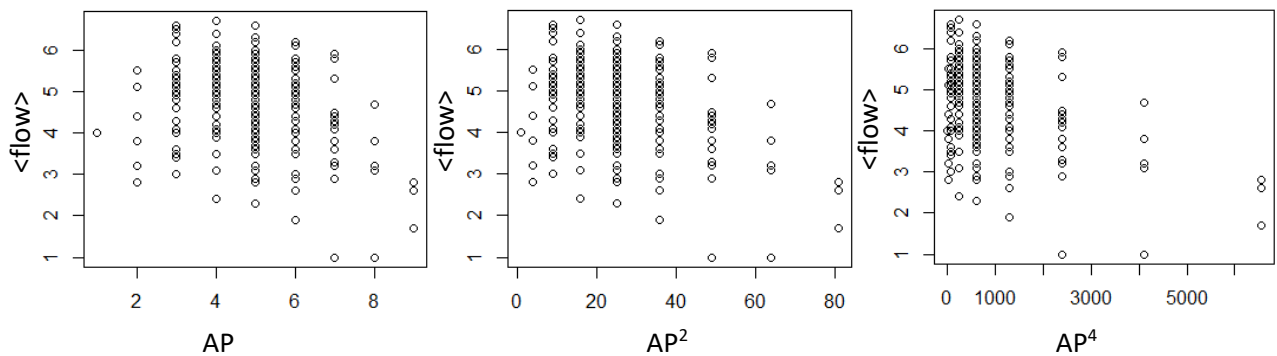


Abb. 3.4: Diagramme mit <flow> und verschiedenen Potenzen von AP. Der kurvilineare, parabelartige Verlauf ist im <flow>(AP)-Diagramm am stärksten ausgeprägt. Eine Linearität des Graphen, die zur Berechnung entsprechender Regressionsanalysen wichtig ist, scheint erst im <flow>(AP⁴)-Diagramm vorzuliegen.

Modell	F1			F2			F4		
Variable	B	SD _B	t	B	SD _B	T	B	SD _B	T
Achsen- abschnitt	3.34	0.42	7.88***	3.41	0.37	9.14***	3.39	0.36	9.53***
Anforde- rung	-0.07	0.04	-1.76	-0.05	0.04	-1.34	-0.04	0.04	-1.15
Fähigkeit	0.25	0.04	5.72***	0.23	0.04	5.24***	0.20	0.04	4.76***
AP	-0.03	0.06	-0.56	/	/	/	/	/	/
AP ²	/	/	/	-0.010	0.006	-1.71	/	/	/
AP ⁴	/	/	/	/	/	/	-2 10⁻⁴	7 10⁻⁵	-3.07**
<Besorg- nis>	0.04	0.04	1.00	0.05	0.04	1.35	0.06	0.04	1.67
<Berufs- relevanz>	0.06	0.04	1.34	0.06	0.04	1.39	0.06	0.04	1.42
R ²	0.20			0.21			0.22		
F	(266) = 14.40***			(266) = 15.06***			(266) = 16.71***		
	$\Delta R^2_{21} = 0.01$			$\Delta R^2_{32} = 0.01$			$\Delta R^2_{31} = -0.01$		
	$\Delta F_{21} = 0.66$			$\Delta F_{32} = 0.65$			$\Delta F_{31} = -2.31$		

Tab. 3.4: Kennwerte der linearen Modelle F1, F2 und F4 für <flow> mit allen erhobenen (ein-Item-)Skalen. Die Modelle F1, F2 und F4 unterscheiden sich nur in der Abhängigkeit zwischen AP und <flow> und tragen dem vermeintlich quadratischen Zusammenhang in den linearen Modellen Rechnung. Prädiktoren mit einem signifikanten Einfluss auf <flow> wurden fett markiert. Das Modell F4 besitzt knapp die höchste Varianzaufklärung.

Um die Einflüsse der beiden ermittelten Prädiktoren AP⁴ und Fähigkeit auf <flow> endgültig zu klären, wurden mit den Modellen FAP, 2 und 3 drei weitere Regressionsanalysen gerechnet (s. Tab. 3.5). Das Modell FAP beinhaltet ausschließlich die beiden im Modell F4 signifikant gewordenen Zusammenhänge. Die Modelle 2 bzw. 3 testen die Zusammenhänge zwischen <flow> und AP⁴ bzw. Fähigkeit jeweils einzeln ab.

Modell	FAP			2			3		
Variable	B	SD _B	T	B	SD _B	T	B	SD _B	T
Achsenab-schnitt	3.63	0.27	13.46***	3.08	0.21	14.75***	5.02	0.07	68.33***
Fähigkeit	0.22	0.04	5.34***	0.29	0.04	8.07***	/	/	/
AP ⁴	-2.1 10⁻⁴	7 10 ⁻⁵	-3.15**	/	/	/	-3.9 10 ⁻⁴	6 10 ⁻⁵	-6.65***
R ²	0.22			0.19			0.14		
F	(269) = 38.61***			(270) = 65.17***			(270) = 44.22***		
	ΔR ² ₂₁ = -0.03			ΔR ² ₃₂ = -0.05			ΔR ² ₃₁ = -0.08		
	ΔF ₂₁ = 26.56			ΔF ₃₂ = -20.95			ΔF ₃₁ = 5.61		

Tab. 3.5: Drei verschiedene Modelle wurden regressionsanalytisch gerechnet und miteinander verglichen. Die Modellprädiktoren wurden aus dem Modell F4 (s. Tab. 3.4) ausgewählt. Signifikante Prädiktoren wurden fett markiert. Aufgrund der Varianzaufklärung ist dem Modell FAP der Vorzug zu geben.

Die aufgeklärten Varianzen zeigen, dass von den drei getesteten Modellen für <flow> das Modell FAP mit den beiden Prädiktoren Fähigkeit und AP⁴ nur wenig Varianz mehr aufklärt als das Modell 2 mit Fähigkeit als alleinigen Prädiktor für <flow> (s. Tab. 3.5). Zur Auswahl des geeignetsten Modells zur Vorhersage von <flow> wurde eine ANOVA⁹ zwischen dem Modell F4 mit den 5 möglichen Prädiktoren (s. Tab. 3.4) und den Modellen mit nur einem Prädiktor für <flow> (s. Tab. 3.5) gerechnet (s. Tab. 3.6).

Modellvergleich	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	P
FAP zu 2	269	209.54	1	7.72	9.91	0.002
FAP zu 3	269	209.54	1	22.20	28.51	<0.003
F4 zu FAP	266	205.24	3	4.30	1.86	0.14

Tab. 3.6: Kennwerte der Vergleiche der linearen Regressionsmodelle für <flow> mittels ANOVA. Modell F4 enthält als Prädiktoren Anforderung, Fähigkeit, AP⁴, <Besorgnis> und Berufsrelevanz (s. Tab. 3.4). Modell 2 Modell 3 enthalten jeweils nur einen der Prädiktoren Fähigkeit und AP für <flow>. Das Modell FAP enthält hingegen beide (s. Tab. 3.5). Das Modell FAP ist den Modellen 2 und 3 vorzuziehen. Da sich die Modelle 4 und FAP in der Varianzaufklärung nicht unterscheiden, wird dem einfacheren Modell FAP der Vorzug gegeben.

⁹ ANOVA steht für analysis of variance und stellt eine Varianzanalyse oder Streuungserlegung dar.

Da die Modelle FAP und F4 sich in ihrer Varianzaufklärung nicht signifikant voneinander unterscheiden und beide eine größere Varianzaufklärung gegenüber den anderen Modellen besitzen, wird dem einfacheren Modell der Vorzug gegeben. Damit sind Fähigkeit sowie AP⁴ Prädiktoren für <flow>.

3.3.3 Ergebnisse zu FF1a

Für ein besseres Verständnis der Verteilung von $\langle \text{flow} \rangle$ innerhalb des Quadrantenmodells (Abb. 3.2) und der Auswirkung der Prädiktoren Fähigkeit und AP^4 für $\langle \text{flow} \rangle$ (vgl. Unterkapitel 3.3.2), werden im Folgenden der glatte automatisierte Verlauf ($\langle \text{gaV} \rangle$) und Absorbertheit ($\langle A \rangle$) als Subskalen von $\langle \text{flow} \rangle$ untersucht. Detailanalysen zeigen das Verhalten der Subskalen $\langle A \rangle$ und $\langle \text{gaV} \rangle$ auf (vgl. Abb. 3.5 und 3.6).

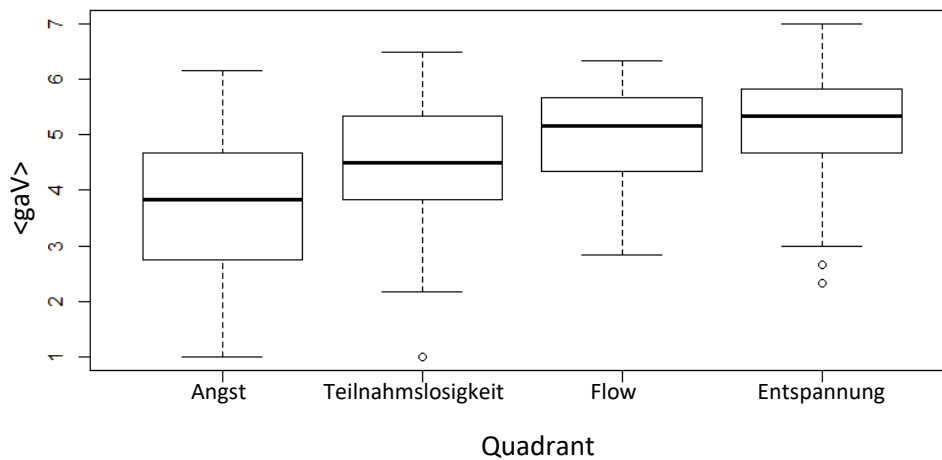


Abb. 3.5: Boxplots von $\langle \text{gaV} \rangle$ für jeden Quadranten des Quadrantenmodells. Die Verteilung von $\langle \text{gaV} \rangle$ ähnelt stark dem von $\langle \text{flow} \rangle$ (vgl. Abb. 3.3), d.h. in den Quadranten Angst und Teilnahmslosigkeit ist $\langle \text{gaV} \rangle$ am geringsten ausgeprägt und bei Flow und Entspannung ähnlich ausgeprägt.

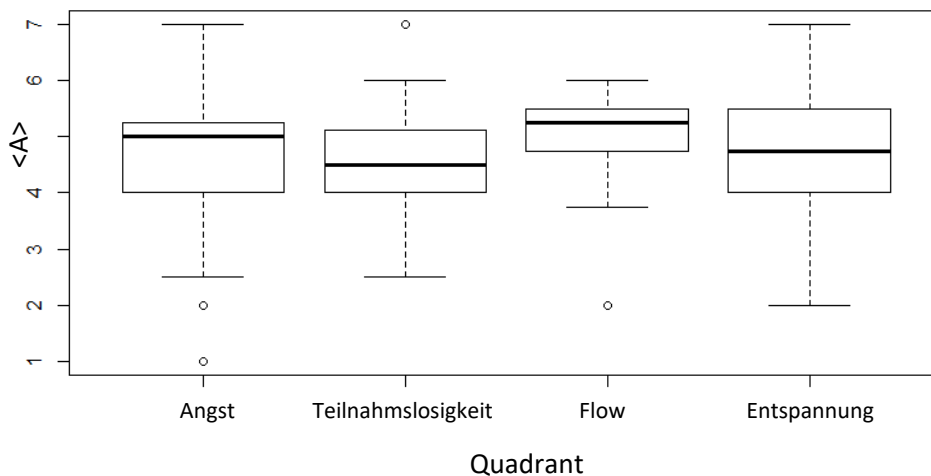


Abb. 3.6: Boxplots von $\langle A \rangle$ für jeden Quadranten des Quadrantenmodells. $\langle A \rangle$ scheint im Gegensatz zu $\langle \text{gaV} \rangle$ und $\langle \text{flow} \rangle$ über die einzelnen Quadranten erstaunlich gleichverteilt zu sein. Einzig im Flow-Quadranten liegen leicht höhere Werte vor.

Die Quadrantenvergleiche von <gaV> ergeben Unterschiede mit mittleren bis starken Effekten, außer für die zwischen den Quadranten Flow und Entspannung bzw. Flow und Teilnahmslosigkeit (s. Abb. 3.5 und Tab. 3.7). Bei <A> hingegen zeigen sich zwischen keinen der Quadranten statistisch verwertbare Unterschiede auf (vgl. Abb. 3.6 und Tab. 3.7).

(Sub-)Skala	Quadrant	Entspannung	Angst	Teilnahmslosigkeit
<A>	Flow	t(155)=1.03 p=0.362 d=0.26	t(64)=1.29 p=0.20 d=0.36	t(91)=1.66 p=0.10 d=0.44
	Entspannung	/	t(187)=0.67 p=0.50 d=0.11	t(214)=0.79 p=0.43 d=0.11
	Angst	/	/	t(123)=-0.05 p=0.96 d=-0.01
<gaV>	Flow	t(157)=-0.77 p=0.44 d=-0.20	t(63)=4.10 p<0.001 d=1.16	t(90)=1.80 p=0.08 d=0.48
	Entspannung	/	t(188)=9.32 p<0.001 d=1.56	t(215)=4.97 p<0.001 d=0.71
	Angst	/	/	t(121)=-4.24 p<0.001 d=-0.78

Tab. 3.7: Die Ergebnisse der auf dem Quadrantenmodell beruhenden Gruppenvergleiche sind mit den üblichen Testwerten des Welch-Tests mit dem p-Wert und der Effektstärke pro Zelle aufgeführt. Zur besseren Übersicht sind alle signifikanten Ergebnisse fett gedruckt. Der Welch-Test wurde ausgewählt, weil die Stichprobengröße und die Varianzen der zu vergleichenden Größen in den jeweiligen Gruppen nicht identisch waren. Bei den Gruppenvergleichen zwischen den Quadranten verhält sich <gaV> wie <flow>. Für <A> lassen sich hingegen keine statistisch verwertbaren Unterschiede zwischen den Quadranten feststellen.

Demnach scheint <flow> nur von <gaV> abhängig zu sein, während <A> entgegen der Theorie (vgl. Unterkapitel 2.4) nur ein Offset darstellt. Daher wurden in weiteren Analyseschritten das Verhalten von <A> sowie <gaV> bezogen auf die einzelnen Achsen des Quadrantenmodells untersucht (s. Abb. 3.7, 3.8, 3.9 und 3.10).

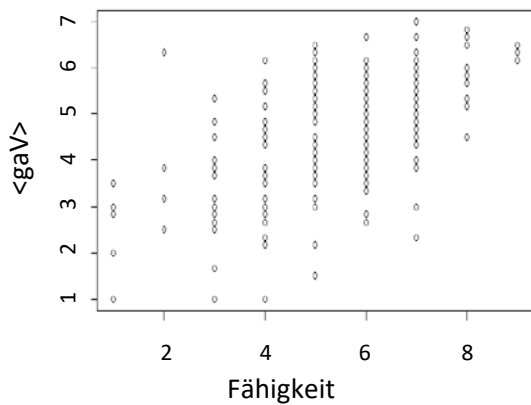


Abb. 3.7: Im Diagramm ist <gaV> gegen die Fähigkeit aufgetragen. <gaV> nimmt mit steigender Fähigkeit zu.

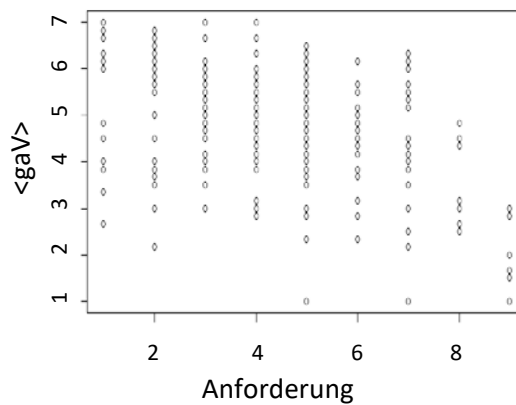


Abb. 3.8: Im Diagramm ist <gaV> gegen die Anforderung aufgetragen. <gaV> sinkt mit steigender Anforderung.

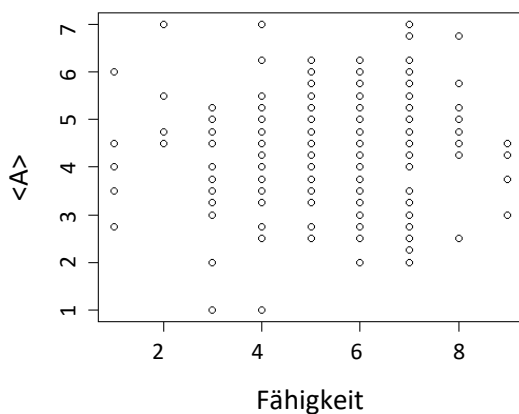


Abb. 3.9: Im Diagramm ist <A> gegen die Fähigkeit aufgetragen. Das Diagramm ähnelt einer Punktwolke

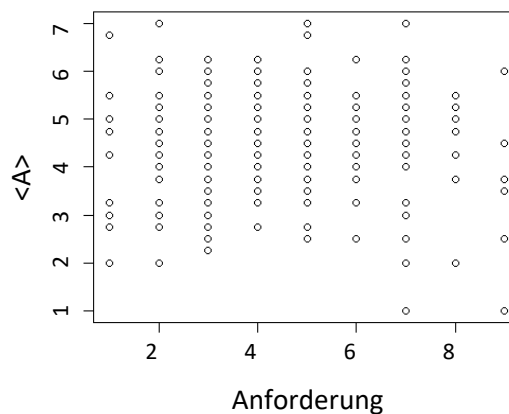


Abb. 3.10: Im Diagramm ist <A> gegen die Anforderung aufgetragen. Das Diagramm ähnelt einer Punktwolke

Im Gegensatz zu <A> korreliert <gaV> sowohl mit Fähigkeit stark, $r(280) = 0.57, p < 0.001$, als auch mit Anforderung, $r(281) = -0.43, p < 0.001$. Da der Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung der Subskalen ergab (s. Tab. 3.8), wurden die Korrelationen zusätzlich nach Spearman berechnet. Diese bestätigten die zuvor berechneten Ergebnisse der Korrelationen nach Pearson.

(Sub-)Skala	<gaV>	<A>
Testwert	W = 0.96	W = 0.98
p-Wert	<0.001	<0.001
Spearman-Korrelation mit Fähigkeit	ρ (1801100) = 0.52 $p < 0.001$	ρ (3360900) = 0.10 $p = 0.09$
Spearman-Korrelation mit Anforderung	ρ (5199500) = -0.38 $p < 0.001$	ρ (3352700) = 0.11 $p = 0.06$

Tab. 3.8: Die Werte zur Überprüfung auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk Test ergaben für <gaV> und <A> keine Normalverteilung. Entsprechend sind jeweils die Werte der Spearman-Korrelation mit den ein-Item-Konstrukten Fähigkeit und Anforderung aufgelistet. Die Ergebnisse entsprechen denen der Berechnungen nach Pearson. <gaV> korreliert positiv mit Fähigkeit und negativ mit Anforderung. Bzgl. <A> liegen keine linearen Korrelationen vor.

Die bisherigen Untersuchungen der Subskalen <gaV> und <A> liefern erklärende Beschreibungen des Verhaltens von <flow> innerhalb des Quadrantenmodells, aber noch keine Begründung der ermittelten Prädiktoren. Daher werden entsprechende lineare Modelle zur Ermittlung der Prädiktoren von <gaV> sowie <A> berechnet und im Anschluss miteinander verglichen. Rheinberg et al. (2003) stellen fest, dass es jeweils spezifische Tätigkeiten zu geben scheint, die hohe Werte für <gaV> und <A>, hohe Werte für <gaV> aber niedrige Werte für <A> sowie niedrige Werte für <gaV> aber hohe für <A> aufweisen. Daher wurden mögliche Zusammenhänge zwischen <A> und <gaV> nicht betrachtet.

Bevor diese berechnet werden konnten, wurde zunächst die Linearität von AP auf <V> und <A> betrachtet, weil AP^4 ein Prädiktor für <flow> darstellt.

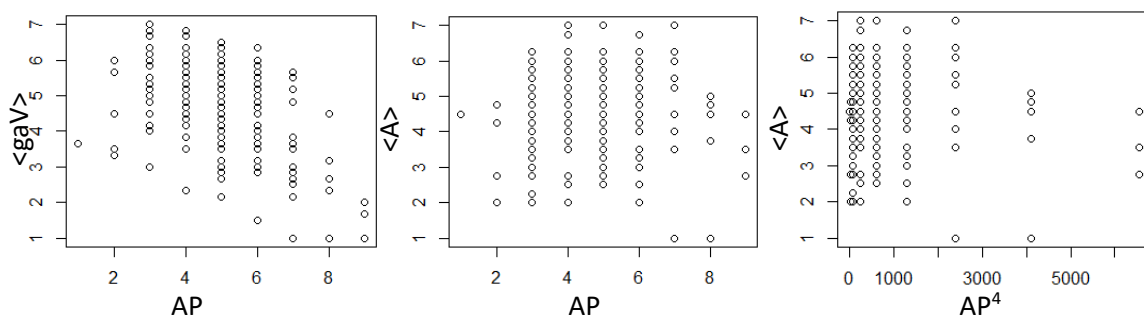


Abb. 3.11: Diagramme mit <gaV> bzw. <A> und verschiedenen Potenzen von AP. Der Graph im <gaV>(AP) Diagramm ist im Wesentlichen eine Gerade. <A> ist hingegen parabelartig mit AP verknüpft. Wie auch im <flow>(AP⁴)-Diagramm erscheint der Graph im <A>(AP⁴)-Diagramm eine Gerade zu sein.

Bei <V> entspricht der Graph im Wesentlichen einer Geraden, bei <A> hingegen eher einer Parabel, sodass für <V> AP und für <A> wie bei <flow> AP⁴ gewählt wurde (s. Abb. 3.11, vgl. Tab. 3.9 und Tab. 3.12).

Zur weiteren Klärung des Einflusses von Fähigkeit, Anforderung und AP auf <gaV> wurden lineare Regressionsanalysen gerechnet. Das Modell AF enthält Anforderung sowie Fähigkeit und das Modell V enthält Anforderung, Fähigkeit und AP als mögliche Prädiktoren für <gaV> (s. Tab. 3.9). Um die Einflüsse der dabei ermittelten Prädiktoren AP, Anforderung und Fähigkeit auf <gaV> zu klären, wurden mit den Modellen A, F und AP drei weitere Regressionsanalysen gerechnet. Die Modelle A, F und AP enthalten jeweils nur einen der möglichen Prädiktoren für <gaV> (s. Tab. 3.10).

Modell	AF				V			
	B	SD _B	t	P	B	SD _B	T	P
Achsenabschnitt	3.42	0.33	10.44	<0.001	4.01	0.43	9.411	<0.001
Anforderung	-0.15	0.03	-4.53	<0.001	-0.11	0.04	-2.99	0.003
Fähigkeit	0.36	0.04	8.72	<0.001	0.33	0.04	7.53	<0.001
AP	/	/	/	/	-0.12	0.06	-2.16	0.03
R ²	0.36				0.37			
F	(269) = 78,74***				(268) = 54.75***			
					ΔR ² = 0.01			
					ΔF = - 23.99			

Tab. 3.9: Kennwerte des linearen Modells V und AF für <gaV>. Prädiktoren mit einem signifikanten Einfluss auf <gaV> wurden fett markiert.

Modell	A			F			AP		
	B	SD _B	t	B	SD _B	T	B	SD _β	t
Achsenabschnitt	5.98***	0.16	36.06	2.31***	0.23	10.30	6.72***	0.24	27.75
Anforderung	-0.28	0.03	-7.98	/	/	/	/	/	/
Fähigkeit	/	/	/	0.44***	0.04	11.3	/	/	/
AP	/	/	/	/	/	/	-0.40***	0.05	-8.29
R ²	0.19			0.32			0.20		
F	(270) = 63.67***			(270) = 127.70***			(270) = 68.65***		
	ΔR ² ₂₁ = 0.13			ΔR ² ₃₂ = -0.12			ΔR ² ₃₁ = 0.01		
	ΔF ₂₁ = 64.03			ΔF ₃₂ = -59.05			ΔF ₃₁ = 4.98		

Tab. 3.10: Drei verschiedene Modelle wurden regressionsanalytisch gerechnet und einander gegenüber gestellt. Bei jedem Modell wird nur eine der folgenden Skalen als Prädiktor für <gaV> berechnet, nämlich Anforderung, Fähigkeit oder AP.

Im Anschluss wurden die linearen Modelle A, F, AP und AF systematisch mit V mit ANOVAs verglichen (s. Tab. 3.11).

Modellvergleich	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	P
V zu A	268	233.93	2	71.38	40.89	<0.001
V zu F	268	233.93	2	22.21	12.73	<0.001
V zu AP	268	233.93	2	66.89	38.32	<0.001
V zu AF	268	233.93	1	4.05	4.64	0.03

Tab. 3.11: Kennwerte der Vergleiche der linearen Regressionsmodelle für <gaV> mittels ANOVA. Modell V enthält als Prädiktoren Anforderung, Fähigkeit und AP, Modell AF Anforderung und Fähigkeit (s. Tab. 3.9). Modell A, F und AP enthalten jeweils nur einen der Prädiktoren Anforderung, Fähigkeit und AP für <gaV> (s. Tab. 3.10). Das Modell V ist den anderen Modellen vorzuziehen.

Gleichwohl die Varianzaufklärung lediglich um 0.01 größer ist, wird durch die ANOVA (vgl. Tab. 3.11) das lineare Regressionsmodell V ausgewählt. Damit steigt <gaV> mit steigender Fähigkeit, sinkenden Anforderungen sowie sinkendem AP an. Insgesamt konnten 37 % der Varianz aufgeklärt werden.

Zur Aufklärung des Verhaltens von <A> wurden mehrere lineare Modelle gerechnet (s. Tab. 3.12). Das Modell Ab enthält Anforderung, Fähigkeit, AP⁴, Besorgnis und <Berufsrelevanz> als mögliche

Prädiktoren. Lediglich Fähigkeit und Besorgnis stellten sich als Prädiktoren heraus. Die Modelle BK und Be stellen entsprechende Reduzierungen der Variablenanzahl dar. BK enthält Fähigkeit sowie <Besorgnis> und Be nur noch <Besorgnis> als mögliche Prädiktoren für <A>.

Modell	Ab			BK			Be		
Variable	B	SD _B	T	B	SD _B	T	B	SD _B	T
Achsenabschnitt	3.18	0.45	5.08***	3.42	0.36	9.56***	4.16	0.17	23.81***
Anforderung	0.06	0.04	1.28	/	/	/	/	/	/
Fähigkeit	0.11	0.05	2.03*	0.11	0.05	2.36*	/	/	/
AP ⁴	-7 10 ⁻⁵	9 10 ⁻⁵	-0.74	/	/	/	/	/	/
<Besorgnis>	0.13	0.05	2.74**	0.14	0.04	3.21**	0.11	0.04	2.59*
<Berufsrelevanz>	0.02	0.05	0.33	/	/	/	/	/	/
R ² =	0.03			0.04			0.02		
F	(266) = 2.86*			(267) = 6.20**			(270) = 6.71*		
	ΔR ² ₂₁ = -0.01			ΔR ² ₃₂ = -0.02			ΔR ² ₃₁ = 0.01		
	ΔF ₂₁ = 3.34			ΔF ₃₂ = 0.51			ΔF ₃₁ = 3.85		

Tab. 3.12: Kennwerte der linearen Modelle Ab, BK und Be für <A>. Prädiktoren mit einem signifikanten Einfluss auf <A> wurden fett markiert. Fähigkeit und <Besorgnis> haben sich in den verschiedenen Modellen als Prädiktoren herausgestellt. Kein Modell überschreitet eine Varianzaufklärung von 4 %, wobei die Unterschiede sehr klein ausfallen.

Die einzelnen Modelle BK, Be und Ab wurden mittels ANOVAs miteinander verglichen (s. Tab. 3.13).

Modellvergleich	Res.Df	RSS	DF	Sum of Sq	F	P
BK zu Be	269	329.51	1	6.83	5.58	0.02
Ab zu BK	266	324.61	3	4.90	1.34	0.26

Tab. 3.13: Es wurden die linearen Modelle Be, BK und Ab (vgl. Tab. 3.12) für <A> mit ANOVAs miteinander verglichen. Demnach ist das Modell BK den anderen beiden vorzuziehen.

Durch die Ergebnisse der ANOVAs stellt sich das lineare Modell BK für <A> als das beste heraus, d.h. <Besorgnis> und Fähigkeit sind Prädiktoren für <A>. Beide Prädiktoren haben zusammen eine Varianzaufklärung von 4 %.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass <gaV> im Gegensatz zu <A> von den im benutzten Testinstrument enthaltenen Skalen gut modelliert werden konnte. Gleichwohl mit <gaV> die Verteilung von <flow> im Quadrantenmodell reproduziert werden konnte, ist das Vorhandensein

einiger Prädiktoren unerklärt geblieben. Einerseits konnte die Abhängigkeit von <flow> auf AP4 nicht bei den Subskalen reproduziert werden. Andererseits gibt es im Gegensatz zu den Subskalen keine Abhängigkeiten zwischen <flow> und AP, Besorgnis sowie Anforderung.

3.3.4 Ergebnisse zu FF1b

Um zu klären, inwieweit die ein-Item-Skala Anforderungspassung (AP) einen Ersatz für die Einordnung von Messpunkten in das Quadrantenmodell darstellen kann, wurde AP zunächst entsprechend der vier Quadranten in Gruppen eingeteilt. Die Werte scheinen im Angst-Quadranten am größten und im Entspannungs-Quadranten am kleinsten zu sein. In den Quadranten Flow und Teilnahmslosigkeit liegen Werte im mittleren Bereich vor (Abb. 3.12). Dies entspricht dem Diagonalmodell von flow (Abb. 2.3), da <flow> und AP parabelartig zusammenhängen (vgl. Abb. 3.4).

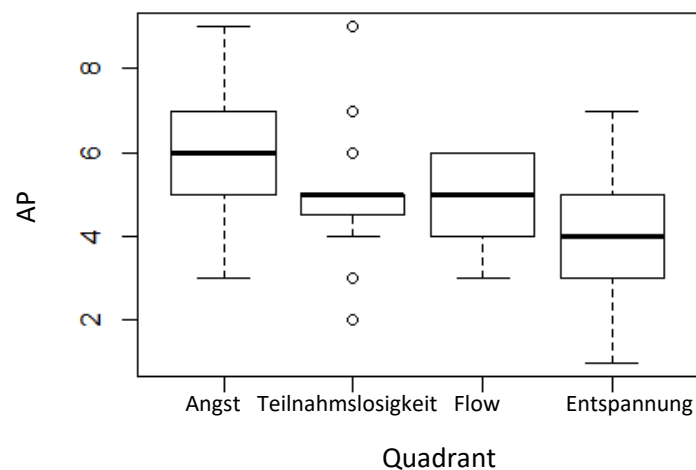


Abb. 3.12: Boxplots von AP für jeden Quadranten des Quadrantenmodells. Aus der Verteilung von AP über die verschiedenen Quadranten hinweg kann die Nutzung von AP als Ersatz des Quadrantenmodells gefolgert werden.

Statistische Tests bestätigen diesen optischen Eindruck. AP unterscheidet sich zwischen allen Quadranten mit mittleren bis hohen Effektstärken. Einzig zwischen den Quadranten Flow und Teilnahmslosigkeit gibt es keine statistischen Unterschiede (s. Abb. 3.12 und Tab. 3.14). Dies untermauert die Gleichsetzung mit dem Diagonalmodell.

Skala	Quadrant	Entspannung	Angst	Teilnahmslosigkeit
AP	Flow	t(158)=2.46 p=0.02 d=0.63	t(64)=-3.57 p<0.001 d=-1.01	t(90)=-0.06 p=0.95 d=-0.02
	Entspannung	/	t(190)=-9.72 p<0.001 d=-1.61	t(216)=-4.49 p<0.001 d=-0.64
	Angst	/	/	t(122)=5.39 p<0.001 d=0.99

Tab. 3.14: Die Ergebnisse der auf dem Quadrantenmodell beruhenden Gruppenvergleiche sind mit den üblichen Testwerten des Welch-Tests mit dem p-Wert und der Effektstärke pro Zelle aufgeführt. Signifikante Ergebnisse sind fett gedruckt. Der Welch-Test wurde ausgewählt, weil die Stichprobengröße und die Varianzen der zu vergleichenden Größen in den jeweiligen Gruppen nicht identisch waren.

Zur weiteren Überprüfung werden die Abhängigkeiten zwischen AP und Fähigkeit bzw. Anforderung als Achsen des Quadranten- und Diagonalmodells untersucht. AP korreliert stark mit Anforderung, $r(280) = 0.57$, $p < 0.001$, sowie Fähigkeit, $r(282) = -0.50$, $p < 0.001$. Auch AP wurde auf Gleichverteilung geprüft und die berechneten Spearman-Korrelationen (vgl. Tab. 3.15) bestätigten die vorherigen Ergebnisse (vgl. Abb. 3.12 und Tab. 3.14).

(Sub-)Skala	AP
Testwert	W = 0.94, $p < 0.001$
Spearman-Korrelation mit Fähigkeit	$\rho(1698500) = 0.56$, $p < 0.001$
Spearman-Korrelation mit Anforderung	$\rho(5506300) = -0.44$, $p < 0.001$

Tab. 3.15: Die Werte zur Überprüfung auf Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk Test ergaben keine Normalverteilung. Entsprechend sind jeweils die Werte der Spearman-Korrelation mit den ein-Item-Konstrukten Fähigkeit und Anforderung aufgelistet. Die Ergebnisse entsprechen denen der Berechnungen nach Pearson. AP korreliert positiv mit Fähigkeit und negativ mit Anforderung.

Demgegenüber steht ein zwischen den Items AP und Anforderung berechnetes Chronbach's $\alpha = 0.7$. Gleichwohl Chronbach's α keine Aussage über Eindimensionalität liefert, hätte eine aus beiden Items gebildete Skala eine ausreichende Reliabilität. Auch haben AP und Anforderung als Prädiktor für <flow> jeweils eine identische Varianzaufklärung (s. Tab. 3.5.). Um das Verhältnis zwischen AP und Anforderung und Fähigkeit zu klären, wurden drei Regressionsanalysen gerechnet. Das Modell SK

enthält Anforderung und Fähigkeit als mögliche Prädiktoren, das Modell S enthält ausschließlich Anforderung und das Modell K Fähigkeit als möglichen Prädiktor für AP (vgl. Tab. 3.16).

Modell	S			K			SK		
Variable	B	SD _B	t	B	SD _B	t	B	SD _B	t
Achsenabschnitt	3.03***	0.17	18.28	7.25	0.27	27.03	4.92***	0.35	13.88
Anforderung	0.41***	0.04	11.76	/	/	/	0.32***	0.04	8.84
Fähigkeit	/	/	/	-0.43***	0.05	-9.36	-0.26	0.04	-5.93
R ²	0.34			0.24			0.41		
F	(270) = 138.20***			(270) = 87.64***			(269) = 95.43***		
	$\Delta R^2_{21} = -0.10$			$\Delta R^2_{32} = 0.17$			$\Delta R^2_{31} = 0.07$		
	$\Delta F_{21} = -50.56$			$\Delta F_{32} = 7.79$			$\Delta F_{31} = -42.77$		

Tab. 3.16: Kennwerte dreier linearer Regressionsmodelle für AP mit verschiedenen möglichen Prädiktoren sind gegeneinander aufgelistet und miteinander verglichen. Signifikante Prädiktoren sind fett gedruckt. Es fällt auf, dass Fähigkeit nur im Modell K, Anforderung hingegen immer ein Prädiktor für AP ist. Auch wenn Fähigkeit im Modell SK kein signifikanter Prädiktor für AP ist, hat das Modell SK eine größere Varianzaufklärung für AP als Modell S, welches einzig den signifikanten Prädiktor Anforderung beinhaltet.

Werden Fähigkeit und Anforderung jeweils einzeln betrachtet, stellen sie sich als signifikante Prädiktoren für AP heraus. Obwohl in den beiden Modellen SK und S Anforderung der einzige signifikante Prädiktor für AP ist, wird mit dem Modell SK 7 % mehr Varianz als mit dem Modell S aufgeklärt. Daher werden die einzelnen Modelle in einer ANOVA miteinander verglichen (s. Tab. 3.17).

Modellvergleich	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	P
SK zu S	269	278.17	1	36.35	35.15	<0.001
SK zu K	269	278.16	1	80.84	78.18	<0.001

Tab. 3.17: Kennwerte der Vergleiche der linearen Regressionsmodelle für AP mittels ANOVA. Modell SK enthält als Prädiktoren Anforderung und Fähigkeit, Modell S enthält den Prädiktor Anforderung und Modell K den Prädiktor Fähigkeit für AP (s. Tab. 3.16).

Durch die ANOVA wird das Modell SK als passendstes lineares Modell für AP angesehen. Demnach klären die beiden Prädiktoren Anforderung und Fähigkeit als zwei ein-Item-Skalen zusammen 41 % der Varianz von AP auf. Auch dieses Ergebnis steht mit den ersten Ergebnissen dieses Unterkapitels in Einklang (vgl. Abb. 3.12 und Tab. 3.14).

3.3.5 Ergebnisse zu FF2

Um die Frage zu klären, inwiefern das Quadrantenmodell Sorgen von Studierenden erfassen kann, wurde die Übereinstimmung der Ergebnisse von <Besorgnis> mit den entsprechenden Aussagen des Quadrantenmodells verglichen. Zunächst wurden entsprechend der Quadranten Gruppen gebildet. Im Angst-Quadranten liegen im Vergleich zu den anderen drei Quadranten im Mittel die höchsten Werte vor und im Entspannungs-Quadranten die geringsten.

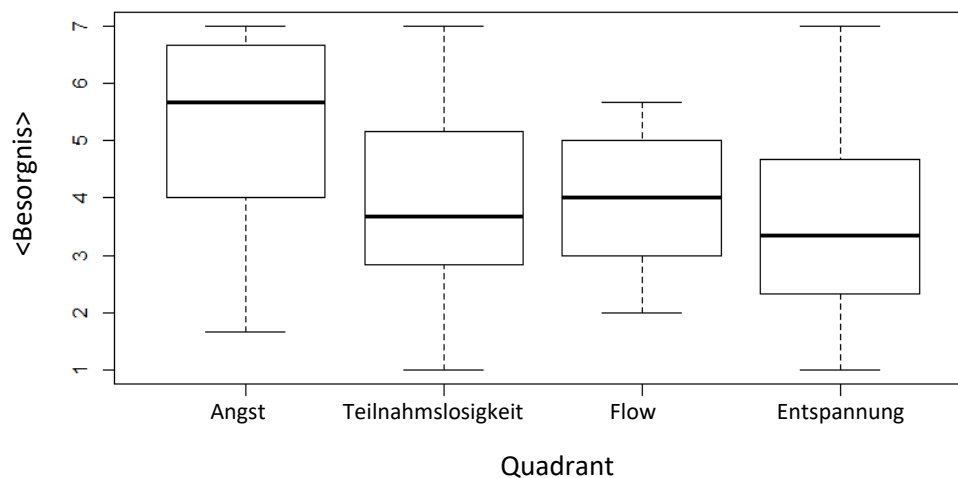


Abb. 3.13: Boxplots von <Besorgnis> für jeden Quadranten des Quadrantenmodells. Mit dem Quadrantenmodell konform liegen die höchsten Werte von <Besorgnis> im Angst-Quadranten vor.

Diese Ergebnisse werden in statistischen Gruppenvergleichen weitestgehend bestätigt. Bzgl. <Besorgnis> gibt es Unterschiede mit starken Effekten zwischen dem Angst-Quadranten und den anderen drei, die untereinander jedoch keine statistisch verwertbaren Unterschiede aufweisen (s. Abb. 3.13. und Tab. 3.18).

(Sub-)Skala	Quadrant	Entspannung	Angst	Teilnahmslosigkeit
<Besorgnis>	Flow	t(158)=0.91 p=0.36 d=0.23	t(64)=-3.27 p=0.002 d=-0.92	t(90)=-0.08 p=0.94 d=-0.02
	Entspannung	/	t(190)=-6.74 p<0.001 d=-1.12	t(216)=-1.76 p=0.08 d=-0.25
	Angst	/	/	t(122)=4.81 p<0.001 d=0.88

Tab. 3.18: Die Ergebnisse der auf dem Quadrantenmodell beruhenden Gruppenvergleiche sind mit den üblichen Testwerten des Welch-Tests mit dem p-Wert und der Effektstärke pro Zelle aufgeführt. Signifikante Ergebnisse sind fett gedruckt. Der Welch-Test wurde ausgewählt, weil die Stichprobengröße und die Varianzen der zu vergleichenden Größen in den jeweiligen Gruppen nicht identisch waren. Der Quadrant Angst unterscheidet sich signifikant von den anderen drei, die untereinander statistisch gleich sind.

Zur weiteren Überprüfung wurden Regressionsanalysen gerechnet. In Modell B sind alle im verwendeten Testinstrument verwendeten (Sub-)Skalen enthalten. Das Modell SAPA enthält die im Modell B signifikanten Prädiktoren. Im Modell SAPA sind nur noch Anforderung und AP signifikante Prädiktoren, die Absorbiertheit (<A>) entfällt hierbei mit $p = 0.06$ nur knapp (s. Tab. 3.19).

Modell	B				SAPA			
	B	SD _B	T	P	B	SD _B	T	P
Achsenabschnitt	1.34	0.76	1.77	0.08	0.37	0.46	0.80	0.42
Anforderung	0.12	0.06	2.058	0.04	0.17	0.06	2.93	0.004
Fähigkeit	-0.06	0.07	-0.84	0.40	/	/	/	/
AP	0.37	0.09	4.15	<0.001	0.45	0.08	5.61	<0.001
<gaV>	-0.18	0.12	-1.53	0.13	/	/	/	/
<A>	0.25	0.10	2.57	0.01	0.15	0.08	1.88	0.06
Berufsrelevanz	0.07	0.07	1.08	0.28	/	/	/	/
R ² =	0.26				0.26			
F	(265) = 17.20***				(268) = 32.51***			
	ΔR ² = 0.00							
	ΔF = 15.31							

Tab. 3.19: Kennwerte der linearen Modelle B und SAPA für <Besorgnis>. Prädiktoren mit einem signifikanten Einfluss auf <Besorgnis> wurden fett markiert. Es fällt auf, dass Anforderung, AP und <A> im Modell B signifikante Prädiktoren von <Besorgnis> darstellen. Im Modell SAPA, welches nur noch diese beinhaltet, entfällt <A> als signifikanter Prädiktor für <Besorgnis>

Da Anforderung und AP nicht unabhängig voneinander sind (vgl. Tab. 3.16 und 3.17), werden im Folgenden weitere lineare Modelle als Variationen auf Basis von Modell SAPA gerechnet. Das Modell

AAP enthält (s. Tab. 3.20). Das Modell AAP enthält <A> sowie AP, APS enthält AP sowie Anforderung und das Modell AS enthält Anforderung und <A> als mögliche Prädiktoren für <Besorgnis>.

Modell	AAP			APS			AS		
	B	SD _B	T	B	SD _B	t	B	SD _β	T
Achsenabschnitt	0.42	0.46	0.9	0.96**	0.33	2.91	1.57	0.42	3.71
<A>	0.15	0.08	1.89	/	/	/	0.18*	0.08	2.25
AP	0.59***	0.07	8.83	0.47***	0.08	5.76	/	/	/
Anforderung	/	/	/	0.17**	0.06	2.94	0.35***	0.05	7.17
R ²	0.24			0.25			0.17		
F	(269) = 43.25***			(269) = 46.57***			(269) = 29.70***		
	ΔR ² ₂₁ = 0.01			ΔR ² ₃₂ = -0.08			ΔR ² ₃₁ = -0.07		
	ΔF ₂₁ = 3.23			ΔF ₃₂ = -16.87			ΔF ₃₁ = -13.55		

Tab. 3.20: Kennwerte der linearen Regressionsmodelle AAP, APS und AS für <Besorgnis> mit verschiedenen möglichen Prädiktoren sind gegeneinander aufgelistet und miteinander verglichen. Prädiktoren mit einem signifikanten Einfluss auf <Besorgnis> wurden fett markiert.

<A> stellt bei den Modellen AAP und SAPA im Gegensatz zu den Modellen B und AS keinen signifikanten Prädiktor mehr für <Besorgnis> dar. Ansonsten weicht die Varianzaufklärung der verschiedenen Modelle nur um wenige Prozentpunkte voneinander ab. Daher wurden die verschiedenen linearen Modelle mit ANOVAs gegeneinander verglichen (s. Tab. 3.21).

Modellvergleich	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	P
SAPA zu AAP	268	546.54	1	17.51	8.65	0.004
SAPA zu AS	268	546.54	1	64.07	31.64	<0.001
SAPA zu APS	268	546.54	1	7.17	3.54	0.06
B zu SAPAP	265	536.51	3	10.03	1.65	0.18

Tab. 3.21: Kennwerte der Vergleiche der linearen Regressionsmodelle AS, AAP, APS (s. Tab. 3.20) sowie SAPA und B (s. Tab. 3.19) für <Besorgnis> mittels ANOVA. Das Modell SAPA ist den Modellen AAP und AS vorzuziehen, jedoch gleichwertig mit den Modellen A und APS. Daher ist das Modell APS als das einfachste der drei gleichrangigen Modelle das beste zur Vorhersage von < Besorgnis>.

Das Modell SAPA ist besser als die Modelle AAP und AS, jedoch gleichwertig mit den Modellen APS und B (vgl. Tab. 3.21). Daher wird das Modell APS mit den beiden Prädiktoren AP und Anforderung aufgrund

seiner Einfachheit das Modell AS für <Besorgnis> als das geeignetste gewählt, sodass AP und Anforderung als Prädiktoren 25 % der Varianz von <Besorgnis> aufklären.

3.4. Diskussion

Zunächst werden in einem allgemeinen Teil ausgewählte Daten des Tests vergleichend mit der Literatur interpretiert. Eine detailliertere Interpretation kann aber erst in Unterkapitel 6.4 erfolgen, wo die Daten inhaltlich auf die verschiedenen Handlungen aufgeschlüsselt werden. Im Anschluss daran werden jeweils die auf die Forschungsfragen bezogenen Ergebnisse gedeutet. Dies erlaubt die jeweils aufgestellte Hypothese H1 bzw. H2 anzunehmen bzw. zu widerlegen und auf die Forschungsfragen zu antworten. Als Maß des flow-Erlebens werden theoriekonform (u.a. Rheinberg et al., 2003) die Messwerte bzw. die Mittelwerte von <flow> angesehen.

3.4.1 Diskussion der Rohdaten

Die Reliabilitäten der einzelnen (Sub-)Skalen des in dieser Studie eingesetzten Testinstruments entsprechen denen der Literatur (u.a. Püttmann, 2009; Rheinberg et al., 2003). Es fällt aber auf, dass insgesamt die eigenen Fähigkeiten als leicht überdurchschnittlich und die Anforderungen als leicht unterdurchschnittlich bezogen auf die Experimentdurchführungen eingeschätzt wurden. Dies kann durch die Probandenwahl erklärt werden. Physikstudierende im ersten und auch im dritten Fachsemester sind zumindest teilweise physikaffin und die durchgeführten Experimente waren thematisch bedingt eher auf einem erhöhten Schulniveau. Darüber hinaus stellten die durchgeführten Experimente keine Prüfungsleistungen dar, sodass die über <Besorgnis> gemessene Stress- bzw. Angstkomponente ($M = 3.88$, $SD = 1.66$) einen knapp durchschnittlichen Wert annahm, vergleichbar mit normalen Bürotätigkeiten ($M = 3.47$, $SD = 1.89$) und anderen spezifischen Arbeitstätigkeiten ($M = 3.76$, $SD = 1.56$) (Rheinberg et al., 2005). Das mit <flow> gemessene flow-Erleben ($M = 4.71$, $SD = 1.00$) war im Bereich anderer physikalischer Lerngelegenheiten ($M = 4.55$, $SD = 1.26$) (Püttmann, 2009).

3.4.2 Diskussion bezüglich FF1

Die erste Forschungsfrage behandelt die Ähnlichkeit der Ergebnisse der beiden benutzten Testinstrumente für das flow-Erleben. Die Boxplots von <flow> in den einzelnen Quadranten (s. Abb.

3.3) zeigen zusammen mit den Gruppenvergleichen (s. Tab. 3.3) deutlich, dass die Voraussage des Quadrantenmodells für flow-Erleben nicht mit $\langle \text{flow} \rangle$ der FKS in Gänze übereinstimmt.

Rheinberg (2010) begründete eine mögliche Übereinstimmung von flow-Erleben mit dem Quadranten Flow durch den Expertise-Effekt. Bei Studierenden der unteren Fachsemester kann jedoch nur bedingt von Expertise in diesem dafür nötigen Ausmaß gesprochen werden (vgl. Tab. 3.2). Demnach sollte bei einer optimalen Herausforderung flow-Erleben auftreten, sodass sich ein parabelartiger Zusammenhang zwischen $\langle \text{flow} \rangle$ und Anforderungspassung (AP) ergibt. Regressionsanalysen zeigen sogar, dass dieser Zusammenhang mit der vierten Potenz von AP zu existieren scheint. Dies bedeutet, dass der Bereich einer für das flow-Erleben optimalen Anforderungspassung im Vergleich zu einem quadratischen Zusammenhang breiter ist und außerhalb dieses Bereichs stärker abfällt. AP^4 klärt in dieser Studie 14 % der Varianz für $\langle \text{flow} \rangle$ auf, ähnlich viel wie AP^2 bei Rheinberg et al. (2005).

Es wurden bewusst keine Korrelationen zwischen $\langle \text{flow} \rangle$ sowie den Subskalen Absorbiertheit ($\langle A \rangle$) und glatter, automatisierter Verlauf ($\langle \text{gaV} \rangle$) gerechnet. Ebenfalls wurden die (Sub-)Skalen in Regressionsanalysen gegenseitig nicht berücksichtigt, gleichwohl mögliche Zusammenhänge zwischen $\langle A \rangle$ und $\langle \text{gaV} \rangle$ wie von Krombass et al. (2007) berechnet die Varianzaufklärungen der Daten in dieser Studie hätten verbessern können. Dieses Vorgehen wird damit begründet, dass im Rahmen dieses Kapitels möglichst allgemeingültige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Testinstrumenten untersucht werden sollen. Rheinberg et al. (2003; 2005) stellen jedoch fest, dass verschiedene Handlungen verschiedene Verhältnisse zwischen $\langle A \rangle$ und $\langle \text{gaV} \rangle$ hervorrufen. Die Relation zwischen $\langle A \rangle$ und $\langle \text{gaV} \rangle$ scheint demnach eine Art Interaktion zwischen Handlung(skontext) und Person zu sein.

Regressionsanalysen der Daten zeigten zusammen mit ANOVAs, dass die empfundene Fähigkeit sowie die vierte Potenz von der mit AP gemessenen empfundenen Herausforderung die besten Prädiktoren für flow-Erleben sind. Anforderung spielt als Prädiktor hingegen keine Rolle. Beide Prädiktoren sind mit Abb. 3.2 weitestgehend konsistent, gleichwohl nur 22 % der Varianz von $\langle \text{flow} \rangle$ erklärt werden können. Dies entspricht auch weitestgehend den Befunden von Engeser & Rheinberg (2008), die zusätzlich zu Fähigkeit und AP^2 einen situationsbedingten linearen Anteil von AP fanden. Die unterschiedliche Potenz des Prädiktors AP bedeutet einen breiteren Bereich einer optimalen Anforderungspassung und würde die Breite des flow-Kanals im Diagonalmodell vergrößern. Demnach umfasst der flow-Kanal auch Messpunkte aus dem Quadranten Entspannung. Für diese Interpretation spricht auch, dass sich die Quadranten Flow und Teilnahmslosigkeit statistisch nicht voneinander unterscheiden lassen. Einzig im Quadranten Angst ist das flow-Erleben höchst signifikant geringer als in allen anderen Quadranten. Der Hypothese H1, das Quadrantenmodell erfasst nicht alle Merkmale des flow-Erlebens bei der Experimentierdurchführung und gibt die Messwerte aus dem FKS nicht ausreichend wieder, kann demnach zugestimmt werden.

Zu klären bleibt jedoch, warum der Quadrant Entspannung zum Quadranten Teilnahmslosigkeit aber nicht zum Quadranten Flow einen höchst signifikanten Unterschied beim flow-Erleben aufweist. Dies soll mit Detailanalysen der Subskalen von <gaV> und <A> im Rahmen von FF1.1 aufgeklärt werden.

3.4.3 Diskussion bezüglich FF1a

Erwartungsgemäß sind Fähigkeit und Anforderung Prädiktoren für den glatten, automatisierten Verlauf (<gaV>). Zusammen mit der Anforderungspassung (AP) als deren vermeintlicher Verknüpfung wurden 37 % der Varianz von <gaV> aufgeklärt. Anforderung und AP wirken mindernd und Fähigkeit steigernd auf <gaV>. Die Hypothese H1ai, <gaV> korreliert negativ mit AP und positiv mit Fähigkeit, wird von den Daten (vgl. Tab. 3.7 und Abb. 3.5) weitestgehend bestätigt. Demnach sollte der Quadrant Entspannung die höchsten Werte für <gaV> haben, gefolgt von Flow, Teilnahmslosigkeit und Angst. Der Quadrant Angst hat entsprechend den geringsten Mittelwert von <gaV> und der Quadrant <Entspannung> den höchsten. Die Quadranten Flow und Teilnahmslosigkeit unterscheiden sich trotz $d = 0.48$ nur knapp nicht signifikant voneinander. Einzig diese Ununterscheidbarkeit bleibt bei einer Varianzaufklärung der Prädiktoren von 37 % ungeklärt.

Abb. 3.1 liefert eine mögliche Erklärung für die Nichtunterscheidbarkeit der Mittelwerte zwischen den Quadranten Flow und Entspannung. Die Messpunkte liegen im Quadranten Flow bzgl. Anforderung und Fähigkeit nicht im gesamten Wertebereich vor, sondern eher im leicht unteren Bereich des Quadranten. So ist zu erklären, warum sich die Quadranten Teilnahmslosigkeit und Flow sich nicht statistisch voneinander unterscheiden lassen, gleichwohl Fähigkeit ein stärkerer Prädiktor als Anforderung darstellt. Nach Rheinberg et al. (2003) könnte vermutet werden, dass die einzelnen Probanden mit Messpunkten im Quadranten Flow die zwei Items bzgl. Anforderung und AP anders interpretierten als die übrigen Probanden. Mit den Daten der vorliegenden Studie lässt sich diese Interpretation jedoch nicht prüfen.

Das Verhalten der Absorbiertheit ist hingegen mit den vorliegenden Daten kaum aufzuklären, sodass die Hypothese H1a_{ii}, <A> korreliert positiv mit Fähigkeit und dem Quadrat von AP, abgelehnt werden muss. Es fällt auf, dass es zwischen keinem Quadranten statistisch verwertbare Unterschiede bzgl. <A> gibt. Für die Absorbiertheit in eine Handlung erscheinen die eigenen Fähigkeiten und die gestellten Anforderungen irrelevant zu sein. Gleichwohl Berufsrelevanz keinen Einfluss auf <A> hatte, liegt die Vermutung nahe, dass <A> themenbezogen bzw. interessenbehaftet ist. Die höchsten Werte für <A> werden bei Intimitäten und rezeptiven Handlungen erreicht (Rheinberg et al., 2003). Krombass et al. (2007) haben eine Korrelation zwischen Interesse und <A> mit $r = 0.54^{***}$ berechnet. Da das Interesse

in dem benutzten Testinstrument nicht erfasst wurde, kann dieser Zusammenhang in dieser Studie nicht näher untersucht werden. In dieser Arbeit scheinen einzig <Besorgnis> und Fähigkeit leichte Prädiktoren für <A> zu sein, gleichwohl die Varianzaufklärung mit 4 % vernachlässigbar erscheint. Die geringe Varianzaufklärung durch <Besorgnis> könnte auch auf die empfundene NA beim flow-Erleben hindeuten (vgl. Aellig, 2004). Möglicherweise rührt der leichte Einfluss von <Besorgnis> aus der Befürchtung her, aus der Versunkenheit der Handlung heraus gerissen zu werden. Ohne entsprechende Interviews werden diese möglichen Interpretationen jedoch nicht zu bestätigen sein. Krombass et al. (2007) berechneten eine Korrelation von $r = -0.20^*$ zwischen diesen beiden psychometrischen Größen. Bei Rheinberg et al. (2003) steigt <A> zusammen mit <Besorgnis> bei höheren Werten für AP. AP ist in dieser Studie im Gegensatz zu Fähigkeit kein Prädiktor für <A>. Der Prädiktor AP⁴ für <flow> wurde auch für <A> angenommen. Durch Regressionsanalysen konnte jedoch AP⁴ als Prädiktor für <A> ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse von Rheinberg et al. (2003) könnten wiederum bedingt durch die Probandenwahl auf einen Expertise-Effekt hindeuten. Insbesondere Experten scheinen besonders die Herausforderung auf ihrem jeweiligen Gebiet zu suchen und dann wie gefesselt davon zu sein. Nicht grundlos üben die 8000er eine geradezu mystische Anziehung auf Bergsteiger aus sowie auch physikalische Problemstellungen im Rahmen von Physikolympiaden und Forschung einen besonderen Reiz ausüben. Bei Experten könnte das Vertiefen in eine Handlung die negativen Auswirkungen hoher Anforderung auf einen reibungslosen Handlungsverlauf kompensieren und dadurch zu einem flow-Erleben im Quadranten Flow führen. Handelt es sich wie in der vorliegenden Studie jedoch eher weniger um Experten, so ist <A> über die Quadranten hinweg scheinbar gleichverteilt.

Unklar bleibt jedoch, warum die Prädiktoren von <gaV> nur teilweise mit denen von <flow> übereinstimmen. Da <A> und <gaV> Subskalen von <flow> sind, gilt $\langle \text{flow} \rangle = 0.4 \langle A \rangle + 0.6 \langle \text{gaV} \rangle$. Durch die scheinbare Gleichverteilung über die Quadranten hinweg sollte <A> aus mathematischer Sicht einen konstanten Offset darstellen und funktionale Abhängigkeiten von <gaV> auf <flow> übertragen. Obwohl <A> mit nur vier Items einen geringeren Einfluss auf <flow> als <gaV> mit sechs Items haben sollte, scheinen die Prädiktoren für <gaV> durch die gewichtete Aufsummierung mit <A> bis auf Fähigkeit für <flow> ihre Rolle zu verlieren. Die verschiedenen Verhalten von <A> und <gaV> hinsichtlich der einzelnen Quadranten können also die Verteilung von <flow> im Quadrantenmodell im Rahmen der durch Prädiktoren aufgeklärten Varianzen sowie geschlussfolgerten menschlichen Verhaltensweisen zumindest teilweise beschreiben. Die Hypothese H1aiii, die einzelnen Abhängigkeiten der Subskalen <gaV> und <A> zu den zwei Items Anforderung und Fähigkeit können die Verteilung von <flow> im Anforderungs-Fähigkeitsdiagramm erklären, wird daher teilweise angenommen.

3.4.4 Diskussion bezüglich FF1b

Gleichwohl die Anforderungspassung (AP) das Diagonalmmodell der zwei-Item-Messung gut abzubilden scheint (vgl. Abb. 3.10), ist es in der vorliegenden Arbeit weder ein guter Prädiktor für flow-Erleben noch ist deren inhaltliche Bedeutung im Vergleich mit Anforderung und Fähigkeit wirklich klar. Sowohl Fähigkeit als auch Anforderung sind Prädiktoren für AP, klären dabei nur 41 % der Varianz auf, 13 % weniger als in der Studie von Engeser und Rheinberg (2008). Trotz dieser unterschiedlichen Varianzaufklärungen sind die Aussagen identisch. AP scheint mehr als die Verknüpfung der beiden Prädiktoren zu sein.

Gleichwohl die Varianzaufklärung nur um 1 % besser ist, stellte sich in einer ANOVA AP als ein weiterer Prädiktor neben Fähigkeit und Anforderung für <gaV> heraus. Der Einfluss ist wie bei Anforderung theoriekonform negativ. Das gleiche Verhalten zeigt sich bei den Prädiktoren für <Besorgnis>. Insgesamt klären AP und Anforderung insgesamt 25 % der Varianz für <Besorgnis> auf, einzeln 24% bzw. 17 %. Diese geringen Mehrwerte im Rahmen der Varianzaufklärungen bestärken die Vermutung von Pfister (2002), dass AP einen anderen Aspekt von Anforderung darstellt und beide zusammen eine Skala bilden könnten. Das berechnete Chronbach's $\alpha = 0.7$ zwischen den beiden Items AP und Anforderung erhärtet diese Deutung. Bei der Einschätzung, wie schwierig eine Handlung ist, wird dies offenbar von zumindest vielen Probanden in Relation zum eignen Können gesetzt, gleichwohl dies nicht die Intention dieses Items ist. Rheinberg (2010) relativiert jedoch diese Sicht. Offenbar scheint diese Bedeutungsgleichsetzung hoch individuell verschieden zu sein. Zur besseren Klärung sind jedoch größere Stichproben und zusätzliche qualitative Interviews bzw. think-aloud-Studien nötig. Für eine entsprechende Klärung ist die Datengrundlage in der vorliegenden Studie ggf. zu einseitig und zu gering. Trotzdem lässt sich konstatieren, dass es aufgrund der Schwierigkeiten bzgl. der klaren Einordnung von AP mit den Daten der vorliegenden Studie zwischen Anforderung und Fähigkeit Probleme generieren kann, AP als Vergleichsmaß zur klassischen zwei-Item-Messung zu nutzen. Daher wird H1b, AP ist durch eine Bedeutungsüberschneidung mit Anforderung kein guter Indikator für das Anforderungs-Fähigkeits-Diagramm, angenommen.

3.4.5 Diskussion bezüglich FF2

Die Skala <Besorgnis> ist ein Maßstab für das Angst- und Stressempfinden Fehler zu begehen oder zu versagen und beschreibt die dem Quadranten Angst zugeschriebene Erlebnisqualität. Als Prädiktoren fungieren Anforderung und AP, gleichwohl nur 25 % der Varianz aufgeklärt werden können. Fähigkeit stellte sich nicht als stresslindernd heraus, was aufgrund des Kompetenzerlebens von Deci & Ryan

(1993, 2002) zu erwarten gewesen wäre. Dementsprechend sollte der Wert für <Besorgnis> im Quadranten Entspannung am geringsten ausfallen, gefolgt von Teilnahmslosigkeit, Flow und Angst. Durch die Passung von Anforderung und Fähigkeit im Quadranten Teilnahmslosigkeit bei niedrigen Anforderungen und Flow bei hohen Anforderungen sollten diese Quadranten ebenfalls eine konkrete Rangfolge bzgl. der Werte für <Besorgnis> bilden. Allenfalls beim Vergleich zwischen den Quadranten Entspannung und Teilnahmslosigkeit gibt es einen kleinen Effekt, der mit $p = 0.08$ gerade nicht signifikant wurde. Statistisch unterscheiden sich die Quadranten Entspannung, Teilnahmslosigkeit und Flow bzgl. der Werte für <Besorgnis> nicht voneinander. Dies in Verbindung mit der geringen Varianzaufklärung könnte wieder auf den von den Messwerten nicht ausgeschöpften Wertebereich von Anforderung und Fähigkeit hindeuten, da sich kleine nicht signifikant gewordene Unterschiede der Meridiane zwischen den Quadranten andeuten (s. Abb. 3.13). Davon abgesehen liegen die höchsten Werte für <Besorgnis> theoriekonform im Quadranten Angst vor. Daher wird die Hypothese H2, der postulierte Quadrant Angst stimmt nicht mit den Messungen von <Besorgnis> überein, weitestgehend abgelehnt.

3.4.6 Zusammenfassung der Diskussion

Das Quadrantenmodell wurde mit seinen Aussagen mit denen der FKS verglichen. Durch die inhaltliche Validität der FKS wird in Einklang mit Zweifeln in der Literatur (u.a. Krombass et al., 2007; Rheinberg, 2010) das Quadrantenmodell als Interpretation der zwei-Item-Messung verworfen. Es soll auch kein neues Modell mit einem an die mit dem FKS gemessenen Werte für <flow> angepassten Wertebereich im Anforderungs-Fähigkeiten-Diagramm zur Interpretation dieser Art der Messung vorgeschlagen werden (vgl. Abb. 2.7). Anhand der vorliegenden Daten wird abgeraten, flow-Erleben mit der zwei-Item-Messung zu erheben. Das flow-Erleben scheint deutlich komplexer zu sein, als dass mit der Messung eines Merkmals eine bijektive Abbildung mit dem flow-Erleben bestimmt werden könnte. Die geringen Varianzaufklärungen stützen die Aussage, dass flow-Erleben nicht mit der zwei-Item-Messung zuverlässig bestimmt werden kann. In dieser Arbeit ist Anforderung nicht einmal ein Prädiktor von <flow>. Gleichwohl die Datengrundlage dieser Arbeit nicht ausreichend für eine ablehnende Aussage in diesem Umfang ist, wird die Aussage durch zahlreiche weitere Arbeiten aus verschiedenen Tätigkeitsbereichen (z.B. Aellig, 2004, Rheinberg et al., 2005, Reinhardt et a., 2006; Krombass et al., 2007) gestützt.

Die gleiche Argumentation und Ablehnung der Messung auf Grundlage einer Interpretation der zwei-Item-Messung gilt ebenfalls für <Besorgnis>, auch wenn die Passung zum Quadrantenmodell deutlich besser zu sein scheint.

Allerdings kann die zwei-Item-Messung weiterhin als Zusatzskala der FKS genutzt werden, um die mit der FKS psychometrisch erfassten Handlungen bzgl. der Passung zum Probanden evaluieren zu können. So könnten Lernumgebungen wie physikalische Experimente hinsichtlich der Passung zum Kompetenzstand der Lernenden evaluiert werden. Darüber hinaus tragen die drei Passungsitems als Zusatzskala der FKS mit zur Varianzaufklärung bei, sodass u.U. Stellschrauben zur Verbesserung der untersuchten Lerngelegenheiten identifiziert werden können. Allerdings sollte hierfür das Verhältnis der drei Passungsitems zur Fähigkeit, zur Anforderung und AP präziser geklärt werden, um die Ergebnisse präziser deuten zu können.

4 Flow-Erleben bei physikalischen Experimenten verbessern

Nachdem in Kapitel 2 flow-Erleben charakterisiert und eine sinnvolle für den Unterricht nutzbare lernförderliche Wirkung dargelegt wurde, sollen in diesem Kapitel Implikationen für den Unterricht herausgearbeitet werden. Zunächst werden dafür in Unterkapitel 4.1 noch einmal Auslösebedingungen von flow-Erleben diskutiert sowie für das flow-Erleben förderliche Elemente allgemein anhand vorhandener Studien dargelegt. In einem zweiten Schritt werden diese Erkenntnisse auf physikalische Lernumgebungen in Form von Experimenten angewendet. Die dabei formulierten Veränderungen laufen dann in die in Kapitel 5 beschriebene Lernumgebung zusammen.

4.1 Förderliche Elemente für das Flow-Erleben

Csikszentmihalyi (2014a) hat aus den in Unterkapitel 2.2 beschriebenen Merkmalen des flow-Erlebens drei förderliche Elemente herausgearbeitet. Diese sind

- das Gleichgewicht von wahrgenommener Herausforderung und eigenen Fähigkeiten,
- eine klare Zielstellung,
- ein klares und unmittelbares Feedback.

Als Voraussetzung für flow-Erleben gilt gemeinhin das Gleichgewicht aus empfundener Anforderung und Fähigkeit bezogen auf die ausgeübte Tätigkeit (vgl. Abb. 2.3, Unterkapitel 2.4). Csikszentmihályi (2014a) bezeichnet dieses Gleichgewicht jedoch als fragiles Feingefühl, welches in jedem Moment im Wandel sein kann. An dieser Stelle sei noch einmal auf die problematische Wertung bezüglich der in der Literatur teilweise synonym benutzten Begriffe Anforderung und Herausforderung verwiesen (vgl. Unterkapitel 2.4).

Eine klare Zielstellung kann das Verhalten strukturieren und damit die Aufmerksamkeit fokussieren (Csikszentmihalyi; 2014a). Csikszentmihalyi (2014b) führte darüber hinaus das veränderte Zeiterleben beim flow-Erleben auf die Zielklarheit, die Kenntnis über die Bedeutung des Ziels zurück. Hier sind auch die Ergebnisse von Pozas (2016) zu verorten, die mit Interesse und Kontextualisierung (vgl. Unterkapitel 5.4) zwei für das flow-Erleben förderliche Bedingungen fand. Flow-Erleben gilt gemeinhin als Zustand des Glücks und der Freude (Csikszentmihalyi, 1992). Gleichwohl arbeitsbezogene Tätigkeiten eher nicht für Freude und Spaß stehen, kam es in diversen Messungen bei arbeitsbezogenen Tätigkeiten zu häufigerem flow-Erleben als bei freizeitbezogenen Aktivitäten (Rheinberg et al., 2007). Dies wird als Paradoxon der Arbeit bezeichnet. Die Auflösung dieses scheinbaren Widerspruchs ist wahrscheinlich auf die klare Zielstellung der ausgeübten Tätigkeit zurückzuführen. Arbeitsbezogene Aktivitäten unterschieden sich hauptsächlich durch die Zielklarheit von freizeitbezogenen Aktivitäten (Rheinberg et al., 2007).

Die dritte Bedingung für flow-Erleben stellt nach Csikszentmihályi (2014a) ein klares und unmittelbares Feedback dar. Bei dieser Art des Feedbacks geht es um die Überwindung der kontinuierlichen Veränderungen der Forderungen der Umgebung, die eigentlich Bestandteil aller Aktivitäten sind. Ein unmittelbares Feedback stellt eine passende Rückmeldung für das Individuum dar und diktiert quasi den nächsten Handlungsschritt im Rahmen der ausgeübten Tätigkeit. Der Handelnde muss nicht mehr aus einer Reihe von zum Teil widersprüchlichen Möglichkeiten auswählen, sondern hat durch das feedbackbedingte Diktat des nächsten Handlungsschrittes nur noch geringe Zweifel, was als nächstes im Rahmen der Handlung zu tun ist. Wichtiger als der einzelne Messwert im Rahmen des unmittelbaren Feedbacks ist jedoch die Nützlichkeit für Vorschläge angenäherter Messungen, wie es ein Metronom für Pianisten oder der Taktschlag für Tänzer darstellt. Anstatt Details zu korrigieren wird eher ein Handlungsrahmen abgesteckt. Ein solch unmittelbares Feedback beinhaltet unvermeidbar auch negative Komponenten, die allerdings nicht notwendigerweise schädlich für ein flow-Erleben sind. Als Beispiel ist hier der Physiker zu nennen, der im Zweifelsfall bis in die Nacht hinein den experimentellen Aufbau justiert und optimiert, sodass das Experiment sinnvolle Messwerte liefert.

Als Beispiel führt Csikszentmihalyi (2014b) Wissenschaftler an. Wissenschaftler arbeiten im Allgemeinen keinen geregelten 8-Stunden-Tag, sondern beschäftigen sich auch in ihren Pausen, nach dem Feierabend und manchmal auch am Wochenende mit ihrer Arbeit. Erklärt werden kann dieses regelrechte Verlieren in ihre Arbeit mit flow-Erlebnissen. Aufgrund der klar definierten Grenzen und Ziele von Wissenschaft erleben Forscher häufig flow-Erlebnisse, sofern sie deren Regeln akzeptieren und ihr Bewusstsein im Genuss verlieren.

Ferner scheinen körperliche Aktivitäten wie leichte Gymnastik oder ein Spaziergang zu flow-Erleben zu führen (Peifer et al., 2019). Unabhängig von Auslösebedingungen stellt flow-Erleben ein

Erregungsniveau und damit Anstrengung für den menschlichen Körper dar. Nebst psychometrischen Messungen einer leicht erhöhten negativen Aktivierung zeigten Messungen des Hormonspiegels im Blut erhöhte Werte entsprechender Stresshormone (Peifer et al., 2019). Entsprechend ist es für ein länger anhaltendes flow-Erleben vorteilhaft, bei Bedarf kurze Pausen zur Regenerierung einzulegen.

Die Beispiele mit Wissenschaftlern und dem Arbeitsparadoxon zeigen dennoch, dass mit klaren Zielstellungen, sinnvollen Feedbackelementen und einem ausgewogenem Verhältnis aus erlebten Anforderungen und Fähigkeiten flow-Erleben generiert werden kann. Ferner verstärken eine leichte körperliche bewegung sowie die Möglichkeit der Pausennutzung diese Effekte. Diese fünf Komponenten lassen sich daher auch gezielt zur Gestaltung von flow-Erleben auslösenden Lernsituationen einsetzen (s. Unterkapitel 4.2): „Flow in this sense serves as a motivator to enter an activity, of example an learning activity“ (Nacke, 2009, S. 79).

4.2 Fördern von flow-Erleben bei physikalischen Experimenten als Lerngelegenheit

Aufbauend auf das Paradoxon der Leistungsmotivation bedeutet der Zustand des flow-Erlebens beim Physiklernen, dass physikbezogene Kompetenzen zum Experimentieren oder zum Bearbeiten einer Lernaufgabe angewendet werden. Dabei wird nicht primär die Lösung, sondern die Beschäftigung gesucht. Im Besonderen erscheinen hierbei Experimente geeignete flow-Erleben auslösende Lerngelegenheiten zu sein. Dabei ist es nicht unbedingt die explizite Beschäftigung mit physikalischen Konzepten. Neben der Neugier, „was die Welt im Innersten zusammenhält“ (Goethe, Faust I, Vers 382 f.) sind es auch die für eine funktionierende Durchführung nötigen Justageschritte, Adaptionen sowie die iterative Suche und Beseitigung von Fehlern im Aufbau, die in einem Weitermachen des Experimentierens münden. Es werden im Rahmen des flow-Erlebens also Kompetenzen angewendet oder erworben, die im späteren Unterrichtsgang als solche explizit thematisiert werden können.

Ibáñez et al. (2014, S. 3) leiten ab, dass „a main challenge in education is to foster learners' flow state“. Um diesen Anspruch gerecht zu werden, muss eine Experimentierumgebung die drei Komponenten Zielklarheit, Gleichgewicht aus Anforderung und Fähigkeit sowie unmittelbares Feedback beinhalten (vgl. Kapitel 2).

Das Gleichgewicht aus Anforderung und Fähigkeit lässt sich im weitesten Sinne durch eine Binnendifferenzierung der Lernenden realisieren. So könnten die Lernenden bezogen auf ihre Leistung in heterogen oder homogen Gruppen zusammengesetzt werden. Diese Form der Gruppeneinteilung schließt die Einzelarbeit keineswegs aus, da formal jedes Leistungsstandsintervall mit eigenen Aufgaben als Gruppe mit einen homogenen Leistungsstand definiert werden kann. Bei inhomogenen

Gruppen können einzelne Aufgabenbestandteile gezielt für leistungsschwächere sowie leistungsstärkere Lernende kreiert sein. Die einzelnen leistungstechnisch homogenen Gruppen hingegen können verschiedene Aufgaben mit fähigkeitsentsprechenden Anforderungen oder alternativ identische Aufgaben mit fähigkeitsentsprechenden Hilfestellungen bekommen. Diese Möglichkeiten können es Lernenden ermöglichen, auf ihrem individuellen Niveau zu lernen und sich bei der Bearbeitung des Lerngegenstands einzubringen.

Die Zielklarheit wird durch das Experiment selbst vorgegeben. Im Rahmen des Experimentierzyklus (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010, vgl. Kapitel 5) wird den Lernenden eine Struktur gegeben, in der es eine Hypothese zu testen gilt. Die Zielorientierung ist demnach die Annahme oder das Verwerfen einer Hypothese mit der Möglichkeit, die Eingangshypothese zu modifizieren oder eine sich an die Untersuchung anlehrende Hypothese als Themenerweiterung aufzustellen und zu testen. Ferner ist das zu erstellende Produkt als weiteres Ziel zu verstehen, d.h. das im Rahmen des Experiments zu erstellende Protokoll oder die Präsentation des durchgeführten Experiments. Auch kann die Zielklarheit durch die Themenwahl beeinflusst werden. Ziele sollten nämlich nicht nur klar, sondern auch persönlich bedeutsam sein (Csikszentmihalyi; 2014b). Im Vergleich mit typischen physikalischen Laborexperimenten kann die Untersuchung von aus der alltäglichen Erfahrungswelt stammenden Phänomenen und Objekten als persönlich bedeutsamerer Inhalt eingestuft werden (vgl. Unterkapitel 5.4).

Hofferber et al. (2015) stellten fest, dass Lehrkräfte durch ihr eigenes Verhalten Feedbacksysteme der Lernenden regelrecht aushebeln und somit ein flow-Erleben der Lernenden verhindern können. Mit zeitdruckbedingten Handlungsvorschriften und oktroyierten Regeln inklusive Strafandrohungen bei Verstößen entreißen demnach Lehrkräfte den Lernenden die Kontrolle über das eigene Handeln. Ohne eine gewisse Handlungsautonomie aber können Lernende ihr Handeln nicht an das jeweilige Feedback anpassen, die Tätigkeitsausübung verläuft nicht mehr glatt. Demgegenüber kontrastieren Hofferber et al. (2015) Feedbackmechanismen im Rahmen eines autonomiefördernden Unterrichts. Hierbei spielt der Erfüllungsgrad der Erwartungen der Lehrkraft als Feedback keine Rolle, sondern Wertschätzung des Handelns der Lernenden sowie das Aufzeigen von Verbesserungsmöglichkeiten. Es gibt aber auch nicht nur Feedbacksysteme auf der Grundlage menschlicher Kommunikation. Auch die Interaktion mit den Experimentieraufbauten selbst sowie entsprechende Messergebnisse stellen ein unmittelbares Feedback bereit. Um diese Art des Feedbacks zu nutzen, müssen jedoch Abweichungen des Outputs erkannt und folgerichtig interpretiert und in entsprechende Stellschrauben des jeweiligen Aufbaus übersetzt werden. Diese Wirkkette kann Lernenden vereinfacht werden durch eine computergestützte Messwerterfassung. Aufgenommene Messwerte können mithilfe der informationsverarbeitenden Technik in visuelle Daten quasi in Echtzeit übersetzt werden. Anstatt aus aufgeschriebenen

Messwerttabellen umständlich Messwertdiagramme händisch zu erzeugen, nach deren Fertigstellung der Experimentierablauf zeitlich bedingt bereits fast vergessen scheint, werden diese noch während der Datenaufnahme im Rahmen der Durchführung automatisiert geplottet. Dies ermöglicht es, das Messwertdiagramm als Feedbackmechanismus zu nutzen, da Lernende Ausreißer und andere nicht erwartete Messwerte zeitlich direkt mit ihrer aktuellen Experimentdurchführung verbinden können (Müller, Magdans & Borowski, 2014). Dies trifft natürlich auch auf Smartphones als Messgerät zu (vgl. Kapitel 5).

Für Schiefele (1996) sind tätigkeitszentrierte Anreize zweigeteilt in die der Tätigkeit selbst und in die des für die Ausübung der Tätigkeit notwendigen Gegenstands bzw. Werkzeugs. Der auf den notwendigen Gegenstand bezogene tätigkeitszentrierte Anreiz wird dabei als Interesse für den genutzten Gegenstand betrachtet. In der Jim-Studie (Feierabend et al., 2016) wurde unter anderem eine hohe Nutzungsdauer bzgl. des Smartphones festgestellt. Dies kann durchaus als Interesse an dem Smartphone an sich bzw. an den genutzten Inhalten bezeichnet werden. Ebenso wie das Smartphone als Messinstrument einen Gegenstand zur Tätigkeitsausübung darstellt, ist das jeweilige Thema ebenso ein zum Lernen und Üben physikalischer Kompetenzen notwendiges Werkzeug (vgl. Unterkapitel 5.4). In diesem Sinne können sowohl die Smartphonennutzung als auch die Themenwahl an sich als tätigkeitszentrierte Anreize betrachtet werden, die bei Lernenden in einem flow-Erleben aufgehen können. Auf der anderen Seite handelt es sich um eine formale Lernsituation, die diese positiven Konnotationen des Smartphones und des Themas korrumpieren könnte. In der Studie von Rheinberg und Vollmeyer (2003) konnte für Spiele jedoch gezeigt werden, dass das flow-Erleben nicht durch ein Hinzufügen eines weiteren Ziels wie einer Schulnote unterminiert wird. Wenn flow-Erleben bei Spielen durch deren Instrumentalisierung nicht unmöglich wird, dann kann das gleiche auch für die Smartphonennutzung sowie das Heranziehen von Objekten und Phänomenen aus der alltäglichen Erfahrungswelt in Lernprozessen angenommen werden.

Als Zusammenfassung der verschiedenen, für das flow-Erleben förderlichen Elemente wird ein forschend-entdeckendes Lernarrangement grob skizziert, welches die verschiedenen Elemente enthalten wird. Die oben genannten Arten der Binnendifferenzierung finden sich im Bereich des so genannten forschend-entdeckenden Lernens (s. Unterkapitel 5.3) in der Personalisierung wieder (Reitinger, 2013, S.61). Außerdem beinhaltet das forschend-entdeckende Lernen die Forderungen von Hofferber et al. (2015) nach Wertschätzung und Aufzeigung von Verbesserungsmöglichkeiten. Zusätzlich können Smartphones als Messgeräte durch eine Visualisierung der Messdaten beim Messprozess das Feedback qualitativ ergänzen. In Anlehnung an Hoblitz (2015), Schiefele (1996) sowie Rheinberg und Vollmeyer (2003) ist auch davon auszugehen, dass die Nutzung von Smartphones für formale Lerngelegenheiten keine negativen Auswirkungen für ein flow-Erleben bei der Beschäftigung

mit den entsprechenden Lerninhalten hat, sondern die Lerngelegenheiten sogar positiv konnotieren und das flow-Erleben verstärken kann. Darüber hinaus stellt für Reitinger (2013) der tätigkeitsorientierte Anreiz eine Grundbedingung für forschend-entdeckendes lernen dar. Je nach gewählter Tätigkeit werden die Lernenden sich auch bewegen müssen, um beispielsweise Experimente aufzubauen. Würden in einem blended-learning Konzept (vgl. Unterkapitel 5.6) Teilaspekte außerhalb des Unterrichts als Hausaufgaben durchgeführt, könnten Lernende sich ihre Pausen zumindest partiell nach Bedarf frei einteilen.

Aus diesen Gründen erscheint es für eine Steigerung des flow-Erlebens beim Physiklernen zielführend zu sein, ein forschend-entdeckendes Lernarrangement in Verbindung mit dem Smartphone als Messgerät in einem blended-learning Konzept zu nutzen. FELS - Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone – stellt ein entsprechendes auf fachdidaktischen Überlegungen beruhendes Lernarrangement dar (Müller et al., 2018a).

5 Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone (FELS)

Im Folgenden Kapitel werden die Lernumgebung FELS inklusive deren physikdidaktischer und medienpädagogischer Grundlagen dargestellt sowie mit den entsprechenden Bildungsstandards der KMK (KMK, 2005; KMK, 2016) verglichen. Gleichwohl es in wesentlichen Zügen bei Müller et al. (2018a) nachzulesen ist, werden einige der entsprechenden Inhalte in diesem Rahmen noch einmal erweitert dargestellt.

5.1 Adaption eines Alltagsobjekts zur Nutzung im Physikunterricht.

Die Ausgangssituation dieser Forschungsprojekts ist die Unbeliebtheit von Physikunterricht (PISA 2015). Anstatt Motivation und flow-Erleben als deren mögliche Ursache auf einer Metaebene zu diskutieren (vgl. Kapitel 1 und 2), soll im Folgenden ein konkretes inhaltliches Element von Physikunterricht unter diesen Aspekten beleuchtet werden. Dabei wird aufgrund fachdidaktischer und medienpädagogischer Erkenntnisse eine mögliche Neugestaltung vorgeschlagen. Dieses konkrete inhaltliche Element sind Schülerexperimente, bei denen Schüler*innen ggf. unter Anleitung der Lehrkraft mehr oder weniger selbstständig experimentieren. Besonders bei solchen Experimenten fehlen zu oft lebensweltliche Anschlüsse bzw. gehen vorhandene Anknüpfungspunkte an die Lebenswelt der Jugendlichen nicht weit genug. Um den Physikunterricht interessanter und motivierender zu gestalten, gilt es also stärker als bisher an die Lebenswelt bzw. an alltäglichen Erfahrungen der Schüler*innen anzuknüpfen.

Traditionelle Messinstrumente oder Taschenrechner mit dem Smartphone zu ersetzen, würde den Physikunterricht wenn überhaupt nur oberflächlich aufwerten. Schüler*innen nutzen ihre Smartphones relativ umfangreich und diese stellen einen wichtigen, positiv konnotierten Begleiter ihres täglichen Lebens dar (JIM-Studie, 2016). Aber ohne eine Neukonzeptionierung der unterrichtlichen Einbettung wird der Smartphoneeinsatz im Physikunterricht nicht sein volles Potential nutzen (vgl. Spang, 2014) und ebenfalls keinen tiefergehenden Bezug zur Lebenswelt der Schüler*innen generieren können.

Die Alltagswelt von Jugendlichen hat sich in den letzten zehn Jahren unter anderem durch die Nutzung moderner Technik gewandelt. Mit dem Web 2.0 war es normalen Endverbraucher*innen nun möglich, eigene Inhalte im Internet zu erstellen bzw. Inhalte anderer aktiv mit zu gestalten. Dieser Qualitätssprung der Nutzung und Quantitätssprung von Internetinhalten wurde bereits als Revolution bezeichnet (O'Reilly, 2006). Die Möglichkeit der Ubiquität bedingt durch entsprechende Hardware potenziert diese Revolution noch einmal, weil multimediale Inhalte mit dem eigenen Smartphone überall zu jeder Zeit erstellt werden können. Und mit einer Verbreitungsrate von Smartphones bei Jugendlichen von über 90 % sind die oben geschilderten Möglichkeiten nicht mehr nur Möglichkeiten, sondern stellen ein beobachtbares, nicht mehr vernachlässigbares Verhalten dar (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2015).

Klassische Kontextuierungen von Aufgaben hüllten fachliche Inhalte in alltagsnähere Situationen ein, die die oben geschilderte Veränderung in der Erfahrungswelt der Lernenden eher wenig mit einbezogen. Das Projekt „Schulkontext“ (Oberländer, 2014) berücksichtigt entsprechende Änderungen. Geräte und Medien aus der alltäglichen Erfahrungswelt der Schüler*innen halten Einzug im Schulunterricht, um den Lebensweltbezug zu erhöhen. Für den Physikunterricht und im Speziellen für Schülerexperimente bedeutet die an der Lebenswelt der Schüler*innen orientierte Einbettung von Smartphones und anderen tragbaren digitalen Endgeräten, dass diese Geräte als Messinstrument (u.a. Lück & Wilhelm, 2011; Vogt et al., 2011) sowie zur Dokumentation (Rath & Schittelkopf, 2011) eingesetzt werden. Als Adaption vom situierten Lernen bezeichnen Kuhn et al. (2011, S. 5) den Smartphoneeinsatz als „materielle Situietheit“. Darüber hinaus wird der Physikunterricht auch dadurch authentischer. Mit Hilfe des genutzten Alltagsgegenstandes sowie alltäglicher Handlungen werden naturwissenschaftliche Erkenntnisse aus der Schärfung des Alltags generiert, was die gefühlte Anwendbarkeit des Physikunterrichts erhöht (Höttecke & Ries, 2015). Unter Alltag wird in der vorliegenden Arbeit das normale Leben der Schüler*innen außerhalb der Schule und dessen Inhalten verstanden.

Nach Tesch & Duit (2004) stellt die Einbettung der Einzelelemente in den Unterrichtsgang ein Qualitätsmerkmal guten Unterrichtsverlaufs dar. Diese wird wiederum von der Lernumgebung

entschieden. Aus diesem Grund ist Hovrath (2007, S. 36) gegen eine „Bewährpädagogik“, die die Schüler*innen von den Lehrkräften entfremdet. Eine Bewährpädagogik meint dabei, den Unterricht zu belassen wie er ist, obwohl Einzelelemente des Unterrichts wie Methoden, Sozialformen oder Mediennutzung geändert wurden. Lernsituation gehören entsprechend umgestaltet. Konkret auf die Nutzung elektronischer Endgeräte bezogen bedeutet dies, dass der kreative Schöpfungsdrang sowie die damit verbundenen sozialen Interaktionen der Lernenden bei deren außerunterrichtlicher Mediennutzung und Smartphonenuutzung auch in einem unterrichtlichen Rahmen aufgegriffen werden sollten. Daher drängt es sich auf, bei der Einführung der Smartphonenuutzung bei Experimenten im Rahmen von Physikunterricht neue Lernarrangements zu entwickeln anstatt auf ältere zurück zu greifen.

Aus physikdidaktischer Sicht muss eine solche Änderung von Unterricht entsprechend legitimiert sein. Die bloße Verfügbarkeit der Geräte stellt zwar eine notwendige Bedingung für einen breiten kostenneutralen Einsatz im Unterricht dar. Aber im Sinne einer solchen Legitimierung erscheint sie als einziges Argument zu kurz gegriffen. In den nachfolgenden Unterkapiteln wird mit FELS als Synthese verschiedener fachdidaktischer Forschungsstränge hergeleitet und als Lernarrangement vorgestellt.

5.2 Smartphoneexperimente im Physikunterricht

Die Nutzung von Smartphoneexperimenten im Physikunterricht wird in den letzten Jahren forciert, was entsprechende Angebote von Lehrerfortbildungen wie u.a. die SINUS Landestagung Thüringen und der MNU Bundeskongress 2018 zeigten. In den meisten Fällen werden in den vorgeschlagenen Experimenten lediglich die tradierten Geräte mit dem Smartphone ausgetauscht (u.a. Castro-Palacio et al., 2013; Kuhn & Vogt, 2013), gleichwohl teilweise mit dem Fotografieren und Videografieren auch weitere Funktionen von Smartphones beim Experimentieren genutzt werden (Rath & Schittelkopf, 2011).

Für die in Unterkapitel 5.1. geforderte Neugestaltung für Smartphoneexperimente ist eine rein additive Aufnahme gewisser zusätzlicher Funktionen zu kurz gegriffen. Medien sind Informationsträger. Nicht das Medium an sich, sondern das mit dem Medium gestaltete Lernarrangement bewirkt den Lerneffekt (nach Clark 1994 in: Urahe et al., 2000). Diese eher funktionale Sicht auf Medien steht mit der Konnotation der Smartphonenuutzung als „Kulturressource“ (Bachmair, Coole & Pachler, 2014, S. 209) nicht im Widerspruch. „Es gehe gerade nicht um die Abbildung herkömmlicher Methoden und Bewertungskriterien im digitalen Raum.“ (Spang, 2014, S. 112) Spang (2014) fordert vielmehr eine zum digitalen Raum passende Lernkultur. Dies bedeutet für

den Physikunterricht, dass Schülerexperimente als typisches Lernarrangement entsprechend auf digitale Endgeräte adaptiert werden müssen.

Schülerexperimente im Physikunterricht lassen sich hinsichtlich der Zielsetzungen in vier Kategorien einsortieren. Diese sind die Verbindung von Theorie und Praxis, das Kennenlernen naturwissenschaftlicher Denkweisen, der Erwerb experimenteller Kompetenz, die Steigerung der

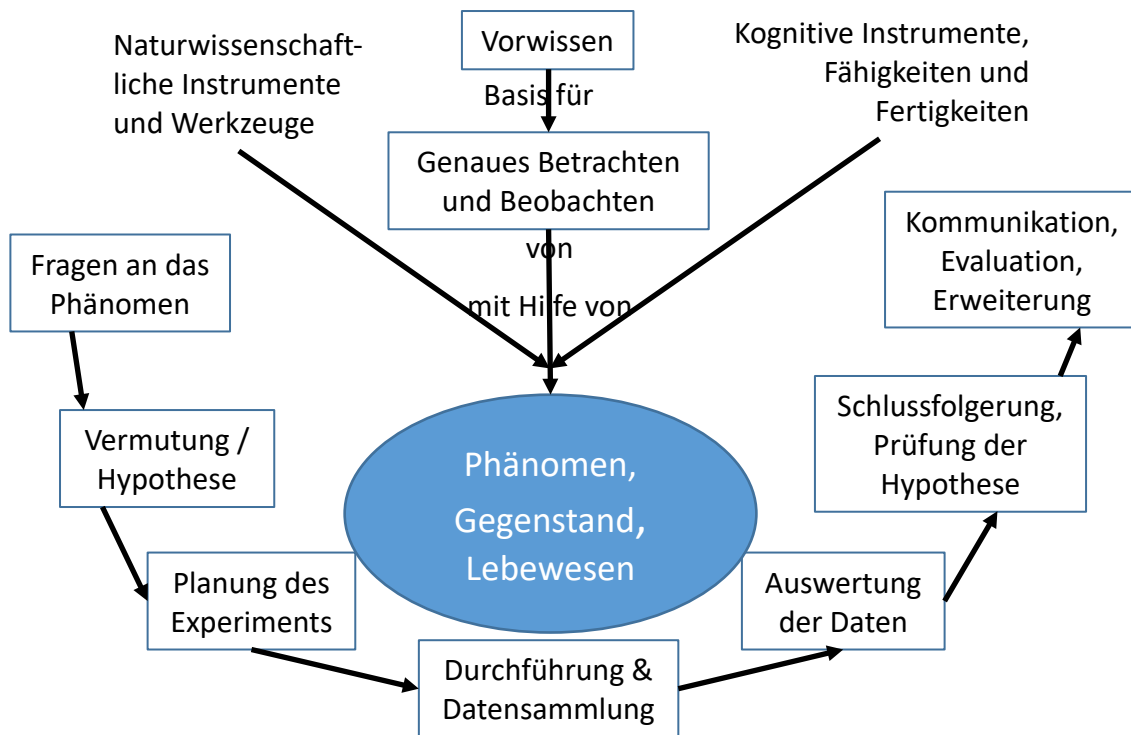


Abb. 5.1: Der Experimentierkreislauf (nach Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010, S. 135) teilt das Experimentieren in sieben Schritte ein, die der klassischen Durchführung bzw. der Vor- sowie Nachbereitung zugeordnet werden können. Im Zentrum steht das Phänomen bzw. der zu untersuchende Gegenstand, der mit Hilfe kognitiver Fähigkeiten und physikalischen Instrumenten untersucht wird. Der Experimentierkreislauf ist dabei zyklisch ausgelegt. Jeder Durchlauf endet mit der Besprechung der Vorgehensweise im Zyklus bzw. wirft als Erweiterung neue Fragen oder Hypothesen auf, die es in einer weiteren Iteration des Experimentierzyklus zu klären gilt.

Motivation sowie die persönliche Weiterentwicklung der Schüler*innen (Hucke, 1999). Diese Zielkategorisierung von Schülerexperimenten lässt sich auch weiter unterteilen (z.B. Sander, 2000; Jonas-Ahrend, 2004; Börlin, 2012). Experimentieren als Tätigkeit meint dabei nicht nur die Durchführung des Experiments an sich, sondern schließt deren Planung und Nachbereitung mit ein, wobei diese drei Handlungsschritte ebenfalls ausdifferenziert werden können (Emden & Sumfleth, 2012). Als praktikables Beispiel für ausdifferenzierte Handlungsschritte beim Experimentieren sei auf den Experimentierzyklus von Frischknecht-Tobler & Labudde (2010) verwiesen (s. Abb. 5.1).

Der Experimentierzyklus stellt jedoch keine Unterrichtsmethode dar, die mit Smartphones modernisiert werden soll. Vielmehr ist dieser Zyklus aus einer fachimmanenten Methodik naturwissenschaftlichen Arbeitens abgeleitet. Als fachdidaktisch reduziertes Modell stellt der Experimentierzyklus ein Element des Fachkanons des Physikunterrichts dar und muss bei der Nutzung neuer Medien nicht grundlegend geändert werden. Auf Grundlage entsprechender Beobachtungen eines Phänomens oder Gegenstands unter Zuhilfenahme kognitiver und naturwissenschaftlicher Werkzeuge werden Fragestellungen zum Untersuchungsobjekt gestellt. Aus diesen Fragen werden im zweiten Schritt vorwissensgeleitet Hypothesen aufgestellt. Im dritten Schritt wird passend zur vorher aufgestellten Hypothese ein Experiment zur Überprüfung entworfen und geplant. Bei Schritt vier wird das entsprechende Experiment aufgebaut, durchgeführt und dabei Daten sowie Beobachtungen gesammelt, die in Schritt fünf ausgewertet werden. Im sechsten Schritt werden anhand der gesammelten Daten und herausgefundenen Ergebnisse die Hypothesen geprüft. Der finale siebente Schritt gibt hingegen Raum für diverse Möglichkeiten, um z.B. über das durchgeführte Experiment noch einmal zu reflektieren sowie über die Ergebnisse zu diskutieren. Anhand dessen kann die Lehrkraft das Schülerexperiment nicht nur sichern, sondern es auch erweitern. Sowohl eine vorläufige Bestätigung als auch eine Falsifikation der eingangs formulierten Hypothese können zu einem weiteren Experiment in einem neuen Zyklus anregen.

Die einzelnen Schritte des Experimentierzyklus (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010) sind als Teilkompetenzen unter partiell anderer Wortwahl im Bereich „Erkenntnisgewinnung“ in den Bildungsstandards (KMK, 2005, S. 7 ff.) und auch in den Rahmenlehrplänen der einzelnen Bundesländer (z.B. MBS, 2015, S. 19 ff.) aufgelistet. Es erscheint also auch aus bildungspolitischer Sicht sinnvoll zu sein, die einzelnen Teilkompetenzen der experimentellen Kompetenz im Unterricht zu adressieren. Die Umsetzung des Anspruchs von Spang (2014) auf den Physikunterricht bedeutet demnach, dass Smartphones im Rahmen des Experimentierzyklus (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010, s. Abb. 5.1.) zu benutzen sind.

Die einzelnen Schritte bauen aufeinander auf und sind miteinander vernetzt. Insbesondere Schritt sechs zeigt dies eindrucksvoll, da mit dem Prüfen der Hypothesen noch einmal auf Schritt zwei, das Aufstellen der Hypothesen, explizit verwiesen wird. Entsprechend sinnvoll ist eine Dokumentation der einzelnen Schritte, die in analoger Form dem Anfertigen eines Protokolls gleich kommt. Beim Smartphone kann dies mit Notizen sowie Audiokommentaren erfolgen, die mit Fotos und Videos vom Aufbau und der Durchführung ergänzt werden (Kuhn et al., 2011).

Beim Experimentieren ist neben dem Dokumentieren auch die Messwertaufnahme wichtig. Diese können dabei eine Bandbreite von sowohl Beobachtungsdaten bei qualitativen bis auch entsprechend ausgelesenen Sensordaten bei quantitativen Experimenten einnehmen. Mittlerweile gibt es eine große

Fülle an in Smartphones verbauten Sensoren sowie über bluetooth an ein Smartphone koppelbare Sensorboxen. Kuhn et al. (2011) beschreiben dabei recht ausführlich die Funktionsweise sowie die Nutzungsmöglichkeiten der Beschleunigungssensoren. Darüber hinaus gehören Gyroskope, Magnetfeldsensoren, GPS, Luxmeter, ein Mikrofon sowie mindestens eine Kamera zum Standardrepertoire. Smartphones im mittleren bis höheren Preissegment verfügen darüber hinaus auch über Barometer. Vereinzelt so genannte Outdoorsmartphones besitzen darüber hinaus auch IR-Kameras, einen Sensor für so genannte flüchtige organische Verbindungen, VOCs, um die Luftqualität zu überprüfen sowie Laserentfernungsmesser und sind darüber hinaus wasserdicht und verhältnismäßig temperaturbeständig. Bedingt durch die Wärmeentwicklung der Prozessoren und vor allem der Displays sind Temperatursensoren in Smartphones jedoch nicht präzise genug für physikalische Experimente. Diese Fülle an verfügbaren Sensoren ermöglichen verschiedenste physikalische Experimente in verschiedenen Themenbereichen der Physik. Darüber hinaus können die aufgenommenen Sensordaten mit Notizen und ggf. auch händisch aufgenommenen Messwerten als einfache Notizen im Smartphone abgelegt werden. Taschenrechner- und Office-Anwendungen ermöglichen auch einfache Berechnungen, die die Daten, Notizen und Beobachtungen ergänzen können. Diese können bereits mit einem Knopfdruck per eMail versendet oder online in entsprechenden sozialen Netzwerken mit anderen geteilt oder an den eigenen PC zu Hause zur Weiterverarbeitung übermittelt werden.

Der Smartphoneeinsatz bleibt dabei nicht einzig auf den Klassenraum beschränkt. Die Handlichkeit der Geräte und die verbauten Akkumulatoren in Verbindung mit Internet-Flat-Verträgen (JIM-Studie, 2015) gestatten selbst den Einsatz unter freiem Himmel in der Natur. Außerdem steigt auch die Hardwareleistung an. Acht-Kern-Prozessoren sind beispielsweise keine Seltenheit mehr und auch Speicherplatz ist in einem ausreichenden Maße vorhanden bzw. kann bei vielen Modellen um eine einsteckbare mikro-SD-Karte mit mehreren 100 GB erweitert werden. Insofern können mit Hilfe von Smartphones Gegenstände und Phänomene aus der alltäglichen Erfahrungswelt der Schüler*innen mit einer physikalischen Brille untersucht werden. Im Projekt Physics 2 go (Vogt et al., 2014) werden Experimente im Alltag der Schüler*innen durchgeführt. Unter anderem werden Schwingungsmoden einer Kirchturmglöcke sowie einfache Geschwindigkeiten anhand von akustischen Aufnahmen bestimmt. Neben solchen Konzepten gibt es immer wieder vereinzelt Ideen, ganze Kontexte (vgl. Unterkapitel 5.4) mit dem Smartphone experimentell zu erkunden. Als Beispiele seien hier der Klassenausflug in den Wasserpark (Cabeza et al., 2014) sowie Routen- und Geschwindigkeitsbestimmungen per GPS vom Fahrradfahren oder Seifenkistenrennen (Kruse, 2014) aufgeführt.

Darüber hinaus gibt es auch die regelmäßig erscheinende Kolumne IPHYCSLABS der Zeitschrift *The Physics Teacher* (u.a. Kuhn et al., 2016). Dort werden smartphonebasierte Messmethoden erklärt sowie smartphonebasierte Experimente beschrieben. Zumeist handelt es sich um modernisierte, klassische Experimente oder um bis dahin nur rein theoretisch geführten Betrachtungen, die nun mit Hilfe des Smartphones zu Experimenten umgestaltet werden. Um die Hürde der Modernisierung des eigenen Unterrichts bzw. der Implementierung der vorgeschlagenen Ideen nicht mit zusätzlichen Hürden zu versehen, wird auf eine tiefergehende didaktische Einbettung in ein entsprechendes Rahmenkonzept verzichtet.

Ferner ermöglichen die Leistungsparameter von Smartphones, bisher PC-gestützte Auswertungen mobil ausführen zu können. Als Beispiel sei hier zunächst die Videoanalyse zur Untersuchung und Parametrisierung verschiedenster Bewegungsvorgänge genannt (Becker et al., 2017). Gleichwohl es mobile Varianten bekannter Officeanwendungen gibt, gestaltet sich eine effektive Nutzung eines Tabellenkalkulationsprogramms mit der Bildschirmtastatur auf einem kleinen Smartphonedisplay trotz hoher Auflösung als eher schwierig. Mit ankoppelbaren Peripheriegeräten, die zusammen mit dem Smartphone quasi einen PC ergeben, ist die Nutzung dieser Officeanwendungen wie auch bei Tablet-PCs hingegen gut machbar. Weiterhin gibt es für Tablet-PCs digitale Arbeitsbücher in App-Form sowie weitere Apps, die das Lernen multimedial unterstützen sollen (Huwer & Eilks, 2017). Auch werden so genannte augmented reality Ansätze entwickelt (u.a. Thyssen, 2017). Hierbei werden zu live-Bildern zusätzliche Informationen eingeblendet und mit Visualisierungen von Modellen angereichert. Damit sollen die zu untersuchenden Phänomene einfacher zugänglich für naturwissenschaftliche Beschreibungen und Erklärungen gemacht werden.

Die in diesem Unterkapitel skizzierten Nutzungsideen des Smartphones beim und für das Experimentieren zeigen diverse Möglichkeiten für den Physikunterricht auf. Obendrein erscheint es sinnvoll, bisherige Nutzungsideen zusammen zu führen, zu destillieren um im Anschluss physikdidaktische Konzepte zu konkretisieren und in die Lehrpraxis zu überführen.

Als abschließender Hinweis zu diesem Unterkapitel sei erwähnt, dass soweit es möglich war, in der obigen Darstellung bewusst auf App-Beschreibungen und konkrete Beispiel-Apps verzichtet wurde. Konkrete Ausprägungen der Hard- und Softwarelösungen unterliegen einem steten Wandel. Daher soll an dieser Stelle nicht auf konkrete Smartphone-Modelle und Apps eingegangen werden.

5.3 Forschend-entdeckendes Lernen

Modernen Lerntheorien gemein sind Konzepte des gemäßigten Konstruktivismus und sie erklären Lernen prozesshaft mit der aktiven Verknüpfung des Neuen mit bereits vorhandenem Vorwissen (de

Witt & Czerwionka, 2007). Bezogen auf Experimente im Rahmen von Physikunterricht konkretisiert Tesch (2005) den prozesshaften Anknüpfungscharakter beim Lernen. Die Art und Weise der Unterrichtseinbettung des jeweiligen Experiments ist demnach mit dem jeweiligen Lernziel abzugleichen und ist damit „für bestimmte Inhalte besonders geeignet“ (Tesch, 2005, S. 106). Die Unterrichtseinbettung wird von Barth (2014) zu übergeordneten Rahmenstrategien erhoben. Experimente dienen dabei als „Eckpunkte in der Anlage von Unterricht zum Erreichen spezieller Zielsetzungen“ (Barth, 2014, S. 226). Hierdurch ermöglichen Experimente die Einplanung der Nutzung entsprechender Kompetenzen in den Unterrichtsgang. Nachfolgend werden einige Grundlagen einer Rahmenstrategie nach Barth (2014) erörtert.

Das forschend-entdeckenden Lernen verbindet durch eine prozessorientierte, weitestgehend selbstständige Arbeit der Schüler*innen motivierende Momente (Edelson et al., 1999) mit Kompetenzförderung (Schwab, 1960). Winkelmann (2015) fand jedoch heraus, dass forschend-entdeckendes Lernen nicht automatisch zu diesen Effekten führt. Auch die jeweils unterrichtende Lehrkraft stellt nicht zuletzt durch den eigenen Habitus einen nicht zu unterschätzenden Einflussfaktor dar. Offene Experimentiersituationen sind nur für leistungsstarke Schüler*innen leicht positiv, überfordern aber die anderen Schüler*innen (Winkelmann, 2015). Trotzdem stellt forschend-entdeckendes Lernen eine mögliche Rahmenstrategie dar. Die Schüler*innen erhalten auf natürliche Weise eine größere Mitbestimmung, wodurch die Erfahrungswelt der Schüler*innen einfacher eingebunden werden kann als es bei einem von der Lehrkraft vorgegebenen Unterricht möglich wäre. Für die Praxis gibt es noch einen weiteren Vorteil. In einem normalen Regelunterricht kommt die Reflexionsphase oft zu kurz (Trendel et al., 2007; Stender et al., 2013). Die für das vernetzende Lernen wichtige Phase (z.B. Oser & Party, 1990) ist beim forschend-entdeckenden Lernen jedoch zwingend erforderlich. Die Einordnung der neu gesammelten Erkenntnisse bzw. erworbenen Kompetenzen in bereits bestehende Wissensstrukturen bildet dann die Grundlage für eine Erweiterung der bereits vollzogenen Untersuchung in ein neues Themengebiet und gewährleistet so einen Ausblick auf den folgenden Fachunterricht. Der Einsatz gestufter Hilfen und anderer unterstützender sowie strukturierender Maßnahmen ermöglicht auch lernschwächeren Schüler*innen das forschend-entdeckende Lernen. Darüber hinaus obliegt es der Lehrkraft, einen für das Leistungsniveau der Schüler*innen passenden Öffnungsgrad (Banchi & Bell, 2008) zu wählen und dadurch die Offenheit eventuell zu reduzieren.

Der Begriff des forschenden Unterrichts subsummiert diverse zum Teil tradierte Unterrichtskonzepte (u.a. Duit et al., 1981). Als Beispiele seien der genetische Unterricht nach Wagenschein und der forschend-entwickelnde Unterricht nach Schmidtkunz und Lindemann aufgeführt. Reitinger (2014) definiert mit Theory of Inquiry Learning Arrangements (TILA) eine Menge an forschenden

Lernszenarios anhand derer Eigenschaften. Aufgrund der englischen Bezeichnung inquiry based learning nutzt Reitinger (2014) forschendes Lernen als Begriff. Begrifflich bezeichnen Unterricht und Lernen dabei das Gleiche, sind aber unterschiedlich konnotiert. Unterricht ist dabei eher von der Seite der Lehrkraft aus zu sehen, während sich Lernen eher auf die Schüler*innensicht bezieht. Aufgrund der inhaltlichen Abgrenzung zum bspw. forschend-entwickelnden Unterricht (Schmidkunz & Lindemann, 1999) wird TILA in dieser Arbeit entgegen der Eigenbezeichnung von Reitinger (2014) als forschend-entdeckendes Lernen bezeichnet und wird im Folgenden beschrieben.

TILA fußt auf drei Pfeilern. Im ersten Pfeiler sind die Kriterien aufgelistet, die das forschend-entdeckende Lernen als Merkmalsauflistung formal definieren. Forschend-entdeckendes Lernen besteht aus „forschungsbezogenen Handlungsdomänen, [bei denen, Einf. J. M.] a) erfahrungsbasiertes Hypothesieren, b) authentisches Explorieren, c) kritischer Diskurs und d) conclusiobasierter Transfer kennzeichnend“ (Reitinger, 2014, S. 24) sind. Voraussetzungen hierfür sind das Entdeckungsinteresse der Schüler*innen und die so genannte Methodenaffirmation (Reitinger, 2014). Methodenaffirmation meint dabei ein authentisches methodisches Setup, d.h. die Schüler*innen empfinden das Forschen als echt. Hierfür muss der Forschungsprozess von den Schüler*innen gewollt und mindestens partiell mitbestimmt sein. Unter authentischer Exploration wird das selbstgesteuerte Experimentieren in für die Schüler*innen relevanten Kontexten (s. Unterkapitel 5.4) verstanden. Der kritische Diskurs dient der Reflexion des Erkenntnisprozesses, der Ergebnisse sowie deren Interpretationen. Unter conclusiobasiertem Transfer wird eine logische Folgerung verstanden, die bei gleichen Ausgangslagen und Endresultaten der Objekte ϕ und λ das hinter ϕ liegende Prinzip auch auf λ überträgt. Dabei ist der conclusiobasierte Transfer variabel im Unterricht durchführbar. Einerseits kann mit dem Transfer in andere Kontexte ein neues Themengebiet begonnen oder mit einem anderen verknüpft werden. Andererseits wird auch eine Veröffentlichung der Untersuchung in Form eines Posters oder Vortrags als conclusiobasierter Transfer gewertet (Reitinger, 2014).

Der zweite Pfeiler, auf dem TILA fußt, sind die unterrichts- und lernförderlichen Prinzipien. Diese Prinzipien stellen handlungsleitende Möglichkeiten dar, die jedoch durch den Möglichkeitscharakter nicht umfassend erfüllt sein müssen (Reitinger, 2014). Die Prinzipien sind Vertrauen, Selbstbestimmung, Veranschaulichung, Sicherheit, Strukturierung und Personalisierung. Ohne eine entsprechende Eingewöhnung in offene Lernformen werden Schüler*innen ohne Unterstützung der Lehrkraft überfordert sein und bei der Aufgabenbearbeitung ggf. scheitern. Hier sollen die zwei Prinzipien Sicherheit sowie Strukturierung helfen. Zur Orientierung innerhalb der offenen Lernform gibt die Struktur einen Ablaufplan vor, an den sich die Schüler*innen richten können. Das Prinzip Struktur mindert also die Gefahr des Vertuns (Wahser & Sumfleth, 2008). Dieser Ablaufplan soll jedoch nicht die Selbstständigkeit der Schüler*innen unterminieren. Vielmehr wird eine Orientierung

geboten, durch die die Schüler*innen prozessartig durch das Lernarrangement geführt werden (Reitinger, 2014). Sicherheit als weiteres Prinzip wirkt ebenfalls unterstützend für die Schüler*innen und ist extrem wichtig. Bereitgestellte Materialsammlungen, gestufte Hilfen oder auch die Anwesenheit der Lehrkraft stellen für Schüler*innen eine Art Sicherheitsleine beim Durchlaufen der offenen Lernform dar, an der sie sich zur Not festhalten können und sie sicher bis ans Ende führt. Diese Arten des Scaffolding sollen als probates Mittel Überforderungen vorbeugen (vgl. Hmelo-Silver et al. 2007; Lipowski, 2015). Wie auch beim Einsatz gestufter Hilfen bei Lernaufgaben (Leisen, 1999; Franke-Braun et al., 2008; Wodzinski, 2013) können Lehrkräfte eine Binnendifferenzierung realisieren. Für Hofferber et al. (2015) sind trotz des Einschränkens der Offenheit durch Scaffolding alle Kriterien eines autonomiefördernden Unterrichts erfüllt. Außerdem werden im Rahmen dieser Lernform Selbstständigkeit sowie unter der Annahme von Gruppenarbeit bzw. Partnerarbeit als Sozialform im Rahmen des Experimentierens auch Kooperationsfähigkeit gefördert.

Die dritte Säule von TILA nimmt mit dem systemischen Organisationsmodell Outline / Performance / Reflection / (Process) Analysis (OPeRA) (Reitinger 2012) die Seite der Lehrkraft in den Fokus. In OPeRA ist der Dreischritt des Entwerfens, der Performanz sowie der Reflexion von Unterricht modelliert. Da in diesem Unterkapitel ein Lernarrangement aus didaktischen Überlegungen abgeleitet und erklärt wird, soll an dieser Stelle die Rolle der ausübenden Lehrkraft nicht weiter vertieft werden.

5.4 Kontexte

Kompetenzorientierter Physikunterricht, wie er von den Bildungsstandards (KMK, 2005) gefordert wird, wird leider zu oft als inhaltsloses Methodentraining (z.B. Lesch, 2016) betrachtet. Aufgrund der Kompetenzdefinition nach Weinert (2001) ist ein inhaltsloses Methodentraining de facto nicht oder nur in sehr vereinzelt Fällen wie beim Modellieren einer Black Box partiell realisierbar. Kompetenzen werden immer in spezifischen Situationen anhand konkreter Beispiele erworben, angewendet und an diesen überprüft. Diese konkreten Beispiele sind fachliche Inhalte und die spezifischen Situationen sind letztlich nichts anderes als Kontexte, in denen die fachlichen Inhalte mehr oder minder eingebettet vorliegen und daher für das Lernen noch einmal einen besonderen Stellenwert einnehmen (Schacter, 1996). Da im weiteren Verlauf Erfahrungen und Experimente an Alltagsobjekten und eben nicht Aufgabenkonstruktionen diskutiert werden, kann die Kontextdefinition von Löffler und Kauertz (2015) nicht verwendet und soll daher nicht weiter aufgegriffen werden. Im Rahmen des forschend-entdeckenden Lernens wird zwischen zwei verschiedenen Kontexten unterschieden (Höttecke & Rieß, 2015). Der offensichtliche, bereits oben angesprochene Kontext ist der inhaltliche Kontext. Daneben gibt es aber auch einen sozialen Kontext, also in welcher Sozialform und mit welchen Mitschüler*innen das Lernen stattfindet und welche Rolle dabei eingenommen wird. Die Rolle, die Schüler*innen beim

forschend-entdeckenden Lernen einnehmen, ist die kleiner Forscher*innen. Inhaltliche Kontexte stellen dabei eine „Verflechtung fachlicher Inhalte und Zugänge [dar; Anm. d. A.], die aus nichtfachlicher Sicht betrachtet werden“ (Van Vorst et al., 2014, S. 30). Diese Verflechtungen ermöglichen Bedeutungszuweisungen und die Weckung von Emotionen. Laukenmann (2000) stellte unter der Bedingung der Abwesenheit äußerer Zwänge fest, dass Interesse sowie positive Emotionen wie zum Beispiel Freude in Orientierungs- sowie Lernphasen lernwirksam waren. Daher sollten Kontexte nicht nur authentisch, sondern den Schüler*innen auch bekannt sein (Van Vorst et al., 2014). So sollte eine Staumauer als Kontext nur zur lebensweltlichen Einbettung von Druck als physikalische Größe genutzt werden, wo Schüler*innen eine Staumauer auch häufig antreffen und daher bekannt ist. In Gebieten mit nur vereinzelt stehenden Staumauern wie dem Land Brandenburg sind andere Kontexte besser geeignet. Im Land Brandenburg sind im Gegensatz zu Staumauern Schleusen sehr häufig anzutreffen. Insbesondere mit positiv konnotierten Kindheitserinnerungen an Schleusen stellen diese für die Schüler*innen einen guten Kontext dar. Eine geschickte Lehrkraft kann dann auch eine gewisse Neugierde bei den Schüler*innen hervorbringen, wie eine Schleuse gebaut sein muss, um den Druckverhältnissen stand zu halten.

Besonders bei der Authentizität gehen bisherige Projekte und Ideen nicht weit genug. Als Beispiele seien Physik im Kontext (PIKO) (Mikelskis-Seifert & Duit, 2010) sowie die Ankermedien nach Kuhn (2010) genannt. Bei PIKO werden Aufgaben und Experimente kontextualisiert, also in Kontexte eingebunden. Bei Kuhn erwachsen Aufgaben aus in der Lebenswelt vorkommenden Ankermedien wie Zeitungsartikeln. Leider erscheinen diese Aufgaben eher als von der Lehrkraft künstlich auf den Kontext aufgesetzt denn als dem Kontext innewohnendes Problem. Schüler*innen würden entsprechende Fragestellungen eher nicht selbstständig entwickeln. Im Rahmen eines Kontextes wird unter Lebensweltbezug die Abwendung einer blanken Fachsystematik im Klassenraum in Verbindung mit der Hinwendung zu außerunterrichtlichen Erfahrungen der Schüler*innen verstanden. Und an dieser Stelle wirken die Problemfelder der Lehrkräfte für die Schüler*innen eher konstruiert, wenn sich diese z.B. für die Klärung der Ursache von Supermans Kräften mit der Gravitationskraft beschäftigen sollen (nach Kuhn, 2011). Andere Kontexte hingegen wurden als besonders positiv hervorgehoben (IPN Interessensstudie, 1998). Da sich geeignete Kontexte auch aus den jeweiligen Biographien der Schüler*innen ableiten lassen, liegt es an der jeweils unterrichtenden Lehrkraft, aufgrund der Kenntnis der Klasse geeignete Kontexte zu wählen.

Solche Kontextuierungen lassen den Vorwurf einer „synthetischen Wirklichkeit“ (Hagelgans, 2015, S. 2) am Physikunterricht vielleicht mindern, jedoch nicht in Gänze verschwinden. In der Lerntheorie des situierten Lernens spielen neben den Inhalten auch die soziale sowie lokale Umgebung eine Rolle beim Lernen (de Witt & Czerwionka, 2007). Der Lernort ist demnach fester Bestandteil des Kontextes. Wenn

Schule keinen Selbstzweck dient, führt die Annahme dieser Lerntheorie unweigerlich zur Nutzung außerschulischer Lernorte. Bernhard (2015, S. 5) untermauert diese Schlussfolgerung: „Wir sehen nur das, was wir mit Begriffen benennen können. Umgekehrt kommen wir gedanklich nicht weiter, wenn wir von Begriffen keine Anschauung haben.“ In außerschulischen Lernorten kennen Schüler*innen die einzelnen Gegenstände aus ihrem eigenen Alltag. Um den für Schüler*innen existierenden Widerspruch zwischen Chemie und Natur zu revidieren, verlagerten Engl und Risch (2015) chemische Experimente in den außerschulischen Lernort Natur. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass für gewisse Inhalte wie z. B. die spezielle Relativitätstheorie oder auch die Quantenphysik Labore bzw. entsprechende Fachräume als Lernorte dienen müssen.

Im Rahmen eines entsprechenden Lernortes ist es für Schüler*innen möglich, haptische Eigenerfahrungen zu sammeln und die zu untersuchenden Gegenstände in Experimenten passend zu manipulieren. Objekte können systemisch in ihren Wirkweisen mit allen Sinnen erfahren werden (Smeds et al., 2015). Schüler*innen, die während der gesamten Lernzeit im außerschulischen Lernort waren, schnitten signifikant besser im follow-up-Test ab als Schüler*innen, die den als persönlich bedeutsam eingeschätzten außerschulischen Lernort gar nicht oder nur teilweise besuchten (Smeds et al., 2015). Diese Wirkung war unabhängig vom Leistungsstand der Schüler*innen.

Für den Physikunterricht scheint es sich also anzubieten, wenn die Schüler*innen außerschulisch authentische Experimente durchführen können. Wie noch zu zeigen sein wird, stellen Smartphone ein probates Mittel dar, Experimente innerhalb authentischer Kontexte außerhalb des Schulgebäudes durchzuführen. Durch das geringe Stundenkontingent von Physikunterricht ist dies jedoch kaum mit Ausflügen zu speziellen Orten realisierbar. Vielmehr bietet sich die eigene Alltagswelt der Schüler*innen in Form kleinerer Hausaufgaben an.

5.5 Durchführung der Smartphoneexperimente als Hausaufgaben

Hausaufgaben als Erweiterungen des Unterrichts in die potentielle Freizeit der Schülerinnen und Schüler werden kontrovers diskutiert. Ein populärwissenschaftliches Buch trägt dabei den provokanten Titel „Hausaufgaben NEIN DANKE! Warum wir uns so bald wie möglich von den Hausaufgaben verabschieden sollten“ (Himmelrath, 2015), aber auch in der Forschungsliteratur gibt es ähnliche Beispiele (z.B. Kohler, 2011). Nach Schwemmer (1980) beeinträchtigen Hausaufgaben die Gesundheit, indem sie einen Bewegungsmangel forcieren. Nilshon (1999) griff hingegen ein stichhaltigeres Argument gegen Hausaufgaben auf, indem sie sich auf Gustav Schanze (1907) bezieht. Dieser sah in Hausaufgaben die Hinführung zu unethischem Verhalten wie „Betrug, Fälschung und Täuschung“ (Nilshon, 1999, S. 9). Damit ist gemeint, dass Hausaufgaben nicht wie von Lehrern

intendiert den Lernstand der Schüler als Diagnoseinstrument aufzeigen, sondern die Korrekturmöglichkeiten der Eltern und Nachhilfelehrer und hierdurch eben gerade keine wünschenswerte Erziehung zur Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler stattfindet (Nieswand, 2014). Darüber hinaus werden Hausaufgaben häufig als eine Art Strafarbeit nicht bewältigten Unterricht auferlegt (Schwemmer, 1980), zumal aus zeitlichen Gründen oft nur wenige Schüler*innen ihre Lösung nennen, damit andere ihre eigenen vergleichen können. Eine möglicherweise nötige Fehleranalyse innerhalb einzelner Lösungen der Lernenden findet somit ebenfalls nicht statt, gleichwohl dies wünschenswert wäre (Sumfleth et al., 2011). Himmelrath (2015) kommt aus diesen Gründen zu dem Schluss, dass Hausaufgaben abgeschafft gehören, weil sie sozial selektieren und mit ihnen keine individuelle Förderung im Sinne heterogener Klassen möglich sei.

Auf der anderen Seite sind Hausaufgaben Alltagswerkzeuge, bei denen in den Nebenfächern wie Physik und Chemie 70 % der Lehrkräfte eine Bearbeitungszeit von 5 – 15 Minuten annehmen (Sumfleth, et al., 2011). Auch ist die Zeitdauer zwischen zwei Unterrichtsstunden in Physik mit häufig einer Woche sehr lang, sodass vermeintlich Erlerntes ohne eine erneute Anwendung in Form von Hausaufgaben wieder schnell verlernt wird. Hinzu kommt, dass insbesondere „vorbereitende Hausaufgaben wie kleine Experimente“ (Lipowsky, 2005, S. 1) das Lernen positiv beeinflussen, solange auch auf die verschiedenen Lernwege und auf deren möglicherweise vorkommende Fehler eingegangen wird. Weil Hausaufgaben an sich aber kein selbstständiges Lernen seien, fordert das deutsche Jugendinstitut die Entwicklung einer neuen Lernkultur bezogen auf Hausaufgaben. In dieser neuen Lernkultur soll nicht nur dem Spieltrieb nachgegangen, sondern auch der Entdeckungsdrang der Schüler*innen für deren Lebenswelt geweckt werden (Nilshon, 1999).

Im Physikunterricht könnte also ein forschend-entdeckendes Lernszenario eingeleitet werden. Im Rahmen von Hausaufgaben könnten in der Alltagswelt der Schüler*innen mit bzw. an Alltagsobjekten kleine Experimente durchgeführt werden. Die Ergebnisse sowie die Vorgehensweisen könnten im Anschluss wieder im Unterricht präsentiert und besprochen werden. Im Folgenden Unterkapitel wird ein solches Lernarrangement unter Ausnutzung der technischen Möglichkeiten eines Smartphones beschrieben.

5.6 Synthese: Eine FELS – Sequenz

FELS stellt die Zusammenführung der in den Unterkapiteln 5.1 bis 5.5 dargestellten Einzelstränge dar und ist ein Lernarrangement, welches eine Brücke zwischen dem Physikunterricht und der alltäglichen Erfahrungswelt der Schüler*innen schlagen soll (s. Abb. 5.2). Mit Smartphoneexperimenten wird die eigene Erfahrungswelt von den Schüler*innen in deren Hausaufgaben exploriert. Sie lernen ihre Welt durch eine physikalische Brille zu sehen. FELS lagert die smartphonegestützte Experimentdurchführung als ein Kernelement in Hausaufgaben aus. Die anderen fünf Phasen von FELS

umrahmen in Anlehnung an den Experimentierzyklus (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010) die Experimentdurchführung und finden weitestgehend im gemeinsamen Unterricht statt. Dieses blended-learning-Konzept gestaltet eine unterbrechungsfreie und gesteuerte Lernsituation (Specht et al., 2013) und entspricht im Wesentlichen einer stressfreien Erarbeitungsphase nach Laukenmann et al. (2000). FELS als blended-learning Konzept startet mit einer authentischen Präsentation zur Generierung entsprechender Fragestellungen im Unterricht. Die benutzten mobilen Geräte erlauben es dann, die Lernerfahrung im Rahmen eines Experiments mit aktivem Beobachten und kritischem Reflektieren zu Hause zu sammeln. Nach einem ersten Austausch auf entsprechenden Onlineplattformen und sozialen Netzwerken kommen die Schüler*innen im Anschluss wieder im Unterricht zusammen. Dort werten sie die gesammelten Erfahrungen gemeinsam aus und die Wissenssicherung wird vorgenommen. Im Folgenden wird ein Unterrichtsverlauf beispielhaft tabellarisch (s. Tab. 5.1) wiedergegeben und im Anschluss erklärt. Der Medieneinsatz und der skizzierte Verlauf sind idealtypisch, wohingegen die präsentierten Lernziele nur eine Auswahl (vgl. Unterkapitel 5.8.) darstellen.

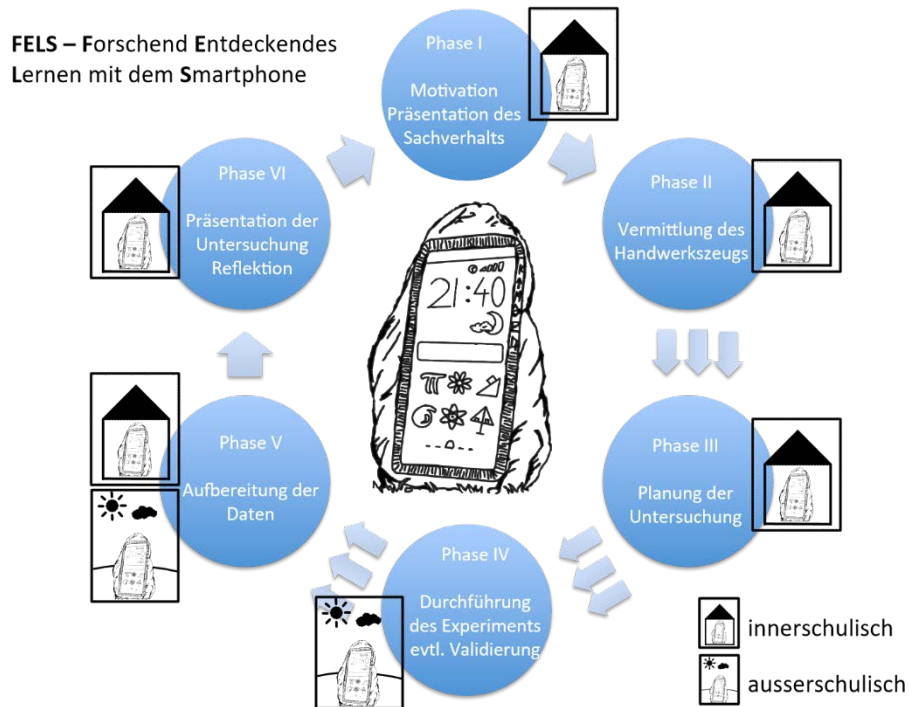


Abb. 5.2: FELS als sechshephasiger Lernzyklus nach Müller et al. (2016, S. 231). In Phase I werden die Schüler*innen im Klassenverband neugierig gemacht und es werden mögliche Untersuchungsideen gesammelt. In Phase II vermittelt die Lehrkraft zur Untersuchung notwendiges Handwerkszeug. In Phase III werden in Kleingruppen zu den in Phase I aufgeworfenen Fragen Untersuchungen geplant, die in Phase IV im Rahmen von Hausarbeiten durchgeführt werden. In Phase V werden die Ergebnisse entweder zu Hause oder aber im Unterricht ausgewertet. In Phase VI werden die Untersuchungen mit den Ergebnissen von den einzelnen Gruppen vor der Klasse präsentiert und anschließend gemeinsam reflektiert.

Verlauf	Phase von FELS	Lehrertätigkeit	Schülertätigkeit	Medieneinsatz	Zielsetzung
Stunde 1	I	<ul style="list-style-type: none"> • Macht Sequenz transparent • Zeigt Video eines Mannes, der auf einem Freischwinger wippt • Leitet Brainstorming an, sammelt Antworten, clustert diese und ergänzt ggf. 	<ul style="list-style-type: none"> • Beobachten und hören zu • Sammeln Fragen zu ihren Beobachtungen des Videos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprache beim einführenden Lehrervortrag, der Sammlung sowie der Moderation • Video zur Präsentation des Phänomens • Tafel zur Fixierung der einzelnen Fragestellungen (Smartboard) 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler*innen zur Mitarbeit innerhalb der Sequenz motivieren • Schüler*innen können ein Phänomen beobachten und physikalische Fragestellungen unter Verwendung von Alltagssprache entwickeln
	II	<ul style="list-style-type: none"> • Vermittelt bzw. wiederholt Definitionen von Periodendauer, Amplitude, Beschleunigung • Stellt passende Apps vor (Vidanalysis free und Phyphox) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hören zu und arbeiten mit • Laden sich Apps runter • Recherchieren ggf. selbst weiter im Internet 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprache beim Lehrervortrag • Systematisierungen und Nachschlagewerke (Tafelbild der Lehrkraft, Lehrbuch, Smartphone mit Internet) • Notizen (im Hefter, im Smartphone) 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler*innen können einen Federschwinger mit Hilfe ihres Smartphones vermessen
Stunde 2	III	<ul style="list-style-type: none"> • Teilt Klasse in 8 Gruppen ein • Teilt Aufgaben aus, je 2 Gruppen erhalten die gleiche Aufgabe • Geht herum, hilft ggf. bei der Aufgabenbearbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeiten weitgehend selbstständig die Aufgaben • Formulieren aus einer vorgegebenen Fragestellung (→ 1. Stunde) eine Hypothese 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprache bei der Erarbeitung des Experimentierplans innerhalb der einzelnen Gruppen • Aufgabenblatt oder FELS-App auf dem Smartphone mit Eingabeaufforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler*innen können anhand eines Beispiels aus einer Fragestellung eine Hypothese in Form eines physikalischen Zusammenhangs zweier Größen aufstellen und einen Plan zur experimentellen Untersuchung aufstellen.

Hausaufgabe	IV	/	<ul style="list-style-type: none"> • Führen geplantes Experiment durch, z.B. Wippen auf einem Sitzball zur Prüfung der Hypothese «Die Periodendauer nimmt zusammen mit der Amplitude ab» 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprache zur Koordinierung der Aufgabenbewältigung innerhalb der Gruppen • Messapp auf dem Smartphone, z.B. Phyphox zur Messung der physikalischen Größen Zeit und Beschleunigung (hier: als Maß für die Amplitude) Zeit • Untersuchungsblog als einsehbare Mischform aus Lerntagebuch und Protokoll 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler*innen können selbstständig ein Experiment durchführen und dokumentieren
	V	<ul style="list-style-type: none"> • Liest Untersuchungsblogs • Gibt Hilfestellung via Kommentarfunktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Werten gesammelte Daten aus • Bestätigen bzw. (hier) widerlegen Hypothese • Vervollständigen Untersuchungsblog • Kommentieren die Untersuchungsblogs der anderen 	<ul style="list-style-type: none"> • Tabellenkalkulationsprogramm am PC zur feineren Auswertung der auf der App angezeigten Diagramme • Untersuchungsblog am PC als einsehbare Mischform aus Lerntagebuch und Protokoll sowie Kommentierung anderer als Hilfestellung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler*innen können ein selbst durchgeführtes Experiment auswerten und ihr Vorgehen dokumentieren • Schüler*innen sind in der Lage, Kritik an ihrem Vorgehen einzuarbeiten.
Stunde 3	VI	<ul style="list-style-type: none"> • Moderiert Präsentationen der einzelnen Gruppen, indem er die Diskussionen leitet und die Untersuchungsblogs der einzelnen Gruppen evaluiert sowie zu einem Gesamtbild zusammenfasst • Leitet zum nächsten Thema ausblicksartig über 	<ul style="list-style-type: none"> • Präsentieren ihre jeweilige Gruppenarbeit, z.B. die Untersuchung eines Feder-schwingers am Beispiel eines Sitzballs • Diskutieren den Erkenntnisprozess sowie die Ergebnisse der anderen Gruppen • Geben Ratschläge für Verbesserungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungsblog als Präsentationsgrundlage mit PC und Beamer • Tafel (Smartboard) zur Zusammenfassung aller Beiträge • Hefter / Foto mit dem Smartphone zur Sicherung des Tafelbildes • Sprache bei der Präsentation, Diskussion und dem Lehrervortrag 	<ul style="list-style-type: none"> • Schüler*innen können eine selbst geplante und durchgeführte Untersuchung präsentieren und ihre Ergebnisse sowie Vorgehensweisen unter Verwendung von Fachsprache diskutieren

			<ul style="list-style-type: none"> • Hören zu und übernehmen das Tafelbild 		
--	--	--	---	--	--

Tabelle 5.1 (nach Müller et al., 2018a, S. 224 f.): Tabellarischer Verlaufsplan einer Beispielsequenz mit FELS zum Thema Federschwinger.

Phase I findet in einem normalen unterrichtlichen Rahmen im Klassenraum statt. Die Lehrkraft baut den Unterricht um einen physikalischen Sachverhalt herum. Bei einem physikalischen Sachverhalt ist im Gegensatz zu einem Phänomen der physikalisch ablaufende Prozess gut zu erkennen. Dies ist deswegen wichtig, weil der physikalische Prozess später in Alltagsexperimenten wieder gefunden, präzisiert oder auch erweitert wird. Höttecke und Rieß nennen einen physikalischen Sachverhalt „Erscheinung“ (Höttecke & Rieß, 2015, S. 130). Der physikalische Sachverhalt wird den Schüler*innen in Form eines Demonstrationsexperimentes gezeigt. Dies schließt Simulationen und Videoaufnahmen mit ein. Diese Demonstration leitet ein von der Lehrkraft gesteuertes Brainstorming ein, bei dem die Schüler*innen Fragestellungen zum physikalischen Sachverhalt entwickeln. Bei der schriftlichen Fixierung an der Tafel strukturiert die Lehrkraft die jeweiligen Fragestellungen und ergänzt falls nötig. Dieser Einstieg ist nicht zuletzt auch deswegen als motivierend zu bezeichnen, weil experimentelle Klärungen von Phänomenen mit 50 % zu den drei beliebtesten Inhalten im Rahmen des Physikunterrichts zählen (Merzyn, 2015). Darüber hinaus sind Schüler*innen an einem aus ihrer Sicht sinnbehafteten Unterricht interessiert und verlangen daher auch Phänomene und alltägliche Sachen als Unterrichtsinhalte, was bei FELS an späterer Stelle erfolgen wird. Nebenbei führt das Stellen von Fragen als Eigenaktivität zu einer Interessenssteigerung (Merzyn, 2015). Das Festhalten der Schüler*innenäußerungen erfüllt dabei gleich drei Ziele. Erstens äußern die Schüler*innen mit Ihren Fragestellungen auch ihre Präkonzepte, die von der Lehrkraft als solche diagnostiziert werden können. Zweitens wird den Schüler*innen der Eindruck vermittelt, dass sie den Unterricht selbst mitgestalten können und als Personen ernst genommen werden. Drittens kann die Lehrkraft durch die Strukturierung der Fragestellungen die Schüler*innen für die spätere Bearbeitung eben dieser in Gruppen aufzuteilen (Streller, 2013).

Phase II ist ein aus organisatorischen Gründen notwendiges Intermezzo. Bevor die Schüler*innen die aufgestellten Fragestellungen bearbeiten können, benötigen sie ein Minimum an Fachwissen sowie ein Set möglicher Untersuchungsmethoden. Dabei sollten sie auch wissen, was sie wie mit Smartphones messen können, um ihre Experimente an späterer Stelle gezielt planen zu können. Um dieses Ziel zu erreichen, spielt es keine Rolle, ob es sich um konventionellen Unterricht oder Eigenrecherche handelt. Darüber hinaus sind die Aufgaben in Phase III von FELS im Sinne des

Scaffoldings mit entsprechenden Hilfen zu versehen. Zur Erstellung benötigt die Lehrkraft jedoch Zeit, da individuell auf die entsprechenden Fragestellungen als Start eingegangen werden muss. Phase II besitzt damit auch eine Pufferfunktion in der Einführungsstunde. Da Physikunterricht zumeist einmal wöchentlich stattfindet, kann die Lehrkraft die Aufgaben und Hilfen zur nächsten Stunde anfertigen.

Phase III ist dagegen als Gruppenarbeit ausgelegt. Die Schüler*innen arbeiten die von der Lehrkraft ausgearbeiteten Aufgabenblätter ab. Dabei werden sie jeweils mit Hilfe von Aufgaben und entsprechendem Scaffolding von einer ggf. in Alltagssprache geäußerten Fragestellung aus Phase I zum Aufstellen einer Hypothese und danach zu einem Experimentierplan geführt, was einem evolutionären Vorgehen entspricht (Widodod & Duit, 2005). Um dem Anspruch des Ernstnehmens gerecht zu werden, werden in einer normalgroßen Klasse vier verschiedene Fragestellungen benötigt, wobei immer zwei Gruppen eine Fragestellung bearbeiten. Der Zeitaufwand von FELS wird dadurch gerechtfertigt, dass einerseits entsprechende Kompetenzen geschult und andererseits die behandelten Inhalte von vier verschiedenen Facetten aus betrachtet werden. Die beiden quasi parallel laufenden Gruppen sind für Phase IV und V relevant, um ihren Mitschüler*innen entsprechendes Feedback geben zu können und für Phase VI als Sicherung zu fungieren. Insgesamt gibt es demnach acht Gruppen mit jeweils drei bis vier Schüler*innen. Auftretende Probleme muss die Lehrkraft dabei individuell klären, da maximal zwei Gruppen jeweils die gleichen Aufgaben bearbeiten. Durch die schriftlichen Aufgaben und das Scaffolding bleibt der Lehrkraft jedoch genügend Zeit, um jeweils den verschiedenen Gruppen individuell helfen zu können. Die Organisation erfolgt durch die Lehrkraft, weil die Schüler*innen bereits die inhaltliche Verantwortung tragen und ansonsten überfordert werden (Sumfleth & Nicolai, 2009). Entsprechend muss die Lehrkraft bei der Experimentplanung ggf. leicht intervenierend eingreifen, da die einzelnen Experimente eine zeitliche Dauer von rund fünfzehn Minuten nicht überschreiten sollten.

In Phase IV werden die in Phase II bereits geplanten Smartphoneexperimente außerschulisch in Form von Hausaufgaben von den jeweiligen Gruppen durchgeführt. Wie in Unterkapitel 5.5 dargelegt, ist der Einsatz von Hausaufgaben nicht unumstritten. Allerdings handelt es sich bei den in Phase IV durchgeführten Experimenten nicht um normale Hausaufgaben. „Mobile devices can [...] give literal meaning to the maxim ‘the world is a classroom’.“ (West & Vosloo, 2013, S. 18) Damit wird der Unterricht an einem anderen, für diesen Zweck besser geeigneten Ort durchgeführt, nämlich in der Alltagswelt der Schüler*innen. Daher handelt es sich auch nicht um Strafarbeiten. Diese reflektierte didaktische Entscheidung birgt darüber hinaus weitere Vorteile. Dieser mobile-learning Einschub gestattet den Schüler*innen eine freie Zeiteinteilung, was druckmindernd wirkt (de Witt, 2013; West & Vosloo, 2013). Das Smartphone erzeugt in diesem von der Lehrkraft aufgespannten und von den Schüler*innen ausformulierten Rahmen einen Lernkontext, in dem die Schüler*innen selbstständig

Wissen erwerben. Das Smartphone ist dabei nicht nur ein einfaches Experimentiergerät wie ein Multimeter, sondern stellt darüber hinaus nach Bachmair, Coole und Pachler (2014) ein Werkzeug sowohl zur Kommunikation als auch für die Individualisierung dar. Ferner werden wahrscheinlich viele dieser Smartphoneexperimente eher weniger innerhalb der Wohnungen bzw. Häuser stattfinden, sondern eher draußen zu verorten sein, sodass kein Bewegungsmangel durch Physikhausaufgaben induziert wird.

Phase V ist der Auswertung der Experimente gewidmet. Je nach Bedingungen der Klasse kann sich diese Phase entweder ggf. leicht zeitversetzt als Hausaufgabe an Phase IV anschließen oder im Unterricht stattfinden. Die Lehrkraft muss abwägen, ob die Schüler*innen bereits in der Lage sind, sich ihre Zeit frei einzuteilen und sich gegenseitig zu unterstützen, oder sie selbst eher regulativ bzw. helfend eingreifen sollte. Darüber hinaus kann auch sichergestellt werden, dass alle Schüler*innen zeitgleich die Auswertung fertig haben, sodass in den Untersuchungsblogs eifrig kommentiert und die Präsentationen in Phase VI verbessert werden können. Der Untersuchungsblog enthält alle Zwischenergebnisse und Ideen der getätigten Untersuchung in chronologischer Reihenfolge, d.h. er enthält neben den Ergebnissen auch explizit den Entstehungsprozess. Das Einrichten solcher Untersuchungsblogs auf Lernplattformen wie moodle oder wordpress generiert ein virtuelles Klassenzimmer. Dadurch haben sowohl die Mitschüler*innen als auch die Lehrkraft Gelegenheit, Kommentare zu geben und den einzelnen Gruppen bei Bedarf zu helfen (Grell & Rau, 2011). Dieser gegenseitige Austausch lässt die Schüler*innen in eine „Zone der proximalen Entwicklung“ (nach Wygotski, 1974 zitiert nach Urahn et al. 2000, S. 168) kommen. Der Untersuchungsblog stellt die Verknüpfung der verschiedenen Phasen im Rahmen des blended-learning dar, sodass die Verwendung der Lernplattform keine mediendidaktische Rückwärtsentwicklung darstellt (nach Reinmann, 2005 in: Zumbach et al., 2014). Die Erstellung des Untersuchungsblogs stellt dennoch keinen Selbstzweck dar. Der Untersuchungsblog dient als Präsentationsgrundlage in Phase VI, sodass die Schüler*innen ernst genommen und zusätzlich bzgl. einer Präsentationserstellung entlastet werden. Aus diesem Grund muss die Lehrkraft jedoch die Struktur desselbigen vorgeben, die vom Experimentierzyklus (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010) bestimmt ist. Mit etwas Geschick der Lehrkraft kann die Produktorientierung der Schüler*innen positiv bei der Erstellung des Untersuchungsblogs genutzt werden. Bei der Produktorientierung versuchen Schüler*innen möglichst zügig Messwerte zu erzeugen, um das Experiment möglichst zügig zum Abschluss bringen zu können, jedoch ohne auf deren Sinnhaftigkeit zu achten (Sander, 2000). Wie auch beim Experimentieren mit LabVIEW läge der Fokus bei FELS weniger auf der Generierung von Messwerten, sondern liegt bei FELS auf der Erstellung des Untersuchungsblogs. Daher könnte wie auch beim Programmieren mit LabVIEW die Produktorientierung positiv konnotiert werden (vgl. Müller et al., 2014).

In Phase VI werden im Klassenverband innerhalb des Fachraums u.a. die Untersuchungsblogs vorgestellt. Dabei präsentieren die Schüler*innen, was, wie und warum sie etwas taten. Sie stellen ferner ihre Hypothesen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen bzgl. der Hypothesen vor. An dieser Stelle werden Rückfragen geklärt und die Präsentation kurz diskutiert. Durch die Existenz jeweils zweier Gruppen derselben Fragestellung gibt es hier die Möglichkeit einer vergleichenden Reflexion, selbst wenn die Vergleichsgruppe aus Zeitgründen ihren Untersuchungsblog vielleicht nicht vorstellen kann. Dieses gegenseitige Erklären führt nach Rabe und Mikelskis (2007) zu einer Förderung des Lernzuwachses.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in Phase I vorstellungsbehaftete Fragen der Schüler*innen generiert werden. Der Theorieeinschub in Phase II und die auszuarbeitende Experimentierplanung in Phase III strukturieren diese einfachen Vorstellungen der Schüler*innen um. Beim Experimentieren in Phase IV und dem Auswerten in Phase V werden die umstrukturierten Vorstellungen angewendet. In Phase VI werden die neuen Vorstellungen bei der Präsentation und Reflexion überprüft und bewertet. Daher ist FELS auch vergleichbar mit dem konstruktivistischen Referenzmodell für Lehr-Lern-Sequenzen von Widodo und Duit (2005). Trotz allem sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass um die Schüler*innen nicht zu überfordern nicht jede Phase den gleichen Stellenwert haben sollte.

5.7 Weitere inhaltliche Beispiele

An dieser Stelle sind weitere inhaltliche Beispiele für FELS aufgelistet. Zur Ausschärfung sind ausgewählte inhaltliche Beispiele mit Fragestellungen sowie daraus abgeleiteten Hypothesen inklusive der zu messenden physikalischen Größen aufgelistet. (s. Tab. 5.2).

Themenfeld	Fragestellung	Hypothese	Zu bestimmende Größe
Rotation	Gibt es physikalische Größen außerhalb spezieller Messapparaturen?	Alltagsobjekte lassen sich mit physikalischen Größen beschreiben.	Trägheitsmoment des Kinderkarussells (s. Abb. A.3)
	Welche Auswirkung hat das Trägheitsmoment?	Je kleiner das Trägheitsmoment ist, desto leichter lässt es sich bewegen.	Bestimmung der Winkelgeschwindigkeiten & Beobachtung des nötigen Kraftaufwands

	Welche Auswirkung hat das Trägheitsmoment?	Je größer das Trägheitsmoment ist, desto länger bleibt die Winkelgeschwindigkeit erhalten	Aufnahme eines Winkelgeschwindigkeits-Zeit-Diagramms
	Wovon ist das Trägheitsmoment abhängig?	Das Trägheitsmoment ist abhängig von der Masse und deren Verteilung	Bestimmung der Winkelgeschwindigkeiten & Beobachtung des nötigen Kraftaufwands
Schwingung	Hängt die Periodendauer eines Federpendels von der Masse ab?	Die Periodendauer eines wippenden Sitzballs hängt von der Masse der Person ab.	Messung der Beschleunigung zur Bestimmung der Periodendauer
	Hängt die Periodendauer eines Fadenpendels von der Masse ab?	Die Periodendauer einer Schaukel hängt von der Masse der Person ab.	Messung der Beschleunigung zur Bestimmung der Periodendauer
	Hängt die Periodendauer eines Fadenpendels von der Fadenlänge ab?	Die Periodendauer einer Schaukel hängt von der Seillänge ab.	Messung der Beschleunigung zur Bestimmung der Periodendauer
	Ergeben zwei verschiedene Rechnungen das gleiche Ergebnis?	Die über die Periodendauer bestimmte Federkonstante eines Sitzballs ist gleich der über die Gewichtskraft der sitzenden Person und die damit verbundene Höhenänderung bestimmte.	Messung der Beschleunigung zur Bestimmung der Periodendauer; Gewichtskraft und Höhenänderung; Unsicherheitsbetrachtung
Schall und Akustik	Ist die Schallgeschwindigkeit immer konstant?	Die Schallgeschwindigkeit in Luft hängt vom Material ab.	Messung einer Länge und des Zeitunterschiedes zwischen dem Schallsignal der Luft und dem des Metallgeländers

	Kommt bei jedem Glas der gleiche Ton heraus, wenn ich hinein puste?	Der Ton aus einem Glas ist abhängig von der schwingfähigen Höhe der Luftsäule.	Fourrieranalyse des Schalls aus dem als Resonator dienendem Glases
	Wie unterscheiden wir Laute?	Jeder Vokal hat andere Obertöne.	Fourrieranalyse von gesprochenen Vokalen und der Vergleich der Obertöne
	Warum klingen Musikinstrumente verschieden?	Ein c einer Gitarre klingt anders als ein c eines Klaviers.	Fourrieranalyse der Klänge und Vergleich der Obertöne

Tab. 5.2 (Müller, Magdans & Borowski, 2018b, S. 135 f.): Beispielhafte Ausschärfung von Rotation und Trägheitsmoment für FELS.

5.8 Mögliche Kompetenzentwicklung bei FELS

FELS als Synthese verschiedener physikdidaktischer Teilstränge erscheint wie die Beispiele in dem Unterkapitel 5.7 in verschiedenen Teilgebieten der Physik einsetzbar zu sein. Der Einsatz bezogen auf das geringe Stundenkontingent von Physik scheint vergleichsweise teuer zu sein. Als eine Legitimierung des schulischen Einsatzes von FELS soll der Forderung von Labudde & Börlin (2013) Rechenschaft getragen werden, forschend-entdeckende Lernumgebungen mit Bildungsstandards abzugleichen. Im Folgenden sind dazu die Bildungsstandards der KMK für den Physikunterricht (KMK, 2005) bzw. daran anschließend die Bildungsempfehlungen zur Medienkompetenz (KMK, 2016) vergleichend mit FELS aufgelistet. Dabei sind jedoch nur die Teilkompetenzen aufgeführt, die in FELS auch abgedeckt werden können.

Alle Teilkompetenzen aus dem Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005, S. 11) werden durch FELS erlernt bzw. angewendet. Im Sinne des forschend-entdeckenden Lernens werden Experimente von den Schüler*innen unter Anleitung selbst geplant, durchgeführt, ausgewertet, dokumentiert und vorgestellt. Hierfür ist es auch unabdingbar, reale Entitäten anhand physikalischer Größen und Beschreibungsweisen zu modellieren.

Der Übersichtlichkeit wegen werden die restlichen Kompetenzbereiche tabellarisch (s. Tab. 5.3) verglichen.

Kompetenzbereich: Umgang mit Fachwissen

Teilkompetenz (KMK, 2005, S. 11)	Implementierung in FELS
F1 „Die Schülerinnen und Schüler verfügen über ein strukturiertes Basiswissen auf der Grundlage der Basiskonzepte“	→ Phase II: Vermittlung von genügend Fachwissen zur Planung und Auswertung der Experimente → Phase VI: Zusammentragen der Erkenntnisse der einzelnen Untersuchungen und strukturierte Erweiterung des Theoriekonstrukts
F2 „Die Schülerinnen und Schüler geben ihre Kenntnisse über physikalische Grundprinzipien, Größenordnungen, Messvorschriften, Naturkonstanten sowie einfache physikalische Gesetze wieder“	→ Phase III: Kommunikation der Schüler*innen zur Experimentplanung als Anwendung physikalischer Kenntnisse → Phase VI: Vorstellung des Untersuchungsprozesses und der Ergebnisse
F3 „Die Schülerinnen und Schüler nutzen diese Kenntnisse zur Lösung von Aufgaben und Problemen“	→ Phasen III – V: Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments zur Prüfung einer Hypothese
F4 „Die Schülerinnen und Schüler wenden diese Kenntnisse in verschiedenen Kontexten an“	→ Phasen III-V: Experiment mit Planung, Durchführung und Auswertung finden in lebensweltlichen Kontext statt → Phase VI: Präsentationen und Diskussion der jeweiligen Gruppenarbeit (Gruppen haben freie Kontextwahl)

Kompetenzbereich: Kommunikation

Teilkompetenz (KMK, 2005, S. 12)	Implementierung in FELS
K1 „Die Schülerinnen und Schüler tauschen sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen aus“	→ Phase III bis V: innerhalb der Gruppenarbeit bei der Erarbeitung, Durchführung und Auswertung des Experiments → Phase V: Erstellung und Nutzung des Untersuchungsblogs als Kommunikationsmedium → Phase VI: Präsentation und Diskussion über Vorgehen und Ergebnisse sowie strukturierte Erweiterung des Theoriekonstrukts

	durch Zusammentragung der einzelnen Gruppen
K3 „Die Schülerinnen und Schüler recherchieren in unterschiedlichen Quellen“	→ Phase III: Nutzung von Literatur und andere Quellen zur Erstellung des Untersuchungsplans → Phase V: Abgleich der Ergebnisse mit Literaturwerten
K4 „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben den Aufbau einfacher technischer Geräte und deren Wirkungsweise“	→ Phase III: Erarbeitung des Experiments auf Grundlage der Kenntnis von Sensoren in Gruppen → Phase V: Aufbereitung der Vorgehensweise inklusive Sensornutzung im Untersuchungsblog → Phase VI: Präsentation der Vorgehensweise inklusive Sensornutzung
K5 „Die Schülerinnen und Schüler dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit“	→ Phase V: Erstellung des Untersuchungsblogs
K6 „Die Schülerinnen und Schüler präsentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit adressatengerecht“	→ Phase VI: Ergebnispräsentation vor eigener Klasse
K7 „Die Schülerinnen und Schüler diskutieren Arbeitsergebnisse und Sachverhalte unter physikalischen Gesichtspunkten“	→ Phase VI: Diskussion des Vorgehens und der Ergebnisse mit Klasse

Kompetenzbereich: Bewertung

Teilkompetenz (KMK, 2005, S. 12)	Implementierung in FELS
B1 „Die Schülerinnen und Schüler zeigen an einfachen Beispielen die Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen bei inner- und außerfachlichen Kontexten auf“	→ Phase VI: Reflexion und Diskussion der Ergebnisse

<p>B3 „Die Schülerinnen und Schüler nutzen physikalisches Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten, im Alltag und bei modernen Technologien“</p>	<p>→ Phase IV - VI: nur bei entsprechendem Fokus der Lehrkraft, sonst nicht enthalten</p>
---	---

Tabelle 5.3 (Müller et al., 2018b, S.137 f.): Die einzelnen Kompetenzbereiche der Bildungsstandards in Physik (KMK, 2005) sind zugehörigen Abschnitten in FELS vergleichend gegenübergestellt.

Der tabellarische Vergleich zeigt deutlich, dass viele Bildungsstandards von Physik zumindest grundlegend von FELS abgedeckt werden können. Einzig die Bewertungskompetenz scheint zu kurz zu kommen. Außerdem sei noch erwähnt, dass dieser theoretische Vergleich lediglich Möglichkeiten liefert, die es empirisch noch zu überprüfen gilt.

Nebst entsprechender Bildungsstandards der einzelnen Fächer wurden quer liegende Medienkompetenzen als Bildungsempfehlung erarbeitet (KMK, 2016). Wie auch schon bei den Bildungsstandards für Physik sollen die empfohlenen Medienkompetenzen nicht weiter diskutiert werden. Für eine kritische Auseinandersetzung mit den Bildungsempfehlungen zur Medienkompetenz sei auf entsprechende Veranstaltungen und Positionspapiere von Organisationen und Gruppen wie z.B. Keine Bildung ohne Medien! (KBoM!) oder der Gesellschaft für Medienpädagogik und Kommunikationskultur (GMK, 2018) verwiesen. Aufgrund seiner Struktur ist FELS in der Lage, einen Beitrag des Physikunterrichts zur Medienbildung zu leisten. Der nachfolgende Abschnitt vergleicht tabellarisch die Bildungsempfehlungen zur Medienkompetenz (KMK, 2016) mit FELS (s. Tab. 5.4).

Kompetenzbereich: Suchen, Verarbeiten und Aufbewahren

Teilkompetenz (KMK, 2016, S.15 f.)	Implementierung in FELS
<p>1.2.1 „Informationen und Daten analysieren, interpretieren und kritisch bewerten“</p>	<p>→ Phase IV – V: Datenanalyse und Interpretation bezüglich des Experiments → Phase VI: Bewertung der Messergebnisse in Diskussion; Erleichterung der Interpretation durch Kenntnisse der Sensortechnik → ABER: keine traditionelle Quellenkritik</p>

1.3.1 „Informationen und Daten sicher speichern, wiederfinden und von verschiedenen Orten abrufen“	→ Phase IV – VI: Verwendung verschiedener Hardware (Smartphone, PC, Smartboard) während Durchführung, Auswertung und Präsentation
1.3.2 „Informationen und Daten zusammenfassen, organisieren und strukturiert Aufbewahren“	→ Phase V: Auswertung der Daten und Erstellung des Untersuchungsblogs

Kompetenzbereich: Kommunizieren und Kooperieren

Teilkompetenz (KMK, 2016, S. 16)	Implementierung in FELS
2.1.1 „Mit Hilfe verschiedener digitaler Kommunikationsmöglichkeiten kommunizieren“	→ Phase V: Kommentierungen der Untersuchungsblogs
2.2.1 „Dateien, Informationen und Links teilen“	→ Phase V: Teilen der Messergebnisse zur gemeinsamen Auswertung in der Gruppe sowie Veröffentlichung der Messergebnisse und deren Interpretation im Untersuchungsblog
2.3.1 „Digitale Werkzeuge für die Zusammenarbeit bei der Zusammenführung von Informationen, Daten und Ressourcen nutzen“	→ Phase V: Nutzung von emails zum Datenaustausch innerhalb der Gruppe, Tabellenkalkulationen zur Datenauswertung mehrerer Messreihen und Erstellung des Untersuchungsblogs
2.4.1 „Verhaltensregeln bei digitaler Interaktion und Kooperation kennen und anwenden“	→ Phase V: Kommunikationsregeln bei der Kommentierung anderer Untersuchungsblogs

Kompetenzbereich: Produzieren und Präsentieren

Teilkompetenz (KMK, 2016, S. 16)	Implementierung in FELS
3.2.1 „Inhalte in verschiedenen Formaten bearbeiten, zusammenführen und präsentieren“	→ Phase V: Zusammenführung und Auswertung digitaler Messdaten in Tabellenkalkulation sowie Protokollierung im Untersuchungsblog → Phase VI: Präsentation des Untersuchungsblogs
3.2.2 „Informationen, Inhalte und vorhandene digitale Produkte weiterverarbeiten und in bestehendes Wissen integrieren“	→ Phase VI: Zusammenführung und Vernetzung der Untersuchungsblogs verschiedener Gruppen in Diskussion und Evaluation des Themas

<p>3.1.2 „Eine Produktion planen und in verschiedenen Formaten gestalten, präsentieren, veröffentlichen oder teilen“</p>	<p>→ Phase III bis VI: Planung (teilweise durch Lehrkraft), Gestaltung und Veröffentlichung des Untersuchungsblog → Phase IV und V: Formatvariabilität durch Variabilität der Datenaufnahme und Datenverarbeitung in verschiedenen Repräsentationsformen (z.B. Gleichungen, Graphen)</p>
--	---

Kompetenzbereich: Problemlösen und Handeln

Teilkompetenz (KMK, 2016, S. 17 f.)	Implementierung in FELS
<p>5.2.1 „Eine Vielzahl von digitalen Werkzeugen kennen und kreativ anwenden“</p>	<p>→ Phase III: Planung der Verwendung digitaler Werkzeuge beim Experimentieren und Auswerten → Phase IV und V: Durchführung und Auswertung der Experimente</p>
<p>5.2.2 „Anforderungen an digitale Werkzeuge formulieren“</p>	<p>→ Phase III: Planung der Verwendung digitaler Werkzeuge beim Experimentieren und Auswerten → Phase V: Begründung des Vorgehens bei der Untersuchung und Erstellung helfender Kommentare für andere Gruppen → Phase VI: Darlegung der Überlegungen in der Präsentation</p>
<p>5.2.3 „Passende Werkzeuge zur Lösung identifizieren“</p>	<p>→ Phase II: je nach Kenntnisstand</p>
<p>5.4.2 „Persönliches System von vernetzten digitalen Lernressourcen selbst organisieren können“</p>	<p>→ Phase IV – VI: Bedienung verschiedener digitaler Werkzeuge auf unterschiedlichen Endgeräten → Phase V: Transferierung der Daten in den Untersuchungsblog → Phase IV und V: Selbstorganisation des Netzwerks bedingt durch außerunterrichtliche Lernumgebung</p>
<p>5.5.1 „Funktionsweisen und grundlegende Prinzipien der digitalen Welt kennen und verstehen“</p>	<p>→ in Abhängigkeit von Kenntnisstand der SuS und Zielen der Lehrkraft: → Phase II: Kennen und Verstehen von zu nutzenden Sensoren und Apps → Phase III: siehe oben; implizit hilfreich bei Erstellung des Untersuchungsplans</p>

5.5.3 „Eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems planen und verwenden“	→ implizit: Betrachtung der Vorgehensweise bei FELS (Experimentierkreislauf) als strukturierter Algorithmus zur Problemlösung
---	---

Kompetenzbereich: Analysieren und Reflektieren

Teilkompetenz (KMK, 2016, S. 18)	Implementierung in FELS
6.2.6 „Potenziale der Digitalisierung im Sinne sozialer Integration und sozialer Teilhabe erkennen, analysieren und reflektieren“	→ Phase V und VI (implizit): Tipps als Kommentare im Untersuchungsblog können Qualität der Untersuchungen und Präsentationsleistung (→ Unterrichtsqualität) erhöhen; Bewusstmachung obliegt Lehrkraft

Tabelle 5.4 (Müller et al., 2018b, S.229 ff.): Die einzelnen Kompetenzbereiche der Bildungsempfehlungen zu Medienkompetenzen (KMK, 2016) sind zugehörigen Abschnitten in FELS vergleichend gegenübergestellt.

Mit FELS lassen sich einige der Medienkompetenzen unterrichtlich umsetzen, aber längst nicht alle. Der über verschiedene Fächer quer liegende Charakter erfordert dies aber auch nicht. In FELS werden hauptsächlich Medienkompetenzen zur Kommunikation und Austausch, zum problemlösenden Handeln, zur Datenverarbeitung und Datenlagerung sowie zum Produzieren und Präsentieren genutzt. Geistes- und sprachwissenschaftlich arbeitende Fächer wie Geschichte oder Deutsch können einen ungleich höheren Beitrag bezüglich Quellenkritik leisten, als es ein naturwissenschaftliches Fach wie Physik auch nur benötigt. Der Kompetenzbereich „Schützen und sicher Agieren“ (KMK, 2016, S. 17) beispielsweise soll durch FELS nicht adressiert werden, sondern ist den Fächern politische Bildung sowie Lebensgestaltung, Ethik, Religionskunde (LER) aufgrund der thematischen Ausrichtung des jeweiligen Fachs sinnvoller zu implementieren und als Kompetenz sicherlich nutzbringend für das jeweilige Fach.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit FELS sowohl die Bildungsstandards in Physik (KMK, 2005) als auch die Bildungsempfehlungen im Bereich der Medienkompetenzen (KMK, 2016) ausreichend umsetzen lassen. Von größeren Projekten am Ende einer Jahrgangsstufe abgesehen sollte sich die Lehrkraft bei der Nutzung von FELS auf wenige Kompetenzen als Lernziel fokussieren. Beispielsweise werden die Schüler*innen im Rahmen von Phase III immer miteinander reden gleichwohl der Fokus und das Lernziel nicht immer auf Kommunikation liegen müssen. Auch wenn

FELS immer die Möglichkeit dazu enthält, bedarf es entsprechender Aufgabenstellungen, um den Kompetenzbereich des Kommunizierens lerngerecht zu adressieren.

5.9 FELS - eine Zwischenbilanz

FELS stellt ein smartphonegestütztes forschend-entdeckendes Lernarrangement dar, das auf diversen fachdidaktischen Theorien und medienpädagogischen Konzepten fußt und diese vereinigt weiterdenkt. Es hat als blended-learning Lernarrangement das Potential, eine Brücke zwischen der für Schüler*innen bekannten Alltagswelt und dem als eher dröge empfundenen Physikunterricht zu schlagen. Das Smartphone erfüllt dabei mehrere Funktionen. Allein die positive Konnotation dieses Gerätes kann hierfür bereits helfen. Als omnipräsentes Messwerkzeug dient es dabei der Erkundung der eigenen Lebenswelt aus physikalischer Sicht. Es ermöglicht neben der Quantifizierung althergebrachter Freihandexperimente auch die Erschließung neuer Themenfelder. Ferner realisiert es durch die eingebauten Funktionen und die Konnektivität ein blended-learning Konzept. Die Schüler*innen können dabei auch während der gruppenweise durchgeführten Hausaufgaben miteinander sowie mit der Lehrkraft verbunden bleiben. Mit FELS wird ferner den KMK-Richtlinien zur Medienbildung Rechnung getragen, indem es eine Möglichkeit eines physikspezifischen Beitrags zur fächerübergreifenden Medienbildung darstellt. Daneben werden auch viele fachspezifische Kompetenzen erworben bzw. angewendet, was den zeitlichen Aufwand rechtfertigt.

Es bleibt jedoch empirisch zu überprüfen, ob sich diese aus der Theorie abgeleiteten Annahmen bestätigen. In Kapitel 6 wird hierfür ein Teilaspekt von FELS bzgl. des flow-Erlebens evaluiert.

6 Empirische Untersuchung smartphonegestützter Experimente

6.1 Forschungsfragen zur Teilevaluierung von FELS

Wie aus dem Unterkapitel 5.6 folgt, soll zunächst erklärt werden, warum die Durchführungsphase in dieser Studie die volle Aufmerksamkeit bekommt und entsprechend evaluiert wird, bevor die einzelnen Hypothesen abgeleitet werden.

Im Anschluss erfolgt die Herausarbeitung der Forschungsfrage mit zugehörigen Hypothesen zur Einordnung von typischen Laborversuchen.

Wie in Kapitel 4 dargelegt, sollte zumindest die Phase der Experimentdurchführung in FELS ein gewisses flow-Erleben auslösen können. Die Durchführungsphase ist zudem die kritischste Phase in FELS, da die Schüler*innen die jeweiligen Experimente ohne eine direkte Aufsicht der Lehrkraft als Hausaufgaben selbstständig durchführen müssen. Ein flow-Erleben während der Durchführungsphase würde nicht nur dem Unterricht allgemein zu Gute kommen, sondern eine effektive Beschäftigung im Rahmen von FELS selbst befeuern. Der Gehalt der folgenden Auswertungs- und Präsentationsphase ist von der Qualität der einzelnen Experimentdurchführungen und deren Datenakquise abhängig. Ein flow-Erleben als Tätigkeitsanreiz würde jedoch mit einer intensiveren und länger andauernden Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand bzw. in diesem Fall der Experimentierdurchführung einhergehen und so die Qualität der Schüler*innenarbeit auf ein ausreichend hohes Niveau heben bzw. verbessern. Die anderen Phasen von FELS dienen entweder als notwendige Vorbereitung auf dieses flow-Erleben in der Phase der Durchführung bzw. deren Nachbereitung und profitieren damit ebenso. Daher wird der Durchführungsphase ein besonderes Interesse in dieser Studie beigemessen

Mädchen und Jungs sind im Mittel für andere Kontexte zu begeistern, was auch das Interesse an der Physik geschlechterabhängig werden lässt (Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998). Im besonderen Maße interessieren sich Mädchen eher nicht für die Erkundung nackter Technik, sondern ziehen Kontexte wie Medizin und den menschlichen Körper vor. Die thematische Einbettung der Smartphoneexperimente bezieht neben dem Smartphone auch die Empfindungen des eigenen Körpers bei der Interpretation ein, um Lernenden einen ergänzenden Zugang zu den untersuchten physikalischen Größen zu geben. Diese Involviertheit in den Aufbau sollte in entsprechenden Beurteilungen auch förderlich für Mädchen und Frauen sein (Hoffmann et al., 1998), sodass keine Geschlechtsunterschiede erwartet werden. Darüber hinaus wird der im weitesten Sinn eigene Alltag aus einer naturwissenschaftlichen Sichtweise heraus erkundet. Im Zusammenspiel mit der Involviertheit des eigenen Körpers sollte die so genannte Absorbiertheit in die Handlung relativ stark

ausgeprägt sein, d.h. <A> sollte eher höhere Werte annehmen. Demgegenüber ist ein solches Vorgehen ungewohnt und neu. Dies kann zu einer leichten Überforderung führen, was einen flüssigen Handlungsverlauf hinderlich ist und zu eher niedrigeren Werten von <gaV> führen sollte (s. Unterkapitel 3.4.3). Die sich ergebende Forschungsfrage mit den Hypothesen lautet:

FF3: Inwieweit ermöglicht die Durchführung von Smartphoneexperimenten in Alltagssituationen im Sinne von FELS ein flow-Erleben?

H3i: Die Durchführung von Smartphoneexperimenten in Alltagssituationen im Sinne von FELS ermöglicht ein flow-Erleben unabhängig vom Geschlecht.

H3ii: <A> ist stärker ausgeprägt als <gaV>.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob diese theoretischen Überlegungen überhaupt zutreffen. Möglicherweise reicht die punktuelle Rückmeldung aus einem Testatgespräch als Feedback auch aus und typische physikalische Laborexperimente ermöglichen ein flow-Erleben. Das Experimentieren mit Smartphones in der eigenen Erfahrungswelt mit freier Zeiteinteilung stellt für viele Lernende sicherlich ein Novum dar, was einem glatten Handlungsablauf hinderlich sein könnte und mit entsprechenden Arbeitsaufträgen kompensiert werden muss. Laborartige Grundpraktikumsversuche mit bekanntem Ausgang sind für Lernende hingegen meist kein Neuland, sondern aus der Schule als klassische Schülerexperimente oft bekannt. Darüber hinaus dienen die dezidierten schriftlichen Anweisungen bei solchen Versuchen auch leistungsschwächeren Lernenden als Orientierung und Handlungsanweisung. Entsprechend sind diese Experimente eher selten spannend, sodass die Absorbiertheit in die Durchführung eher nicht so stark ausgeprägt sein sollte. Dafür sind die geforderten Handlungen eher routiniert abzuarbeiten, sodass <gaV> stärker ausgeprägt sein sollte. Durch die oft vorgegebenen Aufbauten die in solchen Versuchen eher selten hinterfragt werden, sollten Mädchen bzw. Frauen eher weniger Interesse und damit wohlmöglich ein geringeres flow-Erleben haben als ihre männlichen Pendanten (Hoffmann et al., 1998). Aus diesen Gründen ergibt sich die folgende Forschungsfrage mit entsprechenden Hypothesen:

FF4: Inwieweit ermöglicht die Durchführung von klassischen Laborexperimenten ein flow-Erleben?

H4i: Die männlichen Probanden haben bei der Durchführung typischer Laborexperimente ein größeres flow-Erleben als weibliche.

H4ii: <gaV> ist stärker ausgeprägt als <A>.

Im Rahmen eines lernförderlichen Klimas sollte flow-Erleben möglichst hoch und ein Angsterleben eher gering ausgeprägt sein. Die Smartphoneexperimente sind hoch kontextualisiert und finden in einem für die Lernenden bekannten Terrain statt, was stressmindernd wirken sollte (Pozas, 2016). Bei

klassischen Laborversuchen steht hingegen jederzeit ein Betreuer helfend zur Seite. Entsprechend stellt sich folgende Forschungsfrage mit den Hypothesen:

FF5: Inwieweit liegt <Besorgnis> bei den evaluierten Lerngelegenheiten vor?

H5i: <Besorgnis> ist eher schwach ausgeprägt bei der Durchführung von Smartphoneexperimenten im Alltag.

H5ii: <Besorgnis> ist eher schwach ausgeprägt bei der Durchführung von klassischen Laborexperimenten.

Da es sich bei den Probanden um Studierende des ersten Fachsemesters handelt (vgl. Unterkapitel 6.2), wird bewusst auf einen Vergleich zwischen Lehramtsstudierenden und Monofachstudierenden verzichtet. Im ersten Semester besuchen die Probanden beider Studiengänge die gleichen Vorlesungen und Übungen der Experimentalphysik und haben mit dem Abitur die gleichen Startbedingungen.

Außerdem wird auf den Vergleich zwischen den Lernszenarien klassisches Laborexperiment und Smartphoneexperiment nach FELS weitestgehend verzichtet. Die Werte des klassischen Laborexperiments stellen lediglich einen Referenzwert im Rahmen einer Kartierung des flow-Erlebens verschiedener Lernformen dar. FELS wurde speziell nach fachdidaktischen Erkenntnissen mit dem Ziel der Motivationssteigerung entwickelt. In Kapitel 4 wurde darüber hinaus aufgezeigt, dass die Durchführungsphase von FELS flow-Erleben generieren sollte. Dies mit einer klassischen Lernmethode zu vergleichen ist nicht sinnstiftend. Außerdem handelt es sich um andere Probanden, die bereits erste fachdidaktische Kenntnisse erworben haben und auch in ihrem fachphysikalischen Werdegang weiter fortgeschritten sind. Ein solcher Vergleich wäre nicht aussagekräftig genug.

Im Rahmen von PSI Potsdam, dem potsdamer Projekt der Qualitätsoffensive Lehrerbildung, haben Massolt und Borowski (2018) in Ihrem Teilprojekt versucht, Inhalte aus der Fachdidaktik und der Fachwissenschaft miteinander zu verzahnen und so die Studienabbruchquote zu reduzieren. Studierende beklagten sich dabei, dass das Fachwissen in den Vorlesungen und dazugehörigen Übungen zu schulfern sei. Um diesem Wunsch Rechnung zu tragen ohne das Niveau absinken zu lassen, wurden Übungsaufgaben angepasst. Die zu den Aufgaben gehörigen Übungen sind an die Experimentalphysik I und II angegliedert, die von Studierenden in den ersten beiden Fachsemestern belegt werden. Zur Evaluierung nutzten Massolt und Borowski (2018) das Konstrukt der empfundenen Berufsrelevanz. Dieser Evaluierungsansatz soll auch in dieser Studie genutzt werden.

Im Rahmen öffentlicher Debatten um Digitalisierung und der schulischen Nutzung digitaler Medien (z.B. Digitalpakt, 2019) ist es durchaus interessant zu wissen, ob Lehramtsstudierende smartphonebasierte Experimente im Vergleich zu Versuchen im Rahmen des laborartigen

Grundpraktikums für relevant in ihrem künftigen Beruf erachten. Lehrkräfte und damit auch Lehramtsstudierende schätzen eigene Erfahrungen und damit auch den selbst erfahrenen Unterricht als prototypisch ein und relativieren bzw. beurteilen diese Erfahrungen auch nicht mit Theoriewissen. Vielmehr wird Theoriewissen häufig abgelehnt. Diese Überzeugungen bilden jedoch nicht nur die Basis eines weiteren Wissenserwerbs, sondern beinhalten auch Vorstellungen, wie guter Unterricht, etc. funktioniert und abzulaufen hat (Hascher, 2005). Entsprechend ist es fraglich, ob sie smartphonebasierte Experimente als eine mögliche neue und ihnen eher fremde Form des Schülerexperiments wertschätzen. Aus diesen Gründen ergibt sich eine weitere Forschungsfrage mit entsprechender Hypothesen:

FF6: Inwiefern gibt es Unterschiede im Rahmen der Berufsrelevanz in der Durchführung von Experimenten zwischen klassischen Grundpraktikumsversuchen und Untersuchungen im Rahmen von FELS?

H6: Lehramtsstudierende schätzen Smartphoneexperimente als weniger berufsrelevant ein als klassische Laborversuche.

6.2 Design

Zur Beantwortung der drei Forschungsfragen wurden Studierende im Rahmen zweier regulärer Lehrveranstaltungen mit physikalischen Experimenten getestet. Um die jeweils reine Experimentdurchführung als Handlung testen zu können, wurden Lernsettings gesucht, die zeitlich entweder möglichst lang andauernd oder abgegrenzt gegenüber anderen Handlungen sind. Diese Bedingungen ließen sich am ehesten im Rahmen entsprechender Lehrveranstaltungen innerhalb des Studiums realisieren. Ein regulärer Unterrichtsgang mit verschiedenen Unterrichtsphasen stellte sich für die Erhebung des flow-Erlebens einzelner Phasen als eher ungeeignet heraus (Hauf, 2016). Die Komplexität von Unterricht mit verschiedenen Phasen lässt das von den Schüler*innen innerhalb der einzelnen Phasen verspürte flow-Erleben quasi ineinander verschmieren, was Aussagen über einzelne Phasen kaum zulässt. Längere Handlungsphasen wie das Zuhören und Mitdenken in Vorlesungen, das Rechnen von Übungsaufgaben, Bergsteigen (Rheinberg et al., 2003), Museumsbesuche (Krombass et al., 2007) und durchgängige Praktikumsphasen (Püttmann, 2009) bieten sich hingegen gut an für eine vergleichende Untersuchung des flow-Erlebens.

Bei den beiden Lehrveranstaltungen handelte es sich einerseits um das Physikalische Grundpraktikum (PG) mit klassischen Laborexperimenten und andererseits um die so genannten Physikalischen Schulexperimente (PSE), in denen Smartphoneexperimente in der Alltagswelt durchgeführt wurden. Beiden Kursen gemein war, dass es sich um Lernumgebungen handelt. Im GP sind zwar je nach

Studiengang jeweils drei bzw. fünf Testate abzulegen und Protokolle zu erstellen. Dies ist aber lediglich eine Prüfungsnebenleistung, die nur unbenotet bestanden werden muss.

Wie in Unterkapitel 3.2 beschrieben, erhielten die Studierenden in beiden Kursen eine kurze Einführung. Diese beinhaltete neben dem Konstrukt des flow-Erlebens auch eine Einführung in die entsprechenden Smartphoneexperimente. Dabei wurden die beteiligten Sensoren und eine kleine Auswahl an möglichen Apps vorgestellt. Zur Klärung der Forschungsfragen FF4, FF5 und FF6 wurde als Testinstrument jeweils der FKS (vgl. Unterkapitel 3.2) mit seiner Zusatzskale Besorgnis sowie einem Item zur Berufsrelevanz verwendet. In beiden Lehrveranstaltungen waren die Studierenden durch die von Massolt und Borowski (2018) durchgeführten Untersuchungen bzgl. der Einschätzung von Übungsaufgaben im Rahmen der Experimentalphysik bereits mit diesem von Massolt und Borowski (2018) entnommenen Item zur Berufsrelevanz vertraut. Daher bedurfte dieses als komplex zu bewertende Item keiner weiteren Klärung.

6.2.1 Flow-Erleben in klassischen Laborexperimenten

Die Testung im GP wurde im Rahmen einer Lehrveranstaltungsevaluation durchgeführt. Die Studierenden im GP waren Studierende des ersten Fachsemesters und setzten sich aus Monophysikstudierenden und Physiklehramtsstudierenden zusammen. Im Rahmen der Vergleichbarkeit zwischen Studierenden beider Studiengänge wurden lediglich die drei gemeinsam durchgeführten Versuche mit dem Testinstrument erfasst. Insgesamt liegen $N = 77$ Messungen von Monophysikstudierenden und $N = 111$ Messungen von Physiklehramtsstudierenden vor. Diese Ausdifferenzierung wird zur Beantwortung von FF 6 gebraucht. Es ist davon auszugehen, dass Monophysikstudierende nach dem Studium andere Berufe ausüben werden als Physiklehramtsstudierende.

Die Messungen wurden jeweils während der Versuchsdurchführung durchgeführt, indem der Testleiter die Fragebögen ausgab. Störeffekte durch die Ausübung anderer Tätigkeiten wurden hierdurch verringert, weil die Studierenden zum Zeitpunkt der Ausfüllung des Fragebogens in der Tätigkeit der Versuchsdurchführung bereits angekommen waren. Da das Ausfüllen der Fragebögen auf freiwilliger Basis stattfand und die Pausenzeiten innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne frei wählbar waren, betrug die Rücklaufquote nicht 100%. Ferner wurden die Versuche in drei Kohorten zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des ersten Semesters durchgeführt, in dem es erfahrungsgemäß eine gewisse Studienabbruchquote bei Physikstudierenden gibt.

6.2.2 Flow-Erleben bei Smartphoneexperimenten im Grundpraktikum

Da im GP die Studierenden eine quasi durch die Studienordnung festgelegte Anzahl an Versuchen hatten, sollten diese auch nicht mit neuartigen Einstiegsexperimenten ersetzt werden. Vielmehr sollten die Smartphoneexperimente als Vorbereitung auf die jeweiligen Experimente dienen. Hierfür wurden die üblicherweise zur Vorbereitung der Experimente zu lesenden Texte von den Smartphoneexperimenten ersetzt. Entsprechend wurden drei Smartphoneexperimente für die drei Pflichtversuche konzipiert (vgl. Unterkapitel 6.3). Die Smartphoneexperimente waren entsprechend thematisch an die Versuche im Grundpraktikum angepasst. Sie behandelten Beschleunigungen und Scheinkräfte in mitbewegten Bezugssystemen, Federschwinger sowie Rotationen und Trägheitsmomente. Hierdurch sollte auch der Praxisanteil erhöht werden. Da das Lesen der sonst zur Vorbereitung dienenden Texte nur fakultativ war, waren die als deren Ersatz dienenden Smartphoneexperimente ebenfalls nur fakultativ. Entsprechend war die Rücklaufquote mit $N = 16$ Einzelmessungen als sehr gering einzuschätzen und ist statistisch nicht auswertbar. Die Erprobung entsprechender Smartphoneexperimente nach FELS war damit im GP gescheitert.

6.2.3 Flow-Erleben bei Smartphoneexperimenten im Kurs Physikalische Schulexperimente

Die gleichen Smartphoneexperimente wurden noch einmal im Rahmen des Seminars Physikalische Schulexperimente (PSE) eingesetzt, wo die Studierenden sie verpflichtend durchführen mussten. Mit dem PSE beginnt auch die fachdidaktische Bildung der Lehramtsstudierenden in Physik an der Universität Potsdam. Ziel des Moduls ist es, dass die Studierenden Grundlagen der Stoffdidaktik kennen und diese bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Experimenten und Versuchsreihen für den Unterricht anwenden können. Erste Experimentalphysik-Veranstaltungen sowie Grundpraktika wurden von den Studierenden in den ersten beiden Semestern bereits absolviert, sodass in PSE auf physikalisches Vorwissen und Handhabung einfacher Geräte aufgebaut werden konnte. Fachdidaktische Themen wurden seminarartig eingeführt, die als Themenschwerpunkte der jeweiligen Experimente in der Durchführung, der Vor- und Nachbereitung genutzt und angewendet wurden. Dabei experimentierten die Studierenden jeweils zu zweit in so genannten Tandems, wobei immer vier Tandems zu einer Gruppe zusammengefasst wurden. Mit der Nutzung einer digitalen Lernumgebung wurde eine digitale Lernbegleitung realisiert. Die Gruppen- und Experimentier-Tandemstruktur waren mit den Aufgabenstellungen und den Folien zu den Seminaren in der digitalen Lernumgebung hinterlegt. Ebenfalls luden die Studierenden ihre Ausarbeitungen bzgl. der einzelnen Experimente und Themenschwerpunkte hoch. Dort konnten sie sowohl von allen Studierenden des Kurses als auch von

den Betreuenden eingesehen und kommentiert bzw. diskutiert werden. Die drei Smartphoneexperimente gliederten sich gut in den Ablauf des PSE ein und wurden gegen Ende des ersten Modulteils durchgeführt. So waren einige physikdidaktischen Konzepte wie der Experimentierzyklus (Frischknecht-Tobler & Labudde, 2010) bereits bekannt. Auch die Nutzung der Lernplattform zur Vor- und Nachbereitung war hinreichend geübt und stellte so kein Schwierigkeitserzeugendes Merkmal mehr dar. Lediglich zwei der Tandems nutzten das Angebot eines ausleihbaren Smartphones. Die übrigen Teilnehmer nutzten eigene Geräte. Eine Prüfungsnebenleistung oder einen Teil von dieser stellten die drei Smartphoneexperimente jedoch nicht dar, da diese erst im zweiten Teil des Moduls zu erbringen war. Mit insgesamt N = 71 Messungen war die Rücklaufquote im PSE weitestgehend vollständig.

Eine Zusammenfassung der erhobenen Messungen ist Tabelle 6.1 zu entnehmen.

Studiengang (Kurs) Geschlecht	Klassische Laborexperimente gesamt (GP)				Klassische Laborexperimente nur Lehramt (GP)				Smartphoneexperimente (PSE)			
	B	FS	R	Gesamt	B	FS	R	Gesamt	B	FS	R	Gesamt
Weiblich	11	13	12	36	9	10	7	26	7	6	4	53
Männlich	50	43	47	140	26	27	26	79	18	18	18	54
Gesamt	63	63	62	188	36	40	35	111	25	24	22	71

Tabelle 6.1: Anzahl an Messungen bezogen auf das Geschlecht und der Experimentierform. Da „Divers“ noch nicht als Geschlechtsauswahl zur Verfügung stand, weichen die Summen minimal vom Gesamtwert ab. B steht für das jeweilige Experiment bzgl. Beschleunigungen und Kräfte, FS für Federschwinger und R für die Vermessung von Rotationsbewegungen. Zur Beantwortung von FF6 sind die Lehramtsstudierenden zusätzlich einzeln aufgeführt.

Mit dem Einsatz des FKS inklusive der beschriebenen Zusatzskalen wurde nicht nur eine als experimentell zu bewertende Lernumgebung untersucht. Auch das GP als Form eines tradierten physikalischen Laborpraktikums wird dabei gleichsam auf flow-Erleben der Lernenden evaluiert und damit kann quasi eine Kartierung von Lerngelegenheiten bzgl. des flow-Erlebens erfolgen. Bisher wurden im Rahmen der Physikdidaktik neuartige Lernumgebungen bzgl. des flow-Erlebens erfasst (Püttmann, 2009).

An dieser Stelle sei noch einmal angemerkt, dass die vorliegende Studie kein klassisches Kontrollgruppendesign beinhaltet. Dies ist weder Ziel dieser Arbeit noch ließe sich das in Gänze sinnvoll umsetzen. Aus diesem Grund wurde auf eine strikte Umsetzung der Variablenkontrollstrategie bewusst verzichtet. Aus der Medienpädagogik ist bekannt, dass die Lernumgebung und das benutzte Medium eine Einheit bilden müssen, um eine entsprechende Wirkung entfalten zu können (z.B. West,

2013). Dies wurde einst auch für die Untersuchung neu eingeführter Lernsoftware gefordert (Mikelskis, 1999). Auch Schüler*innen kann alter Wein nicht in neuen Schläuchen dargeboten werden.

Im Sinne eines Vergleichs mit einer Variablenkontrollstrategie wäre es sinnvoll, verschiedene technische Umsetzungen von FELS gegeneinander zu vergleichen. Eine Experimentalgruppe könnte grafikfähige Taschenrechner mit entsprechenden Sensoren und heimischen PCs nutzen, während eine andere Gruppe Smartphones mit verschiedenen Apps für die verschiedenen Aufgaben nutzt. Die dritte Gruppe würde ebenfalls Smartphones nutzen, jedoch alle Funktionen in einer einzigen App integriert haben. In allen drei Gruppen liegt der gleiche Nutzen vor, der Aufwand auf Nutzerseite reduziert sich jedoch kontinuierlich zur letzten Gruppe. Sofern die Bedienbarkeit durch den hohen Funktionsumfang nicht eingeschränkt wird, sollte nach den einschlägigen Modellen der Wirtschaftsinformatik TAM (u.a. Davis, 1989) sowie TAM 3 (Venkatesh et al., 2008) die dritte Gruppe am meisten Zuspruch durch die Schüler*innen erfahren. Daher wird in dieser Studie nur diese Gruppe untersucht. Die anderen beiden Gruppen könnten in einer Folgestudie vergleichend untersucht werden.

Ferner ist es nicht Ziel dieser Arbeit zu sagen, ob Variante eins, zwei oder drei am besten angenommen wird. Vielmehr sollte in dieser als Pilotstudie dienenden Arbeit eine Abschätzung erfolgen, ob sich mit Smartphoneexperimenten innerhalb des Alltagslebens überhaupt ein flow-Erleben bei den Lernenden einstellt. Diese affektiv wirksame Erlebensqualität stellt letztlich auch die Rechtfertigung des Mehraufwands zu klassischen Laborexperimenten dar. Es geht nicht um eine detaillierte Ursachenklärung möglicher Unterschiede, sondern um das reine Auffinden von möglichen Unterschieden. Hierfür genügt das vorliegende Design.

Für einen solchen Vergleich werden trotz allem gleichwertige Handlungen mit hinreichend ähnlichen Handlungsschritten und Zielstellungen benötigt. Aus diesem Grund wurde jeweils nur die Durchführungsphase in die Untersuchung einbezogen. Zugleich musste das Konzept von FELS für die Messung angepasst und handhabbarer gestaltet werden. Diese Anpassungen sind im folgenden Unterkapitel nachzulesen.

6.3 FELS light

Für eine bessere Vergleichbarkeit und eine Reduzierung der Arbeitsbelastung der Studierenden wurde FELS für die Testung leicht modifiziert. Diese Modifizierung wird im Folgenden als FELS light bezeichnet. Da nur die Durchführung untersucht werden sollte, wurden die ersten Phasen von FELS inklusive der Planung vorgegeben. Die Lehramtsstudierenden aus dem PSE bekamen zuerst ein Theorieseminar zum Einsatz so genannter moderner Medien, was Simulationen am Smartboard und Experimente mit Smartphones mit einschloss. Für eine bessere Gruppenbildung bezüglich der zu messenden

psychometrischen Konstrukte gab es jeweils nur ein vorgegebenes Experiment anstatt einer facettenreichen Themenabdeckung. In den folgenden drei Wochen führten die Studierenden jeweils zu zweit in so genannten Tandems jede Woche ein Experiment in festgelegter Reihenfolge durch. Hierdurch wurde auch die letzte Phase von FELS adaptiert. Anstatt die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse in Vorträgen präsentieren zu lassen, bleibt es bei der blogartigen Dokumentation. Diese Dokumentation muss dann jedoch durch die Lehrenden und kann darüber hinaus auch von den Lernenden selbst kommentiert werden. Bei den Studierenden wurde im Gegensatz zu einem denkbaren schulischen Einsatz auf das thematische Aufgreifen in der an das Experiment anschließenden Präsenzzeit verzichtet. Im schulischen Rahmen sollte das jeweilige Experiment zur Sicherung und Hervorhebung der Sinnhaftigkeit der durchgeführten Experimente noch einmal im Unterricht aufgegriffen werden. Die Studierenden hingegen waren die Arbeit mit und die Kommentierung der Dozierenden in der Lernplattform moodle bereits gewohnt. Außerdem lag das Lernziel nicht auf der fachlichen, sondern auf der methodischen Ebene. Hierzu wurden auch aus einer Metaperspektive heraus zusammenfassende Gespräche in den einzelnen Gruppen mit den Studierenden nach der Lerneinheit mit den Smartphoneexperimenten geführt.

Im Folgenden werden die drei Experimente nach Müller et al. (2018b) beschrieben. Die für die Studierenden herunterladbaren Aufgabenblätter konnten als pdf-Dokument direkt auf das Smartphone herunter geladen werden. Dies sollte die Hemmschwelle bzw. den damit verbundenen Aufwand reduzieren, einen Block oder dergleichen neben dem Smartphone mit sich zu führen. Das Aufgabenblatt (s. A2 im Anhang) enthielt dabei jeweils neben der eigentlichen Experimentieraufgabe auch stichwortartig die auf das jeweilige Experiment angewendeten Schritte des Experimentierzyklusses nach Frischknecht-Tobler & Labudde (2010). Durch die Nennung des Phänomens, der Fragestellung sowie einer Hypothese sollten die Studierenden auf das Experiment und dessen jeweiliges Ziel eingestimmt werden. Anhand der Themenfelder „Beschleunigungen in Fahrzeugen“, „Federkonstante eines Gymnastikballs“ und „Trägheitsmoment eines Karussells“ sollten jeweils Körperwahrnehmungen notiert und zusammen mit Messwerten physikalischer Größen in Form von Screenshots ausgewählter Diagramme entsprechender Apps wie Phyphox im Smartphone gespeichert werden. Die Körperwahrnehmungen dienten dabei als Interpretationshilfe der gemessenen physikalischen Größen und stellten somit einen weiteren, für die Studierenden meist unbekanntem Zugang zur Physik dar. Darüber hinaus wurden abstrakte technische Größen von Alltagsgegenständen bestimmt, wie sonst nur von Gegenständen aus dem Physikkolabor bzw. aus dem Fachraum.

Um den Studierenden den Start zu erleichtern, gab es neben der Aufgabennennung auch eine Durchführungsanweisung sowie auf das jeweilige Experiment abgestimmte Hinweise. Diese reichten

von allgemeinen Hinweisen wie der Nennung einer geeigneten App bis zu Gleichungen für die Auswertung. Nebst einem erleichterten Einstieg in diese neue Form des Experimentierens sollte den Novizen ein glatter Handlungsverlauf gewährleistet werden, indem komplexere Handlungen serialisiert und damit in einfachere Handlungsabschnitte aufgeteilt werden.

6.4 Ergebnisse

Auf eine Auflistung technischer Ergebnisse wird an dieser Stelle verzichtet, da die Reliabilitäten der einzelnen (Sub-)Skalen des benutzten Testinstrumentes bereits in Kapitel 3 berichtet wurden. Die Datenauswertung erfolgte mit dem Programm RStudio.

Um Aussagen über beide Lernarrangements statistisch verwertbarer zu gestalten, wurden die jeweils drei vorhandenen Themen je Lerngelegenheit auf Unterschiede bei den betrachteten (Sub-)Skalen untersucht. Die Angaben der Nachkommastellen entsprechen dem APA-Standard, sodass teilweise über die Standardabweichung hinaus gehende, ungenaue Stellen mit angegeben werden. Die beiden Tabellen mit den jeweiligen Testwerten der gepaarten T-Tests und den zugehörigen Effektstärken befinden sich im Anhang.

Der Welch-Test wurde ausgewählt, da es sich um voneinander unabhängige Stichproben mit verschiedenen Varianzen handelt. Der gepaarte t-Test wurde hingegen bei einer statistischen Abhängigkeit der entsprechenden Stichproben verwendet.

6.4.1 Ergebnisse zu FF3

Um die Forschungsfrage zu beantworten, inwieweit die Durchführung von Smartphoneexperimenten in Alltagssituationen flow-Erleben generiert, wurden <flow> sowie dessen Subskalen Absorbiertheit (<A>) und glatter automatisierter Verlauf (<gaV>) nach Geschlechtern getrennt untersucht. In Tabelle 6.2 sind die entsprechenden Ergebnisse der zu untersuchenden (Sub-)Skalen nach Geschlecht aufgelistet.

Psychometrische Größe	<flow>	<A>	<gaV>
Männlich	4.66 (SD=0.96)	4.10 (SD=1.28)	5.03 (SD=1.05)
Weiblich	4.78 (SD=0.39)	4.40 (SD=0.51)	5.04 (SD=0.60)
Gesamt	4.69 (SD=0.86)	4.17 (SD=1.15)	5.04 (SD=0.95)

Tabelle 6.2: Die psychometrischen Größen sind mit Mittelwert und Standardabweichung nach Geschlecht getrennt aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass sich die Werte kaum zwischen den Geschlechtern unterscheiden, <gaV> aber höhere Werte einnimmt als <A>.

Der Welch-Test für <flow> ergab dabei keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern, $t(68) = -0.52$ mit $p = 0.61$ und $d = 0.16$. Der gepaarte t-Test zur Untersuchung eines Unterschiedes zwischen <A> und <gaV> ergab hingegen einen signifikanten Unterschied, $t(69) = -5.98$ mit $p < 0.001$ und $d = 0.82$. Dieser starke Effekt wird auch in Abb. 6.1 deutlich.

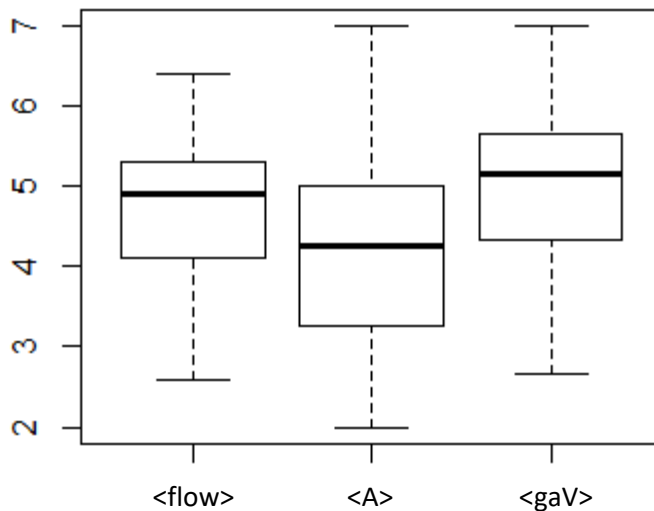


Abb. 6.1: Boxplot von <flow>, <A> und <gaV> bei der Durchführung von Smartphoneexperimenten. <gaV> ist dabei stärker ausgeprägt als <A>. Als gewichtetes Mittel zwischen <A> und <gaV> liegt <flow> entsprechend zwischen beiden Subskalen.

6.4.2 Ergebnisse zu FF4

Um die Forschungsfrage zu beantworten, inwieweit die Durchführung von klassischen Laborexperimenten flow-Erleben generiert, wurden <flow> sowie dessen Subskalen Absorbiertheit (<A>) und glatter automatisierter Verlauf (<gaV>) nach Geschlechtern getrennt untersucht. In Tabelle 6.3 sind die entsprechenden Ergebnisse der zu untersuchenden (Sub-)Skalen nach Geschlecht aufgelistet.

Psychometrische Größe	<flow>	<A>	<gaV>
Männlich	4.68 (SD=1.09)	4.68 (SD=1.09)	4.69 (SD=1.28)
Weiblich	4.88 (SD=0.83)	4.88 (SD=0.83)	4.71 (SD=1.09)
Gesamt	4.74 (SD=1.03)	4.79 (SD=1.04)	4.72 (SD=1.23)

Tabelle 6.3: Die psychometrischen Größen sind mit Mittelwert und Standardabweichung nach Geschlecht getrennt aufgetragen. Es gibt im Rahmen der Standardabweichung weder Unterschiede zwischen den Geschlechtern noch zwischen den Subskalen <gaV> und <A>.

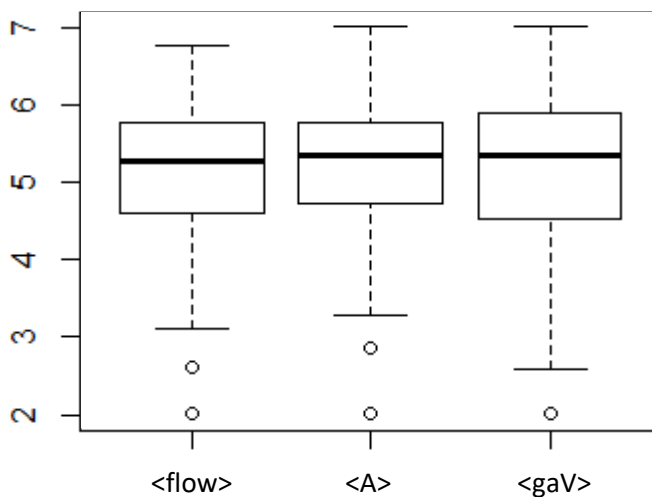


Abb. 6.2: Boxplot von <flow>, <A> und <gaV> bei der Durchführung von Laborexperimenten.

Der Welch-Test für <flow> ergab dabei keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern, $t(183) = -1.09$ mit $p = 0.28$ und $d = 0.21$. Der gepaarte t-Test zur Untersuchung eines Unterschiedes

zwischen <A> und <gaV> ergab ebenfalls keinen signifikanten Unterschied, $t(194) = 1.11$ mit $p = 0.27$ und $d = 0.05$. Dieser nicht vorhandene Unterschied wird in Abb. 6.2 visualisiert.

6.4.3 Ergebnisse zu FF5

Um die Forschungsfrage zu beantworten, inwieweit <Besorgnis> bei den verschiedenen Experimentierumgebungen vorlag, wurde <Besorgnis> nach Lerngelegenheiten getrennt untersucht. In Tabelle 6.4 sind die Ergebnisse von <Besorgnis> nach Lernarrangement getrennt aufgelistet und in Abb. 6.3 visualisiert.

Lernarrangement	<Besorgnis>
Klassisches Laborexperiment	4.15 (SD=1.63)
Im Alltag durchgeführtes Smartphoneexperiment	3.15 (SD=1.55)

Tab. 6.4: Mittelwert und Standardabweichung von <Besorgnis> ist für beide evaluierten Lernarrangements aufgeführt. Bei den im Alltag durchgeführten Smartphoneexperimenten liegt ein Wert unterhalb und bei klassischen Laborexperimenten ein Wert oberhalb der Skalenmitte vor. Daher kann bei den klassischen Laborexperimenten von einer im Mittel leichten Versagensangst ausgegangen werden. Bei den Smartphoneexperimenten ist dies im Mittel noch nicht der Fall.

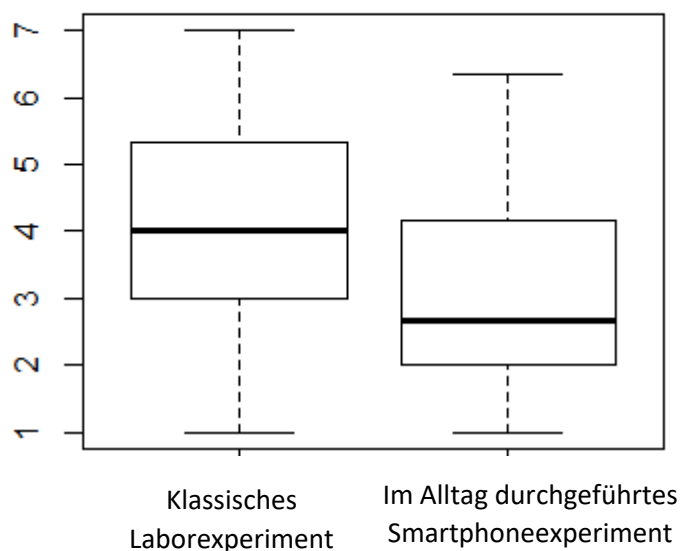


Abb. 6.3: Boxplot von <Besorgnis> beider Lernarrangements. Durch die Lage der Meridiane und der oberen Quartile haben die Studierenden bei klassischen Laborexperimenten eine leichte Versagensangst. Die Studierenden bei den Smartphoneexperimenten erscheinen hingegen unbesorgt zu sein.

6.4.4 Ergebnisse zu FF6

Zur Klärung der Forschungsfrage, inwieweit es Unterschiede zwischen klassischen Laborexperimenten bzw. im Alltag durchgeführten Smartphoneexperimenten bzgl. der Berufsrelevanz gibt, sind in Tabelle 6.5 die Ergebnisse von Berufsrelevanz nach Lernarrangement getrennt aufgelistet und in Abb. 6.4 visualisiert. Da sich bei Massolt und Borowski (2018) zeigte, dass Lehramtsstudierende im Fach Physik alle ihnen vorgesetzten Studieninhalte konsequent als relevanter für ihren späteren Beruf ansehen als Monophysikstudierende wurden für den Vergleich nur die Messpunkte der Lehramtsstudierenden in der Gruppe klassisches Laborexperiment berücksichtigt.

Lernarrangement	Berufsrelevanz
Klassisches Laborexperiment	4.82 (SD=1.08)
Im Alltag durchgeführtes Smartphoneexperiment	4.97 (SD=1.12)

Tab. 6.5: Mittelwert und Standardabweichung von Berufsrelevanz ist für beide evaluierten Lernarrangements aufgeführt. Lehramtsstudierende schätzen beide Experimentierarrangements als ähnlich hoch relevant ein.

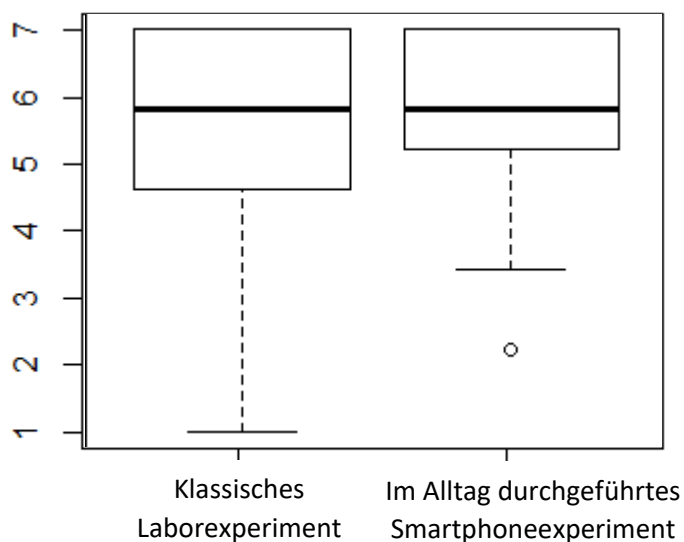


Abb. 6.4: Boxplot von Berufsrelevanz beider Lernarrangements. Beide Experimentierumgebungen werden als ähnlich hoch relevant eingeschätzt. Allerdings sind in beiden Fällen die siebenstufige lickert-Skala ausgereizt.

Die Berufsrelevanz wird für beide Experimentierumgebungen als ähnlich hoch eingestuft. Der mit dem Welch-Test berechnete Unterschied von Berufsrelevanz zwischen den beiden Gruppen wird daher

nicht signifikant, $t(182) = -0.90$ mit $p = 0.37$ und $d = 0.13$. Allerdings ist die Skala in beiden Fällen ausgereizt, sodass mögliche Unterschiede gedeckelt sind.

6.5 Diskussion

6.5.1 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF3

Die Daten zeigen, dass die Skala <flow> bei im Alltag durchgeführten Smartphoneexperimente keine geschlechtsspezifischen Unterschiede aufweist. Die Hypothese H3i, ein flow-Erleben wird bei in der Alltagswelt durchgeführten Smartphoneexperimenten geschlechtsunabhängig ermöglicht, wird bestätigt. Die Hypothese H3ii, wonach die Absorbiertheit (<A>) stärker als der glatte automatisierte Verlauf (<gaV>) ausgeprägt ist, wird hingegen abgelehnt. <gaV> ist in dieser Experimentierumgebung stärker ausgeprägt als <A>.

Weiterhin muss erwähnt werden, dass beide Subskalen im oberen Bereich ausgeprägt sind. Darüber hinaus limitiert die Probandenwahl das Ergebnis. Die Experimente in diesem Lernarrangement waren auf Schüler*innen der Sekundarstufe I und deren Lebensumfeld abgestimmt. Daher ist es nicht so verwunderlich, dass <A> nicht so stark ausgeprägt ist wie <gaV>. Dennoch liegt <A> mit $M = 4.17$ ($SD = 1.15$) bei einem Maximalwert von 7 im oberen Bereich. Wahrscheinlich hat die Einbeziehung des eigenen Körpers in das Experiment eine Schlüsselrolle gespielt. Dies bedeutet aber auch, dass bei einer anderen Probandenwahl, die besser auf das Treatment abgestimmt ist, <A> und <flow> höhere Werte aufweisen können. Durch die unterstützenden Aufgaben und ggf. das physikalische Vorwissen der Studierenden des dritten Fachsemesters ist <gaV> trotz der ungewohnten Lernsituation sehr hoch mit $M = 5.04$ ($SD = 0.95$).

6.5.2 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF4

Die Daten zeigen, dass die Skala <flow> bei klassischen Laborexperimenten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede aufweist. Die Hypothese H4i, wonach männliche Probanden bei diesen Experimenten ein ausgeprägteres flow-Erleben als weibliche haben, wird abgelehnt. Die Hypothese H4ii, wonach <gaV> in klassischen Laborexperimenten stärker als <A> ausgeprägt ist, wird ebenfalls abgelehnt, da <gaV> und <A> gleich stark ausgeprägt sind.

Bei den Probanden handelt es sich um Erstsemesterstudierende, die nach ihrem Abitur Physik als Studienfach wählten. Bedingt durch den eher geringeren Frauenanteil könnte es sich um eine Positivauswahl der Studentinnen handeln, was die Ergebnisse verfälscht.

Möglicherweise ist <A> entgegen der Hypothese H4ii so stark ausgeprägt, weil Studierende im ersten Fachsemester vergleichsweise motiviert sind. Sie lassen sich mit Ausnahme von freiwillig gewählten Veranstaltungen eher von einer Lehrveranstaltung einnehmen als Studierende am Ende ihres Studiums. Zur endgültigen Klärung bedürfte es weiterer Informationen.

6.5.3 Zwischenfazit zum flow-Erleben in physikalischen Experimenten

Die Studierenden weisen in beiden Lernarrangements ein hohes flow-Erleben auf. Im Falle der im Alltag durchgeführten Smartphoneexperimente wird es sich eher um einen unterschätzten Wert handeln. Trotzdem sind die Werte für das flow-Erleben zusammengenommen mit $M = 4.71$ ($SD = 1.00$) im Bereich des eigenständigen Lösens von physikalischen Lernaufgaben am PC durch Schüler*innen ($M = 4.53$) (Püttmann, 2009) und des Rechnens von Statistikaufgaben durch Psychologiestudierende ($M = 4.57$, $SD = 1.13$) (Rheinberg, 2010). Dies bedeutet, dass selbstständig durchgeführte Experimente ein für den Durchschnitt der Lernenden hohes flow-Erleben ermöglichen, welches als motivationaler Grundstock positiv genutzt werden kann. Dahingegen generierte das selbstständige Bearbeiten von Aufgaben bei einem Rundgang in einem Naturkundemuseum bei Schüler*innen ebenso ein geringeres flow-Erleben ($M = 3.62$) wie die Bearbeitung von Aufgaben am PC beim Museumsbesuch ($M = 3.71$) (Krombass et al., 2007).¹⁰

Einschränkend muss erwähnt werden, dass es sich bei den Probanden um Physikstudierende handelte, die eine gewisse Positivauswahl der Grundgesamtheit der Schüler*innen darstellen. Somit wird die Aussagekraft der Ergebnisse reduziert bzw. die Übertragbarkeit auf Schüler*innen innerhalb der gleichen Lernarrangements eingeschränkt.

¹⁰ Auf die Angabe der Standardabweichung der literaturbezogenen Vergleichsdaten muss teilweise verzichtet werden, da es sich entweder um selbst berechnete Mittelwerte über verschiedene Messzeitpunkte hinweg (vgl. Püttner, 2009) bzw. um die Erstellung eines Gesamtwertes für <flow> aus den Subskalen <A> und <gaV> (vgl. Krombass et al., 2007) handelt.

6.5.4 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF5

Die Daten zeigen, dass <Besorgnis> bei im Alltag durchgeführten Smartphoneexperimenten mit $M = 3,15$ ($SD = 1,55$) auf einer siebenstufigen likert-Skala eher schwach ausgeprägt ist und sich im Bereich einer Vorlesung (Rheinberg, 2010), zielgerichteter Kommunikation und normaler Büroarbeit befinden (Rheinberg et al., 2005). Die Hypothese H5i, wonach <Besorgnis> bei im Alltag durchgeführten Smartphoneexperimenten eher schwach ausgeprägt ist, bestätigt sich. Im Gegensatz hierzu wird <Besorgnis> bei klassischen Laborexperimenten mit $M = 4,15$ ($SD = 1,63$) bewertet und ist als eher höher einzustufen. Graffiti-Sprayer, die mit negativen rechtlichen Konsequenzen rechnen müssen, haben mit $M = 4,30$ ($SD = 1,55$) ein ähnlich ausgeprägtes Stress- bzw. Angst-Erleben. Die Hypothese H5ii, wonach <Besorgnis> eher schwach bei Durchführung klassischer Laborexperimente ausgeprägt ist, wird damit widerlegt.

Als mögliche Ursache dieser höheren Ausprägung von <Besorgnis> kommen zwei teilweise sich bedingende Erklärungen in Frage. Gleichwohl die Grundpraktikumsversuche nur eine Prüfungsnebenleistung darstellen, so ist die in der Auswertung benutzte Physik letztlich klausurrelevant. Möglicherweise wird der Effekt noch während der Durchführung stattgefundenen Testate verstärkt. In diesen bespricht ein Betreuer das jeweilige Experiment mit den Studierenden und prüft dabei unter anderem die Vorbereitung der Studierenden ab. Dies kann in gewisser Hinsicht trotz Notenfreiheit zu einem Stressgefühl bzw. Angst-Erleben führen. Diese latente Prüfungsgefahr besteht im Rahmen der in PSE durchgeführten Smartphoneexperimente nicht. Sowohl die Prüfungsnebenleistung als auch die Prüfung sind zum Zeitpunkt der Durchführung noch ein Semester weit weg und bereiten damit den Studierenden keine Sorgen. Für eine eingehende Klärung würden sich auch an dieser Stelle wieder ein Interview oder zusätzliche offene Items im Fragebogen anbieten, wo Studierende ihre Einschätzung jeweils begründen sollen. Solche Erweiterungen sind jedoch kritisch zu bewerten. Sie erhöhen die benötigte Testzeit deutlich, sodass Probanden aus ihrem möglicherweise vorhandenen flow-Erleben gerissen werden.

6.5.5 Diskussion bzgl. der Ergebnisse zu FF6

Zunächst muss geklärt werden, ob die zwei verschiedenen Probandengruppen in ihren jeweiligen Aussagen miteinander verglichen werden können. Dagegen spricht formal, dass es sich um Studierende des ersten bzw. des dritten Fachsemesters handelt. Strukturell hat sich in diesen zwei Semestern aber nichts verändert. Das Berufsziel Lehrer ist studienbedingt identisch. Es findet im Rahmen der Experimentalphysik eine fachliche Vertiefung statt, aber es werden darüber hinaus keine

für den Physikunterricht spezifischen Themen behandelt. Der bildungswissenschaftliche Anteil in den ersten beiden Bachelor-Semestern fällt recht gering aus. Die Physikdidaktik beginnt mit dem besagten Seminar im dritten Semester. Daher können die Studierenden beider Veranstaltungen im Wesentlichen nur auf eigene, als Schüler*in gesammelte Erfahrungen zur Beurteilung von Physikunterricht zurück greifen, sodass ein Vergleich der Einschätzung als legitim betrachtet werden kann.

Die Daten zeigen, dass es keinen Unterschied in der Relevanzeinschätzung für den späteren Beruf zwischen beiden Experimentiersituationen gibt. Die Hypothese H6, wonach Lehramtsstudierende Smartphoneexperimente als weniger berufsrelevant als klassische Laborexperimente einschätzen, ist abzulehnen. Hierfür sind drei mögliche Ursachen denkbar.

Zunächst bleibt festzuhalten, dass die eingeschätzte Relevanz für den späteren Beruf für beide Experimentiersettings recht hoch ist, sodass es sich um einen Deckeneffekt handeln kann. Die Konsequenz wäre, dass mögliche bestehende Unterschiede nicht aufgelöst werden können.

Darüber hinaus durchlaufen die Studierenden im ersten Fachsemester ihre eigene fachliche Ausbildung in Physik. In den klassischen Grundpraktikumsexperimenten erlernen und vertiefen sie für sie selbst zum Teil neue Fachkenntnisse und Methoden. Dieser im Rahmen der Experimentalphysik I sehr schulnahen physikalischen Ausbildung wird eine hohe Relevanz für ihren späteren Beruf zu gewiesen, weil im Zuge dessen für das Lehramt nötige fachphysikalische Kompetenzen erworben werden. Die Studierenden des dritten Fachsemesters besuchen im Rahmen von PSE den ersten Kurs der Physikdidaktik. In diesem Kontext bewerten sie die Smartphoneexperimente im Sinne einer nutzbaren Unterrichtsmethode, derer sie eine hohe Berufsrelevanz zuweisen. Dies hätte als Konsequenz, dass ein direkter Vergleich nicht möglich ist, da es sich um zwei verschiedene Beurteilungsmaßstäbe handelt. Überprüfen ließe sich diese Interpretation aber erst durch entsprechende Interviews mit den Studierenden. Als Konsequenz müsste das Relevanzitem spezifiziert werden, damit die gleiche Kategorie, Unterrichtsmethode, als Bewertungsgrundlage genutzt wird.

Dennoch bleibt festzuhalten, dass Berufsrelevanz hoch eingeschätzt wird, sodass von einer gewissen Akzeptanz der angehenden Physiklehrkräfte bezogen auf im Alltag durchgeführte Smartphoneexperimente als Unterrichtsmethode ausgegangen werden kann.

7. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden flow-Erleben induzierende Lernarrangements vorgestellt. Dies soll dem Motivationsdefizit des Physikunterrichts entgegen wirken und diesen für Schüler*innen motivierender gestalten. Da Motivation ein recht stabiles Konstrukt darstellt und zeitlich lang andauernde, leider zu oft mit Störeinflüssen durchsetzte Interventionen benötigt werden, wurde ein indirekter Weg zur Motivationsgenerierung gewählt. Flow-Erleben gilt als eine Ursache für Motivation und tritt unmittelbar während einer ausgeführten Handlung auf. Hierdurch lassen sich die Observablen direkt auf die durchgeführte Handlung im Rahmen des Treatments beziehen und sind nicht durch andere Störeffekte überlagert. Als Handlung werden sämtliche Tätigkeiten verstanden, vom aktiven Zuhören über das Rechnen von Übungsaufgaben bis hin zur Ausübung von Hobbys oder dem Betreiben von Sport.

In dieser Studie wurde primär der Frage nachgegangen, ob die Durchführung physikalischer Experimente flow-Erleben erzeugt. Neben klassischen Laborexperimenten wurden in der Alltagswelt durchgeführte Smartphoneexperimente als weiteres Lernarrangement untersucht. Auf Theorieebene wurden flow-Erleben auslösende Bedingungen herausgearbeitet und gezeigt, dass solche Smartphoneexperimente das Potential besitzen, flow-Erleben zu erzeugen. Für diese Art der Smartphoneexperimente wurde mit FELS ein aus physikdidaktischen Konzepten abgeleitetes Lernarrangement abgeleitet und präsentiert, welches Vorgaben der KMK bzgl. Physik- und Medienkompetenzen umzusetzen vermag.

Bevor diese Lernarrangements inhaltlich genauer untersucht und mit bisherigen Forschungsergebnissen in Relation gebracht werden konnten, wurde in einem ersten Teil dieser Arbeit die Vergleichbarkeit verschiedener Forschungsinstrumente gezeigt. In der Forschung wird Flow-Erleben mit prinzipiell drei verschiedenen Messparadigmen erfasst, deren Ergebnisse nur bedingt aufeinander abbildbar erscheinen. In dieser Studie wurde die testökonomisch vertretbare und inhaltlich valide Messung des flow-Erlebens mit der so genannten Flow-Kurz-Skala (FKS) mit der etablierteren und noch immer genutzten zwei-Item-Messung in ihren Aussagen bzgl. des flow-Erlebens sowie des Stress-Erlebens verglichen. Das in dieser Studie benutzte Testinstrument beinhaltet zur Messung des Stress-Erlebens neben den Items zur Erfassung des flow-Erlebens auch die Zusatzskala Besorgnis. Die ebenfalls enthaltene Skala der Passung beinhaltet beide Items der zwei-Item-Messung, sodass die gleichen Handlungen von den gleichen Probanden von beiden Messinstrumenten erfasst wurden. Das Quadrantenmodell als Interpretation der zwei-Item-Messung diente der Gruppeneinteilung der Messwerte der FKS und deckt deren Ergebnisse nur teilweise ab. Das flow-Erleben war entgegen den Aussagen des Quadrantenmodells auch in anderen Quadranten als Flow in

gleicher Weise vorhanden. Darüber hinaus lieferten Detailanalysen der Subskalen und deren Interpretationen Erklärungsansätze für die Verschiedenheit der Ergebnisse beider Messmethoden. Die Vorhersagen bzgl. des Stress-Erlebens in Form des Quadranten Angst erwiesen sich als zutreffend, gleichwohl die theoretisch erwartete Rangfolge der anderen Quadranten empirisch nicht bestätigt werden konnte. Wegen der mangelnden Abbildbarkeit der Ergebnisse und Varianzaufklärungen der empirischen Daten dieser Studie, die sich mit denen anderer Studien (u.a. Krombass et al., 2007; Rheinberg et al., 2005) deckt, sollte die zwei-Item-Messung nicht mehr zur Feststellung von flow-Erleben genutzt werden. Daher wurden bei der Ergebniseinordnung im zweiten Teil der Arbeit nur noch wenige Studien vergleichend herangezogen.

Im zweiten Teil dieser Studie wurde die Untersuchung der zentralen Forschungsfrage dieser Arbeit dargelegt. Die Ergebnisse einer Vorstudie deckten Schwierigkeiten bei der Erforschung von flow-Erleben im komplexen Handlungsmix des Fachunterrichts auf. Zur Generierung eindeutiger Ergebnisse wurden anstatt Schüler*innen Studierende der Physik im ersten bzw. dritten Semester als Probanden genutzt. Beide Experimentierarten wurden von den Studierenden im Rahmen ihrer regulären Lehrveranstaltungen durchgeführt. Klassische Laborexperimente wurden von Erstsemestern und Smartphoneexperimente nach FELS von Drittsemestern durchgeführt. Während der Durchführung waren diese angehalten, das in dieser Studie verwendete Testinstrument auszufüllen.

Trotz den Limitierungen durch das Design und die Probandenwahl erwies sich die Projektidee als tragfähig. In beiden Lernarrangements tritt flow-Erleben auf. Ferner ist bzgl. der Durchführung nach FELS sogar davon auszugehen, dass Schüler*innen aufgrund einer besseren Passung der Experimente mit deren Lebenswelt ein stärkeres flow-Erleben aufweisen könnten als die Studierenden es hatten. Trotz der durch physische Abwesenheit eines Betreuers hervorgerufenen fehlenden Unterstützungsmöglichkeit als potentiell stresserzeugendes Merkmal war die Besorgnis der Studierenden bei der Experimentdurchführung nach FELS sehr gering. Unter den Bedingungen, dass Schüler*innen selbstständiges Experimentieren im Unterricht bereits üben konnten und für die Durchführung eine Experimentierplanung bzw. Anleitung existiert, kann diese geringe Besorgnis auch für Schüler*innen angenommen werden.

Dies bedeutet, dass außerschulisch durchgeführte Smartphoneexperimente flow-Erleben ermöglichen können. Besorgnis als eher negativ konnotierter Faktor tritt kaum auf. Damit kann mittel- und langfristig Motivation generiert werden. Und selbst als eher selten eingesetzte Methode werden aktiv fachimmanente Kompetenzen sowie einige Medienkompetenzen im Rahmen dieser Experimente angewendet und eingeübt. FELS erscheint daher als eine Möglichkeit, dem Motivationsmangel im Physikunterricht entgegen zu wirken.

Im normalen Unterricht kann flow-Erleben Schüler*innen auch das Lösen von Transferaufgaben erleichtern. Kompetenzen beinhalten nebst einem kognitiven auch einen volatilen und motivationalen Teil. Mangelnde Volition und Motivation könnten für Schüler*innen eine Ursache sein, komplexere Texte nicht zu lesen oder sich nicht in komplexen Situationen hinein zu denken. Ohne ein ausreichendes Üben bzw. Bearbeiten von Transferaufgaben ist es nicht verwunderlich, wenn Schüler*innen entsprechende Prüfungssituationen trotz Note als Folgenreiz nicht meistern. Flow-Erleben und Alltagsnähe könnten demnach nicht nur den Kompetenzerwerb an sich fördern. Es kann auch für spätere Kompetenzanwendungen nutzbringend sein und letztlich Prüfungssituationen verbessern helfen.

8. Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Ergebnisse anhand von Untersuchungen mit Studierenden als Probanden berichtet. Für eine gewissenhafte Empfehlung einer neu einzuführenden Unterrichtsmethode, die den bisherigen Kanon ergänzt, bedarf es einer weiteren Studie mit Schüler*innen als Probanden. Weitere Forschung ist notwendig, ob sich die Erwartungen an FELS bei Schüler*innen auch erfüllen. Neben einer motivationssteigernden Wirkung durch flow-Erleben, behauptet FELS auf methodischer Sicht eine Brücke zwischen Alltagswelt und (dem) Physik(unterricht) zu schlagen. Zur Überprüfung müsste zusätzlich zum FKS während des Treatments ein Einstellungstest bezüglich der Ansichten zu Physik und dem Physikunterricht in Relation zur alltäglichen Erfahrungswelt in einem prä-post-Design durchgeführt werden.

Auch bedarf es einer weiteren Klärung einiger Interpretationsansätze der Ergebnisse in dieser Arbeit. Die Nutzung der Subskalen Absorbiertheit und glatter, automatisierter Verlauf reichen hierfür nicht aus. Die im Testinstrument verwendeten likert-Items der eingesetzten Skalen sollten zur Untermauerung dieser Interpretationen um offene Items ergänzt werden. Das Problem hierbei könnte bei mehrmaligem Einsatz die akkumulierte Testlänge sein, deren Kürze ein Vorteil der Flow-Kurz-Skala ist. Alternativ könnten stichprobenartig Interviews geführt werden. Da es Unzulänglichkeiten beim Erinnern an emotional gefärbte Erlebnisqualitäten gibt, können Interviews dieser Art nur bedingt inhaltsvalide sein.

Ferner müssten weitere psychometrische Konstrukte in Replikationsstudien zusammen mit flow-Erleben getestet werden, da die zwei-Item-Messung zur bisherigen Bestimmung des flow-Erlebens als bisher genutzter Maßstab nicht valide misst und daher Ergebnisse bzgl. Korrelationen mit anderen psychometrischen Größen zweifelhaft sind. Im Besonderen erscheint der Zusammenhang zum PANAVA-Modell faszinierend, um an Ergebnisse von Pfister (2002) und Aellig (2004) anzuknüpfen.

In Anlehnung an die Spieleindustrie wäre es ebenfalls sinnvoll, spezifische Testinstrumente für flow-Erleben für spezifische Lernsituationen zu konstruieren. Diese Instrumente wären inhaltlich auf Tätigkeiten im Rahmen von Lernarrangements anzupassen bzw. auch auf deren Teilaspekte zu spezifizieren (vgl. Hoblitz, 2015). Beispielhaft seien hier noch einmal die verschiedenen Handlungsschritte im Rahmen von FELS oder auch eines normalen physikalischen Experiments genannt. Um Ergebnisse aus verschiedenen Spezifikationen solcher Testinstrumente trotzdem untereinander vergleichen zu können, müssten diese raschskaliert sein und entsprechende Ankeritems beinhalten. Erst mit diesen Instrumenten kann eine Landkarte des flow-Erlebens bezogen auf physikalische Lerngelegenheiten erstellt werden.

Anhang

A.1 Detailbeschreibungen der durchgeführten Smartphoneexperimente

Beim Experiment „Beschleunigungen in Fahrzeugen“ sollte die Beschleunigung aus einem mitbewegten Koordinatensystem heraus, also dem Inneren eines fahrenden Fahrzeugs, verschiedene Fahrmanöver vermessen werden. Die Studierenden sollten die aufgenommenen a - t -Diagramme interpretieren und die entsprechenden Fahrmanöver anhand der Messwerte grob beschreiben (vgl. Abb. A.1). Zusätzlich sollten die Studierenden mit ihrem Körper wahrgenommene, trägheitsbedingte Scheinkräfte mit den Beschleunigungswerten im Diagramm korrelieren.

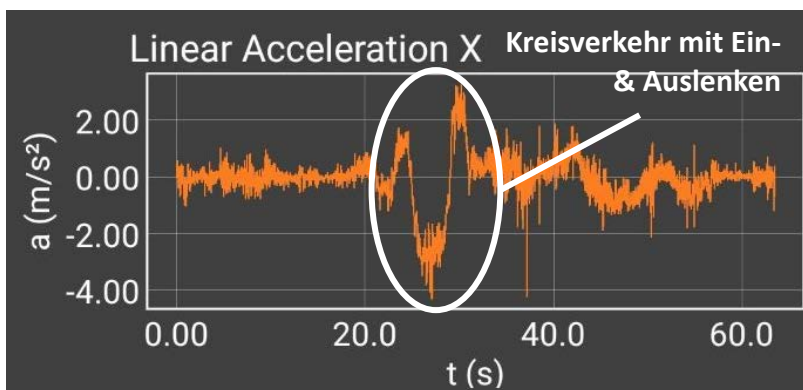


Abb. A.1 (Müller et al., 2018b): a - t -Diagramm einer Kurvenfahrt mit dem Auto. Die drei Peaks sind das Einlenken nach rechts, die Linkskurve im Kreisverkehr und das Auslenken nach rechts.

Im Rahmen des Experiments „Federkonstante eines Gymnastikballs“ wurden die Studierenden angehalten, die Federkonstante eines Gymnastikballs bzw. Sitzballs oder eines so genannten Freischwingers zu messen. Hierzu waren die Studierenden selbst die Testmasse und versetzten die Sitzunterlage in Schwingung, indem sie selbst im Sinne einer zunächst erzwungenen Schwingung wippten oder hinunter gedrückt worden sind (s. Abb. A.2).

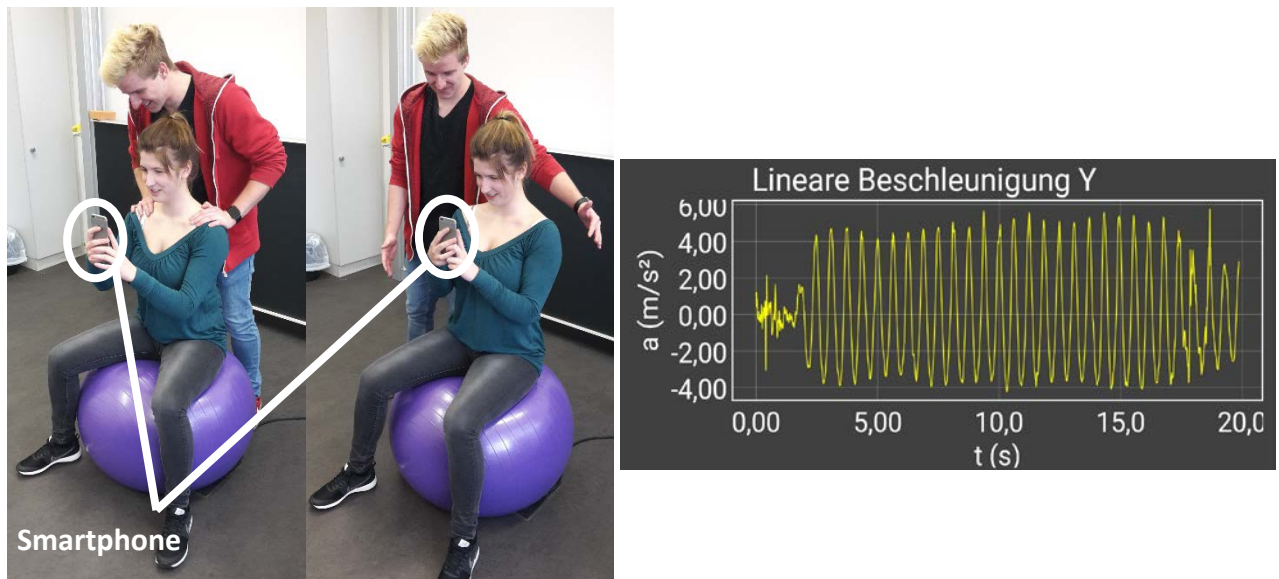


Abb. A.2 (Müller et al., 2018b): Auslenkung & Schwingung auf einem Sitzball mit zugehörigem a_y - t -Diagramm.

Die Studierenden haben mit dem Smartphone eine Beschleunigungskomponente gegen die Zeit auftragen lassen (vgl. Vogt et al., 2011) und konnten durch das verwendete Modell „harmonischer Oszillator“ die Periodendauer T aus dem Diagramm bestimmen, weil wegen

$$F = F_{Feder}$$

$$m a = y k$$

$$y = a \frac{m}{k}$$

die Beschleunigung a ein Maß für die Elongation y der Feder darstellt, wobei m die Masse der Student*In und k die Federkonstante des Gymnastikballs ist. Über

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Leftrightarrow k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

wurde k bestimmt und mit dem Wert von k aus dem in Ruhe befindlichen Gleichgewichtsfall

$$F_{g,Student*In} = F_{Feder}$$

$$m g = y k$$

$$k = \frac{m g}{y}$$

verglichen. Dieser Vergleich sollte die unbekannte Größenordnung von $\frac{kN}{m}$ untermauern. Eine Betrachtung der Messunsicherheiten konnte jedoch nicht erfolgen, da der Umgang mit diesen erst in

den darauf folgenden Einheiten gelehrt wurde. Aus diesem Grund fiel auch die Modellkritik des harmonischen Oszillators für diesen Anwendungsfall weg.

Im dritten Experiment wurde das Trägheitsmoment eines Kinderkarussells J_K mit dem Gyroskopsensor im Smartphone bestimmt und deren mögliche Bedeutung für den Spielspaß diskutiert. Hierfür musste das Konzept der Drehimpulserhaltung angewendet werden. Die zwei Student*innen aus jedem Tandem standen sich hierfür auf einem Kinderkarussell mit gleichem Abstand vom der Drehachse s_1 gegenüber, während das Smartphone auf oder nahe der Drehachse abgelegt wurde (s. Abb. A.3).

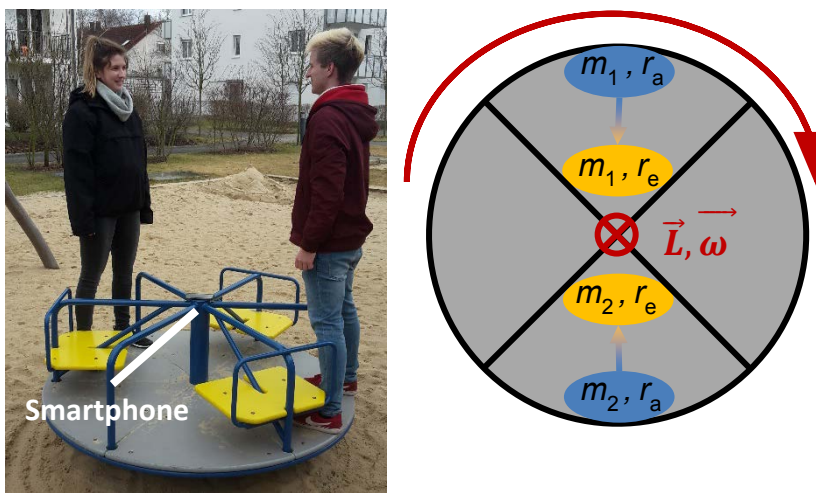


Abb. A.3 (Müller et al., 2018b): Studierende sind auf einem Karussell und bestimmen durch Messung von ω_a und ω_e , der Annahme $L_a = L_e$, der Kenntnis ihrer Massen m_1 und m_2 , der Annahme $m_1 = m_2$ sowie Abstände zum Zentrum r_a und r_e unter Verwendung des Modells Massepunkt für ihre Körper das Trägheitsmoment des Karussells J_K . Links ist das reale Foto und rechts eine Übersichtsskizze mit den genannten Größen.

Sobald das Karussell in Rotation versetzt wurde, kann unter Nutzung des Gyroskopsensors die Winkelgeschwindigkeit ω_a des Karussells gemessen und in ein $\omega(t)$ -Diagramm erstellt werden (s. Abb. A.4).

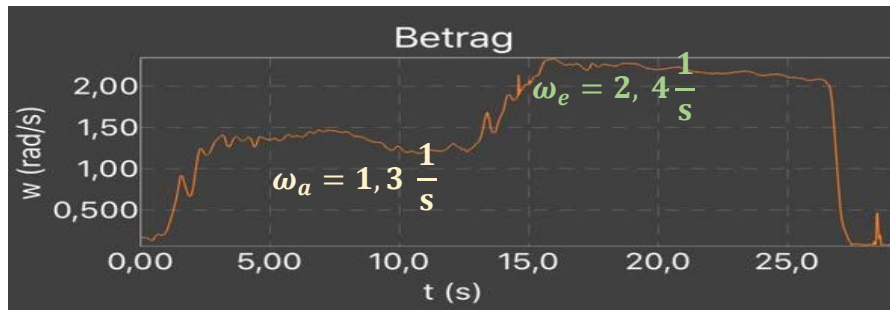


Abb. A.4 (Müller et al., 2018b): $\omega(t)$ -Diagramm mit den Winkelgeschwindigkeiten ω_a vor und ω_e nach dem Schritt der Studierenden und damit der Verringerung des Trägheitsmoments.

Bei einem selbst gesetzten Zeichen machten beide Studierende simultan einen Schritt in Richtung Rotationszentrum. Unter Annahme einer Drehimpulserhaltung während des Schritts verringern sich die Trägheitsmomente beider Personen und die neue Winkelgeschwindigkeit ω_e des Karussells ist nun größer als zuvor. Über den Drehimpulserhaltungssatz

$$L_a = L_e$$

$$\text{mit } L_a = J_a \omega_a = (m_1 r_a^2 + m_2 r_a^2 + J_K) \omega_a$$

$$\text{bzw. } L_e = J_e \omega_e = (m_1 r_e^2 + m_2 r_e^2 + J_K) \omega_e$$

und der Kenntnis der Personenmassen m_1 und m_2 sowie der Personenabstände r_a und r_e lässt sich das Trägheitsmoment des Karussells J_K über

$$(m_1 r_a^2 + m_2 r_a^2 + J_K) \omega_a = (m_1 r_e^2 + m_2 r_e^2 + J_K) \omega_e$$

$$J_K \omega_a + (m_1 r_a^2 + m_2 r_a^2) \omega_a = J_K \omega_e + (m_1 r_e^2 + m_2 r_e^2) \omega_e$$

$$J_K (\omega_a - \omega_e) = (m_1 r_e^2 + m_2 r_e^2) \omega_e - (m_1 r_a^2 + m_2 r_a^2) \omega_a$$

$$J_K = \frac{(m_1 + m_2) r_e^2 \omega_e - (m_1 + m_2) r_a^2 \omega_a}{\omega_a - \omega_e}$$

unter der Annahme bestimmen, dass die Personen Punktmassen sind, keine Unwucht erzeugen und sich die einzelnen Trägheitsmomente symmetrisch um die Rotationsachse verteilen.

A.2 Aufgabenblätter der durchgeführten Smartphoneexperimente

Experimentieraufgabe Beschleunigung

Phänomen:

- Man braucht im Auto/... eine gewisse Körperspannung, weil man sonst durchgeschüttelt wird.

Fragestellung:

- Was ist die Ursache dieser Bewegungsänderungen eines ruhig sitzenden Fahrgasts?

Hypothese:

- Bei Beschleunigungen des Verkehrsmittels wirken Trägheitskräfte auf den Fahrgast.

Aufgabe:

- Messen Sie die Beschleunigung in einem Verkehrsmittel ihrer Wahl (Auto, Bus, Straßenbahn, oder Zug) und interpretieren Sie Ihre Messung.

Durchführung:

- Setzen Sie sich aufrecht in ein Verkehrsmittel.
- Starten Sie die Beschleunigungsmessung am Smartphone.
- Beobachten Sie Ihren Körper sowie die Route.
- Beenden Sie die Messung, nachdem Sie die 3 Fahrmanöver (Anfahren, Anhalten und Kurvenfahrt) aufgezeichnet haben.

Hinweise:

- Für die Messwertaufnahme eignet sich die kostenlose App „phyphox“, die für Android und iOS verfügbar ist. Dort können Sie sich bei <Beschleunigung ohne g > die vom Beschleunigungssensor gemessenen Beschleunigungen anzeigen lassen.
- Fixieren Sie das Smartphone an der eigenen Brust unter Aufrechterhaltung eines geraden und aufrechten Rückens, um später die 3 Diagramme den 3 kartesischen Richtungen einfacher zuordnen zu können.
- Sie können anstatt einer Einzelmessung auch 3 separate Messungen durchführen.

Sicherheitshinweis:

- Sie sollten hierfür NICHT der Fahrzeugführer sein.

Auswertung:

- Sichern Sie sich die aufgenommenen Diagramme als Screenshots.
- Interpretieren Sie die insgesamt 3 - 9 Diagramme (für alle Fahrmanöver in den 3 Raumrichtungen), indem Sie den jeweiligen Graphen mit ihren Beobachtungen korrelieren.

- Identifizieren Sie dabei die einzelnen Fahrmanöver und gehen Sie auf etwaige Besonderheiten ein (z.B. Kopfsteinpflaster, eine Steigung, Gangwechsel, etc.)!
- Beschreiben Sie dabei auch unter Berücksichtigung von Trägheitskräften, was Sie dabei gefühlt haben.

Experimentieraufgabe Schwingung

Phänomen:

- Eine sportliche Studentin wippt auf einem Gymnastikball/....

Fragestellung:

- Kann man den Gymnastikball/... physikalisch als Feder modellieren?

Hypothese:

- Dem Gymnastikball/... lässt sich eine Federkonstante zuordnen.

Aufgabe:

- Bestimmen Sie die Federkonstante eines Alltagsobjekts (Gymnastikball/Sitzball, Federschwinger-Stuhl, etc.) experimentell.

Durchführung:

- Nehmen Sie das Smartphone in die Hand und starten Sie die Messung des Beschleunigungssensors.
- Setzen Sie sich auf einen Gymnastikball oder einen so genannten „Freischwinger“.
- Halten Sie dabei das Smartphone aufrecht an den Brustkorb.
- Beginnen Sie selbst, auf dem Gymnastikball zu wippen bzw. auf dem Freischwinger zu schaukeln.
- Nach ausreichend vielen Schwingungen (rund 20) können Sie aufhören und die Messung beenden.
- Wechseln Sie sich ab und wiederholen Sie die Messung.

Hinweise:

- Freischwinger ist eine Stuhlart, die häufig in Arztpraxen in Wartezimmern vorkommt. Auch in der Physikdidaktik gibt es teilweise solche Stühle.
- Für die Messwertaufnahme eignet sich die kostenlose App „phyphox“, die für Android und iOS verfügbar ist. Dort können Sie sich bei <Beschleunigung (ohne g)> die vom Beschleunigungssensor gemessenen Beschleunigungen anzeigen lassen.
- Fixieren Sie das Smartphone an der eigenen Brust unter Aufrechterhaltung eines geraden und aufrechten Rückens, damit die Schwingung in y-Richtung (Gymnastikball) bzw. z-Richtung (Freischwinger) vollzogen wird.
- Sie sollten in dem ausgewählten Beschleunigungsdiagramm einen sinusförmigen Verlauf sehen.

Sicherheitshinweise:

- Die Auslenkung beim Schwingen auf dem Ball bzw. dem Freischwinger sollte nicht übertrieben werden.

Auswertung:

- Bestimmen Sie die Periodendauer, indem Sie die Zeitdauer für eine sinnvolle Anzahl an Schwingungen bestimmen und die durchschnittliche Zeit pro Schwingung errechnen.
- Berechnen Sie nun mit $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$ die Federkonstante D aus, wobei T die Periodendauer und m Ihre Körpermasse ist.
- Schätzen Sie ab, ob der errechnete Wert realistisch ist. Falls nicht, geben Sie Auskunft, ob Gültigkeitsgrenzen des Modells verletzt sind und wenn ja welche. Vergleichen Sie hierfür auch das für die verschiedenen Messungen errechneten D .

Experimentieraufgabe Rotation

Phänomen:

- Kinder spielen auf einem Karussell

Fragestellung:

- Warum brauchen die Kinder so lange, bis das Karussell sich dreht?

Hypothese:

- Das Karussell hat ein großes Trägheitsmoment.

Aufgabe:

- Bestimmen Sie das Trägheitsmoment J_K eines Stehkarussells experimentell und interpretieren Sie Ihr Ergebnis bezogen auf den Spielkomfort.

Durchführung:

- Positionieren Sie das Smartphone nahe der Drehachse eines Stehkarussells auf einen Spielplatz und starten Sie die Gyroskop-Messung, um Winkelgeschwindigkeiten zu messen.
- Stellen Sie sich auf 2 gegenüber liegende Seiten nahe der Außenkante auf das Karussell.
- Drehen Sie nun das Karussell und messen Sie mit Hilfe eines Smartphones die Winkelgeschwindigkeit des sich drehenden Karussells.
- Laufen Sie beide, während sich das Karussell noch dreht und die Messung läuft, 1 bis 2 Schritte in Richtung Drehachse und drehen Sie noch einige Runden auf dem Karussell mit, bevor Sie es stoppen und die Messung beenden.
- Messen Sie zusätzlich den Abstand zwischen Ihrer jetzigen Position und der Drehachse sowie den Abstand Ihrer Startposition und der Drehachse (meist der Radius des Karussells).

Hinweise:

- Ein solches Stehkarussell finden Sie auf dem Spielplatz im Innenhof hinter dem Haus mit der Adresse „In der Feldmark 4“ (52°24′42.3″N 12°58′37.4E; Wohnkomplex auf der rechten Seite zwischen Campus Golm und REWE)
- Für die Messwertaufnahme eignet sich die kostenlose App „phyphox“, die für Android und iOS verfügbar ist. Dort können Sie sich bei <Gyroskop> die vom Gyroskopsensor gemessenen Winkelgeschwindigkeiten anzeigen lassen.
- Je nach Ihrer Körpermasse sollten Sie eine sprunghafte Reduzierung der Winkelgeschwindigkeit im Diagramm sehen, ggf. wiederholen Sie die Messung.
- Beide Personen sollten eine ähnliche Körpermasse sowie eine ähnliche Schrittweite haben, um eine Unwucht zu vermeiden.

Sicherheitshinweise:

- Das Karussell sollte sich zu Beginn nicht zu schnell drehen.

Auswertung:

- Notieren Sie sich beide Winkelgeschwindigkeiten ω_1 vor und ω_2 nach dem Laufen auf dem Stehkarussell.
- Berechnen Sie nun das Trägheitsmoment des Stehkarussells J_1 mit dem DrehimpulsErhaltungssatz ($L = L_1 = L_2$).
- Bedenken Sie, dass das Trägheitsmoment J der Summe aus dem Trägheitsmoment des Karussells und den von Ihnen als Punktmassen m_{Person} mit einem Bahnradius r_{Person} entspricht.

$$L_1 = J_1 \omega_1 \text{ und } L_2 = J_2 \omega_2 \text{ mit } L_1 = L_2$$

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2 \text{ mit } J_1 = J_K + J_{P1} \text{ und } J_2 = J_K + J_{P2}$$

$$(J_K + J_{P1}) \omega_1 = (J_K + J_{P2}) \omega_2$$

$$J_K \omega_1 + J_{P1} \omega_1 = J_K \omega_2 + J_{P2} \omega_2$$

$$J_K (\omega_1 - \omega_2) = J_{P2} \omega_2 - J_{P1} \omega_1$$

$$J_K = \frac{J_{P2} \omega_2 - J_{P1} \omega_1}{\omega_1 - \omega_2}$$

$$\text{mit } J_{P1} = m_{Person1} r_{Person1,1}^2 + m_{Person2} r_{Person2,1}^2$$

$$\text{und } J_{P2} = m_{Person1} r_{Person1,2}^2 + m_{Person2} r_{Person2,2}^2$$

- Welche Auswirkungen hätte eine deutliche Vergrößerung oder Verkleinerung des Trägheitsmoments des Karussells? Vergleichen Sie hierfür das Trägheitsmoment des Karussells mit Ihren eigenen als Punktmasse und berücksichtigen Sie mögliche Reibungseffekte sowie die physische Kraft kleinerer Kinder.

A.3 Bedingungsanalyse

(Sub-)Skala	Experiment „GP“	Schwingung	Rotation
Fähigkeit	Beschleunigung	t(45)=-3.09 p=0.002 d=-0.12	t(45)=0.44 p=0.67 d=0.03
	Schwingung	/	t(45)=1.79 p=0.96 d=0.22
Anforderung	Beschleunigung	t(45)=1.27 p=0.89 d=0.22	t(46)=0.89 p=0.81 d=0.16
	Schwingung	/	t(45)=-0.58 p=0.28 d=-0.08
<flow>	Beschleunigung	t(45)=-0.32 p=0.37 d=-0.06	t(47)=0.41 p=0.66 d=0.06
	Schwingung	/	t(45)=0.66 p=0.74 d=0.11
<a>	Beschleunigung	t(45)=-0.60 p=0.28 d=-0.09	t(47)=0.48 p=0.68 d=0.07
	Schwingung	/	t(45)=0.79 p=0.78 d=0.15
<gaV>	Beschleunigung	t(45)=-0.10 p=0.46 d=-0.02	t(47)=0.32 p=0.62 d=0.04
	Schwingung	/	t(46)=0.39 p=0.65 d=0.06
<Besorgnis>	Beschleunigung	t(44)=-1.04 p=0.15 d=-0.12	t(46)=0.48 p=0.68 d=0.07
	Schwingung	/	t(46)=1.50 p=0.93 d=0.20
AP	Beschleunigung	t(44)=1.35 p=0.91 d=0.21	t(46)=0 p=0.5 d=0.01
	Schwingung	/	t(44)=-0.94 p=0.18 d=-0.08
Berufs- relevanz	Beschleunigung	t(41)=-0.97 p=0.17 d=-0.15	t(44)=2.17 p=0.98 d=0.37
	Schwingung	/	t(44)=2.35 p=0.99 d=0.33

(Sub-)Skala	Experiment „PSE“	Schwingung	Rotation
Fähigkeit	Beschleunigung	t(23)=-1.28 p=0.11 d=-0.15	t(20)=2.54 p=0.99 d=0.53
	Schwingung	/	t(20)=2.31 p=0.98 d=0.59
Anforderung	Beschleunigung	t(23)=-0.65 p=0.26 d=-0.08	t(20)=-2.74 p=0.006 d=-0.53
	Schwingung	/	t(20)=-2.88 p=0.005 d=-0.44
<flow>	Beschleunigung	t(23)=0.94 p=0.82 d=0.21	t(20)=1.30 p=0.90 d=0.38
	Schwingung	/	t(20)=1.75 p=0.95 d=0.33
<a>	Beschleunigung	t(23)=-0.89 p=0.19 d=-0.09	t(20)=0.10 p=0.54 d=0.01
	Schwingung	/	t(20)=1.03 p=0.84 d=0.11
<gaV>	Beschleunigung	t(23)=1.07 p=0.85 d=0.26	t(20)=1.36 p=0.91 d=0.41
	Schwingung	/	t(20)=1.94 p=0.97 d=0.41
<Besorgnis>	Beschleunigung	t(23)=0.21 p=0.58 d=0.02	t(20)=-2.17 p=0.02 d=-0.16
	Schwingung	/	t(20)=-1.18 p=0.13 d=-0.13
AP	Beschleunigung	t(23)=-1.07 p=0.15 d=-0.13	t(20)=-1.45 p=0.08 d=-0.32
	Schwingung	/	t(20)=-1.30 p=0.10 d=-0.23
Berufsrelevanz	Beschleunigung	t(23)=-1.30 p=0.10 d=-0.26	t(20)=1.03 p=0.84 d=0.24
	Schwingung	/	t(20)=2.65 p=0.99 d=0.58

Tab. A.1: Für die Lernarrangements GP und PSE wurden jeweils die drei Experimente zu den physikalischen Themen Beschleunigung, Schwingung und Rotation untereinander mit gepaarten T-Tests verglichen, da es sich jeweils um die gleichen Probanden handelte. Trotz Namensgleichheit der Experimente handelte es sich aufgrund der Andersartigkeit der Lernarrangements GP und PSE um jeweils zwei verschiedene Experimente, die darüber hinaus von unterschiedlichen Probandengruppen durchgeführt wurden (vgl. Kapitel 6). Signifikante Unterschiede wurden fett markiert.

In der Tabelle A2 sind bis auf ein Experiment je Lernarrangement bei einer bzw. zwei psychometrischen Größen statistisch identisch. Aus diesem Grund können die drei Experimente je Lernarrangement zum entsprechenden Lernarrangement zusammengefasst werden, um verlässlichere Analyseergebnisse zu liefern.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Inhalt / Titel	Seite
2.1	Erweitertes kognitives Motivationsmodell	12
2.2	Circumplexmodell des Befindens	15
2.3	Diagonalmodell	21
2.4	Quadrantenmodell	23
2.5	Befindenszustände im Circumplexmodell des Befindens	25
2.6	FKS mit Zusatzskala	28
2.7	Überblick verschiedener Messmethoden des flow-Erlebens	30
3.1	Anforderungs-Fähigkeitsdiagramm	38
3.2	Nach <flow> farbkodiertes Anforderungs-Fähigkeitsdiagramm	40
3.3	Boxplots von nach Quadranten gruppierten Werten für <flow>	41
3.4	Diagramme von <flow> in Abhängigkeit zu verschiedenen Potenzen von AP	42
3.5	Boxplots von nach Quadranten gruppierten Werten für <gaV>	46
3.6	Boxplots von nach Quadranten gruppierten Werten für <A>	46
3.7	<gaV>-(Fähigkeit)-Diagramm	48
3.8	<gaV>-(Anforderung)-Diagramm	48
3.9	<A>-(Fähigkeit)-Diagramm	48
3.10	<A>-(Anforderung)-Diagramm	48
3.11	Diagramme von <gaV> und <A> in Abhängigkeit zu verschiedenen Potenzen von AP	49
3.12	Boxplots von nach Quadranten gruppierten Werten für AP	53
3.13	Boxplots von nach Quadranten gruppierten Werten für <Besorgnis>	56
5.1	Experimentierkreislauf	73
5.2	FELS-Zyklus	84
6.1	Boxplot von <flow>, <A> und <gaV> bei der Durchführung von Smartphoneexperimenten	110
6.2	Boxplot von <flow>, <A> und <gaV> bei der Durchführung von Laborexperimenten	111
6.3	Boxplots von <Besorgnis> beider Lernarrangements	112
6.4	Boxplots von Berufsrelevanz beider Lernarrangements	113
A.1	$a_r(t)$ -Diagramm einer Kurvenfahrt	122

A.2	Schwingung auf einem Sitzball	123
A.3	Rotation auf einem Kinderkarussell	124
A.4	$\omega(t)$ -Diagramm eines Kinderkarussells bei Positionsveränderung der Experimentatoren	125

Tabellenverzeichnis

Tabelle	Inhalt / Titel	Seite(n)
3.1	Reliabilitäten der (Sub-)Skalen	37
3.2	Quadrantenweise Auflistung der Mittelwerte der (Sub-)Skalen	39
3.3	Vergleich von <flow> zwischen verschiedenen Quadranten	41
3.4	Regressionsmodelle F1, F2 und F4 für <flow>	43
3.5	Regressionsmodelle FAP, 2 und 3 für <flow>	44
3.6	Vergleich der Modelle 2, 3, FAP und F4 von <flow>	44
3.7	Vergleich von <gaV> und <A> zwischen verschiedenen Quadranten	47
3.8	Kennwerte zur Normalverteilung und Korrelationskoeffizient nach Spearman für <gaV> und <A> bzgl. Fähigkeit und Anforderung	49
3.9	Regressionsmodelle V und AF für <gaV>	50
3.10	Regressionsmodelle A, F und AP für <gaV>	51
3.11	Vergleich der Modelle A, F, AP, AF und V für <gaV>	51
3.12	Regressionsmodelle Ab, BK und Be für <A>	52
3.13	Vergleich der Modelle BK, Be, Ab und BK für <A>	52
3.14	Vergleich von AP zwischen verschiedenen Quadranten	54
3.15	Kennwerte zur Normalverteilung und Korrelationskoeffizient nach Spearman für AP bzgl. Fähigkeit und Anforderung	54
3.16	Regressionsmodelle S, K und Sk für AP	55
3.17	Vergleich der Modelle SK, S und K für AP	55
3.18	Vergleich von <Besorgnis> zwischen verschiedenen Quadranten	57
3.19	Regressionsmodelle B und SAPA für <Besorgnis>	57
3.20	Regressionsmodelle AAP, APS und AS für <Besorgnis>	58
3.21	Vergleich der Modelle AAP, AS, APS, SAPA und B für <Besorgnis>	58
5.1	Tabellarischer Verlaufsplan einer Beispielsequenz von FELS	85-87

5.2	Beispielhafte Themenaufbereitung für FELS	90-92
5.3	Vergleich der Bildungsstandards Physik mit FELS	93-95
5.4	Vergleich der Bildungsempfehlungen zu Medienkompetenzen mit FELS	95-98
6.1	Stichprobenbeschreibung	106
6.2	Mittelwerte von <flow>, <A> und <gaV> bei der Durchführung von Smartphoneexperimenten nach Geschlecht getrennt	110
6.3	Mittelwerte von <flow>, <A> und <gaV> bei der Durchführung von Laborexperimenten nach Geschlecht getrennt	111
6.4	Mittelwerte von <Besorgnis> nach Lernarrangement getrennt	112
6.5	Mittelwerte von Berufsrelevanz nach Lernarrangement getrennt	113
A.1	Vergleich der (Sub-)Skalen zwischen verschiedenen Experimenten der beiden Lernarrangements „GP“ und „PSE“	132-133

Abkürzungsverzeichnis

- A
 - Aktivierung
- <A>
 - Gesamtwert der Absorbiertheit, Mittelwert aus vier der zehn Items von <flow>
- <Besorgnis>
 - Gesamtwert für Besorgnis, Mittelwert aus drei Items
- Berufsrelevanz
 - Empfundene Berufsrelevanz
- bspw.
 - beispielsweise
- bzgl.
 - bezüglich
- d
 - Effektstärke
- d.h.
 - das heißt
- E
 - Ergebnis
- F
 - Folgen
- FELS
 - Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone
- <flow>
 - Gesamtwert für flow, Mittelwert aus zehn Items
- <gaV>
 - Gesamtwert des glatten, automatisierten Verlaufs, Mittelwert aus sechs der zehn Items von <flow>
- ggf.
 - gegebenenfalls
- H
 - Handlung
- MINT
 - Mathematik Informatik Naturwissenschaften Technik
- NA
 - Negative Aktivierung
- OPeRA
 - Outline / Performance / Reflection / (Process) Analysis
- p
 - Irrtumswahrscheinlichkeit
- PA
 - Positive Aktivierung
- PANAVA - Modell
 - Positive Aktivierung negative Aktivierung Valenz
- PIKO
 - Physik im Kontext

- PSI
 - Professionalisierung - Schulpraktischer Studien – Inklusion:Potsdamer Modell der Lehrerbildung
- r
 - Korrelationskoeffizient
- VA
 - Valenz
- z.B.
 - zum Beispiel
- z. T.
 - zum Teil

Literaturverzeichnis

- Aellig, S. (2004). Über den Sinn des Unsinn: *Flow-Erleben und Wohlbefinden als Anreize für autotelische Tätigkeiten*. Münster: Waxmann Verlag.
- Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological Review*, 64, S. 359-372.
- Bachmair, B., Coole, J. & Pachler, N. (2014). Mobile Medien als Kulturressourcen für Lernen, ein kulturökologischer Beitrag zur Medienbildung. In Winfried Marotzki und Norbert Meder (Hrsg.), *Perspektiven der Medienbildung* (S. 209-233). Wiesbaden: Springer.
- Banchi, H. & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 2008 (Oktober), S. 26-29.
- Barth, J. M. (2014). *Experimentieren im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Eine Rekonstruktion übergeordneter Einbettungsstrategien*. Berlin: Logos-Verlag.
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2017). Technologie-unterstütztes Lernen im Physikunterricht mittels mobiler Videoanalyse. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß, *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 119-130). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Bischoff, J. (2003). *Lernmotivation, Flow-Erleben und Leistung in universitären Fremdsprachkursen*. (Diplomarbeit). Institut für Psychologie der Universität Potsdam.
- Börlin, J. (2012). *Das Experiment als Lerngelegenheit. Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*. Berlin: Logos.
- BRD (2019): *Verwaltungsvereinbarung DigitalPakt Schule 2019 bis 2024*. Zugriff am 13.06.19 unter https://www.bmbf.de/files/VV_DigitalPaktSchule_Web.pdf.
- Buchholz, A. (1969). Die weltanschauliche Phasenverschiebung. *Physikalische Blätter*, Heft 5 25 (1), S. 193 – 201.
- Cabeza, C., Rubido, N. & Martí, A. C. (2014). Learning physics in a water park, *PHYSICS EDUCATION*, 49 (2), S. 187-194.
- Calaprice, Alice (Hrsg.) (1997). *Einstein sagt. Zitate. Einfälle. Gedanken*. München/Zürich: Piper Verlag.
- Castro-Palacio, J. C, Velázquez-Abed, L., Giménez, M. H. & Monsoriu, J. A. (2013). Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. *Am. J. Phys.*, 81 (6), S. 472-475. <https://doi.org/10.1119/1.4793438>.
- Csikszentmihalyi, M. (1992). *FLOW Das Geheimnis des Glücks*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi, M. (1985). *Das flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi, M. (1995). *Dem Sinn des Lebens eine Zukunft geben. Eine Psychologie für das 3. Jahrtausend*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi (2014a). Flow. In M. Csikszentmihalyi (Hrsg.), *Flow and the foundations of positive psychology* (S. 227-238). Dordrecht, Heidelberg, New York und London: Springer.
- Csikszentmihalyi (2014b). Toward a Psychology of Optimal Experience. In M. Csikszentmihalyi (Hrsg.), *Flow and the foundations of positive psychology* (S. 209-225). Dordrecht, Heidelberg, New York und London: Springer.
- Csikszentmihalyi, M., Larson, R. & Prescott, S. (1977). The ecology of adolescence activity and experience. *Journal of Youth and Adolescence*, 6, S. 281-294.

- Csikszentmihalyi, M., & Rathunde, K. (1993). The measurement of flow in everyday life: Towards a theory of emergent motivation. In J. Jacobs (Hrsg.), *Nebraska Symposium on Motivation, 1992: Developmental perspectives on motivation, current theory and research in motivation* (pp. 57–97). Lincoln, NE: University of Nebraska Press.
- Dallmann, M. (2019). *Fachkräftemangel. Deutschland braucht 260.000 Zuwanderer im Jahr*. Zugriff am 04.06.2019 unter https://www.deutschlandfunk.de/fachkraeftemangel-deutschland-braucht-260-000-zuwanderer-im.1773.de.html?dram:article_id=440792.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and user Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 1989 (September), S. 319-340.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, S. 223-238.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (Hrsg.) (2002). *Handbook of self-determination research*. Rochester, and New York: University of Rochester Press.
- de Witt, C. & Czerwionka, T. (2007). *Mediendidaktik. Studentexte für Erwachsenenbildung*. Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- de Witt, C. (2013). Vom E-Learning zum Mobile Learning – wie Smartphones und Tablet PCs Lernen und Arbeiten verbinden. In C. de Witt und A. Reiners (Hrsg.), *Mobile Learning. Potenziale, Einsatzszenarien und Perspektiven des Lernens mit mobilen Endgeräten* (S. 55–74), Wiesbaden: Springer.
- Duit, R., Häussler, P. & Kircher, E. (1981). *Unterricht Physik. Materialien zur Unterrichtsvorbereitung*. Köln: Aulis.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N. & Pea, R. D. (1999). Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning Through Technology and Curriculum Design. *THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES*, 8(3&4), S. 391-450. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00190609/>.
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung des experimentellen Arbeitens – Zur Eignung einer Protokollmethode zur Bewertung von Experimentierprozessen. *MNU*, 65 (2), S. 68-75.
- Engl, A. & Risch, B. (2015). Chemie Pur – Unterrichten in der Natur. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 546-548). Kiel: IPN-Verlag.
- Engeser, S. (2004). *Lernmotivation und volitionale Handlungssteuerung: Eine Längsschnittstudie beim Statistik-Lernen im Psychologiestudium*. (Dissertation). Institut für Psychologie, Universität Potsdam.
- Engeser, S. & Rheinberg, F. (2008). Flow, moderators of challenge-skill-balance and performance. *Motivation and Emotion*, 32, S. 158 – 172.
- Engeser, S., Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Bischoff, J. (2005). Motivation, Flow-Erleben und Lernleistung in universitären Lernsettings. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, S. 159-172.
- Feierabend, S., Plankenhorn, T. & Rathgeb, T. (2015). *JIM 2015. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland*. Zugriff am 12.12.2016 unter http://mpfs.de/fileadmin/JIM-pdf15/JIM_2015.pdf.
- Feierabend, S., Plankenhorn, T. & Rathgeb, T. (2016). *JIM 2016. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland*. Zugriff am 12.12.2017 unter https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf.

- Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In Kasseler Forschergruppe (Hrsg.), *Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (S. 27-42). Kassel: kassel university press GmbH.
<http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-394-6.volltext.frei.pdf>.
- Frischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2010). Beobachten und Experimentieren. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1. – 9. Schuljahr* (S. 133-148). Bern: Haupt.
- Gesellschaft für Medienpädagogik und Kommunikationskultur (2018). *Medienbildung in der Schule ist mehr als digitale bildung – Medienpädagogik positioniert sich zur Strategie der Kultusministerkonferenz 'Bildung in der digitalen Welt'*. Zugriff am 12.12.2018 unter https://www.gmk-net.de/wp-content/uploads/2018/09/gmk-positionspapier_kmk-strategie_27092018.pdf.
- Goethe, F. (1808). *Faust. Eine Tragödie von Goethe*. Der Tragödie erster Teil, Tübingen: J. G. Cotta, Zugriff am 03.07.19 unter https://de.wikisource.org/wiki/Faust_-_Der_Trag%C3%B6die_erster_Teil.
- Grell, P. & Rau, F. (2011). Partizipationslücken – Social Software in der Hochschullehre. *Zeitschrift MedienPädagogik*, 21, S. 1-23, <https://doi.org/10.21240/mpaed/21/2011.11.21.X>.
- Hagelgans, H. (2015). Der ganzheitliche Anstoß – wie eine Billardlernwerkstatt die Potenzialentfaltung von Schülerinnen und Schülern und die Unterrichts- und Schulentwicklung anregen kann – Ein- und Ausblicke in eine wissenschaftliche Begleitstudie. *Schulpädagogik heute*, 11(6). 16 S.
- Hascher, T. (2005). Die Erfahrungsfalle. *Journal für LehrerInnenbildung*, 5(1), S. 39-45.
- Harari, Y. N. (2008). Combat flow: military, political, and ethical dimensions of subjective wellbeing in war. *Review of General Psychology*, 12, S. 253–264.
- Hauf, S.-M. (2016). *Flow-Erleben vom Smartphone als Messgerät im Lernprozess FELS in der Schule*. (Unveröffentlicht, Masterarbeit). Universität Potsdam.
- Hentsch, A. (1992). *Motivationale Aspekte des Malens. Eine Anreizeanalyse*. (Diplom-Arbeit), Psychologisches Institut der Universität Heidelberg.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST*, 42(2). S. 99-107.
- Hoblitz, A. (2015). *Spielend Lernen im Flow. Die motivationale Wirkung von Serious Games im Schulunterricht*. Wiesbaden: Springer.
- Hobmair, H., Atltenthan, S., Betscher-Ott, S., Dirrigl, W. & Ott, W. (1997). *Psychologie*. Köln: H. Stam GmbH
- Hofferber, N., Eckes, A., Kovaleva, A. & Wilde, M. (2015). Die Auswirkungen von autonomieförderndem Lehrerverhalten im Biologieunterricht mit lebenden Tieren. *ZfDN*, 21, S. 17-27.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN Interessensstudie*. Kiel:IPN
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *ZfDN*, 21, 127-139. <https://doi.org/10.1007/s40573-0150030-z>.

- Horvath, P. (2007). Was tun mit den «digital natives»? Herausforderungen für Wirtschaft, Politik und Bildungssystem jenseits bloßer Bewährungspädagogik. *Medienimpulse*, 60, S. 34-36. http://www2.mediamanual.at/themen/kompetenz/60_Horvath-Was_tun_mit.pdf.
- Hucke, L. (1999). *Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums*. Berlin: Logos.
- Huwer, J. & Eilks, J. (2017). Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 81-94). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D. & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, S. 1-13.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt. <http://dx.doi.org/10.1037/11059-000>
- Jonas-Ahrend, G. (2004). *Physiklehrervorstellungen zum Experiment im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Kohler, B. (2011). Hausaufgaben. Überblick über didaktische Überlegungen und empirische Untersuchungen. *DDS 103*(3), S. 203-218.
- Krombass, A., Urahne, D. & Harms, U. (2007). Flow-Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Lernen mit Computern und Ausstellungsobjekten in einem Naturkundemuseum. *ZfDN*, 13, S. 103-123.
- Kruse, R. (2014). GPS im Physikunterricht – Analyse mechanischer Bewegungen mit Hilfe eines Smartphones. In J. Maxton-Küchenmeister und J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 162-166). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Kuhl, J. (2010). Individuelle Unterschiede in der Selbststeuerung. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 337-364). Berlin und Heidelberg: Springer.
- Kuhn, J. (2010). *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Kuhn, J. (2011). Zeitungsaufgaben und Co.: Einsatz und Effektivität authentischer Lernmedien im Physikunterricht. *Plus Lucis*, 2011(1-2), S. 11-17. <https://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/111/S11.pdf>.
- Kuhn, J., Vogt, P. & Müller, S. (2011). Handys und Smartphones. Einsatzmöglichkeiten und Beispieleexperimente im Physikunterricht. *PdN PHYSIK in der Schule*, 60(7), S. 5-11.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2013). Applications and Examples of Experiments with Mobile Phones and Smartphones in Physics Lessons. *Frontiers in Sensors*, 1(4), S. 67-73. <http://www.seipub.org/fs/Download.aspx?ID=9682>.
- Kuhn, J., Vogt, P. & Theilmann, F. (2016). Going nuts. Measuring free-fall acceleration by analyzing the sound of falling metal pieces. *The Physics Teacher*, 54(3), S. 182-183. <https://doi.org/10.1119/1.4942145>.
- Labudde, P. & Börlin, J. (2013). Inquiry-Based-Learning: Versuch einer Einordnung zwischen Bildungsstandarts, Forschungsfeldern und PROFILES. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (S. 183-185). Kiel: IPN-Verlag.
- Landhäuser, A. und Keller, J. (2012). Flow and Its Affective, Cognitive and Performance-Related Consequences. In S. Engeser (Hrsg.), *Advances in Flow Research* (S. 65-86). New York: Springer.

- Lepper, M.R. und Henderlong, J. (2000). Turning „play“ into „work“ and „work“ into „play“: 25 years of research on intrinsic versus extrinsic motivation. In C. Sansone & J. M. Harackiewicz (Hrsg.), *Intrinsic and Extrinsic Motivation. The Search for Optimal Motivation and performance* (S. 257-307). New York: Academic Press.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P. & von Rhöneck, C. (2000). Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. *ZfDN*, 6. S. 134-155. ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2000/S.139-155_Laukenmann_etal._2000.pdf.
- Leisen, J. (Hrsg.) (1999). *Methodenhandbuch deutschsprachiger Fachunterricht DFU*. Bonn: Varus.
- Lesch, H. *Unser Schulsystem ist Mist. Terra X Lesch & Co* [Youtube-Kanal]. Zugriff am 09.02.2020 unter <https://www.youtube.com/watch?v=-q0Sm8Kldn0>.
- Lipowski, F. (2015): Unterricht. In E. Wild und J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 69–105). Berlin und Heidelberg: Springer.
- Löffler, P. & Kauertz, A. (2016). Modellanwendung in Problemlöseaufgaben: Wie wirkt Kontext?. In S. Berhnolt (Hrsg.), *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik* (S. 41-43). Kiel: IPN.
- Lück, S. & Wilhelm, T. (2011). Beschleunigungspfeile mit dem iPhone. *PdN PHYSIK in der Schule*, 60(7), S. 27-29.
- Massolt, J. & Borowski, A. (2018). Increasing the Percieved Relevance of University Physics Problems by Focusing on School-Related Content Knowledge. *heiEDUCATION Journal*, 2018 (1/2), S. 99–125. <https://dx.doi.org/10.17885/heiup.heied.2018.1&2.2382>.
- Merzyn, G. (2015). Guter Physikunterricht. Die Sicht von Schülern, Lehrern und Wissenschaftlern. *phydid B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 8 S. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/589/745>.
- Mézes, C., Erb, R. & Schröter, E. (2012). Der Einfluss von Videoexperimentieranleitungen auf die Motivation der Schülerinnen und Schüler. *PhyDid*, 11(1), S. 17-27.
- Mikelskis, H. (1999). Physik lernen mit interaktiver Hypermedia: Eine empirische Pilotstudie. *ZfDN*, 5(1), S. 63-74.
- Mikelskis-Seifert, S. & Duit, R. (2010). *Physik im Kontext – Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht*. Seelze: Friedrich Verlag.
- Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (2015). Rahmenlehrplan Teil C Physik Jahrgangsstufen 7-10. Zugriff am 09.02.2020 unter https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Physik_2015_11_16_web.pdf.
- Moneta, G.B. (2012). On the Measurement and Conceptualization of Flow. In S. Engeser (Hrsg.), *Advances in Flow Research* (S. 23-50). New York: Springer.
- Müller, J., Magdans, U. & Borowski, A. (2016). Der Einsatz von Smartphones und Tablet-PCs in Physiklehrants- und Schüler_innenpraktika. In M. Akin-Hecke, M. Andraschko, P. Eiselmaier & D. S. Röthler (Hrsg.), *Lehrende arbeiten mit dem Netz* (S. 228-231). Wien: Werde Digital.at & Education Group.
- Müller, J., Scharner, R. & Henneberg, O. (2014). LabVIEW im Informatik- und Physikunterricht. *PdN Physik in der Schule*, 63(5). 36-39.
- Müller, J., Magdans, U., Borowski, A. (2018b). Physikalische Größen im Alltag erfahrbar machen mit FELS (Forschend-Entdeckendes Lernen mit dem Smartphone), In MNU & T3

Deutschland (Hrsg.), *Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht im Zeitalter der Digitalisierung Stellungnahme zum Erwerb fachlicher und fachdidaktischer Kompetenzen in der Lehramtsausbildung Tagungsbericht zum Expertentreffen „Sensorgestütztes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht“ am 27. März 2018 in München* (S. 128-145), Zugriff am 09.02.2020 unter <https://www.mnu.de/blog/510-experimentieren-im-naturwissenschaftlichen-unterricht-im-zeitalter-der-digitalisierung>.

- Müller, J., Magdans, U., Borowski, A. (2018a). FELS – ForschendEntdeckendes Lernen mit dem Smartphone. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie Und Praxis Der Medienbildung*, 31, S. 214-238. doi.org/10.21240/mpaed/31/2018.11.10.X.
- Nacke, L. (2009): *Affective Ludology Scientific Measurement of User Experience in Interactive Entertainment* (Dissertation). Blekinge Institute of Technology. Zugriff am 09.02.2020 unter <http://phd.academic.com/nacke-l-phd-thesis.pdf>.
- Nieswand, M. (2014). *Hausaufgaben yapmak. Ein ethnographischer Blick auf den Familienalltag*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Oberländer, A. (2014). Schulkontext – Lebenswelt und Unterricht mobil verbinden. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im Naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 271-279). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- O'Reilly, T. (2006). *Web 2.0 Compact Definition: Trying Again*. Zugriff am 09.02.2020 unter <http://radar.oreilly.com/2006/12/web-20-compact-definition-tryi.html>.
- Oser, F. & Party, J.-L. (1990). Choreographien unterrichtlichen Lernens- Basismodelle des Unterrichts. *Berichte zur Erziehungswissenschaft*, 89, Schweiz: Pädagogische Universität Freiburg.
- Peifer, C., Wolters, G. & Hein, N. (2017). *Komm in den Flow*. Zugriff am 04.06.19 unter <https://www.spektrum.de/news/wie-flow-die-leistungsfahigkeit-foerdert/1440968>.
- Pfister, R. (2002). *Flow im Alltag. Untersuchungen zum Quadrantenmodell des Flow-Erlebens und zum Konzept der autotelischen Persönlichkeit mit der Experience Sampling Method (ESM)*. Bern, Berlin, Bruxelles, Frankfurt a. M., New York, Oxford und Wien: Peter Lang.
- Planck, M. (1948). *Wissenschaftliche Selbstbiographie*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag.
- Pozas, M. (2016). *Examining context-based task characteristics: the effects of task characteristics on students' motivation and metacognitive experiences*. Universität Koblenz Landau. <https://kola.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/1375>
- Pozas, M, Löffler, P., Schnotz, W. & Kauertz, A. (2018). Flow, the mediating/missing link? A mediation analysis of interest, flow, and performance, In M. Brohm-Badry, C. Peifer, J. M. Greve und B. Berend (Hrsg.), *Wie Menschen wachsen. Positiv-Psychologische Entwicklung von Individuum, Organisation und Gesellschaft* (S. 61-72). Groß-Umstadt: Pabst Science Publishers Lengerich.
- Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E. und Pekrun, R. (Hrsg.) (2008). PISA 2006 in Deutschland. *Die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich. Zusammenfassung*. Kiel.
- Pindur, M. (2018). *Schulen nach dem PISA-Schock. Unser Bildungssystem bleibt mittelmäßig*. Zugriff am 04.06.2019 unter https://www.deutschlandfunkkultur.de/schulen-nach-dem-pisa-schock-unser-bildungssystem-bleibt.990.de.html?dram:article_id=424117.
- Püttmann, A. (2009). *Selbst reguliertes Lernen mit Multimedia im Physikunterricht*. Saarbrücken: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.

- Rabe, T. & Mikelskis, H. F. (2007). Kohärenzbildungshilfen und Selbsterklärungen: Fördern sie das Physiklernen?. *ZfDN*, 13, S. 33-52. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/002Rabe_13.pdf.
- Rath, G. & Schittelkopf, E. (2011). Mobile@classroom Handyclips im Physikunterricht. *PdN PHYSIK in der Schule*, 60(7), S. 12-14.
- Reinhardt, C., Lau, A., Hottenrott, K. & Stoll, O. (2006). Flow-Erleben unter kontrollierter Anforderungs-Fähigkeits-Passung – Ergebnisse einer Laufbandstudie. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13(4), S. 140-146.
- Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E. und Köller, O. (Hrsg.) (2016). *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Waxmann: Münster, New York.
- Reitinger, J. (2012). Differenziertes forschendes Lernen in den Naturwissenschaften mit leistungsheterogenen Schüler/-innengruppen. Eine empirische Studie zur Performanz und Wirksamkeit des AuRELIA-Konzeptes. In T. Bohl, M. Bönsch, M. Trautmann & B. Wischer (Hrsg.), *Binnendifferenzierung, Didaktische Grundlagen und Forschungsergebnisse zur Binnendifferenzierung im Unterricht Teil I* (S. 107-133), Immenhausen bei Kassel: Prolog-Verlag.
- Reitinger, J. (2014). *Forschendes Lernen. Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Immenhausen bei Kassel: Prolog-Verlag.
- Rheinberg, F. (1989). *Zweck und Tätigkeit*. Göttingen: Verlag für Psychologie Dr. C. J. Hogrefe.
- Rheinberg, F., Manig, Y., Kliegl, R., Engeser, S., & Vollmeyer, R. (2007). Flow bei der Arbeit, doch Glück in der Freizeit. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 51, S. 105–115.
- Thomas, F. (2016). *Das Flow-Erleben während des Laufens bei selbstgewählter und vorgegebener Intensität*. (Bachelor-Arbeit) Johannes Gutenberg-Universität Mainz. DOI: 10.13140/RG.2.2.35917.74721.
- Rheinberg, F. (2010). Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 365-388). Berlin und Heidelberg: Springer.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., Engeser, S. (2003): Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 261-279). Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Manig, Y. (2005). *DFG Abschlussbericht zum Projekt Rh 14/11-1: Flow-Erleben: Untersuchungen zu einem populären, aber unterspezifizierten Konstrukt*. Psychologisches Institut der Universität Potsdam. Zugriff am 09.02.2020 unter https://www.researchgate.net/publication/37367947_Flow-Erleben_Untersuchungen_zu_einem_popularen_aber_unterspezifizierten_Konstrukt_Abschlussbericht.
- Ruth, N., Spangardt, B., & Schramm, H. (2017). Alternative music playlists on the radio: Flow experience and appraisal during the reception of music radio programs. *Musicae Scientiae*, 21(1), S. 75–97. <https://doi.org/10.1177/1029864916642623>
- Sander, F. (2000). *Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*. Berlin: Logo.
- Schacter, D. L. (1996). *Searching for memory. The brain, the mind, and the past*. New York: Basic books.
- Scheffer, D. & Heckhausen, H. (2010). Eigenschaftstheorien der Motivation. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 43-72). Berlin und Heidelberg: Springer.

- Schmidtkunz, H. & Lindemann, H. (1999). *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Magdeburg: Westarp Wissenschaften.
- Schwab, J. J. (1960). Inquiry, the Science Teacher, and the Educator. *The school review*, 68(2), S. 176-195.
- Schneider, K. (1996). Intrinsisch (autotelisch) motiviertes Verhalten – dargestellt an den Beispielen des Neugierverhaltens sowie verwandter Verhaltenssysteme (Spielen und leistungsmotiviertes Handeln). In J. Kuhl & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation, Volition und Handlung. Enzyklopädie der Psychologie* (S. 119 – 152). Göttingen: Hogrefe.
- Schüler, J. (2012). The Dark Side of the Moon. In S. Engeser (Hrsg.), *Advances in Flow Research* (S. 123-138). New York: Springer.
- Schwemmer, H. (1980). *Was Hausaufgaben anrichten: Von der Fragwürdigkeit eines Jahrhunderts verewigten Tabus in der Hausaufgabenschule unserer Zeit*. Paderborn: Schöningh.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005). *Strategie der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Zugriff am 09.02.2019 unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2016). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildung in der digitalen Welt. Beschluss vom 08.12.2016*. Zugriff am 09.02.2019 unter http://www.bpb.de/system/files/dokument_pdf/Bildung_digitale_Welt_Webversion.pdf.
- Smeds, P., Jeronen, E. & Kurppa, S. (2015). Farm Education and the Value of Learning in an Authentic Learning Environment. *International Journal of Environmental & Science Education* 10(3), S. 381-404. <https://doi.org/10.12973/ijese.2015.251a>.
- Spang, A. (2014). Mobiles Lernen mit Tablets, Apps und cloud – Ein Erfahrungsbericht. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 101-113). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Specht, M., Kalz, M. & Börner, D. (2013). Innovation und Trends für Mobiles Lernen. In C. de Witt & A. Reiners (Hrsg.), *Mobile Learning. Potenziale, Einsatzszenarien und Perspektiven des Lernens mit mobilen Endgeräten* (S. 55–74), Wiesbaden: Springer.
- Staacks, S. (2018). Phyphox. Unterstützte Sensoren. Zugriff am 09.02.2020 unter <https://phyphox.org/de/unterstutzte-sensoren/>.
- Stender, A., Geller, C., Neumann, K. & Fischer, H.E. (2013). Der Einfluss der Unterrichtstaktung auf die Strukturiertheit und Abgeschlossenheit von Unterricht. *ZfDN*, 19, S. 189-207.
- Streller, S. (2013). PROFILES in der Lehramtsausbildung. In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen* (S. 194-196). Kiel: IPN-Verlag.
- Sumfleth, E. & Nicolai, N. (2009). Kooperative Hausaufgaben im Chemieunterricht. Ergebnisse einer Videostudie. *MNU*, 62(1), S. 46-54.
- Sumfleth, E., Kieren, C. und van Ackeren, I. (2011). Hausaufgabenpraxis im Gymnasium – Empirische Befunde am Beispiel eines `Nebenfachs´. *DDS*, 3(103), S. 252-267. <https://www.dds.uni->

hannover.de/fileadmin/schulentwicklungsforschung/DDS_Open_Access/DDS_11_3_Hausaufgaben_Lerngelegenheiten.pdf.

- Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht. Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*. Berlin: Logos.
- Trendel, G., Wackermann, R., & Fischer, H. E. (2007). Lernprozessorientierte Lehrerfortbildung in Physik. *ZfDN*, 13, S. 9-31.
- Thyssen, C. (2017). Augmented Reality (AR) im praktischen Unterricht. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze und J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 177-191). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Urahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *ZfDN*, 6, S. 157-186. ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2000/S.157-186_Urahne_Prenzel_etal_2000.pdf.
- van Vorst, H., Dorsch, A. V., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H. & Sumfleth, E. (2014). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *ZfDN*, 21, S. 29-39. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0021-5>.
- Venkatesh, V. & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39(2), S. 273-315.
- Vogt, P., Kasper, L. & Müller, A. (2014). Smartphone Physics: Neue Experimente und Fragestellungen rund um das Messwerterfassungssystem Smartphone. *phydid B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 12 S. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/546/>.
- Vogt, P., Kuhn, J. & Gareis, S. (2011). Beschleunigungssensoren von Smartphones Beispielexperimente zum Einsatz im Physikunterricht. *PdN PHYSIK in der Schule*, 60(7), S. 15-22.
- Wahser, I. & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppen im Fach Chemie. *ZfDN*, 14, S. 219-241. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/14_012_Wahser_Sumfleth.pdf.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17-31). Weinheim und Basel: Beltz-Verlag.
- West, M. & Vosloo, S. (2013). *UNESCO policy guidelines for mobile learning*. Paris: UNESCO Publications. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219641e.pdf>.
- Widodo, A. & Duit, R. (2005). Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. *ZfDN*, 11, S. 131-146. ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2005/9.Widodo_Duit_131-146.pdf.
- Winkelmann, J. (2015). *Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch die Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Wodzinski, R. (2013). Lernen mit gestuften Hilfen. *Physik Journal*, 12, S. 45-49.
- Xunzi (1994). *Xunzi: Books 7-16*, Stanford: Stanford University Press.
- Zumbach, J., Mooser, S., Unterbauer, U. & Pfligersdorffer, G. (2014). Problemorientiertes Online-Lernen im Biologieunterricht: Fähigkeitsselbstkonzept, mentale Anstrengung und

Vorwissen als Prädiktoren für Wissenserwerbsprozesse zwischen Instruktion und Konstruktion. *ZfDN*, 20, S. 45-56. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0004-6>.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen Danken, die mir diese Arbeit ermöglichten und mich über den langen Prozess begleiteten.

An erster Stelle möchte ich Andreas Borowski und Uta Magdans danken. Als Betreuer und Mentorin haben sie mir einen Weg eröffnet, auf dem ich viel Lernen konnte und von dem ich auch in meiner weiteren Laufbahn zehren kann. Dies gilt umso mehr für die Geduld, die mir beim Forschungsprozess und dem Anfertigen dieser Arbeit entgegen gebracht wurde.

Weiterhin bedanke ich mich bei Micol Alamani für die Unterstützung bei der Datenaufnahme im Rahmen einer Evaluation ihrer Lehrveranstaltung.

Auch gebührt meinen Freunden und Kollegen Dank für die anregenden Diskussionen, Anregungen und der mentalen Unterstützung, als ich diese Arbeit zwischenzeitig nicht mehr fortführen wollte.

Der wohl größte Dank gebührt meiner Freundin Christa Storch. Sie hat mich beim Schreibprozess stets motiviert, wenn ich mal ins Stocken kam. Auch brachte sie mir stets vollstes Verständnis in schwierigen Zeiten entgegen und stärkte mich.

Zuletzt möchte ich meinen Eltern und Geschwistern danken. Sie gaben mir seit jeher immer einen sicheren Halt, egal was passierte.