

## Experimente mit kosmischen Teilchen im Netzwerk Teilchenwelt

- Eine Interessenstudie -

Martin Hawner<sup>\*+</sup>, Sascha Schmeling<sup>+</sup>, Thomas Trefzger<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Universität Würzburg, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg

<sup>+</sup>CERN, CH-1211 Genève 23

martin.hawner@cern.ch, sascha.schmeling@cern.ch, thomas.trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

### Kurzfassung

Das bundesweite Netzwerk Teilchenwelt hat sich zum Ziel gesetzt, Teilchen- und Astroteilchenphysik in der Gesellschaft zu fördern. Hierbei werden z.B. Experimente im Bereich der Astroteilchenphysik angeboten, welche unter anderem in schülerlaborartigen Lernumgebungen eingesetzt werden. Diese Veranstaltungen sollen im Rahmen einer Evaluationsstudie zur Interessenförderung untersucht werden.

Bisherige Interessenstudien haben gezeigt, dass Schülerlabore vor allem das aktuelle Interesse der Jugendlichen steigern können (z.B. [17]). Langfristige Interessensteigerungen werden jedoch im Normalfall durch die eintägigen Veranstaltungen nicht erreicht. Es gibt allerdings Hinweise, dass durch eine schulische Einbindung der Laborbesuche langfristige Effekte hervorgerufen werden können. Dies wird bei dieser quantitativen Studie in Form einer Nachbereitung im Unterricht umgesetzt und untersucht.

In diesem Beitrag werden die Experimente, das Design der Studie und die Pilotierung des Fragebogens vorgestellt.

### 1. Förderung von Teilchen- und Astroteilchenphysik in Deutschland

Das Netzwerk Teilchenwelt [1] besteht aus mehreren Universitäten und Forschungsinstituten, die sich zum Ziel gesetzt haben, Teilchen- und Astroteilchenphysik zu fördern. Im Rahmen des Netzwerks sind hauptsächlich zwei Formate, ein Projekt zur Teilchenphysik und eins zur Astroteilchenphysik entstanden, die beide versuchen Aspekte der modernen Physik und aktuellen Forschung an Jugendliche heranzutragen.

Im Rahmen des Projekts zur Astroteilchenphysik sind zwei handliche Typen von Detektoren zur Messung kosmischer Teilchen gebaut worden. Dies sind die „Cosmic Muon Observer“ (CosMO) Experimente [2], welche in Abb.1 zu sehen sind und die Kamiokannen ([3], [4]), welche in Abb.2 abgebildet sind. Dabei wird auf Detektionsmethoden zurückgegriffen, die auch in großen Projekten der aktuellen (Astro-)Teilchenphysik, so zum Beispiel in den Experimenten des LHC am CERN [5] oder dem IceCube-Experiment [6] am Südpol, verwendet werden. Die Experimente werden an den teilnehmenden Standorten des Netzwerks unterschiedlich genutzt und können in halb- bis eintägigen Veranstaltungen, aber auch innerhalb langfristiger Aktivitäten von Jugendlichen genutzt werden.

Im M!ND-Center [7] der Universität Würzburg werden die Experimente im Rahmen von Schülerlaborveranstaltungen, die einen halben bis ganzen Tag

in Anspruch nehmen, eingesetzt. Diese Veranstaltungen werden unter anderem in der derzeit laufenden Hauptstudie evaluiert.



**Abb.1:** Das CosMO-Experimentierset. Abgebildet sind (v.r.n.l.) 3 Szintillationszählerplatten, die Datenerfassungskarte und der Computer zur Analyse der Daten.



**Abb.2:** Ein Kamiokannenset, bestehend aus (v.l.n.r.) einer Spannungsregelung, 2 mit Wasser gefüllten Thermoskannen, auf denen Photomultiplier aufgeschraubt sind, und einer Datenauslesebox.

## 2. Das Lehr-Lern-Labor zur Astroteilchenphysik

An der Universität Würzburg wurde ein Lehr-Lern-Labor ( $L^3$ ) zur Astroteilchenphysik für 10. – 12. Klassen entwickelt, in dem die vom Netzwerk Teilchenwelt bereitgestellten Experimente genutzt werden. Bisher finden vor allem die CosMO-Experimente Verwendung. Die Experimente geben einen guten Einblick in die Methoden der aktuellen Forschung. Das  $L^3$  zur Astroteilchenphysik versteht sich somit als forschungsnahes Labor, in dem die einzelnen Arbeitsschritte vom Generieren der Hypothesen über den Aufbau der Detektoren bis hin zur Datennahme und –analyse von den Jugendlichen nachvollzogen und selbst durchgeführt werden können. Es wird also „ein realistisches Bild von den Aufgaben, Arbeitsweisen und Leistungen der Naturwissenschaften“ [8] vermittelt, was eines der Ziele von Schülerlaboren ist.

Während der Veranstaltungen werden mehrere Messungen durchlaufen. Dabei steht, neben dem Kennenlernen von kosmischen Myonen, das Formulieren und anschließende Testen von eigenen Hypothesen im Vordergrund. Weiterhin soll jedes Messergebnis kritisch auf seine Genauigkeit überprüft werden. Hierbei werden die (Mess-)Grenzen der Experimente sowie die statistischen und systematischen Unsicherheiten deutlich.



**Abb.3:** Schülerinnen und Schüler beobachten Teilchenspuren in der Nebelkammer.

Neben einem einführenden Vortrag zum Thema kosmischer Teilchen wird zu Beginn in Kleingruppen eine Nebelkammer [9] gebaut und in Betrieb genommen (siehe Abb.3). Da hier die Teilchenspuren direkt sichtbar sind, eignet sich der Nebelkammerbau insbesondere als Einstieg in die sonst schwer fassbare Thematik. Anschließend wird eine Einweisung in den Aufbau und die Bedienung der Detektoren gegeben. Danach werden folgende Übungen bearbeitet:

a) *Einführende Messung zur Rate der kosmischen Teilchen:*

Durch die mehrmalige Wiederholung der selben Messung (Detektoreinstellungen und Messzeit bleiben unverändert) wird der statistische Charakter der kosmischen Strahlung deutlich. Weitere

Aspekte, wie die Wahl der Messzeit etc. können an der Stelle diskutiert werden.

b) *Vergleich der Myonenrate unter leichter Veränderung des Detektoraufbaus:*

Die Jugendlichen lernen weitere Messeigenschaften der Detektoren kennen und beschäftigen sich mit der Frage, ob man eine absolute Rate messen kann. Hier müssen zum einen die Messunsicherheiten des Detektors und zum anderen die Eigenschaften der kosmischen Strahlung berücksichtigt werden, die bereits in der ersten Übung kennengelernt wurden. Hierbei soll auch die Bedeutung der Koinzidenzmessung verdeutlicht werden.

c) *Absorption kosmischer Myonen:*

Die sich mit annähernd Lichtgeschwindigkeit bewegenden kosmischen Myonen sind kaum zu stoppen. Jedoch können Materialien wie Blei oder dicker Beton die Teilchen verlangsamen oder gar komplett abbremsen. Um diese Effekte zu beobachten werden bei gleichen Einstellungen die Ratenmessungen in verschiedenen Stockwerken des Universitätsgebäudes gemacht. Je mehr Betondecken über dem Detektor liegen, desto geringer ist die gemessene Rate.

d) *Winkelmessung:*

Bei dieser Messung wird die Richtung aus der die Myonen kommen ermittelt. Dabei wird nochmals der Unterschied zwischen der primären und sekundären kosmischen Strahlung verdeutlicht. Auch hier wird wieder kritisch hinterfragt, inwiefern die Messung geeignet ist Rückschlüsse auf die Richtung zu machen und was dabei zu beachten ist.

Weitere interessante Messungen sind die Ermittlung der Lebensdauer der Myonen sowie die Messung der Geschwindigkeit, die sie noch in der Nähe des Erdbodens haben. Beide Messungen benötigen allerdings eine lange Messdauer, so dass die Messungen meist nicht während eintägigen Veranstaltungen durchführbar sind. Allerdings kann mit einer ergänzenden Hinzunahme bereits aufgenommener Daten gearbeitet werden.

## 3. Begleitende Evaluationsstudie

Eine Evaluationsstudie soll die Wirksamkeit der Veranstaltung untersuchen. Dabei wird der Schwerpunkt darauf gelegt, inwieweit das Interesse und das Fähigkeitsselbstkonzept gesteigert werden können. Weiterhin sollen die zugrunde liegenden Faktoren identifiziert werden. Zusätzlich wird die langfristige Entwicklung des Interesses untersucht. Dabei wird in der Hauptstudie insbesondere eine Nachbereitungsphase integriert, die zwei Schulstunden umfasst und im Anschluss an das Schülerlabor im Unterricht durchgenommen wird. Die theoretischen Grundlagen werden im Folgenden vorgestellt.

### 3.1. Interesse

Die zugrunde liegende Theorie bildet das Interessenkonstrukt nach Krapp (vgl. [10]). Man kann das Interesse als Konstrukt, das eine „besondere Relation zwischen einer Person und einem Gegenstand“ [11] kennzeichnet, definieren. Dabei können die Interessengegenstände ein gewisses Thema, ein Wissensbereich, andere Personen oder auch konkrete Gegenstände sein. Allgemein ist ein Interessengegenstand also ein subjektiv bestimmter Umweltausschnitt, der sich von anderen Umweltausschnitten unterscheidet (vgl. [12]).

Das Interesse kann in zwei Arten unterschieden werden: das dispositionale Interesse und das aktuelle Interesse. Das dispositionale Interesse ist nach der pädagogischen Psychologie ein stark ausgeprägtes Interesse, welches sich bei einer Person nur langsam verändern lässt. Dieses Interesse erlangt die Person aus längerfristigen Beschäftigungen mit dem Interessengegenstand. Es entstehen Vorlieben, denen aus eigenem Antrieb nachgegangen wird.

Das aktuelle Interesse wird hingegen mit einem handlungsbegleitenden vorübergehenden Zustand in Verbindung gebracht [13]. Wird das aktuelle Interesse allein von den Anreizbedingungen der Situation hervorgerufen, so spricht man von situationalem Interesse. Wird es hingegen durch Impulse des schon vorhandenen dispositionalen Interesses der Person hervorgerufen, heisst es dispositional aktualisiertes Interesse. Da eine Trennung zwischen den beiden Ausprägungen nur schwer vollzogen werden kann, werden beide Begriffe unter aktuellem Interesse zusammengefasst.

Das Interesse wird durch drei Merkmale charakterisiert: die epistemische, die emotionale und die wertbezogene Komponente. Die epistemische Komponente beschreibt eine Beziehung zwischen Person und Gegenstand, in der die Person mehr über den Interessengegenstand erfahren möchte. Sie will sich kundig machen und mehr Wissen über den Gegenstand anhäufen. Bei der emotionalen Komponente werden die Gefühle während der Interessenhandlung berücksichtigt. Die Handlung wird von positiven Gefühlen und Emotionen begleitet. Es kann sich ein Zustand einstellen, in dem die Person alles um sich

herum vergisst und die Zeit wie im Fluge vergeht. Sieht die Person in der Interessenhandlung eine persönliche Bedeutsamkeit, so spricht man von der wertbezogenen Komponente. Dies kann auch bedeuten, dass die Person den Interessengegenstand sehr schätzt und sich mit ihm identifiziert.

### 3.2. Fähigkeitsselbstkonzept

Das Fähigkeitsselbstkonzept gilt, wie das dispositionale Interesse als nur schwer veränderbarer Zustand. Aus Studien ist bekannt, dass das Interesse an Physik und das Fähigkeitsselbstkonzept bezogen auf Physik miteinander zusammenhängen (vgl. z.B. [14]). Somit beeinflussen beide Größen das Interesse an Physik und die Motivation sich mit dem Fach weiter auseinander zu setzen. Das Fähigkeitsselbstkonzept wird hauptsächlich durch Rückmeldung aus dem Umfeld (zum Beispiel Lob des Lehrers) und aus Vergleichen der eigenen Leistung mit z.B. Mitschülern gewonnen. Das Fähigkeitsselbstkonzept stellt eine wichtige Eigenschaft der Person dar und bildet sich ständig durch Reflexion und Vergleiche aus, denn „man ist in der Regel lieber fähig als unfähig.“ [15]

## 4. Pilotstudie

In einer Pilotstudie wurden insgesamt 61 Schülerinnen und Schüler befragt. Bei den Skalen der Fragebögen wurde sich an vorherigen Studien zu außerschulischen Lernorten von Engeln [16], Pawek [17] und Sommer [18] orientiert.

### 4.1. Skalen

Zunächst wurden die Skalen mittels Faktoren- und Reliabilitätsanalyse getestet. Die Skalen sind teilweise in Tab. 1 dokumentiert. Weitere hier nicht erwähnte Skalen sind die Durchführungseigenschaften (wie Verständlichkeit, Offenheit, aktive Beteiligung etc.), die Einstellung zu Physik und der subjektive Lernerfolg. Sowohl die Trennschärfen, als auch die Cronbach  $\alpha$  Werte weisen hohe Ausprägungen auf. Einzig die Dimension „Experimentieren“ des Sachinteresses fällt aus der Reihe. Eine Faktorenanalyse des Sachinteresses ergibt ebenfalls keine eindeutige Zuordnung der Dimension „Experimentieren“. Dies ändert sich, wenn eines der drei items („Wenn ich Experimente durchführe, bin ich

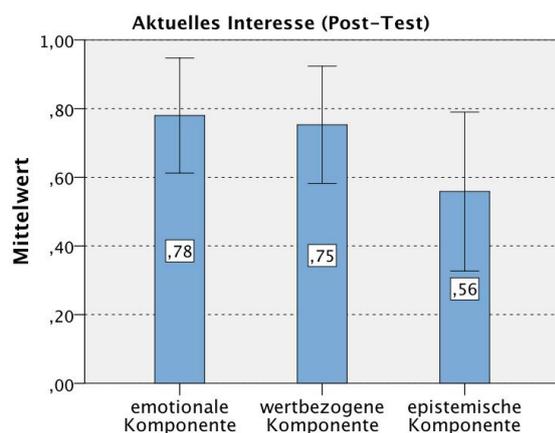
Skala	Dimension	#	N	Trennschärfe		Cronbach $\alpha$	
				$t_1$	$t_2$	$t_1$	$t_2$
Sachinteresse	<i>Physik</i>	4	60	> .58	> .64	.80	.86
	<i>Experimentieren</i>	3	60	> .26	> .16	.54	.50
	<i>Selbst. Tätigkeit</i>	3	60	> .58	> .67	.78	.85
Fachinteresse	<i>Physik</i>	3	61	> .58	> .58	.76	.78
Fähigkeitsselbstkonzept	<i>Physik</i>	7	60	> .60	> .61	.90	.91
Aktuelles Interesse	<i>emotional</i>	4	61	-	> .61	-	.81
	<i>wertbezogen</i>	3	61	-	> .47	-	.70
	<i>epistemisch</i>	5	60	-	> .57	-	.88

**Tab.1:** Skalendokumentation der Fragebögen. Bei der Trennschärfe ist jeweils der kleinste Wert unter den items angegeben. Das aktuelle Interesse wurde im Pre-Test ( $t_1$ ) nicht abgefragt.

bereit, auch Freizeit darauf zu verwenden.“) herausgenommen wird. Allerdings sind die Faktorladungen teilweise etwas klein. Nach Backhaus et al. ([19], S.362) sollten keine items mit Ladungen unter 0.5 verwendet werden. Erst ab diesem Wert spricht man von hohen Ladungen. Ein Grund für die unklare Faktorenstruktur könnte eine zu kleine Stichprobe sein. Mit  $N=61$  liegt der Wert zwar über den genannten Grenzen von Backhaus et al. [19], die er mit der dreifachen Variablenzahl bzw. mindestens  $N=50$  angibt. Allerdings ist dies nur ein Orientierungswert, der hier auch nur knapp überschritten wird. Für die Hauptstudie wurde entschieden, dass das item in der Formulierung nach Pawek [17] („Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit darauf zu verwenden.“) wieder aufgenommen wird. Zusätzlich werden ergänzende items hinzugefügt, da die drei verwendeten items die Dimension „Experimentieren“ in der Pilotstudie anscheinend nicht richtig abgebildet haben.

#### 4.2. Ergebnisse der Pilotstudie

Nach einem ersten Blick in die Daten des Post-Tests konnten für das aktuelle Interesse hohe Werte festgestellt werden (siehe Abb.4).

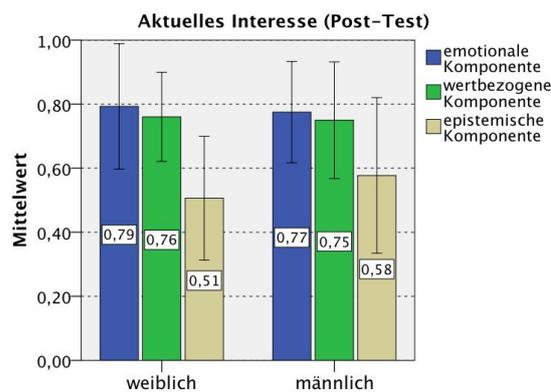


**Abb.4:** Mittelwerte und Standardabweichungen des aktuellen Interesses beim Post-Test.

Auf einer Skala von 0 („stimmt gar nicht“) bis 1 („stimmt völlig“) wird für die emotionale Komponente 0.78, für die wertbezogene Komponente 0.75 und für die epistemische Komponente 0.56 erreicht. Dies ist als Erfolg für das  $L^3$  zu werten. Die Experimente, die vermittelten Inhalte sowie der gesamte Schülerlabortag scheint den Schülern gut gefallen zu haben. Ähnliche Werte gibt auch Pawek [20] bei seiner Untersuchung zu Schülerlaboren an.

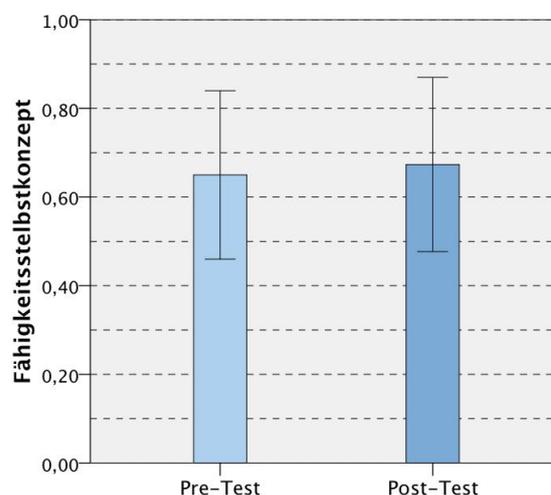
Auch bei dem Vergleich zwischen Schülerinnen und Schülern fällt auf, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern beim aktuellen Interesse gibt (siehe Abb.5). Wie bei Engeln [21] wird auch hier der aus den Schulen bekannte „gender gap“ nicht beobachtet, was eine der Stärken von Schülerlaboren ist.

Abzuwarten bleibt, wie sich das aktuelle Interesse im Follow-up-Test entwickelt. Insbesondere in Hinblick auf die Nachbereitungsphase.



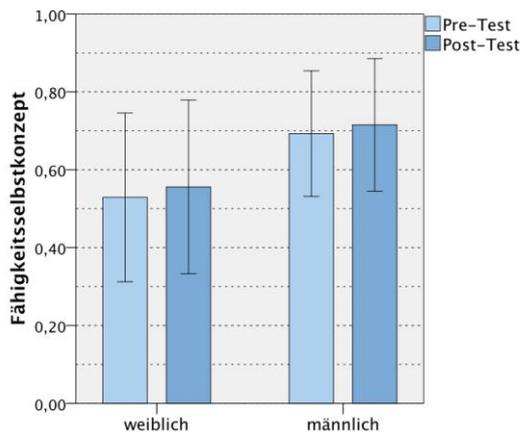
**Abb.5:** Mittelwerte und Standardabweichungen des aktuellen Interesses getrennt nach Geschlechtern. Es werden hohe Werte ohne signifikante Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern erreicht.

Das Selbstkonzept ist im Vergleich zwischen Pre- und Post-Test leicht angestiegen (siehe Abb.6). Als sich nur langsam verändernde Eigenschaft kann dies als Erfolg gewertet werden. Die Effektgröße ist mit  $d=0.12$  zwar sehr klein, allerdings ist der Anstieg sowohl nach dem t-Test, als auch nach dem Wilcoxon-Test signifikant (t-test:  $t(60)=2.3$ ,  $p<0.03$ ,  $d=0.12$ ; Wilcoxon:  $p<0.05$ ).



**Abb.6:** Fähigkeitsselbstkonzept im Pre-/Post-Vergleich. Zu sehen sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Eine signifikante Steigerung mit kleiner Effektstärke wurde beobachtet.

Beim Betrachten des Fähigkeitsselbstkonzepts unter Trennung der Geschlechter fällt auf, dass hier der „gender gap“ wieder zum Vorschein kommt. Im Gegensatz zum aktuellen Interesse war dies beim nur langsam veränderlichen Selbstkonzept auch nicht anders zu erwarten (siehe Abb.7).



**Abb.7:** Mittelwerte und Standardabweichungen des Fähigkeitsselbstkonzepts getrennt nach Geschlechtern im Pre-/Post-Vergleich. Das Selbstkonzept ist bei Mädchen signifikant kleiner als bei Jungen ( $d=0.86$  beim Pre-Test und  $d=0.79$  beim Post-Test).

### 5. Ausblick

Insgesamt sind die ersten Einblicke in die Pilotstudie vielversprechend. Eine tiefere Analyse der Pilotstudie steht noch aus. Dies gilt vor allem in Hinblick auf die das Interesse und das Selbstkonzept beeinflussenden Faktoren. Auch wurden die Durchführungseigenschaften des Labors noch nicht in die Analyse einbezogen.

Weiterhin steht die Datennahme für die Hauptstudie an. Es wurden bereits Daten gesammelt, aber weitere Aktivitäten im  $L^3$  stehen an, so dass eine ausreichende Datenmenge gesammelt werden kann. Es sind vor allem die Follow-up-Fragebögen interessant, da hier die langfristige Wirkung erforscht wird und der Einfluss der schulischen Nachbereitung analysiert werden kann.

### 6. Literatur

- [1] Homepage des Netzwerks Teilchenwelt: <http://www.teilchenwelt.de> (Stand: 05/2013)
- [2] Homepage des Netzwerks Teilchenwelt zu den CosMO-Experimenten: <http://www.teilchenwelt.de/angebote/astroteilchen-experimente/> (Stand: 5/2013)
- [3] Homepage der Universität Göttingen zum Kamiokannenexperiment: <http://kamiokanne.uni-goettingen.de> (Stand: 05/2013)
- [4] Fuidl, M. (2003): Kosmische Myonen in Schulversuchen. Staatsexamensarbeit, Universität Mainz: <http://www.iph.uni-mainz.de/551.php> (Stand: 05/2013)
- [5] Homepage der internationalen Organisation CERN: [www.cern.ch](http://www.cern.ch) (Stand: 05/2013)
- [6] Homepage des IceCube-Experiments: <http://icecube.wisc.edu> (Stand: 05/2013)
- [7] Homepage des MIND-Centers der Universität Würzburg: <http://www.mind.uni-wuerzburg.de> (Stand: 05/2013)
- [8] Prenzel, M.; Ringelband, U. (2001): Lernort Labor – neue Initiativen. In: Ringelband, U.; Prenzel M.; Euler, M. (Hrsg.): Lernort Labor Initiativen zur naturwissenschaft. Bildung zwischen Schule, Forschung u. Wirtschaft. Kiel, 7-12
- [9] Anleitung zum Bau einer Nebelkammer: [http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Netzwerk\\_Teilchenwelt/Material/Lehrkraefte/Nebelkammer\\_Selbstbau.pdf](http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Material/Lehrkraefte/Nebelkammer_Selbstbau.pdf) (Stand: 5/2013)
- [10] Krapp, A. (1992): Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In: Krapp, A.; Prenzel, M. (Hrsg.): Interesse, Lernen, Leistung. Münster: Aschendorff, 9-52
- [11] Prenzel, M. (1988): Die Wirkungsweise von Interesse - Ein pädagogisch-psychologisches Erklärungsmodell. In: Beiträge zur psychologischen Forschung, Band 13. Westdeutscher Verlag
- [12] Joerin Fux, S. (2006): Persönlichkeit und Berufstätigkeit-Theorie und Instrumente von John Holland im deutschsprachigen Raum. Göttingen: Cuvillier
- [13] Krapp, A. (2002): Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. In: Learning and Instruction. (12), 383-409
- [14] Köller, O.; Trautwein, U.; Lüdtke, O.; Baumert, J. (2006): Zum Zusammenspiel von schulischer Leistung, Selbstkonzept und Interesse in der gymnasialen Oberstufe. In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie. 20(1/2), 27-39
- [15] Dickhäuser, O. (2006): Fähigkeitsselbstkonzepte – Entstehung, Auswirkung, Förderung. In: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie. 20(1/2), 5-8
- [16] Engeln, K. (2004): Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Dissertation, Logos-Verlag Berlin
- [17] Pawek, C. (2009): Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe. Dissertation, Universität Kiel
- [18] Sommer, S. (2010): Interessengenese durch Interaktion – Das Interventionsprojekt der Miniphänomenta in quasiexperimenteller Langzeitevaluation. Dissertation, Universität Flensburg
- [19] Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2011): Multivariate Analysemethoden

- Eine anwendungsorientierte Einführung (13. Aufl.). Berlin: Springer
- [20] Pawek, C. (2012): Schülerlabore als nachhaltig das Interesse fördernde außerschulische Lernumgebung. In: *Ausserschulische Lernorte - Beiträge zur Didaktik. Kompetenzentwicklung an außerschulischen Lernorten.*
- [21] Engeln, K.; Euler, M. (2004): Forschen statt Pauken. In: *Physik Journal. WILEY-VCH*, 45-49