

**Was kann ein Schülerlabor leisten?
Konzeptionierung des Schülerlabors
teutolab-biotechnologie als Lehr-Lern-Labor
mit Angeboten zur Breiten- und zur Begabtenförderung
von Schülerinnen und Schülern**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Fakultät Biologie der Universität Bielefeld

angefertigt in der

Biologiedidaktik, Abteilung Zellbiologie und Botanik

vorgelegt von

M. Ed. Kerstin Röllke

Bielefeld, im Januar 2019

Zusammenfassung

Seit der Jahrtausendwende hat sich in Deutschland eine stetig steigende Anzahl von Schülerlaboren etabliert. In diesen Bildungsinnovationen wird das Interesse an den MINT-Fächern gefördert, indem Schülerinnen und Schüler dort eigenständig experimentieren. So soll die naturwissenschaftliche Grundbildung und der Nachwuchs für die MINT-Berufe unterstützt werden. Es werden klassische Schülerlabore zur Breitenförderung von Schülerforschungszentren zur Begabtenförderung unterschieden. Zudem können Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore zur Ausbildung von Lehramtsstudierenden dienen, indem sowohl das Unterrichten als auch das Experimentieren praktisch umgesetzt werden. In bisherigen Arbeiten konnten bereits positive Effekte klassischer Schülerlabore auf motivationale Variablen und das Wissen von Schülerinnen und Schülern nachgewiesen werden. Jüngste Arbeiten beschäftigten sich auch mit den Spezifika von Schülerforschungszentren und Lehr-Lern-Laboren.

Auf dieser Ausgangssituation basierend wurde im *teutolab*-biotechnologie an der Universität Bielefeld ein aus drei Säulen bestehendes umfassendes Schülerlaborkonzept entwickelt. Die Angebote zur Breitenförderung (Säule A), zur Ausbildung von Lehramtsstudierenden (Säule B) und zur vertieften Förderung besonders interessierter Schülerinnen und Schüler (Säule C) wurden in einer Design-Based-Research-Studie mit quantitativen und qualitativen Methoden untersucht. Bei diesem Forschungsrahmen stehen die theoriebasierten Neu- und Weiterentwicklungen von Bildungsangeboten im Zentrum der Betrachtungen, um Innovationen in die Praxis zu übertragen.

In der Entwicklungssäule zur Breitenförderung (Säule A) wurden zunächst ergänzend zu dem Workshop ‚Dem Lambda-Phagen auf der Spur‘ die eintägigen Workshops ‚Barcoding von Orchideen‘ und ‚Molekulargenetische Tierartendifferenzierung‘ entwickelt. In allen Kontexten werden abiturrelevante molekularbiologische Methoden angewendet. Es wurde gezeigt, dass die Praktikumstage und deren schrittweise Fortentwicklungen der didaktischen Konzeption zu positiven Effekten führen: Die Laborbesuche erfahren eine hohe Akzeptanz und werden intrinsisch motiviert und mit hohem situationalem Interesse erlebt. Die Schülerinnen und Schüler erzielen einen großen Wissenszuwachs, der auch langfristig gut erinnert wird. Eine stärkere Akzentuierung des *Forschenden Lernens* in Kombination mit der Erstellung eigener

Abbildungen zu den angewendeten Methoden führt zu höherem Wissenserwerb während der Workshops. Die Verwendung von Materialien zur Einbindung in den Unterricht wirkt sich förderlich auf das Vorwissen, den Wissensbehalt und die intrinsische Motivation aus. Durch den Einsatz neuer Medien in Form eines Life-Feedback-Systems wiederum werden der Wissenserwerb, die intrinsische Motivation und das situationale Interesse gesteigert. Das Lernsetting wird als konstruktivistisch, jedoch mit nur teilweiser Selbststeuerung wahrgenommen. Die Schülerinnen und Schüler stimmen zu, autonomieförderlich und auch forschend gelernt zu haben. Ihre Fähigkeiten stimmen weitestgehend mit den Anforderungen überein, so dass ein *Flow*-Erleben entsteht.

In der Entwicklungssäule zum Lehr-Lern-Labor (Säule B) konnte gezeigt werden, dass ein im *teutolab*-biotechnologie im Bachelorstudium durchgeführtes Praktikum nachweislich zur Professionalisierung der Studierenden beiträgt. Der außerschulische Lernort bietet eine gute Möglichkeit, Teamteaching umzusetzen, intensiv zu reflektieren und den Umgang mit unterschiedlichen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler zu trainieren.

In der Säule zur Begabtenförderung (Säule C) wurden vier Entwicklungen zur Unterstützung besonders interessierter Schülerinnen und Schüler untersucht. Mit der CeBiTec-Schülerakademie und der *teutolab*-Akademie wurden zwei unterschiedliche Konzepte für Veranstaltungen in den Schulferien angeboten. Bei dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt wurden schuljahresbegleitende Projektarbeiten umgesetzt. Die Analyse der Fazits der Schülerinnen und Schülern belegt unterschiedliche Schwerpunkte in Bezug auf die experimentellen Anteile und den sozialen Austausch. Trotz der unterschiedlichen Konzepte konnten für alle Veranstaltungen eine hohe Akzeptanz, ein großes situationales Interesse und der Erwerb von Schlüsselkompetenzen nachgewiesen werden. Dabei nutzen die Schülerinnen und Schüler die Angebote intensiv zur Studien- und Berufsorientierung.

Die theoriegeleitet entwickelten Unterrichtsmaterialien und die Analyse des Gesamtkonzeptes verdeutlichen, wie gewinnbringend Schülerlabore sowohl in der Breiten- und Begabtenförderung von Schülerinnen und Schülern als auch in der Ausbildung Lehramtsstudierender genutzt werden können. Die vorliegende Arbeit leistet somit einen praxisorientierten Beitrag zum schulischen und zum universitären Bildungssystem.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ausgangssituation.....	4
2.1	Außerschulische Lernorte	4
2.2	Konzepte von Schülerlaboren.....	5
2.3	Forschung zu Schülerlaboren und Forschungsfragen	8
2.4	Das Schülerlabor <i>teutolab</i> -biotechnologie	12
3	Theoretischer Rahmen	15
3.1	Wissenserwerb.....	15
3.1.1	Lernen in den Naturwissenschaften	15
3.1.2	Gemäßigter Konstruktivismus	16
3.1.3	Methoden des Wissenserwerbs: Begriffsklärung	18
3.1.4	Instruktionsansätze.....	20
3.1.5	Stand der Forschung zum Wissenserwerb in Schülerlaboren	24
3.2	Motivation und Interesse	27
3.2.1	Bedeutung von Motivation und Interesse	27
3.2.2	Lernmotivation	28
3.2.3	Extrinsische und intrinsische Motivation.....	30
3.2.4	Selbstbestimmungstheorie (Self-Determination Theory, SDT)	31
3.2.5	Bedeutung der Selbstbestimmungstheorie für schulische Kontexte	33
3.2.6	Interesse im Zusammenhang mit der Selbstbestimmungstheorie	35
3.2.7	Individuelles Interesse und situationales Interesse	36
3.2.8	Modelle zur weiteren Ausdifferenzierung von Interesse	38
3.2.9	<i>Flow</i> -Erleben	40
3.2.10	Stand der Forschung zu motivationalen Variablen in Schülerlaboren	43
3.3	Zusammenführung der Konstrukte als Basis der Entwicklung und Evaluation des Schülerlabors	48
4	Methoden	52
4.1	Forschungsrahmen	52
4.2	Quantitative Methoden	55
4.2.1	Gütekriterien	55
4.2.2	Statistische Testverfahren	57
4.2.3	Erfüllung der Voraussetzungen	59
4.2.4	Signifikanzprüfung	60
4.3	Qualitative Methoden	61

4.4	Untersuchungsdesign	64
5	Teilstudien Säule A: Entwicklung von Angeboten zur Breitenförderung	68
5.1	Erster Schritt: Entwicklung neuer Workshops.....	68
5.1.1	Einleitung und Ausgangssituation	68
5.1.2	Material.....	72
5.1.3	Methoden.....	85
5.1.4	Ergebnisse.....	92
5.1.5	Diskussion	108
5.2	Zweiter Schritt: Überarbeitung des Unterrichtsmaterials	116
5.2.1	Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund.....	116
5.2.2	Material.....	118
5.2.3	Methoden.....	119
5.2.4	Ergebnisse.....	121
5.2.5	Diskussion	122
5.3	Dritter Schritt: Einbindung in den Unterricht.....	123
5.3.1	Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund.....	123
5.3.2	Material.....	125
5.3.3	Methoden.....	126
5.3.4	Ergebnisse der Vorbereitung durch ein Schülerskript.....	129
5.3.5	Ergebnisse der Nachbereitung durch Arbeitsblätter	131
5.3.6	Diskussion	134
5.4	Vierter Schritt: Einsatz neuer Medien	137
5.4.1	Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund.....	137
5.4.2	Material.....	138
5.4.3	Methoden.....	139
5.4.4	Ergebnisse.....	142
5.4.5	Diskussion	147
5.5	Abschließende Analyse der Entwicklungen in Säule A	150
5.5.1	Einleitung.....	150
5.5.2	Material.....	152
5.5.3	Methoden.....	153
5.5.4	Ergebnisse.....	158
5.5.5	Diskussion	168
5.6	Zentrale Ergebnisse in Säule A.....	172
6	Teilstudien Säule B: Entwicklung von Angeboten für Studierende	175
6.1	Erster Schritt: Entwicklung eines Berufsfeldpraktikums mit Studierendentandems	175
6.1.1	Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund.....	175

6.1.2	Material.....	180
6.1.3	Methoden.....	181
6.1.4	Ergebnisse.....	186
6.1.5	Diskussion	193
6.2	Zweiter Schritt: Umsetzung des Berufsfeldpraktikums im Tandem mit dem <i>teutolab</i> -Team...	199
6.2.1	Einleitung.....	199
6.2.2	Material.....	199
6.2.3	Methoden.....	200
6.2.4	Ergebnisse.....	202
6.2.5	Diskussion	203
6.3	Zentrale Ergebnisse in Säule B.....	204
7	Teilstudien Säule C: Entwicklung von Angeboten für Begabtenförderung.....	207
7.1	Erster Schritt: Entwicklung der CeBiTec Schülerakademie.....	207
7.1.1	Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund.....	207
7.1.2	Material.....	211
7.1.3	Methoden.....	214
7.1.4	Ergebnisse.....	216
7.1.5	Diskussion	219
7.2	Zweiter Schritt: Entwicklung der <i>teutolab</i> -Akademie.....	222
7.2.1	Einleitung und theoretischer Hintergrund.....	222
7.2.2	Material.....	226
7.2.3	Methoden.....	229
7.2.4	Ergebnisse.....	230
7.2.5	Diskussion	232
7.3	Dritter Schritt: Entwicklung des Lab2Venture-Projektes.....	235
7.3.1	Einleitung und theoretischer Hintergrund.....	235
7.3.2	Material.....	239
7.3.3	Methoden.....	242
7.3.4	Ergebnisse.....	244
7.3.5	Diskussion	247
7.4	Vierter Schritt: Entwicklung des Erasmus-Projektes.....	250
7.4.1	Einleitung und theoretischer Hintergrund.....	250
7.4.2	Material.....	253
7.4.3	Methoden.....	256
7.4.4	Ergebnisse.....	258
7.4.5	Diskussion	262
7.5	Abschließende Analyse der Entwicklungen in Säule C.....	264

7.5.1	Einleitung.....	264
7.5.2	Methoden.....	265
7.5.3	Ergebnisse.....	269
7.5.4	Diskussion	274
7.6	Zentrale Ergebnisse in Säule C	280
8	Fazit und Ausblick.....	282
	Literaturverzeichnis	285
	Abbildungsverzeichnis.....	303
	Tabellenverzeichnis.....	309
	Erklärung	311
	Danksagung.....	312

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen, Institutionen, Länder

DBR	Design-Based Research
CeBiTec	Centrum für Biotechnologie
KMK	Kultusministerkonferenz
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik
MSJK	Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes NRW
MSW	Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW
NRW	Nordrhein-Westfalen

Statistische Werte/Symbole

η_p^2	partielles Eta-Quadrat
F	Kennwert der Varianzanalyse nach Fisher
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin-Wert
M	Mittelwert des Alters
N	Gesamtanzahl
n	Teil der Gesamtanzahl
p	Irrtumswahrscheinlichkeit (probability)
SD	Standardabweichung des Alters

Abkürzungen in Abbildungen

B	Barcoding
BK	Berufskolleg
E-P	Erasmus-Projekt
GK	Grundkurs
GS	Gesamtschule
Gymn	Gymnasium
L	Lambda
L2V-P	Lab2Venture-Projekt
LK	Leistungskurs
S-Aka	CeBiTec-Schülerakademie
T-Kurs	Tageskurse
t -Aka	<i>teutolab</i> -Akademie
T	Tierarten

Testinstrumente und Subskalen

EPÜ	Epistemologische Überzeugungen (Urhahne & Hopf, 2004)
Sub_EPÜ_Q	Subskala Quelle des Wissens
Sub_EPÜ_S	Subskala Sicherheit des Wissens
Sub_EPÜ_E	Subskala Entwicklung des Wissens
Sub_EPÜ_R	Subskala Rechtfertigung des Wissens
Ges_EPÜ	Gesamtskala EPÜ
FKS	<i>Flow</i> -Kurzskala (FKS, Rheinberg et al., 2003)
Sub_Flow_Abs	<i>Flow</i> -Subskala der Absorbiertheit
Sub_Flow_GAV	<i>Flow</i> -Subskala zum glatten, automatisierten Verlauf
Ges_Flow	Gesamtskala FKS
E_1_Vergleich	Einschätzung: Vergleich mit anderen Tätigkeiten
E_2_Anforderungen	Einschätzung: Anforderungen
E_3_Fähigkeiten	Einschätzung: Eigene Fähigkeiten
KIM	Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009)
Sub_KIM_Druck_inv	KIM Subskala ‚kein Druck/Spannung‘
Sub_KIM_Wahl	KIM Subskala ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘
Sub_KIM_Int,	KIM Subskala ‚Interesse/Vergnügen‘
Sub_KIM_Komp	KIM Subskala ‚wahrgenommene Kompetenz‘
Ges_KIM	Gesamtskala KIM
IMI	Intrinsic Motivation Inventory (IMI, Deci & Ryan, 2018a)
Sub_IMI_En	IMI Subskala ‚Enjoyment‘
Sub_IMI_Re	IMI Subskala Relatedness‘
Sub_IMI_Pr_inv	IMI Subskala ‚No pressure‘
Sub_IMI_Co	IMI Subskala ‚Competence‘
Sub_IMI_Ch	IMI Subskala ‚Choice‘
Sub_IMI_Va	IMI Subskala ‚Value‘
Sub_IMI_Ef	IMI Subskala ‚Effort‘
Ges_IMI	Gesamtskala IMI
LCQ	Learning Climate Questionnaire (Deci & Ryan, 2018)
PgK	Kurzskala zur Messung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale (Kurz-PgK, Basten et al., 2015)
Sub_PgK_Ak:	Kurz-PgK-Subskala ‚aktiv‘
Sub_PgK_Sg:	Kurz-PgK-Subskala ‚selbstgesteuert‘
Sub_PgK_Em:	Kurz-PgK-Subskala ‚emotional‘
Sub_PgK_Si:	Kurz-PgK-Subskala ‚situativ‘

Sub_PgK_So:	Kurz-PgK-Subskala ‚sozial‘
Sub_PgK_Ko:	Kurz-PgK-Subskala ‚konstruktiv‘
Ges_PgK:	Gesamtskala Kurz-PgK
SIS	Situational Interest Scale (Linnenbrink-Garcia et al., 2013)
Sub_Int_F	SIS <i>Maintained-Feeling</i> -Komponente
Sub_Int_V	SIS <i>Maintained-Value</i> -Komponente
Sub_Int_T	SIS ausgelöstes (<i>triggered</i>) Interesse
Ges_Sit_Int	Gesamtskala situationales Interesse
Ges_Int_I	individuelles Interesse
<i>teuto</i> -Akz	Skala des <i>teuto</i> lab-biotechnologie zur Akzeptanz
Sub_Akz_Aff	<i>teuto</i> -Akz Subskala ‚affektive Komponente‘
Sub_Akz_Eff	<i>teuto</i> -Akz Subskala ‚effektive Komponente‘
Sub_Akz_Qu	<i>teuto</i> -Akz Subskala ‚Qualitätskomponente‘
Ges_Akz	Gesamtskala Akzeptanz
<i>teuto</i> -FL	Skala des <i>teuto</i> lab-biotechnologie zum <i>Forschenden Lernen</i>
Sub_FL_Lernen	<i>teuto</i> -FL Subskala ‚Lernen‘
Sub_FL_Wiss	<i>teuto</i> -FL Subskala ‚wissenschaftliches Arbeiten‘
Sub_FL_Vplanung	<i>teuto</i> -FL Subskala ‚Versuchsplanung‘
Sub_FL_Vdurchf	<i>teuto</i> -FL Subskala ‚Durchführung und Auswertung‘
Ges_FL	Gesamtskala <i>Forschendes Lernen</i>
<i>teuto</i> -Know	Wissenstest des <i>teuto</i> lab-biotechnologie
Summe_WVor	Summe im Vortest
Summe_WNach	Summe im Nachtest
Summe_WFU	Summe im Follow-up-Test
Diff_WNachWVor	Wissenszuwachs von Vor- zu Nachtest
Diff_FU-WNach	Wissensabnahme von Follow-up-Test zur Nachtest
<i>teuto</i> -S-Komp	Skala des <i>teuto</i> lab-biotechnologie zu Schlüsselkompetenzen
Sub_Komp_Ziel	<i>teuto</i> -S-Komp Subskala ‚Zielorientierung‘
Sub_Komp_PL	<i>teuto</i> -S-Komp Subskala ‚Problemlösekompetenzen‘
Sub_Komp_Selbst	<i>teuto</i> -S-Komp Subskala ‚selbstständiges Arbeiten‘
Ges_Komp	Gesamtskala des <i>teuto</i> -S-Komp

1 Einleitung

Seit der Jahrtausendwende sind in Deutschland in allen Bundesländern Schülerlabore als außerschulische Lernorte gegründet worden. Ihre Zahl ist bis zum Jahr 2018 auf über 350 dieser Einrichtungen angestiegen (LernortLabor, 2018). Hier können Schüler¹ in den Bereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) selbstständig experimentieren (Haupt & Hempelmann, 2015). Sie entstanden zunächst mit der Zielsetzung, einem schon früh beobachteten Studierenden- und Fachkräftemangel entgegen zu wirken. Das sinkende Interesse sowie mangelnde Fähigkeiten in diesen Bereichen wurden zudem durch Schulleistungsuntersuchungen wie die TIMSS-Studie und die PISA-Studie aufgedeckt (Baumert, Bos & Lehmann, 2000; OECD, 2001). Es wurde deutlich, dass im deutschen Bildungssystem sowohl im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung (*Scientific Literacy*) als auch in der Förderung von MINT-Talenten Mängel bestehen. Gleichzeitig nimmt der Einfluss von Naturwissenschaft und Technik auf alle gesellschaftlichen Lebensbereiche dauerhaft zu und die Nachfrage nach Fachkräften in diesen Arbeitsbereichen steigt stetig (BDA, 2014; Nagl, Bargstädt, Hoffmann & Müller, 2009; Pfenning, Renn & Mack, 2002).

Die Auswirkungen von Schülerlaboren sowie mögliche Einflussfaktoren und Wirkmechanismen waren in den vergangenen Jahren in allen naturwissenschaftlichen Bereichen zentraler Gegenstand verschiedener Dissertationen. So konnte bereits nachgewiesen werden, dass Schülerlaborbesuche motivierend und interesselördernd wirken (Brandt, 2005; Damerau, 2012; Pawek, 2009). Eine optimale Förderung hängt von verschiedenen Faktoren wie der Konzeption der Experimente, der Einbindung in den Unterricht und der Häufigkeit der Besuche ab (Itzek-Greulich, 2014; Scharfenberg, 2005; Zehren, 2009). Die Untersuchungen beziehen sich bisher stets auf die Besuche ganzer Schulklassen. Nach der Kategorisierung von Haupt et al. (2013) sind sie den klassischen Schülerlaboren zuzuordnen. Sie greifen Inhalte aus dem Lehrplan auf und dienen einer Breitenförderung. An außerschulischen Lernorten werden jedoch auch besonders interessierte Jugendliche in ihrer Freizeit gefördert. So können

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit das generische Maskulinum verwendet (z. B. ‚Schüler‘, ‚Lehrer‘ etc. stellvertretend für ‚Schülerinnen und Schüler‘, ‚Lehrerinnen und Lehrer‘ etc.).

naturwissenschaftliche Talente ihren Begabungen nachgehen und ggf. einen Berufswunsch vertiefen. Settings, in denen Schüler längerfristig in Kleingruppen projektorientiert forschen und entwickeln können, werden den Schülerforschungszentren zugeordnet (Haupt et al., 2013). Best Practice-Beispiele und Forschungsergebnisse zu Enrichment-Angeboten in diesem Bereich sind noch rar. Zudem werden Schülerlabore an Universitäten häufig als Lerngelegenheit für Lehramtsstudierende und somit als Lehr-Lern-Labore (Haupt et al., 2013) geführt. Auch in diesen Bereichen liegen bisher kaum Arbeiten vor. In einem umfassenden Programm eines Schülerlabors sollten die genannten Aspekte ineinander greifen. Unter der zentralen Prämisse der MINT-Förderung finden die Breiten- und die Spitzenförderung sowie die Ausbildung des lehrenden Nachwuchses Berücksichtigung. Daher wird im Folgenden die Beforschung eines Konzeptes vorgestellt, nach dem exemplarisch das im Jahr 2011 an der Universität Bielefeld gegründete Schülerlabor *teutolab-biotechnologie* entwickelt wurde. In drei Entwicklungssäulen sollen Praktikumstage mit neuen Themen für die Breitenförderung geschaffen und optimiert werden (Säule A), die Ausbildung Lehramtsstudierender in das Schülerlabor eingebunden werden (Säule B) und Projekte für die Begabtenförderung geschaffen werden (Säule C). Alle Lerngelegenheiten orientieren sich dabei an den Prinzipien des *Forschenden Lernens* (Aepkers, 2002; Hofstein & Lunetta, 2004; Mayer & Ziemek, 2006).

Die Untersuchung erfolgt nach dem Design-Based-Research Ansatz. In diesem Forschungsrahmen wird das Ziel verfolgt, nachhaltig Bildungsinnovationen hervorzubringen. Das Design im Sinne der Gestaltung des Settings steht dabei im Vordergrund (Reinmann, 2005). Die Neuentwicklung geschieht theoriebasiert und wird umfassend dokumentiert und untersucht, um gut verstanden und verbreitet zu werden. Sie dient dem Verständnis über die Zusammenhänge zwischen Theorie und Praxis und führt zu neuen Lerntheorien (Design-Based Research Collective, 2003).

Den Zielsetzungen von Schülerlaboren entsprechend sind die Auswirkungen der Innovationen auf die Motivation, das Interesse und den Wissenserwerb der Schüler zentraler Gegenstand der Untersuchungen. Nach einer Beschreibung der Ausgangssituation zu Schülerlaboren im Allgemeinen und dem *teutolab-biotechnologie* im Speziellen werden die theoretischen Konstrukte erarbeitet. Im Bereich des Wissenserwerbs werden die Spezifika des Lernens in den

Naturwissenschaften dargelegt. Nach einer Einführung in das Lernen in den Naturwissenschaften und die Theorie des gemäßigten Konstruktivismus nach Gerstenmaier und Mandl (1995) werden Methoden und Instruktionsansätze des Wissenserwerbs vorgestellt. Zudem wird der Stand der Forschung in Schülerlaboren in diesem Bereich analysiert. In den theoretischen Hintergründen zu Motivation und Interesse werden diese zentralen Konstrukte und deren Zusammenhang unter Bezug zur Selbstbestimmungstheorie nach Deci und Ryan (1993) geklärt. Basierend auf der Person-Gegenstands-Theorie des Interesses nach Krapp (2004) werden Modelle zur weiteren Ausdifferenzierung von Interesse vorgestellt (Hidi & Renninger, 2006; Linnenbrink-Garcia et al., 2010; Mitchell, 1993). Zudem wird *Flow*-Erleben nach Csikszentmihalyi (1985) in die motivationalen Variablen eingeordnet. Unter Bezug zu den vorgestellten Konstrukten wird auch hier zum Abschluss des Kapitels der Stand der Forschung zu Motivation und Interesse in Schülerlaboren kommentiert.

Nachdem der Forschungsrahmen und die umgesetzte Methodik der empirischen Auswertung erläutert wurden, werden die einzelnen Schritte der Neuentwicklungen in den verschiedenen Säulen dargelegt und analysiert. Sie sind jeweils in eine Einleitung mit spezifischem theoretischem Hintergrund, einen speziellen Material- und Methodenteil, einen Ergebnisteil und einen Diskussionsteil untergliedert. Der Materialteil beinhaltet die fachliche und didaktische Darstellung der Unterrichtsentwicklungen. Sie dienen nicht als Mittel zum Zweck der Untersuchungen, sondern sollen bereits einen eigenständigen Beitrag zu innovativen Lernkontexten leisten. Die zentralen Ergebnisse in den drei Entwicklungssäulen werden jeweils am Ende jeder Säule zusammengefasst. Die Arbeit schließt mit einem Fazit und Ausblick ab.

2 Ausgangssituation

2.1 Außerschulische Lernorte

Außerschulische Lernorte können in allen Fachdisziplinen Erfahrungen bieten, die in der Schule nicht möglich sind. Sie haben das Potenzial, eine Brücke zwischen dem Lernen innerhalb und außerhalb der Schule zu schlagen, um das Verständnis für die Naturwissenschaften in der Schule sowie auch im späteren Leben zu verbessern (Rennie, 2014). Schülern wird hier die Möglichkeit zur Begegnung mit Phänomenen im Originalkontext geboten (Favre & Metzger, 2010). Die Authentizität dieser Primärbegegnungen motiviert (Thomas, 2009) und regt zum Lernen durch aktive Konstruktion in einem problemorientierten Kontext an (Favre & Metzger, 2010). Dies trifft auch für die Spezifika der *Out-of-school Science* speziell im Biologieunterricht zu. Die Möglichkeit der Nutzung vielfältigster außerschulischer Lernorte hat hier zudem zur Etablierung spezieller Richtungen der Biologiedidaktik wie der Zoo-, Museums-, Schulgarten- und Freilandpädagogik etc. geführt (Lehnert & Köhler, 2012). In einschlägigen Werken der Biologiedidaktik (Berck & Graf, 2018; Killermann, Hierung & Starosta, 2016; Spörhase-Eichmann, 2012) liegt der Fokus insofern auf der Naturbegegnung. Schülerlabore werden jedoch auch genannt: Hier sind Kontakt mit der naturwissenschaftlichen Forschung, eigenständiges Durchführen von Experimenten sowie eine Auseinandersetzung mit der modernen Biotechnologie möglich (Killermann et al., 2016).

Der Besuch eines außerschulischen Lernortes kann zum Einstieg in ein Unterrichtsvorhaben als erste Orientierung dienen, zum Abschluss als zusammenfassende Wiederholung oder innerhalb einer Unterrichtseinheit umgesetzt werden (Berck & Graf, 2018). Im letztgenannten Fall wird die Exkursion durch eine Vororientierung und die Schaffung von Wissensgrundlagen vorbereitet und durch eine umfassende Auswertung und Vertiefung nachbereitet (Berck & Graf, 2018; Favre & Metzger, 2010). Eine Einbindung in den Unterricht wird als wichtige Gelingensbedingung für die Erreichung der Ziele einer Exkursion angesehen (Berck & Graf, 2018; Favre & Metzger, 2010; Lehnert & Köhler, 2012; Tobin, 1990). Diese können den in der Naturwissenschaftsdidaktik gültigen vier Kompetenzbereichen zugeordnet werden: Im Bereich Fachwissen sollen naturwissenschaftliche Phänomene und Prinzipien durch die Anschaulichkeit realer Begegnungen

erschlossen werden. Beobachten und Vergleichen sowie die Nutzung experimenteller Untersuchungsmethoden dienen der Erkenntnisgewinnung. Die Gewinnung von Informationen oder Daten, die Auswertung und Verarbeitung sowie die Ergebnisdarstellung decken den Bereich Kommunikation ab. Schließlich werden dem Kompetenzbereich Bewertung entsprechend Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkannt und bewertet (Favre & Metzger, 2010).

2.2 Konzepte von Schülerlaboren

Sinnvoll in das Curriculum eingebundene Praxiserfahrungen sind essentiell für die Erreichung der Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Arzi, 2003). Authentische Lerngelegenheiten sollen das Interesse an den Naturwissenschaften steigern (Edelson, Gordin & Pea, 1999).

So sind im angloamerikanischen Sprachraum *Science Laboratories* in der *Science Education* historisch fest verankert (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). In diesem Sprachgebrauch sind Labore in der Schule gemeint, wobei die konkrete Ausgestaltung sehr unterschiedlich sein kann (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). Praktisches Arbeiten im Labor soll helfen, naturwissenschaftliche Konzepte und Anwendungen zu verstehen, naturwissenschaftlich-praktische Fertigkeiten, Problemlösekompetenzen und naturwissenschaftliches Denken zu erlangen sowie Interesse und Motivation zu entwickeln (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007).

In Deutschland hat dagegen das Experimentieren an außerschulischen Lernorten inzwischen eine gewisse Tradition: Bereits in den 1980er und 1990er Jahren wurden die ersten Schülerlabore gegründet. Seit dem Jahr 2000 ist eine exponentielle Zunahme zu verzeichnen (Haupt & Hempelmann, 2015). Dies mag auch durch den „PISA-Schock“ bedingt sein, ist jedoch nicht explizit auf Vorgaben aus der Bildungspolitik zurückzuführen. Als Hauptursache ist der grundsätzlich hohe Stellenwert von Natur- und Ingenieurwissenschaften in unserer Industrienation zu nennen: Innovationen geschehen auf fachlich hohem Niveau. So haben sich in jüngster Zeit völlig neue Technologien wie die Biotechnologie und die Nanotechnologie entwickelt (Dähnhardt, Haupt & Pawek, 2009). Wissenschaft, Technologie und Wirtschaft befanden sich um die Jahrtausendwende in einer Phase des Umbruchs, der sich sowohl auf das Berufs- als auch auf das Alltagsleben

auswirkt (Euler, 2001). Die Teilhabe am Arbeitsmarkt sowie an unserer Gesellschaft setzt ein Mindestmaß an naturwissenschaftlichem Verständnis voraus (Euler, 2001). Das gesellschaftlich erforderliche hohe Bildungsniveau in den MINT-Bereichen stellt hohe Anforderungen an den schulischen Unterricht und somit auch an die Lehrerbildung und an die Lehrplanentwicklung. Für das Verständnis der komplexen Wissensfülle muss Fachliches mit Überfachlichem verbunden werden. Diese Kompetenzen können durch authentische und stimulierende Kontakte mit Wissenschaft und Technik sowie durch praktische Lernerfahrung unterstützt werden (Euler, 2001). So entstanden durch individuelles Engagement einzelner Akteure als Bottom-up-Bewegung außerschulische Lernorte an Universitäten, Forschungszentren, Museen, Industrieunternehmen, etc. (Haupt et al., 2013).

Ringelband, Prenzel & Euler erstellten bereits im Jahr 2001 eine erste Übersicht über die Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung unter dem Begriff *Lernort Labor*. Hier werden knapp 30 Institutionen vorgestellt, welche die Förderung des Interesses von Schülern an den naturwissenschaftlich-technischen Fächern zum Ziel haben. Als Motive werden die Nachwuchsförderung sowie die Wissenschaftskommunikation genannt (Ringelband, Prenzel & Euler, 2001). Den Schülern wird hier experimentelles Arbeiten zu authentischen Fragestellungen ermöglicht (Ringelband et al., 2001). Es war ihnen das eigenständige Experimentieren („hands on“) und die Anwendung moderner Methoden gemeinsam, die Konzepte waren jedoch sehr unterschiedlich (Haupt & Hempelmann, 2015).

Um für Nutzer, die Bildungsadministration und potentielle Geldgeber ein klares Bild zu schaffen, wurde eine Erfassung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede notwendig (Haupt & Hempelmann, 2015). Bereits im Jahr 2009 wurden die Angebote durch Dähnhardt et al. gebündelt. Sie identifizierten folgende gemeinsame Ziele von Schülerlaboren:

- „Förderung von Interesse und Aufgeschlossenheit von Kindern und Jugendlichen für Naturwissenschaften und Technik
 - Vermittlung eines zeitgemäßen Bildes dieser Fächer und ihrer Bedeutung für unsere Gesellschaft und deren Entwicklung
 - Ermöglichen von Einblicken in Tätigkeitsfelder und Berufsbilder im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich“
- (Dähnhardt et al., 2009)

Es erfolgt eine Typisierung der Schülerlabore nach der angegliederten Organisation, welche sich wie folgt aufteilte: Demnach waren 46 % der Labore den Hochschulen, 18 % den Forschungszentren, 8 % den Science Centern und Museen, 7 % den Technologie- und Gründerzentren, 6 % der Industrie und 15 % sonstigen Einrichtungen zuzuordnen (Dähnhardt et al., 2009).

Das gemeinsame Leitbild ist das Wecken und Fördern von Interesse an und Verständnis für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Dies ist zwar vorwiegend die gesellschaftliche Aufgabe von Schulen, aber Schülerlabore unterstützen diese darin (Haupt et al., 2013). Sie stoßen komplementär zum formalen System vorwiegend informelle Bildungsprozesse an (Euler, 2010) und können bei dauerhaftem Betrieb eine verlässliche Säule im Bildungssystem werden (Engeln & Euler, 2004).

Zu diesem Zweck erfüllen sie gemeinsame Primärkriterien: Die Kinder und Jugendlichen experimentieren selbstständig in einem adäquat ausgestatteten Labor. Der Lernort ist auf Dauer angelegt, mindestens 20 Tage im Jahr geöffnet und befindet sich meist außerhalb der Schule (Haupt et al., 2013). Zudem können Schülerlabore verschiedene Sekundärziele verfolgen. So beschrieben Haupt et al. erstmals 2013 sechs Schülerlaborkategorien, die eine Erfassung und Übersicht erleichtern. Im Schülerlabor-Atlas wurden im Jahr 2015 diese Kategorien aufgegriffen und es wurde eine Übersicht über die Schülerlabore in Deutschland unter Zuordnung zu den Kategorien erstellt (Haupt & Hempelmann, 2015). Eine Übersicht über die Zielsetzungen ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Übersicht über die Zielsetzungen von Schülerlaboren nach Haupt et al. (2013)

Kategorie	Ziel	Spezifika
Klassisches Schülerlabor (K)	Breitenförderung	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Exkursion ganzer Klassen/Kurse im Rahmen schulischer Veranstaltungen ➤ Meist eintägige, einmalig Besuche. Mehrfachbesuche erstrebenswert ➤ Ergänzung des Schulunterrichts ➤ Experimente mit Lehrplanbezug
Schülerforschungszentrum (F)	Begabtenförderung	<ul style="list-style-type: none"> ➤ MINT-interessierte Jugendliche experimentieren in ihrer Freizeit ➤ Durchführung eigener kleiner Forschungsprojekte ➤ Längerfristige Projekte ➤ Experimente unabhängig vom Lehrplan ➤ Begleitung durch Experten, keine didaktisch ausgearbeitete Betreuung ➤ Austausch mit Wissenschaftlern
Lehr-Lern-Labor	Ausbildung von Lehramts-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Studierende experimentieren im Rahmen ihrer universitären Ausbildung gemeinsam mit Schülern

(L)	studierenden	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Entwicklung didaktischer Kompetenzen ➤ Vertiefung fachspezifischer Inhalte ➤ Entwicklung neuer Experimente oder Übung durch vorhandene Experimente ➤ Experimente mit Lehrplanbezug
Wissenschaftskommunikation (W)	Einblicke in wissenschaftliche Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vorzugsweise an großen Forschungszentren ➤ Exkursion ganzer Klassen/Kurse im Rahmen einer schulischer Veranstaltungen ➤ Hands-on-Versuche zu Themen der Forschungsgruppen ➤ Kein Lehrplanbezug
Schülerlabor mit Bezug zum Unternehmertum (U)	Einblicke in unternehmerisches Denken und Handeln	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kennenlernen von Betriebsprozessen und betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen ➤ Ganze Schulklassen oder kleine Gruppen besonders interessierter Jugendlicher ➤ Schüler gestalten selbst unternehmerisch ihre Aufgaben, Durchführung von Auftragsarbeiten
Schülerlabor mit Berufsorientierung (B)	Gezieltes Kennenlernen von MINT-Berufen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Besonders deutliche Ausschärfung des Aspekts der Berufsorientierung ➤ Zusammenarbeit von Schülerlaboren mit externen Unternehmenspartnern oder der Wissenschaft ➤ Praxisbezogene Module an authentischen Orten der beruflichen Realität

Häufig sprechen Schülerlabore verschiedene Zielgruppen an und verfolgen insofern parallel mehrere Sekundärziele. Schülerlabore sind daher nicht immer singulär einer Kategorie zuzuordnen. Ein umfassendes Programmangebot kann z. B. morgens ganze Schulklassen und am Nachmittag einzelne interessierte Schüler ansprechen (Haupt et al., 2013). So kann eine Balance von Breiten- und Spitzenförderung angestrebt werden (Engeln & Euler, 2004).

Der Fachbereich Biologie hat mit 24 %, dicht gefolgt von der der Physik (22 %) und der Chemie (20 %), den größten Anteil an der Zahl der Schülerlabore. Die übrigen Fachrichtungen sowie ausgewiesene MINT-Labore machen den verbleibenden Anteil von 34 % aus (Haupt, 2015).

2.3 Forschung zu Schülerlaboren und Forschungsfragen

Forschungsergebnisse belegen nicht einheitlich die generelle Wirksamkeit praktischer Laborarbeit für das Unterrichten der Naturwissenschaften. Für den angloamerikanischen Sprachraum fordern Hofstein und Mamlok-Naaman (2007) zunächst eine klare Kategorisierung, um die Rolle des Experimentierens differenziert erforschen zu können. Es mangelt noch an eindeutigen wissenschaftlichen Belegen

über die Zusammenhänge von Lernen und Laborerfahrung (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007). Im Vergleich wird hier für Deutschland die große Bedeutung der Kategorisierung durch Haupt et. al. im Jahr 2013 deutlich, denn sie stellt eine Basis für eine differenzierte Betrachtungsweise dar. Forschungsarbeiten zur Wirksamkeit von Schülerlaboren wurden jedoch überwiegend vor dieser Kategorisierung durchgeführt: Es liegen im deutschen Sprachraum sechs Dissertationen im Fachbereich Physik (Elsholz, 2018; Engeln, 2004; Fried, Elsholz & Trefzger, 2015; Guderian, 2006; Pawek, 2009; Streller, 2016; Treisch, 2018) vier Dissertationen in Chemie (Brandt, 2005; Huwer, 2015; Itzek-Greulich, 2014; Zehren, 2009) und fünf Dissertationen in Biologie (Buse, 2017; Damerau, 2012; Glowinski, 2007; Rodenhauser, 2016; Scharfenberg, 2005) sowie zwei fächerübergreifende Untersuchungen (Plasa, 2013; Weßnigk, 2013) vor. Eine Übersicht über die Autoren, Fachbereiche und die zentralen Fragestellungen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Dissertationen im Bereich der Schülerlaborforschung: Übersicht über Autoren, Fachbereiche und zentrale Fragestellungen

Autor	Jahr	Fachbereich	Schülerlabor	Zentraler Untersuchungsgegenstand
Engeln	2004	Physik	DLR_School-Lab, Quantensprung, teutolab	Einfluss von Schülermerkmalen und Labormerkmalen auf das Interesse
Brandt	2005	Chemie	teutolab-chemie	Einfluss von Mehrfachbesuchen auf Fähigkeitsselbstkonzept, Sachinteresse und emotional-affektive Aspekte
Scharfenberg	2005	Biologie	Demonstrationslabor Bio/Gentechnik der Uni Bayreuth	Vergleich der Gruppen „Schülerlabor mit Experimenten“, „Schülerlabor ohne Experimente“ und „Nur Schule“ in Bezug auf Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse
Guderian	2007	Physik	UniLab Berlin	Einfluss von Mehrfachbesuchen auf das Interesse
Glowinski	2007	Biologie	Biotechnologie zum Anfassen, Lübecker Labor	Einfluss von Schülermerkmalen und Labormerkmalen auf das Interesse
Pawek	2009	Physik	DLR_School-Labs	Einfluss von Schülermerkmalen und Labormerkmalen auf das aktuelle Interesse, Sachinteresse und Fähigkeitsselbstkonzept
Zehren	2009	Chemie	NanoBiolab	Einfluss der mehrjährigen Verzahnung von Schülerlabor und Schule auf Motivation, Interesse und naturwissenschaftliches Grundverständnis
Damerau	2012	Biologie	Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie (BellBio)	Einfluss von Schülermerkmalen und Labormerkmalen auf Wissenserwerb und Fähigkeitsselbstkonzept. Erfassung der experiment-bezogenen Selbstwirksamkeitserwartung

2.3 Forschung zu Schülerlaboren und Forschungsfragen

Weßnigk	2013	Chemie/ Physik	Baylab plastics	Einfluss von Schülermerkmalen und Labormerkmalen auf Fähigkeitsselbstkonzept, Berufsorientierung und das Image von Physik und Chemie
Plasa	2013	Physik, Chemie & Biologie	7 verschiedene Schülerlabore	Wahrnehmung der Experimentierumgebung in Schülerlaboren und Schülerforschungszentren
Itzek- Greulich	2014	Chemie	experimenta Heilbronn	Vergleich der Gruppen „Nur Schülerlabor“, „Schülerlabor & Schule“ und „Nur Schule“ mit einer Kontrollgruppe ohne Unterrichtseinheit in Bezug auf Lernleistung, Leistungsmotivation und Interesse
Huwer	2015	Chemie	Labor-on-Tour der Universität des Saarlandes	Auswirkung forschenden Experimentierens im Kontext naturwissenschaftlich-technischer Umweltbildung auf die aktuelle Motivation und den Wissenserwerb
Streller	2016	Physik	DeltaX-Labor	Auswirkung der Vor- und Nachbereitung eines Laborbesuches durch ein Online-Portal auf das aktuelle Interesse und Fähigkeitsselbstkonzept
Roden- hauser	2016	Biologie	Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie (BellBio)	Einfluss von bilingualen Schülerlaborkursen auf den Wissenserwerb und affektive Faktoren
Buse	2017	Biologie	Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie (BellBio)	Kognitive und affektive Wirksamkeit bilingualer englischer experimenteller Lehr- Lernarrangements
Treich	2018	Physik	MIND-Center der Universität Würzburg	Einfluss eines Lehr-Lernlabor-Seminars auf die professionelle Unterrichtswahrnehmung der Studierenden
Elsholz	2018	Physik	MIND-Center der Universität Würzburg	Einfluss eines Lehr-Lernlabor-Seminars auf das akademische Selbstkonzept der Studierenden

Entsprechend der Zielsetzung von Schülerlaboren stehen als abhängige Variablen motivationale Faktoren sowie der Wissenserwerb im Fokus. Zudem wurde der mögliche Einfluss auf die Berufsorientierung im industrienahen Schülerlabor Baylab plastics deutlich ausdifferenziert sowie durch Brandt (2005) untersucht. Die Dissertationen zeigten übereinstimmend, dass Schülerlaborbesuche zu einer Steigerung des Fähigkeitsselbstkonzeptes, des Interesses sowie des Wissens führen. Von einmaligen Besuchen kann nicht erwartet werden, dass sie diese Variablen auch langfristig steigern. Auch Mehrfachbesuche wirken nicht zwangsläufig länger nach (Brandt, 2005; Guderian, 2006). Sie können jedoch zu elaborierterem wissenschaftlichem Denken führen (Zehren, 2009). Die positive Auswirkung verschiedener Konzepte zur Einbindung in den Unterricht scheint unstrittig

(Glowinski, 2007; Itzek-Greulich, 2014; Zehren, 2009). In allen Disziplinen konnte gezeigt werden, dass Schülerlabore die *Gender Gap* in den Naturwissenschaften reduzieren können (Brandt, 2005; Damerau, 2012; Pawek, 2009).

Aufgrund der heterogenen theoretischen Verankerung erfolgt die detaillierte Darstellung der Forschungsergebnisse zum Wissenserwerb und zu motivationalen Variablen zum Abschluss der Theoriekapitel dieser Konstrukte.

Untersuchungsgegenstand der bisherigen Dissertationen waren überwiegend klassische Schülerlabore. Nur eine Dissertation beschäftigte sich mit einem Schülerlabor mit Bezug zum Unternehmertum (Weßnigk, 2013). Schülerforschungszentren wurden ebenfalls erst einmal unter Fokussierung der Wahrnehmung der Experimentierumgebung betrachtet (Plasa, 2013). Dissertationen zu Lehr-Lern-Laboren wurden erst in jüngster Zeit abgeschlossen. Es wurden Zusammenhänge von Laborvariablen mit den Zielvariablen Wissenserwerb und Interesse aufgezeigt, eine Optimierung durch innovative Gestaltungen der Programme wurde nicht untersucht.

Daher soll in der vorliegenden Arbeit die theoriegeleitete Entwicklung und Evaluation von Lernangeboten im Schülerlabor dargestellt werden, um folgende Fragestellungen zu klären:

- Wie kann ein Angebot aus verschiedenen Experimentiereinheiten entwickelt werden, das gleichermaßen den Wissenserwerb, das Interesse und die Motivation fördert?
- Wie können diese Experimentiereinheiten optimiert werden?
- Wie können Projekte entwickelt werden, die besonders interessierte Schüler fördern?
- Wie kann ein Lehr-Lern-Labor entwickelt werden?

So ergibt sich folgende Übersicht über die Entwicklungssäulen und die relevanten Zielvariablen (siehe Abb. 1):



Abb. 1: Konzeption der exemplarischen Entwicklung des Schülerlabors *teutolab-biotechnologie* sowie Darstellung der untersuchten Konstrukte

Die Umsetzung dieser Studie geschieht im Schülerlabor *teutolab-biotechnologie*, das im Folgenden vorgestellt wird.

2.4 Das Schülerlabor *teutolab-biotechnologie*

Das Schülerlabor *teutolab-biotechnologie* gehört dem regionalen Netzwerk der *teutolabs* der Universität Bielefeld an und ist im Centrum für Biotechnologie (CeBiTec) angesiedelt. Durch die Anbindung an dieses renommierte Forschungsinstitut können Einblicke in das zukunftsweisende Wissenschaftsfeld der Biotechnologie Schülern, aber auch Studierenden, Referendaren und Lehrkräften besonders forschungsnah gegeben werden. Die Biotechnologie ist definiert als „die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen“ (OECD, 2005). Sie ist ein interdisziplinärer Forschungs- und Industriezweig, in den Erkenntnisse aus der Molekularbiologie, Chemie, Physik und Technik einfließen. Aufgrund des

fächerübergreifenden Charakters mit ingenieurwissenschaftlicher Ausrichtung ist die Biotechnologie für eine breite MINT-Förderung gut geeignet. Als innovatives Zukunftsfeld verfügt sie über ein hohes Potential an Berufsmöglichkeiten. Die Molekularbiologie und die Biochemie sind Schlüsselgebiete der Biotechnologie. Im Kernlehrplan Biologie für die Sekundarstufe II wird z. B. in Nordrhein-Westfalen (NRW) (MSW NRW, 2014) diesen Themen eine hohe Bedeutung zugeschrieben: In vielen Inhaltsfeldern finden sich verschiedene Aspekte dieser Bereiche wieder und das Inhaltsfeld Genetik umfasst ein Viertel des Biologieunterrichtes der Qualifikationsphase. Molekulargenetik und Gentechnik werden als hoch abstrakt angesehen und sollten daher durch Experimente veranschaulicht werden (Killermann et al., 2016). Die praktische Durchführung wiederum ist sehr aufwändig und in der Schule kaum durchführbar (Euler, 2010; Killermann et al., 2016). Auch die Aktualisierung der rasch fortschreitenden neuesten Erkenntnisse gestaltet sich für Lehrkräfte im Schulunterricht als sehr anspruchsvoll, ist aber aufgrund gesellschaftlicher Kontroversen insbesondere im Bereich Gentechnik von hoher Relevanz (Euler, 2010).

Ein zentrales Anliegen des *teutolab-biotechnologie* ist daher die Förderung dieses wichtigen Bereiches. Dadurch soll zum einen eine fachliche Unterstützung für die Schulen geboten werden, zum anderen durch das Erleben eines authentischen Forschungslabores die Motivation zum Lernen und das Interesse an den Naturwissenschaften geweckt bzw. vertieft werden. Dies dient, wie vom Lehrplan gefordert, einer wissenschaftspropädeutisch orientierten Grundbildung und auch der Studierfähigkeit sowie der Berufsorientierung.

Bei seiner Gründung im Jahr 2011 wurde dem *teutolab-biotechnologie* im CeBiTec ein Praktikumsraum und ein Vorbereitungsraum zur Verfügung gestellt. Die räumliche und apparative Grundausstattung wurden durch das Netzwerk Zukunft durch Innovation (zdi) gefördert. Diese Gemeinschaftsinitiative des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung und der Bundesagentur für Arbeit fördert den naturwissenschaftlich-technischen Nachwuchs in NRW (Haupt & Hempelmann, 2015). Außer der Neugründung von Schülerlaboren unterstützt zdi die Durchführung von Berufs- und Studienorientierungsmaßnahmen in Schülerlaboren, Schulen, Hochschulen und anderen Bildungsträgern. Da die Schüler im *teutolab-*

biotechnologie die Laborausstattung und das biotechnologische, fächerübergreifende MINT-Berufsfeld kennenlernen, unterstützt zdi die Durchführung der Workshops.

Die Entwicklung und Optimierung der Angebote des *teutolab-biotechnologie* für verschiedene Zielgruppen und somit der Aufbau eines klassischen Schülerlabors unter Ergänzung eines Schülerforschungszentrums und Lehr-Lern-Labors soll zur Klärung der in Kapitel 2.3 dargestellten Forschungsfragen dienen.

3 Theoretischer Rahmen

3.1 Wissenserwerb

3.1.1 Lernen in den Naturwissenschaften

Da unsere Gesellschaft naturwissenschaftlich gebildete Bürger benötigt, ist *Scientific Literacy* Bildungsziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Gräber & Nentwig, 2002). Sie ist definiert als „...die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, adäquate Fragen zu stellen und auf Basis von Belegen zu urteilen. Dies ist notwendig, um die natürliche Welt und die durch Menschen vorgenommenen Änderungen zu verstehen“ (Deutsches PISA-Konsortium, 2000). Schülerlabore haben ebenso zum Ziel, zur naturwissenschaftlichen Grundbildung beizutragen (Haupt & Hempelmann, 2015). Sie ergänzen das Bildungssystem, indem sie durch ihre Handlungsorientierung in besonderem Maße eine aktive Wissenskonstruktion durch die Lernenden ermöglichen (Euler, 2009a).

Wissenserwerb wird als Aufbau und fortlaufende Modifikation von Wissensrepräsentationen definiert (Steiner, 2006). Verschiedene Theorien zum Wissenserwerb (z. B. *Situated Cognition* (Brown, Collin & Duguid, 1989), *Embodied Cognition* (Anderson, 2003), *Grounded Cognition* (Barsalou, 2008)) betonen die besondere Rolle konkreter Erfahrungen und Handlungsmuster für die Repräsentation von Wirklichkeit (Euler, 2009a). Diese sind beim Experimentieren in Laboren gut möglich, denn hier werden Lernerfahrungen gemacht, in denen die Schüler mit Materialien und/oder Modellen interagieren, um die Lebenswelt zu beobachten und zu verstehen (Hofstein & Lunetta, 2004). Die Verbindung von prozeduralem Lernen mit inhaltlichem Wissen beim *Forschenden Lernen (Inquiry Learning)* ermöglicht ein tieferes Verständnis der Lerngegenstände (Edelson, 2001). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung (*Scientific Inquiry*) verbindet die Anwendung wissenschaftlicher Denkprozesse mit einem vertieften Naturwissenschaftsverständnis (Lee & Butler, 2003). Die authentischen Aktivitäten führen zu situiertem Wissen, das aus dem Produkt der Aktivität, dem Kontext sowie der Kultur besteht, in der es sich entwickelte (Hofstein & Lunetta, 2004). So nimmt bei schulischen Labortätigkeiten das spezifische Umfeld „Schule“ immer auch einen Einfluss. Experimente im Schülerlabor dagegen sind losgelöst aus der Schulkultur (Brown et al., 1989).

Laboraktivitäten bieten Möglichkeiten für konzeptuelle Konflikte und können so einen *Conceptual Change* bewirken (Nussbaum & Novick, 1982). Schüler verfügen über Vorwissen und Überzeugungen und somit teilweise bereits tief verwurzelte Konzepte (Duit & Treagust, 2003b). *Conceptual Change* beschreibt den Prozess der Entwicklung von Schülervorstellungen zu elaborierteren naturwissenschaftlichen Konzepten. Dieser Konzeptwechsel kann sich als schwache Wissensneugliederung im Sinne einer Assimilation vollziehen oder auch als radikale Neugliederung im Sinne einer Akkomodation. *Conceptual Change* wird durch das Zusammenspiel verschiedener Bedingungen gefördert: Zum einen durch die Unzufriedenheit mit den aktuellen Konzepten, zum anderen durch neue Konzeptionen, die klar verständlich, initial plausibel und ertragreich sind (Duit & Treagust, 2003b). Zur Erreichung dieses Konzeptwechsels ist es notwendig, die passenden unterstützenden Bedingungen inklusive Motivation, Interesse und Überzeugungen der Schüler und der Lehrkräfte sowie das passende Lernklima zu schaffen (Duit & Treagust, 2003b).

Experimentelle Lernumgebungen ermöglichen nicht per se diese Ziele. Es müssen Konzeptionen geboten werden, in denen Ausstattung und Material so veränderbar sind, dass eine selbstständige Konstruktion des Wissens und somit bedeutungsvolles Lernen möglich ist (Tobin, 1990). Daher wird im folgenden Kapitel zunächst der theoretische Rahmen zur selbstständigen Wissenskonstruktion näher erläutert.

3.1.2 Gemäßigter Konstruktivismus

Wie in Kapitel 3.1.1 dargestellt, vollzieht sich Wissenszuwachs durch einen *Conceptual Change* der bereits vorhandenen Vorstellungen. Nach der Erkenntnistheorie des Konstruktivismus wird Wissen aktiv vom Lerner konstruiert (Gerstenmaier & Mandl, 1995). Dafür müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein: Ergänzend zu Motivation und Interesse (siehe Kap. 3.2) des Lerners müssen Lerngelegenheiten angeboten werden, die eine enge Verbindung von Wissenserwerb und Wissensanwendung ermöglichen (Gerstenmaier & Mandl, 1995). So soll aktives und selbstreguliertes Lernen in authentischen Kontexten gefördert werden, da die Lerner hier eine Konstruktion der Wirklichkeit in einem bedeutsamen Umfeld umsetzen können (Zimmerman, 1990). Hier wird der hohe Wert außerschulischer Lernorte deutlich, denn sie können Lernen in originalen Settings ermöglichen.

Dieses situierte Lernen kann in verschiedenen Modellen umgesetzt werden: Das *Konzept der Guided Participation* nach Rogoff (1991) betont die hohe Bedeutung des Einflusses der sozialen Umgebung. Eine Unterstützung durch respektierte Sozialpartner wirkt sich besonders erfolgreich auf das Lernen aus. Der *Community-of-Practice-Ansatz* nach Lave (1991) fokussiert die Nähe zur Gemeinschaft praktisch tätiger Menschen in den zu erlernenden Bereichen. Das *Konzept der Situiertheit* von Greeno (1989) verweist auf die spezifische Handlungsbedingung der neuen Situation, um Inhalte übertragen zu können oder nicht. Der *Situated-Cognition-Ansatz* von Resnick (1989) betont den großen Einfluss der Diskrepanz zwischen dem innerschulischen und außerschulischen sozialen Umfeld.

Die dargestellten Konzepte knüpfen an die im vorangegangenen Kapitel dargestellten Spezifika des Wissenserwerbs in den Naturwissenschaften an und schließen sich in keiner Weise gegenseitig aus. Sie können vielmehr als Anregungen zur Optimierung von Lernumgebungen dienen. Folgende Grundüberlegungen können dafür nach Reinmann und Mandl (2006) zusammengetragen werden:

- Lernen ist ein aktiver Prozess: Wissen kann nur aktiv von Lernenden konstruiert werden. Dies ist nur bei innerer Bereitschaft und somit einem Mindestmaß an Motivation und situativem Interesse möglich.
- Lernen ist ein selbstgesteuerter Prozess: Da Lernen Aktivität voraussetzt, ist es ohne eine gewisse Verantwortlichkeit für Steuerungs- und Kontrollprozesse nicht denkbar.
- Lernen ist ein konstruktiver Prozess: Lernende bauen auf bereits vorhandenen Kenntnissen und Erfahrungen auf und konstruieren so neue Repräsentationen ihrer Lebenswelt.
- Lernen ist ein emotionaler Prozess: Sowohl leistungsbezogene als auch soziale Emotionen der Lernenden haben einen Einfluss, da aktives Lernen nur bei innerer Bereitschaft möglich ist.
- Lernen ist ein situativer Prozess: Lernende konstruieren ihr Wissen stets in Kontexten. Diese liefern einen spezifischen Interpretationshintergrund, der das Lernen sowohl erst ermöglicht als auch eingrenzt.
- Lernen ist ein sozialer Prozess: Lernende konstruieren ihr Wissen unter spezifischen soziokulturellen Einflüssen und in interaktiven Prozessen mit Lehrenden und anderen Lernenden.

Im naturwissenschaftlichen Bereich wird wissenschaftliches Arbeiten zur Ermöglichung aktiv konstruierten Wissens vorgeschlagen. Hier werden häufig mehr oder minder synonym die Begriffe *Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung*, *Forschendes Lernen* und *Experimentieren* verwendet. Die Begrifflichkeiten sollen daher im folgenden Kapitel definiert werden.

3.1.3 Methoden des Wissenserwerbs: Begriffsklärung

3.1.3.1 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung

Im angloamerikanischen Sprachraum betonen verschiedene Autoren den hohen Stellenwert von *Forschendem Lernen (Inquiry Learning)* (Edelson et al., 1999) und Laborarbeit (*Laboratory Work*) (Sunal, Sunal, Sundberg & Wright, 2008) für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Das Durchführen von Experimenten (*Conducting Experiments*) wird als eine Form von Forschungsaktivitäten (*Inquiry Activities*) genannt (Chinn & Malhotra, 2002). Im deutschsprachigen Raum finden sich analoge Konzepte wie *Forschendes Lernen* und *Experimentieren*. Beide Begriffe werden häufig in einem Zuge und nicht trennscharf verwendet, wie z.B. „...Unterrichtsmuster, die umfassend viele Aktivitäten des Experimentierens und Forschens umsetzen“ (Euler, 2009a). *Experimentieren* wird oft synonym für wissenschaftliche Untersuchungen verwendet (Mayer & Ziemek, 2006). Daher sollen die Bedeutungen zunächst geklärt werden.

Wie in Kapitel 3.1.1 dargestellt, stellt die naturwissenschaftliche Grundbildung (*Scientific Literacy*) eine Zielsetzung von naturwissenschaftlichem Unterricht und von Schülerlaboren dar. Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung (*Scientific Inquiry*) ist ein wesentlicher Bestandteil dieses Konzepts. Diese wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise wird als wissenschaftsmethodische Kompetenz in den naturwissenschaftlichen Bildungsstandards z.B. für Biologie (KMK, 2004b); (MSJK, 2004)) als einer von vier Kompetenzbereichen neben Fachwissen, Kommunikation und Bewertung genannt.

Im Zentrum des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses steht beim hypothetisch-deduktiven Vorgehen die Gewinnung von Daten, um eine aus einer Fragestellung heraus generierte Hypothese zu überprüfen. Dies erfordert die Planung und Durchführung eines Experimentes sowie die Auswertung und Interpretation der Daten (Mayer, 2016).

3.1.3.2 Experimentieren

Das Experimentieren steht als naturwissenschaftliche Arbeitsweise in der Biologie- und Naturwissenschaftsdidaktik im Mittelpunkt. Als weitere Erkenntnismethoden werden Beobachten, Messen, Untersuchen, Mikroskopieren, Modellieren und Mathematisieren, Vergleichen und Ordnen genannt (Killermann et al., 2016; Nerdel, 2017). Diese fachspezifischen Arbeitsweisen werden teils auch innerhalb eines Experimentes umgesetzt (Mayer & Ziemek, 2006). Experimente erfüllen im Biologieunterricht verschiedene Funktionen:

- Die Schüler erhalten Einblick in die wissenschaftliche Denkweise.
- Die Schüler erwerben experimentelle Fähigkeiten.
- Die Schüler verknüpfen Theorie und Praxis und vertiefen so ihr Verständnis von Phänomenen und Zusammenhängen.
- Die Schüler werden motiviert und das Interesse der Schüler an biologischen Themen wird gesteigert.
- Die Schüler können im Team arbeiten und so ihre sozialen Fähigkeiten weiter entwickeln.

(Mayer & Ziemek, 2006)

Für das Experimentieren als einer wissenschaftlichen Erkenntnismethode sind die bereits in Kapitel 3.1.3.1 angesprochenen drei wesentlichen Schritte charakteristisch (Nerdel, 2017):

- Fragestellung und Hypothesen generieren
- Experiment planen und durchführen
- Daten protokollieren, auswerten und interpretieren

Für die Umsetzung von Experimenten wird empfohlen, sie sinnvoll in die Unterrichtseinheit einzubinden sowie ein „Vorgehen nach Kochrezept“ zu vermeiden. Stattdessen sollten die Schüler bei der Planung des Aufbaus und der Durchführung gedanklich beteiligt werden (Killermann et al., 2016).

3.1.3.3 Forschendes Lernen

Im Bereich der Erkenntnisgewinnung wird das *Forschende Lernen* als Lernmethode vorgeschlagen, bei der sich Lernende durch eigenständiges Durchlaufen eines

wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses sowohl Lerninhalte als auch Erkenntnismethoden aneignen (Mayer & Ziemek, 2006). Der Lernprozess der Schüler wird also weitgehend mit dem Prozess wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung parallelisiert (Mayer & Ziemek, 2006). Das Nachempfinden der Art und Weise, in der Wissenschaftler arbeiten, bietet einen authentischen Zugang für Lernende, ihre Lebenswelt zu erkunden (Hofstein & Lunetta, 2004). Die Schüler lernen eigenständig und kooperativ in authentischen Kontexten. *Forschendes Lernen* ermöglicht insofern *Situated Cognition* (Euler, 2009a). Nach Aepkers (2002, S. 76) ist „Forschendes Lernen ein aktiver, produktiver und vor allem selbstbestimmter Prozess“. Die Spezifika sind zu den Merkmalen des gemäßigten Konstruktivismus kongruent, *Forschendes Lernen* stellt sich daher wie in Kapitel 3.1.2 gefordert als plausible Lernmethode dar.

Das *Forschende Lernen* ist zu den offenen Lernformen zu zählen. Der Grad der Offenheit kann dabei variiert werden und wurde in der Literatur vielfach diskutiert. Die Problematik ergibt sich aus der Übertragung des naturwissenschaftlichen Forschungsbegriffs auf einen schulischen Kontext: Das Erkenntnisziel der Entdeckung bzw. Erklärung des objektiv Neuen muss hier reduziert werden auf das Erkenntnisziel des subjektiv Neuen. Schüler sollen die Möglichkeit erhalten, einen für sie unbekanntem Sachverhalt zu erforschen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass in den technischen Wissenschaften ein anderes Erkenntnisziel verfolgt wird: Hier stehen Produkte und Techniken im Fokus (Aepkers, 2002). Dieser Aspekt ist ebenfalls bei der Umsetzung des *Forschenden Lernens* in Schülerlaboren, in denen eine spezialisierte technische Ausstattung zur Anwendung kommt - wie etwa in der Molekularbiologie/Biotechnologie – zu berücksichtigen.

3.1.4 Instruktionsansätze

Die Vorteile des *Forschenden Lernens* wie aktives Lernen in authentischen Kontexten, Aneignung wissenschaftlicher Denkweisen und Anregung zum lebenslangen Lernen sind unbestritten. Dennoch scheint die Umsetzung mit Schülern schwierig (Edelson, 1997). Auch Harlen (1999), Hodson (1993) sowie Hof und Mayer (2008) weisen darauf hin, dass Lernen durch Experimentieren nicht von selbst gelingt. Bei der Adaption wissenschaftlichen Arbeitens in den Unterricht sollten drei Kernmerkmale berücksichtigt werden (Edelson, 1997):

- Forschende Grundhaltung: Unter der Grundannahme eines unsicheren Ausgangs soll eine Forschungsfrage beantwortet werden. Daher sind oftmals mehrere Versuchsschritte erforderlich.
- Geräte und Techniken: Es kommt ein Set zur Anwendung, mit dem meist mehrere Fragen durch eine Gemeinschaft von Forschern untersucht werden können.
- Soziale Interaktion: Ergebnisse sowie weitere Fragestellungen werden in der wissenschaftlichen Gemeinschaft geteilt und diskutiert.

Oftmals verfügt echte wissenschaftliche Forschung (*Real World Science*) über einen zu offenen Ausgang und setzt zu viel Fachwissen und wissenschaftliche Denkweise voraus (Lee & Butler, 2003). Lee und Butler (2003) identifizierten im Rahmen einer nach der Methode des *Forschenden Lernens* konzipierten Unterrichtsintervention drei Voraussetzungen zur erfolgreichen Gestaltung einer wissenschaftlichen Lernumgebung (Lee & Butler, 2003):

- Es sollten authentische Lernumgebungen geschaffen werden, die sich nah am vorhandenen Fachwissen und den curricularen Vorgaben orientieren. Eine sorgsame Auswahl der Aktivitäten kann Überforderung reduzieren und Schüler zu eigenen Forschungsergebnissen befähigen.
- Bei der Entwicklung authentischer Lernaufgaben sollten die Transformation des Inhaltswissens, der naturwissenschaftlichen Denkweise und der Ressourcen gleichberechtigt berücksichtigt werden.
- Die Schüler sollten in ihrem Forschungsprozess begleitet werden, da sie häufig nicht über genügend Hintergrundwissen und Analysefähigkeiten verfügen, um die Komplexität authentischer Forschungssituationen zu reduzieren.

Auch Sunal et al. (2008) betonen unter dem Stichwort „Hands On and Minds On“ die Notwendigkeit einer Anleitung zu wissenschaftlichem Arbeiten. Dies kann im Klassenraum, Labor oder an außerschulischen Lernorten passieren. Dabei können verschiedene Strukturierungsgrade umgesetzt werden (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Strukturierungsgrade von Experimenten (nach Sunal et al., 2008)

Anleitungstyp	Schüler	Lehrer
Bestätigungsexperiment	Hört dem Lehrer zu Führt ein Experiment mit erwartetem Ausgang nach Anleitung durch	Stellt die Frage, Anleitung, Material, erwartete Ergebnisse erwartete Antwort
Strukturiertes Experimentieren	Erforscht, konstruiert Antworten, beurteilt die Eignung der Fragestellung	Stellt die Frage, Anleitung und das Material, um eine Entdeckung durch die Schüler zu ermöglichen
Angeleitetes Experimentieren	Plant die Untersuchung und führt sie durch, konstruiert Antworten, beurteilt die Eignung der Fragestellung	Stellt die Frage und das Material, um eine Entdeckung durch die Schüler zu ermöglichen
Offenes Forschen	Legt die Fragestellung fest, plant die Untersuchung und führt sie durch, konstruiert Antworten, beurteilt die Eignung der Fragestellung	Unterstützt die Schüler in ihrer Rolle

Eine vergleichbare Taxonomie ist im Schülerlabor-Atlas von Lernort Labor zu finden: Hier wird zwischen dem rezeptiven Experimentieren, dem geführt forschenden Experimentieren, dem forschenden Experimentieren sowie dem freien Experimentieren und der Projektarbeit unterschieden (Haupt, 2015). In den verschiedenen Disziplinen gibt es unterschiedliche Tendenzen: In Biologielaboren wird ein deutlich niedrigerer Grad an Selbstständigkeit umgesetzt als in Physik. Dies mag dadurch bedingt sein, dass Schülerlabore mit biologischem Bezug vorwiegend Angebote für die gymnasiale Oberstufe zur Anwendung abiturrelevanter molekularbiologischer Methoden umsetzen. Die Anwendung der Materialien und Gerätschaften erfordert einen hohen Strukturierungsgrad. Die Laborarbeit bietet einen geeigneten Rahmen, systematische Aspekte experimenteller Tätigkeit hervorzuheben. Dazu steht die Physik im Gegensatz, welche im Unterricht eher stringent vorgeht und im Schülerlabor explorativeres Arbeiten ermöglicht. Hier ist auch zu beachten, dass eher niedrige Klassenstufen Schülerlabore in der Physik besuchen (Euler & Weißnigk, 2011).

Die Autonomie des Schülerhandelns beeinflusst die Qualität des Wissenserwerbs: Mit steigender Kontrolle der Schüler über ihr experimentelles Handeln verändert er sich von Faktenwissen über Konzeptwissen zu Generalisierungen (Sunal et al., 2008). Dennoch ist aus den bereits angeführten Gründen ein hoher Grad der

Selbstständigkeit nicht einfach zu realisieren. Kirschner, Sweller und Clark (2006) betrachten diese Zielsetzung zudem sehr ambivalent: Sie führen an, dass bisherige Studien die Vorteile nicht belegen konnten. Zudem weisen sie auf die Problematik der menschlichen kognitiven Architektur hin: Lernen kann als Veränderung im Langzeitgedächtnis betrachtet werden. Dies setzt zunächst eine Aufnahme neuer Eindrücke über das sensorische Gedächtnis in das Arbeitsgedächtnis sowie einen Transfer in das Langzeitgedächtnis voraus (Kirschner et al., 2006). In diesem Bereich sind die Kapazitäten begrenzt. Die kognitive Belastung (*Cognitive Load*) setzt sich aus der inhaltsbezogenen Auslastung (*Intrinsic Load*), der unterrichtsbezogenen Auslastung (*Extraneous Load*) und der lernbedingten Auslastung (*Germane Load*) zusammen (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). *Germane Load* wird für die Konstruktionen von Schemata zur Aufnahme in das Langzeitgedächtnis benötigt, *Intrinsic Load* ist durch die Komplexität der Lerninhalte bedingt. *Extraneous Load* ist durch die Gestaltung der Lernumgebung bedingt. Solide Instruktionen vermindern daher *Extraneous Load*, minimale Anleitungen verstärken ihn. So stehen geringere Kapazitäten zur Überführung neuer Inhalte in das Langzeitgedächtnis zur Verfügung (Sweller, 1988). Kirschner et al. (2006) sehen hierin die Begründung für stärker instruktionsorientierte Vermittlungsansätze und gleichzeitig einen Widerspruch zum Konstruktivismus. Die *Cognitive Load-Theorie* steht ihm jedoch in seiner Logik nicht unbedingt entgegen: Die Beschreibung von Lernvorgängen als aktive Konstruktion neuer Repräsentationen auf Basis vorhandener Konzepte ist beiden Theorien gemeinsam. Das der *Cognitive Load-Theorie* zugrunde liegende Mehrspeichermodell des Gedächtnisses postuliert einen Einfluss des Langzeitgedächtnisses auf das Arbeitsgedächtnis. Die *Cognitive Load-Theorie* stellt daher eine plausible Grundlage für die Gestaltung von Lernumgebungen dar. Dies beinhaltet auch das auf dem Konstruktivismus beruhende Prinzip des *Forschenden Lernens*.

Instruktionsansätze, welche die genannten Faktoren berücksichtigen, sollen eine aktive Auseinandersetzung mit Problemen anregen, die Anwendungsqualität des Wissens erhöhen und ein geeignetes Maß an Anleitung enthalten. Eine gut geeignete Möglichkeit der Umsetzung im naturwissenschaftlichen Unterricht bietet das Konzept der geistigen Ausbildung (*Cognitive Apprenticeship*) (Gerstenmaier & Mandl, 1995). Die Schüler werden hier durch Aktivitäten und soziale Interaktion in die gebräuchlichen Praktiken der Forschungskultur (*Ordinary Practices of the Culture*) eingeführt (Collins, Brown & Newman, 1989). Dieses Modell orientiert sich an der

traditionellen Handwerkslehre: Anwendungsorientierte Vermittlungsprinzipien werden auf den Umgang mit komplexen Problemen in kognitiven Wissensgebieten übertragen. Implizites Praxiswissen wird hier expliziert, indem die Vorgehensweise eines Experten in einer konkreten Problemsituation modelliert und verbalisiert wird. So werden kognitive Vorgänge sichtbar gemacht und damit externalisiert. Sie münden in expliziten Anleitungen. Der Lernende erhält daraufhin die Gelegenheit, eine Problemstellung selbstständig zu bearbeiten. Spezifisch für diese Methode sind die Situiertheit des Lernens, die den Nutzen des neu zu erwerbenden Wissens verdeutlicht, sowie die Einbindung des Lernenden in eine Expertenkultur. Durch diese *Community of Practice* wird der soziale Kontext des Lernens hervorgehoben (Collins et al., 1989).

Durch die Anleitungen werden die kognitiven Belastungen reduziert. Dieses Konzept bietet sich zur Umsetzung in Schülerlaboren gut an, da hier meist an authentischen Forschungsstätten Lernangebote für Schüler von Experten betreut werden.

3.1.5 Stand der Forschung zum Wissenserwerb in Schülerlaboren

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, ist der Wissenserwerb von Schülern im Schülerlabor zwar von deutlicher Relevanz, muss aber differenziert betrachtet werden: Es kann zwischen verschiedenen Arten von Wissen wie z. B. Konzeptwissen und Prozesswissen unterschieden werden und der mögliche Grad der Offenheit beim *Forschenden Lernen* wird von der Fachdisziplin, der Altersstufe und dem Vorwissen der Schüler beeinflusst.

Im Fachbereich Physik hat sich bisher keine Dissertation mit dem Wissenserwerb in Schülerlaboren beschäftigt.

Im Fachbereich Chemie liegen mehrere Arbeiten mit sehr verschiedenen Zugängen vor:

Zehren (2009) konnte einen positiven Effekt von mehrjährig wiederholten Schülerlaborbesuchen auf die Formulierung epistemischer Fragen nachweisen. Es wurden offene Fragen in Anlehnung an validierte Instrumente zu Experimentierpräferenzen und präexperimentellen epistemischen Aktivitäten gestellt. Die Beantwortung lässt Rückschlüsse auf das gesteigerte Naturwissenschaftsverständnis zu, welches zudem von den Klassenlehrern bestätigt

wurde (Zehren, 2009). Als Charakteristika dieses nachweislich erfolgreichen Konzeptes des *Forschenden Lernens* werden die thematische Einbindung in den laufenden Unterricht, die etwa vierteljährliche Umsetzung, die Experimentierdauer von maximal 15 Minuten, der offene Charakter, die aktive Handlung während der Lösung, der wahlweise Zugriff auf Geräte und Chemikalien sowie die Gruppenarbeit mit bis zu drei Schülern genannt (Zehren, Neber & Hempelmann, 2013).

Auch die Dissertation von Itzek-Greulich (2014) fokussiert auf die Einbindung in den Unterricht. Hier wurde eine achtstündige Intervention in drei Experimentalgruppen durchgeführt: Ausschließlich im Schülerlabor, ausschließlich in der Schule sowie kombiniert in der Schule und im Schülerlabor. Die Schüler lernten unter allen drei Bedingungen mehr als eine Kontrollgruppe, welche das Thema gar nicht behandelte. Bei den Experimentalgruppen gab es zwischen dem kombinierten Treatment und den Einzeltreatments keinen signifikanten Unterschied (Itzek-Greulich et al., 2015). Zudem ist der reine Schülerlaborbesuch gegenüber einer Intervention kombiniert mit Schule oder rein schulisch beim Wissenserwerb im Nachteil (Itzek-Greulich et al., 2017). Dies mag durch die überwiegend auf konzeptuelles Wissen abzielenden Fragen erklärbar sein: Der Wissenstest setzte sich aus den Bereichen kohlenhydratspezifisches Wissen, chemische Analysen, chemische Fachausdrücke, experimentierspezifisches Wissen sowie deklaratives Wissen zusammen.

Huwer (2015) wies in einem Kontrollgruppendesign nach, dass ein Schülerlabor-on-Tour-Modul zu einem signifikanten und langzeitstabilen Wissenszuwachs führt.

Alle vier bisher im Fachbereich Biologie vorliegenden Dissertationen untersuchten u. a. den Wissenserwerb:

Glowinski (2007) ließ die Schüler den Wissenserwerb selbst einschätzen. Die Beantwortung der in die vier Subskalen „Molekularbiologie allgemein“, „Molekularbiologische Grundlagen“, „Experimente“ und „Wissenschaftliche Laborarbeit“ differenzierten Items zeigte, dass die Schüler subjektiv den Zuwachs ihres Wissens über Experimente und Laborarbeit deutlich höher einschätzten als über Molekularbiologie.

Damerau (2012)) zielte mit seinem für verschiedene Module maßgeschneiderten Wissenstest vorwiegend auf prozedurales Wissen ab, erfasste aber auch Konzeptwissen. Er wies einen signifikanten kurz- sowie mittelfristigen

Wissenszuwachs durch die Teilnahme an einem Laborkurs nach. Dabei unterschieden sich die verschiedenen identifizierten Schülertypen (Allrounder, Praktiker, Theoretiker) nur in einem der drei Module.

Scharfenberg (2009) deckte mit seinem Wissenstest die Anforderungsstufen Reproduktion, Reorganisation und Transfer ab und unterschied zudem zwischen „aktiviertem Vorwissen“ und „projektorientiertem Wissen“. Er untersuchte die Wirkung der Lernumgebung sowie die Wirkung von praktischem Experimentieren, indem er zwischen den Treatmentgruppen „Schule“, „Labor ohne Experimente“ und „Labor mit Experimenten“ unterschied. Außer einem signifikanten kurzfristigen Wissenszuwachs sowie einem signifikanten Wissensrückgang im Follow-up-Test in allen Gruppen wurde gezeigt, dass der Wissenszuwachs am Lernort Labor höher ist als in der Schule. Allerdings vergisst die Labor-Experimentalgruppe auch signifikant mehr. Dies ist insbesondere durch die projektbezogenen und damit neu erworbenen Inhalte bedingt. Diese Problematik kann durch den hohen *Cognitive Load* beim Experimentieren erklärt werden (Scharfenberg, Bogner & Klautke, 2007). Scharfenberg und Bogner (2011) überprüften in einer späteren Studie eine Intervention zur Reduktion der kognitiven Belastung: In einem zweischrittigen Verfahren (*Two-step-approach*) wurde dem Experimentieren eine Phase vorgeschaltet, in der die Schüler ihre Gedanken notieren und gemeinsam diskutieren. Durch Videoanalyse konnten sie Unterschiede im kooperativen Lernen der Schüler im Vergleich zum klassischen einschrittigen Verfahren (*One-step-approach*) ohne vorgeschaltete Reflexionsphase zeigen (Scharfenberg & Bogner, 2011). Zudem untersuchten sie den Zusammenhang von mentaler Anstrengung als Index für *Cognitive Load* mit der erreichten kognitiven Leistung (Scharfenberg & Bogner, 2013b). Unabhängig von der Lernphase im Labor konnten sie die Cluster „gering belastet“, „mittel belastet“ und „hoch belastet“ identifizieren und wiesen den stärksten Lerneffekt im Langzeitwissen bei den mittelstark belasteten Schülern nach.

Rodenhauser (2016) und Buse (2017) konnten nachweisen, dass bilinguale Schülerlaborkurse zu keiner Beeinträchtigung des Erwerbs biologischen Sachwissens führen, obwohl durch die Verwendung der Fremdsprache von einem höheren *Extraneous Load* auszugehen ist. Rodenhauser (2016) konnte die drei Schülertypen ‚Allrounder‘, ‚Naturwissenschaftler‘ und ‚Fremdsprachler‘ identifizieren, wobei die ‚Fremdsprachler‘ am wenigsten in Bezug auf das biologische Wissen

profitierten. Buse (2017) wies mittels *Concept Mapping* einen homogenen, differenzierten und vernetzten Wissenszuwachs nach.

Es kann zusammengefasst werden, dass Schüler im Schülerlabor in allen untersuchten Wissensebenen einen signifikanten Wissenszuwachs erreichten. Dieser konnte aber auch ohne eine Experimentiereinheit im Labor oder in der Schule gewonnen werden (Itzek-Greulich, 2014; Scharfenberg, 2005). Im Follow-up-Test ist ein Wissensrückgang zu verzeichnen, der aber über dem Niveau des Vortests verbleibt. Die Ausprägung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Schüler mit mittelhoher kognitiver Belastung beim Schülerlaborbesuch profitieren hier am meisten (Scharfenberg, 2005). Dies ist ein Hinweis darauf, dass ein hoher *Cognitive Load* in der Laborsituation als begrenzender Faktor für den Wissenserwerb wirkt. Dennoch führte in einer Studie die Verzahnung von Schule und Labor bei einem einmaligen Besuch nicht zu höherem Wissenserwerb (Itzek-Greulich et al., 2015). Mehrmalige Besuche mit unterrichtlicher Vorbereitung förderten nachweislich das Wissensniveau im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess (Zehren, 2009).

So könnte das Entwicklungs- sowie Evaluationskonzept nach Zehren (2009) Vorbildcharakter für weitere Projekte zur Einbindung von Schülerlaboren in den Unterricht haben. Dies setzt die langfristige Kooperationsbereitschaft sowie räumliche Nähe beider Partner voraus. Insbesondere im Fachbereich Biologie sind die Angebote auf die gymnasiale Oberstufe zur Anwendung abiturrelevanter Methoden ausgerichtet. Hier wird ein Schülerlaborbesuch bestenfalls einmal pro Schuljahr von der Schulleitung genehmigt. Der besondere Wert besteht darin, dass das selbstständige Experimentieren zur Erlangung vertieften Konzeptwissens sowie prozeduralen Wissens führen sollte. Jedoch ist in jedem Fall die Entwicklung von Strategien zur Reduzierung des *Cognitive Load* notwendig.

3.2 Motivation und Interesse

3.2.1 Bedeutung von Motivation und Interesse

Wie in Kapitel 2.2 dargestellt, soll in Schülerlaboren das Verständnis für Naturwissenschaften sowie das Interesse daran gefördert werden. Diese Zieldimensionen können beim Experimentieren gut gekoppelt werden, da diese

Lernform den Verstand und die Sinne anspricht und Freude an der Erkenntnis ermöglicht (Euler, 2001). Die in Kapitel 3.1 erläuterte *Scientific Literacy* wird zur Teilhabe am gesellschaftlichen Leben benötigt, ein vertieftes Verständnis bildet zudem die Grundlage für eine berufliche Entwicklung in diesem Bereich. Die konkrete Entscheidung für einen Beruf oder ein Studium findet jedoch interessengetrieben statt (Schiefele, 2008).

Die große Bedeutung von Motivation und Interesse wird durchgängig als eine wichtige Grundlage in der Biologiedidaktik betont (Berck & Graf, 2018; Killermann et al., 2016; Ruppert, 2012). Das Interesse an den Naturwissenschaften nimmt allerdings während der Schulzeit stetig ab. Hier ist die Biologie zwar weniger betroffen als Chemie und Physik und der Interessensverfall betrifft grundsätzlich alle Schulfächer (Berck & Graf, 2018; Killermann et al., 2016; Ruppert, 2012). Dennoch wird deutlich, dass auch im Fach Biologie bewusste Maßnahmen zur Förderung des Interesses angestrebt werden sollten. Ergänzend wird die essentielle Bedeutung motivationaler Aspekte auch durch die in Kapitel 3.1.2 dargelegte Erkenntnistheorie des Konstruktivismus deutlich: Da Lernen sich als aktiver Prozess vollzieht, setzt es ein Mindestmaß an Lernmotivation und Interesse am Lerngegenstand voraus. Zu diesem Zusammenhang wurden zahlreiche Studien durchgeführt. Zusammenfassend gibt (Schiefele, 2001) eine durchschnittliche Korrelation von 0,30 zwischen Lernzuwachs und Interesse sowie Lernzuwachs und Motivation an. Dies entspricht nach Cohen (1988, S. 83) einer mittelhohen Korrelation.

3.2.2 Lernmotivation

Motiviertes Handeln und somit das Entstehen aktueller Motivation setzt das Verfolgen von Motiven voraus (Schiefele, 2008). Beim Leistungsmotiv wird das Erleben von Kompetenz und Tüchtigkeit in Situationen mit Leistungscharakter angestrebt (Schiefele & Streblow, 2006). Diesem Motiv kann die Lernmotivation zugeordnet werden. Sie kann definiert werden als der „...Wunsch bzw. die Absicht, bestimmte Inhalte oder Fertigkeiten zu lernen bzw. bestimmte Aufgaben auszuführen“ (Schiefele & Köller, 2010). Dabei kann zwischen aktueller und überdauernder Motivation unterschieden werden. Letztere ist als dauerhafte Disposition auf die Motive einer Person zurückzuführen. Bei der aktuellen Motivation handelt es sich dagegen um einen situationsspezifischen, vorübergehenden Zustand (Schiefele & Streblow, 2006).

Zur Strukturierung der pädagogisch bedeutsamen Komponenten der Lernmotivation entwarf Krapp (1993) ein Rahmenmodell (siehe Abb. 2). Im Zentrum steht die aktualisierte Lernmotivation im Sinne einer konkret in einer bestimmten Situation auftretenden Motivation. Sie wird durch aktuelle Bedingungsfaktoren wie die Person des Lerner, das soziale Umfeld sowie die Lernsituation und den Lerngegenstand beeinflusst. Die Ausprägung der aktuellen Faktoren hängt u. a. von früheren Entwicklungsbedingungen der Person ab. Die aktualisierte Lernmotivation hängt eng mit den kognitiven und emotionalen Prozessen während der Lernhandlung zusammen. Hiermit sind sowohl die informationsverarbeitenden Prozesse, die Lernorganisation als auch emotionale Begleitphänomene wie Langeweile oder Vergnügen gemeint. Es folgen unmittelbare Ergebnisse der Lernhandlung im Sinne von veränderten Wissensstrukturen sowie auch mittelbare Folgen und übergeordnete Ziele wie z. B. ein Studien- oder Berufswunsch.



Abb. 2: Rahmenmodell zur Strukturierung der pädagogisch bedeutsamen Komponenten der Lernmotivation (nach Krapp, 1993)

Dieses Rahmenmodell veranschaulicht den in Kapitel 3.2.1 dargestellten Zusammenhang motivationaler Komponenten mit dem Wissenserwerb. Es kann daher zur Orientierung für die Analyse im Schülerlabor wirksamer motivationaler Variablen und deren Ursachen und Folgen dienen. Es wird in Kapitel 3.3 als Basis für die Zusammenhänge der relevanten Konstrukte wieder aufgegriffen. Aus dem Modell ist auch ableitbar, dass das Interesse beim Lerngegenstand verortet sein muss. Bevor dieses Konstrukt näher geklärt wird, soll die Motivation genauer analysiert werden.

3.2.3 Extrinsische und intrinsische Motivation

Übereinstimmend mit dem in Abbildung 2 dargestellten Modell definieren Heckhausen und Heckhausen (2009) Motivation als „Produkt von Person und Situation“. Die Situationsfaktoren werden als Anreize mit Aufforderungscharakter betrachtet. Sie können in der Handlungstätigkeit selbst, im Handlungsergebnis und auch in weiteren Ergebnisfolgen liegen. Anreize, die in der Tätigkeit selbst liegen, bezeichnen Heckhausen und Heckhausen (2009) als intrinsisch. Sie können sowohl durch die Tätigkeit selbst, also durch Freude im Tun, als auch durch den Gegenstand, also Interesse an der Sache, hervorgerufen werden. Diese Anreize sind beide für Schülerlabore relevant und werden in den Kapiteln zum *Flow*-Erleben und zum Interesse (Kap. 3.2.6 bis 3.2.9) genauer beschrieben. Extrinsische Anreize dagegen sind nach Heckhausen und Heckhausen (2009) die Folgen von Handlung und Ergebnis wie z. B. materielle Belohnungen, Annäherung an langfristige Ziele. Wie in Kapitel 3.2.1 dargestellt, wird die aktuelle (Lern-)motivation zudem durch das soziale Umfeld beeinflusst. Deci und Ryan (1993) sehen in diesem Aspekt die zentrale Begründung für das von ihnen geforderte Kontinuum von extrinsischer zu intrinsischer Motivation. Sie gehen davon aus, dass Menschen externe Werte wie Ziele und Verhaltensnormen in ihre Wertvorstellungen übernehmen, um sich mit anderen Personen verbunden zu fühlen. Dieser mögliche Prozess der Internalisation ursprünglich extrinsischer Anreize führt zu einem Kontinuum von external regulierter über introjizierte und identifizierte Regulation. Als weiterer Schritt kann eine Integration sozial vermittelter Verhaltensweisen in das individuelle Selbst der Person zu einer integrierten Regulation führen. Diese Verhaltensqualität kommt der intrinsischen Motivation am nächsten. Hier werden Handlungen vollkommen selbstbestimmt durchgeführt, bei der externalen Regulation sind sie dagegen fremdbestimmt (Deci & Ryan, 1993). Zudem ist auch die vollkommene Abwesenheit von Motivation – die Amotivation – möglich. Eine Übersicht über das Kontinuum der Qualität motivierten Verhaltens ist in Abbildung 3 dargestellt. Außerschulische Lernorte und somit auch Schülerlabore bieten eine geeignete Umgebung für selbstbestimmtes Verhalten. Zudem besteht das spezifische soziale Umfeld aus Experten in ihrem authentischen Tätigkeitsfeld. So kann eine positive Einwirkung auf die Internalisierung des Ziels, Wissen und Interesse an den Naturwissenschaften aufzubauen, erreicht werden. Das Kontinuum der Qualität motivierten Verhaltens ist

auf die Theorie der Selbstbestimmung zurückzuführen, welche im folgenden Kapitel näher erläutert wird.

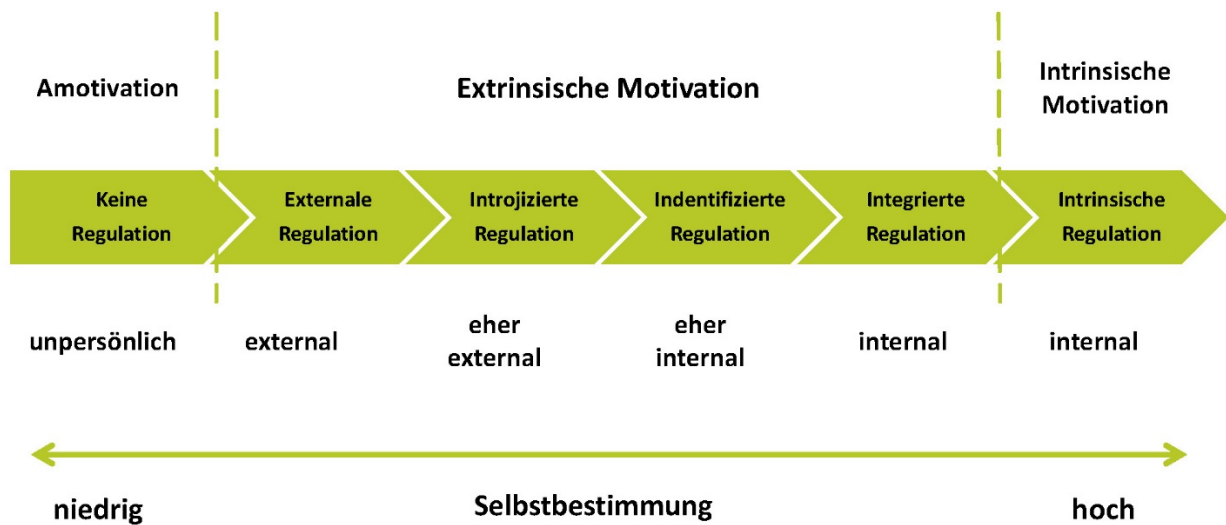


Abb. 3: Übersicht über das Kontinuum der Qualität motivierten Verhaltens (nach Deci & Ryan, 1993)

3.2.4 Selbstbestimmungstheorie (Self-Determination Theory, SDT)

Motivation stützt sich auf das Konzept der Intentionalität, d. h., es ist ein Wunsch oder eine Absicht mit einer bestimmten Handlung verbunden. Dieser Zusammenhang wurde in Kapitel 3.2.3 von der Handlung ausgehend als Anreiz beschrieben und in intrinsisch und extrinsisch differenziert. Hier wurde intrinsische Motivation nach Heckhausen und Heckhausen (2009) als Reaktion auf einen Anreiz, der in der Tätigkeit selbst liegt, definiert. Die Perspektive auf Motivation fokussiert auf die Handlung und ggf. die Folgen dieser Handlung. Ryan und Deci (2004) dagegen definieren intrinsische Motivation in ihrer Selbstbestimmungstheorie aus der Perspektive der Person heraus: Intrinsisch motivierte Handlungen repräsentieren den Prototyp selbstbestimmten Verhaltens. Bei der Selbstbestimmungstheorie steht das Selbst einer Person im Zentrum der Betrachtungen. Die Theorie wurde über Jahrzehnte entwickelt und optimiert und integriert mehrere Teiltheorien. Sie basiert auf der Grundannahme, dass alle Individuen eine natürliche Tendenz dazu haben, ihre Persönlichkeit weiter zu entwickeln, um sie zu vervollkommen. Dies geschieht sowohl als unabhängige innere Entwicklung als auch unter angestrebter Gleichheit mit anderen Personen. Die Integration beider Aspekte ist für eine gesunde Entwicklung und das Wohlbefinden notwendig. Die Struktur des Selbst kann als das

sich stets weiter entwickelnde Produkt von Prozessen dieser organismischen Dialektik betrachtet werden. Die notwendige Energie für diese Entwicklung generiert der Organismus durch die Befriedigung von Emotionen und physiologischen sowie psychologischen Grundbedürfnissen. Letztere werden in der Selbstbestimmungstheorie als zentrale Voraussetzung des Integrationsprozesses angesehen (Ryan & Deci, 2004).

Die Identifikation angeborener psychologischer Grundbedürfnisse zur Klärung motivierten Verhaltens findet sich bereits in verschiedenen Bedürfnistheorien (DeCharms, 1968; White, 1959). Ryan und Deci (2004) integrierten diese Ansätze in ihre umfassendere Theorie und postulierten zu Beginn ihrer Theorieentwicklung zwei, abschließend jedoch drei grundlegende psychologische Bedürfnisse (*Basic Needs*), deren Befriedigung essentiell für eine gesunde Entwicklung, Wohlbefinden, positives Erleben und intrinsisch motiviertes Verhalten einer Person sind: Die Bedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit.

Soziale Eingebundenheit (*Relatedness*) spiegelt den Aspekt der gewünschten Anbindung und Anerkennung durch die Mitmenschen wider. Diese Verbundenheit wird nicht mit einer konkreten Zielsetzung, sondern als Selbstzweck angestrebt. Man möchte anderen Individuen oder einer Gruppe angehören und so ein Gefühl der Zugehörigkeit erreichen (Ryan & Deci, 2004). Dieses Bedürfnis ist der Antrieb für die Integration ehemals externaler Werte in das Selbst, da Gleichheit mit anderen Personen angestrebt wird, und hat daher im Vergleich zu den beiden anderen Bedürfnissen eine Sonderrolle inne.

Die besondere Bedeutung von Kompetenz (*Competence*) zur Klärung motivierten Verhaltens wurde durch White (1959) hervorgehoben, der diesen Begriff für das natürliche Bestreben nach Wirksamkeit prägte. Personen möchten Anforderungen bewältigen und sich in der Interaktion mit der Umwelt effektiv und kompetent fühlen. Sie suchen adäquate Herausforderungen und nutzen Gelegenheiten zur Anwendung, Verbesserung und Präsentation ihrer Fähigkeiten (Ryan & Deci, 2004). Dieses Bedürfnis ist sehr eng verbunden mit dem Bedürfnis nach Autonomie.

Autonomie (*Autonomy*) ist ein mehrschichtiges Konstrukt. Sie geht auf das Bedürfnis nach persönlicher Verursachung zurück (DeCharms, 1968). Personen möchten ihre Handlungen selbst bestimmen und kontrollieren und somit als Handlungsverursacher

in deren Zentrum stehen. Autonome Handlungen geschehen aus Interesse und basieren auf persönlich integrierten Werten. Dabei können Handlungsanstöße von außen angenommen werden, wenn die zugrunde liegenden Werte mit denen des Selbst konvergieren (Ryan & Deci, 2004). *Autonomy* in diesem Sinne sollte nicht mit der im deutschen Sprachgebrauch gleichlautenden Autonomie mit der Bedeutung von Unabhängigkeit verwechselt werden. Der Begriff ist im Sinne von selbstbestimmtem (*Self-determined*) Verhalten aufzufassen.

Reeve, Nix und Hamm (2003) identifizierten drei Qualitäten in der Wahrnehmung von Selbstbestimmung: Den wahrgenommenen Ort der Handlungsverursachung (*Locus of Causality*), die wahrgenommene Freiwilligkeit (*Volition*) und die Wahrnehmung von Wahlfreiheit (*Choice*). Der Begriff *des Locus of Causality* wurde von DeCharms (1968) geprägt. Er unterscheidet zwischen einem inneren und einem externen Ort der Handlungsverursachung: Liegt er in der Person selbst, so fühlt sie sich selbstbestimmt, da sie sich als Urheber der Handlung sieht. Wenn die Person jedoch das Gefühl hat, fremdbestimmt zu sein, so liegt der Ort der Handlungsverursachung außerhalb des Selbst. Man sieht sich in diesem Fall als Marionette (*Pawn*), deren Handlung von anderen Personen gesteuert wird. Bei selbstbestimmtem Verhalten sieht man sich dagegen als Meister (*Origin*) (DeCharms, 1968). Die persönliche Wahrnehmung von *Volition* repräsentiert ein Gefühl der Freiheit. Wenn die Person eine Handlung ohne äußeren Druck ausführt, kann sie sich selbstbestimmt erleben. Sie hat das Gefühl, das zu tun, was sie selbst möchte. Bei der Wahrnehmung von *Choice* hat die Person das Gefühl, die Tätigkeit selbst zu wählen. Es wird durch Gelegenheiten zu eigenen Entscheidungen hervorgerufen (Reeve et al., 2003).

3.2.5 Bedeutung der Selbstbestimmungstheorie für schulische Kontexte

Die Befriedigung der Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit stellt eine Voraussetzung für Wohlbefinden und für intrinsisch motiviertes Verhalten dar (siehe Kap. 3.2.4). Zudem besteht zwischen der Motivation und dem Lernzuwachs des Lerners ein deutlicher Zusammenhang (siehe Kap. 3.2.1). Reeve (2004) trägt verschiedene Studien zusammen, die einen größeren Wissenszuwachs, bessere Behaltensleistungen, höheres Kompetenzerleben, mehr positive Emotionen, mehr Kreativität u. a. bei autonomieförderlichem Lehrerverhalten nachweisen. Da in Schülerlaboren in einer Sonderform des Unterrichts gelernt wird, ist die Selbstbestimmungstheorie auch für diesen Lernort von Relevanz. Als

Spezifika für selbstbestimmten Unterricht wurden folgende Elemente als maßgeblich identifiziert (Reeve, 2004):

- Viel Zeit für eigenständiges Arbeiten der Schüler
- Keine Vorgabe von Lösungen
- Vermeidung von Vorschriften im Sinne von Befehlen
- Lob für die Leistungen der Schüler
- Vermeidung von Kritik
- Beantwortung von Schülerfragen
- Einfühlsame, die Schülersicht einnehmende Kommunikation
- Unterstützung von intrinsischer Motivation und Internalisation
- Geringe Druckausübung

Die Unterstützung dieser Elemente sollte in Schülerlaboren besonders gut möglich sein, denn beim Experimentieren sind die Schüler selbst aktiv. Zudem müssen die Leistungen nicht beurteilt werden und die Betreuer befinden sich nicht in einer typischen Lehrerrolle, sondern eher in einer Vorbildfunktion im MINT-Bereich.

Reeve (2004) definiert autonomieförderliches Lehrerverhalten als Lehren in einer Form, welche die intrinsische Motivation sowie Internalisationsprozesse fördert. Letzteres ist ein wichtiger Aspekt, da es in schulischen Settings nicht immer möglich ist, intrinsisch motiviertes Verhalten in jeder Lernsituation zu erfahren. Langfristige Ziele wie z. B. ein Schulabschluss liegen zeitlich weit hinter und damit außerhalb der Handlung. Kurzfristige Ziele wie etwa das Erlernen von Vokabeln sind selten durch Freude bei der Handlung selbst gekennzeichnet. Wenn es wie in Kapitel 3.2.3 dargestellt gelingt, äußere Werte und Ziele in das Selbst zu integrieren, so kann die relativ autonome integrierte Regulation erreicht werden. Nach der in Kapitel 3.2.4 dargestellten organismischen Dialektik kann diese Entwicklung als natürlicher Vorgang betrachtet werden. Daher sollten motivationsförderliche Unterrichtsstile Internalisierungsprozesse fördern und so gestaltet sein, dass die *Basic Needs* erfüllt werden (Niemic & Ryan, 2009). Als Gegenpol werden kontrollierende (*Controlling*) Lehrstrategien genannt. So führen Niemic und Ryan (2009) Beispiele zur Erfüllung des Bedürfnisses nach Autonomie, Kompetenz und des Bedürfnisses nach sozialer Eingebundenheit an, welche zu größerer Internalisierung von Lernmotivation führen: Die Verdeutlichung der Gründe für bestimmte Lernaktivitäten wirkt

autonomieunterstützend und optimale Herausforderungen, angemessenes Material und Feedback wirken kompetenzunterstützend. Durch ein Lehrerverhalten, das dem Lerner gegenüber positiv eingestellt ist und ihn respektiert, kann das Bedürfnis nach sozialer Eingebundenheit erfüllt werden (Niemi & Ryan, 2009). Auch diese Aspekte können und sollen im Schülerlabor Berücksichtigung finden.

Die Implikationen für schulische Kontexte können von der Motivationsförderung auch auf die Interessenförderung übertragen werden. Ein Unterrichtsstil, bei dem die *Basic Needs* erfüllt werden, fördert nachweislich auch die Integration von Interessen in das Selbst einer Person (Tsai, Kunter, Lüdtke, Trautwein & Ryan, 2008). Das theoretische Konstrukt des Interesses und der Zusammenhang mit der Selbstbestimmungstheorie werden im folgenden Kapitel näher erläutert.

3.2.6 Interesse im Zusammenhang mit der Selbstbestimmungstheorie

Interessen sind durch das Erleben von positiven emotionalen Zuständen während einer Handlung und eine hohe subjektive Wertschätzung des Gegenstandes des Interesses geprägt (Krapp, 2006). Positive Gefühle können z. B. durch Freude, Kompetenzerleben oder optimale Spannung verursacht werden (Krapp, 1999). Der Wertbezug äußert sich in einer hohen Bereitschaft, sich aktiv mit dem Gegenstand auseinander zu setzen. Der Person ist das Wissen über diesen Gegenstand wichtig und sie möchte somit mehr darüber erfahren bzw. ihre Kompetenzen in diesem Bereich erweitern (Krapp, 1999). Interesse wird daher als eine „besondere, durch bestimmte Merkmale herausgehobene Beziehung einer Person zu einem Gegenstand“ definiert (Krapp, 2006, S. 281). Es handelt sich also sowohl bei Motivation als auch bei Interessen um Interaktionen von Personen. Diese geschehen im Falle von Motivation mit einer Situation, im Falle von Interessen mit einem Gegenstand. Die Konstrukte können wie in Kapitel 3.2.4 erläutert aus der Sicht der Anreize oder aus der Sicht der Person heraus betrachtet werden. Die Definition nach Krapp (2004) basiert auf der Grundannahme, dass Personen sich durch eine permanente Austauschbeziehung zur Umwelt entwickeln. Bei dieser personen- und prozessorientierten Perspektive auf Interesse steht das Selbst im Zentrum der Betrachtungen. Bei mental gesunden Personen harmonisieren Vorlieben, Ziele und Wissensstrukturen. Dabei befinden sie sich in stetigem Wandel, da das soziale Umfeld Anpassungen verlangt. Diese sind dadurch begründet, dass das Selbst mit

seinem Umfeld in selbstbestimmter und konstruktiver Weise interagieren möchte. Bei der stetigen Differenzierung wird angestrebt, eine kohärente Persönlichkeit zu entwickeln. Dabei werden nur die als wichtig identifizierten Ziele in die eigene Struktur der Persönlichkeit internalisiert. Übereinstimmend mit Ryan und Deci (2004) ist dies die Basis, durch die ursprünglich externale Regulationen Teil des Selbst werden können (Krapp, 2004). So liefert die Selbstbestimmungstheorie sowohl für Motivation als auch für Interesse eine theoretische Basis.

Vor diesem Hintergrund kann auch die Rolle der *Basic Needs* geklärt werden: Situationen, in denen die Bedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit berücksichtigt werden, werden emotional positiv bewertet. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Übernahme von Interessen in das Selbst. Ergänzend zu dieser Bedingung auf der Gefühlsebene ist es zudem notwendig, dass eine Bedingung auf der bewusst-reflektiven Ebene erfüllt ist: Der Gegenstand muss im Rahmen einer kognitiv-rationalen Bewertung als persönlich wertvoll eingestuft werden (Krapp, 2004). Auch diese Aspekte weisen eine deutliche Relevanz für Schülerlabore auf: Bei Beachtung der *Basic Needs* bieten sie eine Chance, dass das Interesse in das Selbst der Schüler integriert wird.

Die Internalisationsprozesse können sich sowohl auf die Aktualisierung eines bestehenden (*individuellen*) Interesses als auch auf das in einer aktuellen Situation entstandene (*situationales*) Interesse beziehen. Im folgenden Kapitel werden diese Formen des Interesses näher beschrieben.

3.2.7 Individuelles Interesse und situationales Interesse

Wie in Kapitel 3.2.6 dargestellt, beschäftigen sich Personen nur dann dauerhaft und aus innerer Neigung mit einem Gegenstand, wenn er aufgrund rationaler Überlegungen als hinreichend bedeutsam eingeschätzt wird und zudem in der konkreten Situation der Auseinandersetzung mit dem Gegenstand positive emotionale Erlebensqualitäten zu verzeichnen sind. Diese Überlegung impliziert einerseits die Möglichkeit einer Entwicklung von Interessen und macht andererseits zwei Betrachtungsperspektiven auf Interesse deutlich: Zum einen sind Interessen als „persönlichkeitsspezifische Vorlieben für ein bestimmtes Wissens- oder Handlungsgebiet“ definiert (Krapp, 1992). Es handelt sich um motivationale Dispositionen, die im Wertesystem der Person fest verankert sind und somit ein

relativ stabiles Persönlichkeitsmerkmal darstellen. Diese Form von Interesse wird als *individuelles Interesse* bezeichnet. Konkrete interesseorientierte Handlungen können als Umsetzung dieser Dispositionen betrachtet werden. Die Handlungen finden in spezifischen Situationen statt, die über eine eigene Interessantheit verfügen und eine interessierte Zuwendung auslösen können (Krapp, 1992). Dieses Interessiertsein einer Person wird als *situationales Interesse* bezeichnet und ist das Resultat aus der Wechselwirkung zwischen Person- und Situationsfaktoren (Krapp, 1998). Es kann grundsätzlich unabhängig vom *individuellen Interesse* der Person ausgelöst werden, steht aber in Interaktion damit (Krapp, 1992). So wiesen z. B. Knogler, Harackiewicz, Gegenfurtner und Lewalter (2015) sowohl die Eigenständigkeit als auch die gegenseitige Beeinflussung der Konstrukte nach: *Individuelles Interesse* vermag das *situationale* Interesse nicht in jeder Situation signifikant vorherzusagen. Dennoch kann in Längsschnittstudien insgesamt ein Viertel bis zu einem Drittel der Varianz des situationalen Interesses durch das individuelle Interesse aufgeklärt werden (Knogler et al., 2015).

Aus *situationalem Interesse* kann sich unter bestimmten Voraussetzungen *individuelles Interesse* entwickeln. Dabei handelt es sich um einen mehrstufigen Prozess, in dem sich zunächst die durch externe Anregungsfaktoren entstandene Neugier in eine Bereitschaft zur längerfristigen Auseinandersetzung weiter entwickelt. In einem weiteren Schritt kann ein von äußeren Reizen unabhängiger Bezug zwischen der Person und dem Gegenstand und somit ein *individuelles Interesse* entstehen (Krapp, 1998).

Dieses Rahmenmodell der Interessensgenese ist in Abbildung 4 dargestellt.

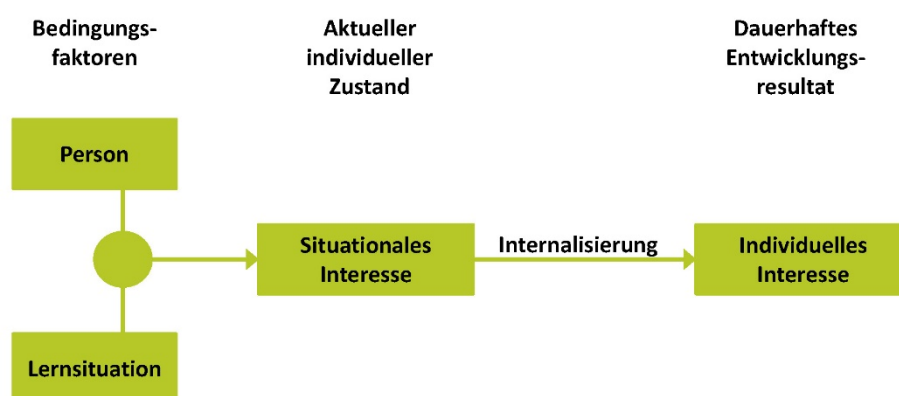


Abb. 4: Rahmenmodell der Interessensgenese (nach Krapp, 1998)

Für Schülerlabore implizieren diese theoretischen Hintergründe, dass einmalige Besuche ein Interessiertsein und somit situationales Interesse anregen können. Für die Entwicklung von individuellem Interesse sind längerfristige Auseinandersetzungen notwendig, die entweder im weiteren schulischen Unterricht, in der Freizeit oder auch durch mehrmalige Schülerlaborbesuche geschehen können.

3.2.8 Modelle zur weiteren Ausdifferenzierung von Interesse

Zudem ist eine weitere Differenzierung der Interessenskomponenten möglich und auch empirisch bestätigt: So schlug Mitchell (1993) ein zweistufiges Entwicklungsmodell des *situationalen Interesses* vor: Da das Interesse von Personen in einem ersten Schritt gefangen und in einem zweiten Schritt gehalten werden muss, prägte er die Begriffe *Catch-* und *Hold-Komponente*. In der *Catch-Komponente* wird das Interesse durch die Lernbedingungen stimuliert (*Triggered*). Dies kann z. B. durch den Einsatz von Gruppenarbeit, Computer oder Rätsel geschehen. Sie können als Katalysator für eine erste Aktivierung selbstständigen Lernverhaltens dienen. In der *Hold-Komponente* wird das Interesse durch die Verdeutlichung der Wichtigkeit der Inhalte und die innere Beteiligung des Lerners gehalten (*Maintained*). Wenn Personen nicht darin unterstützt werden, eine innere Bereitschaft zur weiteren Auseinandersetzung zu entwickeln, ist keine weitere Ausprägung von *individuellem Interesse* möglich (Mitchell, 1993).

Hidi und Renninger (2006) schlagen ein vierstufiges Modell (*Four-Phase Model*) vor, in dem sie die *Catch-* und *Hold-Phase* als *Triggered* und *Maintained Situational Interest* aufgreifen und zudem nochmals zwischen entstehendem (*Emerging*) und gut entwickeltem (*Well-developed*) individuellem Interesse unterscheiden. Lehrende sollten zur optimalen Unterstützung der Interessenentwicklung in den jeweiligen Phasen verschiedene Strategien umsetzen, denn hier ist jeweils ein variierendes Maß der Unterstützung auf der Gefühlsebene, der Wertebene oder der Wissensebene notwendig (Hidi & Renninger, 2006). Im Theorieverständnis von Hidi und Renninger (2006) spielt das Wissen der Person in Bezug auf die Entwicklung von Interesse eine wichtige Rolle: Eine starke Ausbildung des Interesses ist nach ihrem Verständnis geprägt durch wiederholte Beschäftigung mit dem Gegenstand sowie mit Wissen darüber (Hidi & Renninger, 2006).

Linnenbrink-Garcia et al. (2010) schlagen für das situationale Interesse eine Untergliederung in drei Faktoren vor: *Triggered Situational Interest* (T-SI) kann durch die Präsentation des Lernmaterials und *Maintained Situational Interest* (M-SI) kann durch den Inhalt des Lernmaterials ausgelöst werden, wobei M-SI in eine Gefühls (*Feeling*)- und eine Wert (*Value*)- Komponente getrennt werden können. Diese Faktoren beziehen sich darauf, in welchem Ausmaß die Auseinandersetzung mit dem Material als erfreulich empfunden wird und inwieweit das Material als wertvoll erachtet wird. Linnenbrink-Garcia et al. (2010) analysierten das Konstrukt mit der Zielsetzung, situationales Interesse unabhängig von der Vielfalt domänenspezifischer Inhalte erfassen zu können. Dabei gehen sie ebenso wie die vorher benannten Autoren davon aus, dass *Maintained Situational Interest* das Verbindungsglied zum individuellen Interesse darstellt. Hier steht die Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand im Fokus, diese Form des Interesses ist also bereits inhaltspezifisch. Die mehrfache Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand in verschiedenen Kontexten kann in individuelles Interesse münden. *Triggered Situational Interest* wird durch die affektiven Reaktionen auf die Art und Weise der Präsentation erzeugt, die *Feeling*-Komponente des *Maintained Situational Interest* dagegen durch die affektiven Reaktionen auf den Inhalt. Abbildung 5 zeigt das Dreifaktorenmodell des situationalen Interesses (Linnenbrink-Garcia et al., 2010).

Schülerlabore sollten durch die praktische Tätigkeit in Gruppenarbeit und die Vermittlung der Inhalte durch Betreuer in einer forschungsnahen Laborsituation relativ leicht *Triggered Situational Interest* auslösen können. Das Experimentieren an einem authentischen Lernort außerhalb der Schule sollte positive Gefühle auch gegenüber dem Lerngegenstand und somit die *Feeling*-Komponente des *Maintained Situational Interest* unterstützen können. Es wird deutlich, dass die Betonung der Relevanz der Inhalte eine wichtige Rolle spielt, um die *Value*-Komponente des *Maintained Situational Interest* und somit einen verbindenden Schritt zum längerfristigen individuellen Interesse bei den Schülern anbahnen zu können.

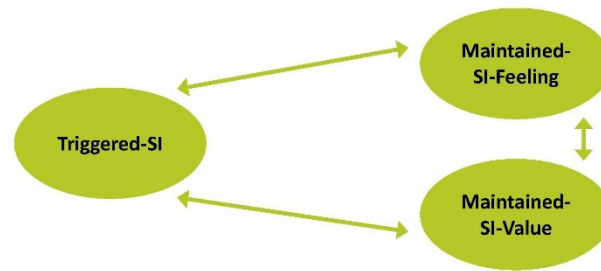


Abb. 5: Dreifaktorenmodell des situationalen Interesses (SI, nach Linnenbrink-Garcia et al., 2010)

3.2.9 Flow-Erleben

Wie in Kapitel 3.2.3 dargestellt, liegen bei mit Interesse ausgeführten Handlungen die Anreize im Gegenstand der Handlung selbst und die Tätigkeit kann als intrinsisch bezeichnet werden. Eine weitere Form des intrinsischen Erlebens bietet die Möglichkeit, dass die Tätigkeit selbst Freude im Tun bewirkt.

Tätigkeiten, die um ihrer selbst willen durchgeführt werden, werden als *autotelisch* bezeichnet. Die Namensgebung leitet sich aus dem Griechischen ab (auto = selbst, telos = Ziel), da sie trotz hohen Energieaufwandes keine konventionellen Belohnungen einbringen (Csikszentmihalyi, 1985). Csikszentmihalyi (1985) analysierte die der Handlung zugrunde liegenden Beweggründe aus der Perspektive der Beobachtung und Empirik heraus. Ausgangspunkt für seine Untersuchungen war die Befragung von Personen, die in verschiedenen Tätigkeitsfeldern anstrengende Handlungen ausführen, ohne eine Belohnung im Sinne einer positiven Handlungsfolge erwarten zu können. Als Begründungen für die Tätigkeiten gaben Personengruppen wie z. B. Kletterer, Künstler, Forschungsreisende, Sportler, Schachspieler etc. im Rahmen verschiedener Studien positive Emotionen an. Sie berichteten übereinstimmend über das charakteristische Gefühl, vollständig in ihrem Tun aufzugehen und mit ihrer Handlung zu verschmelzen. Da dieser Zustand als einheitliches Fließen beschrieben wurde, prägte Csikszentmihalyi (1985) dafür den Begriff *Flow*. Dieses Erleben grenzt - im Vergleich zu autotelischen Aktivitäten - bewusst eine mögliche zusätzliche äußere Belohnung bewusst nicht aus (Csikszentmihalyi, 1985).

Die Qualität des subjektiven Erlebens setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen (Csikszentmihalyi & Schiefele, 1993):

- Zentrierung der Aufmerksamkeit auf einen beschränkten Umweltausschnitt: Die Person richtet sich fokussiert auf die Tätigkeit, ohne auf weitere Umweltanreize zu reagieren.
- Selbstvergessenheit: Das Selbst als bewusst wahrgenommene Steuerungseinheit tritt in den Hintergrund. Die Person erlebt keine reflektiv-kognitiven Vorgänge, sondern richtet die Gedanken auf ihr Inneres.
- Ausüben der Kontrolle über Handlungen und Umwelt: Die Person hat das Gefühl, die Situation im Griff zu haben und fühlt sich kraftvoll und leistungsfähig.

Damit *Flow*-Erleben entstehen kann, müssen zwei zentrale Voraussetzungen erfüllt sein: Erstens müssen die Fähigkeiten der Person mit den Anforderungen der Handlungen übereinstimmen. Sind die Aktionen für das Kompetenzniveau der Person zu hoch, so ist sie überfordert, sind sie zu niedrig, so ist sie unterfordert. So ergibt sich das in Abbildung 6 dargestellte Diagramm des „*Flow-channels*“ als Bereich, in dem die Anforderungen und die Fähigkeiten so kompatibel sind, dass *Flow* entstehen kann. Zweitens muss die Handlung eine eindeutige Struktur haben, d. h. sie muss ein klares Ziel vor Augen haben. *Flow* ist nicht möglich, wenn eine Person zunächst langwierige Überlegungen über Anforderungen und Möglichkeiten anstellen muss.

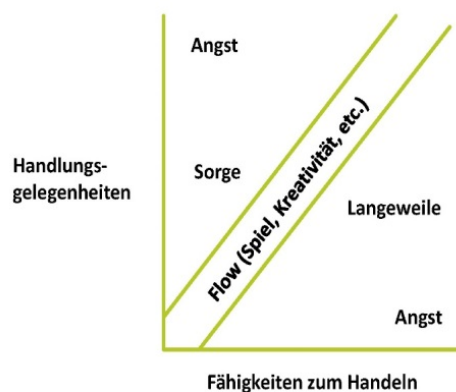


Abb. 6: Modell des *Flow*-Zustandes (nach Csikszentmihalyi, 1985)

Rheinberg, Vollmeyer und Engeser (2003) entwickelten auf der Basis dieser Charakteristika einen Fragebogen zum *Flow*-Erleben und identifizierten dabei die mögliche, aber nicht zwingende Betrachtung des Konstruktes in den zwei Dimensionen „Glatter, automatisierter Verlauf“ und „Absorbiertheit“. Sie ergänzten die Überlegung, dass *Flow* stark von der individuellen Neigung von Personen zu Besorgnis beeinträchtigt werden kann und fügten daher Items zur Erfassung dieser

Komponente hinzu. Zudem entwickelten sie eine separate Skala für die subjektiv erfahrene Passung der Anforderung mit den Tätigkeiten. *Flow* ist in den verschiedensten Tätigkeitskategorien möglich, die Ausprägung variiert jedoch. So sind die Werte z. B. beim Sporttreiben, Musizieren und Sex besonders hoch, beim Warten, Sinnieren und passivem Gefahrenwerden besonders niedrig. (Rheinberg et al., 2003).

Aus den bisherigen Darlegungen wird deutlich, dass *Flow* auch für schulische Settings ein wichtiges motivationales Konstrukt ist: Es ist wünschenswert, dass Schüler Freude im Tun und damit einhergehend intrinsische Motivation erleben können. Zudem lässt das Merkmal der hohen Konzentration beim *Flow* den Rückschluss zu, dass die Personen sich hier auf ihrem höchsten Leistungsniveau befinden (Csikszentmihalyi & Schiefele, 1993). Eine Voraussetzung dafür ist die Passung der Anforderungen mit den Fähigkeiten der Schüler. So muss das Niveau des Lernmaterials so angepasst werden, dass eine passende Herausforderung möglich ist. Insbesondere für Schülerlabore zeichnet sich hier eine große Chance ab, da hier praktisch gearbeitet wird und somit besonders gut hohe *Flow*-Werte erreicht werden können. Der Aufbau der Versuche, die Anleitungen und Instruktionen müssen dafür auf die Kompetenzen der Schüler abgestimmt sein.

Da als eine zentrale Bedingung für das Zustandekommen von *Flow* die Passung der Fähigkeiten mit den Anforderungen genannt wird, spielt der Kompetenzbegriff in diesem Konstrukt eine zentrale Rolle. *Flow* stellt eine wichtige Quelle für Kompetenzentwicklung dar, weil bei sich stets verbessernden Fähigkeiten auch die Anforderungen stetig erhöht werden müssen, um weiterhin *Flow* erleben zu können (Schiefele & Streblow, 2005). Die Betonung des Kompetenzaspekts zeigt einen inhaltlichen Bezug zu den *Basic Needs* auf: Die Entwicklung intrinsischer Motivation setzt die Erfüllung des Kompetenzbedürfnisses voraus, wie auch die Passung der Kompetenz mit den Anforderungen das *Flow*-Erleben ermöglicht. Im Bereich der Erfüllung des Autonomiebedürfnisses lässt sich ebenfalls ein Bezug zum *Flow* herstellen: Die Erlebensweise ist geprägt durch ein völliges Aufgehen der Person in ihrer aktuellen Tätigkeit und sie handelt in Übereinstimmung mit den Zielen ihres individuellen Selbst (Krapp, Geyer & Lewalter, 2014). Das Bedürfnis nach sozialer Eingebundenheit ist bei rein intrinsisch motivierten Handlungen zu vernachlässigen, da dies v. a. für Internalisierungsprozesse essentiell ist. So thematisiert die völlig

unabhängig von der Selbstbestimmungstheorie entwickelte *Flow*-Theorie durchaus übereinstimmende Phänomene, um motivationale Vorgänge zu erklären.

3.2.10 Stand der Forschung zu motivationalen Variablen in Schülerlaboren

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, ist die Förderung von Interesse an den Naturwissenschaften sowie des Nachwuchses in den MINT-Bereichen eine zentrale Zielsetzung von Schülerlaboren. So verwundert es nicht, dass bisher in fast allen Dissertationen zu Schülerlaboren motivationale Faktoren untersucht wurden, um die erwünschte Wirkung zu analysieren (siehe Kap. 2 Tab. 2).

Die zentralen Ergebnisse werden im Folgenden nach Fachbereichen gegliedert vorgestellt. Dabei wird - an die bereits dargestellten theoretischen Hintergründe anknüpfend - auf die unterschiedlich ausgestalteten Konzeptionen der Konstrukte Interesse und Motivation fokussiert. Das ebenfalls häufig untersuchte Fähigkeitsselbstkonzept wird nicht eingehend erläutert, da es in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wird. Dennoch soll kurz zusammengefasst werden, dass unter diesem Konstrukt die Gesamtheit der kognitiven Repräsentationen der eigenen Fähigkeiten verstanden wird und dass es sich auf die Motivation und den Lernerfolg auswirkt (Stiensmeier-Pelster & Rheinberg, 2003). Zusammen mit dem Sach- und Fachinteresse beeinflusst es die Berufswahl stark (Priemer & Lewalter, 2009). In verschiedenen Untersuchungen wurde die geschlechterunabhängige zumindest kurzfristige Steigerung des Fähigkeitsselbstkonzeptes durch einen Schülerlaborbesuch gezeigt (Brandt, 2005; Damerau, 2012; Pawek, 2009; Streller, 2016).

Physik

Im Fachbereich Physik orientierten sich alle Arbeiten an einem Modell nach Krapp, Hidi und Renninger (1992), welches sowohl das situationale als auch das aktualisierte individuelle Interesse als psychologischen Zustand innerhalb einer Person und als Ergebnis aus dem dispositionalen individuellen Interesse und der Interessantheit der Lernumgebung versteht. Das situationale Interesse ist dabei das Resultat aus der Interessantheit der Lernumgebung. Das aktualisierte Interesse stellt den aktualisierten Status des individuellen Interesses dar. Engeln verwendete in ihrer Arbeit im Jahr 2004 die beiden Begriffe situationales Interesse und aktualisiertes Interesse synonym. Das Konstrukt wurde in bei Engeln (2004) in eine epistemische,

eine Gefühls- und eine Wertkomponente untergliedert. Im Vergleich zu Kapitel 3.2.7 wurde hier also eine weitere Skala eingeführt. Sie geht auf das Theorieverständnis von Prenzel (1988) zurück: Mit dem Interesse an einem Gegenstand sind eine hohe Wertschätzung und positive Emotionen verbunden, zudem führt es zu einer epistemischen Orientierung im Sinne eines Wunsches nach weiterem Wissen. Diese kognitive Komponente wird jedoch im Laufe der weiteren Ausschärfung von Interesse (z.B. Krapp, 2002; Schiefele, 2001) nicht unbedingt als eigene Dimension des Konstruktes aufgeführt. So betrachtet Krapp (1999) diesen Wunsch als Teil der Wertkomponente (siehe Kap. 3.2.6). Zur Beschreibung des Interessenkonstruktes werden jedoch immer explizit die Valenzen „Wert“ und „Gefühl“ genannt. Der selbst konstruierte und insofern für Schülerlabore maßgeschneiderte Fragebogen von Engeln (2004) mit den beschriebenen drei Subskalen wurde in allen weiteren Dissertationen im Fachbereich Physik und auch teilweise und leicht modifiziert in den anderen Fachbereichen verwendet. So basieren die meisten Ergebnisse auf dieser Definition des Konstruktes *aktualisiertes Interesse*.

Im Fachbereich Physik wurde in vier Dissertationen (Engeln, 2004; Guderian, 2006; Pawek, 2009; Streller, 2016) auf der Basis des Fragebogens nach Engeln gezeigt, dass Schülerlabore das aktualisierte Interesse kurzfristig steigern.

Engeln (2004) analysierte in ihrer Pionierarbeit den Einfluss von Laborvariablen und Personenvariablen auf das aktualisierte Interesse. Sie konnte zeigen, dass die Labormerkmale „Herausforderung“, „Authentizität“ und „Verständlichkeit“ einen deutlich größeren Einfluss haben als „Offenheit“ und „Zusammenarbeit“. Dabei gab es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede, d. h. Jungen und Mädchen können in Schülerlaboren gleich stark gefördert werden und somit kann die in der Physik stark ausgeprägte *Gender Gap* reduziert werden. Im Follow-up-Test nahmen die Werte der emotionalen und epistemischen Komponente ab, diejenigen der wertbezogenen Komponente jedoch zu. Ein Schülerlaborbesuch kann also langfristig die Wertschätzung positiv beeinflussen.

Guderian (2006) untersuchte den Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf das aktualisierte Interesse. Er konnte zwar eine kurzfristige Steigerung nachweisen, trotz der Mehrfachbesuche nahm das Interesse jedoch langfristig ab. Guderian, Priemer und Schön (2006) forderten als Konsequenz aus der

langfristigen Abnahme des epistemischen Interesse eine stärkere Einbindung in den Unterricht.

Pawek (2009) modifizierte die Items von Engeln (2004) leicht und konnte ebenso wie sie ein hoch ausgeprägtes Interesse am Ende eines Schülerlaborbesuches und eine stärkere Abnahme der emotionalen und der epistemischen Komponente als die wertbezogene Komponente nachweisen. Im Rahmen eines Strukturgleichungsmodells über die auf das Interesse einwirkenden Variablen im Schülerlabor zeigte er, dass die Sachinteressen der Schüler und die Laborvariablen ähnlich bedeutsam sind. Mädchen profitierten von dem Schülerlaborbesuch besonders stark.

Streller (2016) untersuchte die Auswirkung der Vor- und Nachbereitung eines Schülerlaborbesuches durch ein Online-Portal in einem Treatment-Kontrollgruppendesign. Dabei identifizierte er drei unterschiedliche naturwissenschaftliche Interessensklassen, welche gleichermaßen von dem Angebot in der Entwicklung ihres aktuellen Interesses profitierten. Zudem wies er ebenso wie Engeln (2004) und Pawek (2009) nach, dass Mädchen besonders stark gefördert wurden.

Chemie

Im Fachbereich Chemie befassten sich vier Dissertationen mit Motivation und Interesse mit durchaus unterschiedlichen Konstruktverständnissen.

Brandt (2005) untersuchte im Rahmen eines Erwartungs-Wert-Modells motivationale Variablen. Hier fokussiert die Perspektive auf die Handlung und deren Folgen und steht im Kontrast zur Perspektive aus der Person heraus und somit zur in Kapitel 3.2.4 bis 3.2.6 dargelegten Selbstbestimmungstheorie. Er analysierte das inhaltsbezogene, das kontextbezogene und das tätigkeitsbezogene Interesse mit eigenen Items und zeigte, dass Mehrfachbesuche eines Schülerlabors das Interesse kurzfristig steigern. Dies hielt im Vergleich zu einer Kontrollgruppe jedoch nicht längerfristig an. Der Unterschied von Jungen und Mädchen im Interesse an Chemie wurde jedoch längerfristig verringert. Außerdem nahmen die Schüler nach der Intervention stärker aus eigener intrinsischer Motivation heraus am Chemieunterricht teil und das berufliche Interesse am Fach Chemie wurde gefördert.

Zehren (2009) wies in einem Treatment-Kontrollgruppenvergleich mit selbst formulierten Items nach, dass die Verzahnung eines Schülerlabors mit dem Chemieunterricht über mehrere Jahre zu einem größeren Interesse an naturwissenschaftlichen Berufen und größerem Sachinteresse führen. Zudem wurde ein höherer intrinsischer Wert des Chemielernens berichtet.

Itzek-Greulich (2014) wählte ebenso wie Brandt ein Erwartungs-Wert-Modell als Rahmen ihrer Studie. Sie verwendete einen validierten Fragebogen (Achievement-Emotions-Questionnaire nach Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld & Perry, 2011), um relativ stabile (*Trait*) und variierende, situative (*State*)-Ausprägungen zu erfassen. Im Vergleich der Treatmentgruppen „Schülerlabor“, „Schule“ und „Schülerlabor unter Einbindung in den Unterricht“ konnte sie höhere motivationale Werte im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Intervention in diesem Bereich nachweisen. Zudem zeigten Schüler in der reinen Schulgruppe beim Theorieunterricht einen höheren Wert in der Skala „Lernfreude“. Als Konsequenz fordern Schwarzer und Itzek-Greulich (2015) eine intensivere Verzahnung mit dem schulischen Unterricht.

Huwer (2015) untersuchte unter Verwendung des Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation (FAM; Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001) die Auswirkung Forschenden Experimentierens im Kontext naturwissenschaftlich-technischer Umweltbildung. Der validierte Fragebogen erfasst Leistungsmotivation, Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung. Huwer (2015) wies in einem Kontrollgruppenvergleich eine Steigerung der aktuellen Motivation bei Fünftklässlern, jedoch keine Steigerung bei Zehntklässlern durch ein Labor-on-Tour-Modul nach. Zudem konnte er einen Zusammenhang der aktuellen Motivation mit dem Wissen im Nachtest zeigen.

Biologie

Im Fachbereich Biologie befassten sich vier Dissertationen mit dem Interesse.

Glowinski (2007) analysierte den Einfluss von Schülermerkmalen und Labormerkmalen auf laborbezogene Interessemerkmale. Sie formulierte Items zu den interesseauslösenden Bedingungen „Experimentieren“, „Authentizität“ und „Kontexte“ unter gleichzeitiger Abbildung der epistemischen, emotionalen und wertbezogenen Komponente. Das Schülermerkmal „Individuelles Interesse“ wurde mit einem validierten Fragebogen erfasst (Skala zum fachspezifischen Selbstkonzept

der Begabung und zum Interesse; nach Köller, Schnabel und Baumert (2000)). Das individuelle Interesse wurde als zentraler Prädiktor für das epistemische Interesse an allgemeinen molekularbiologischen Themen sowie an Schülerlaborexperimenten identifiziert. Zudem spielt hier die Instruktionsqualität eine zentrale Rolle. Ebenso wie die vorher benannten Autoren stellte auch sie fest, dass der im Nachtest nachgewiesene hohe Gesamtwert des aktualisierten Interesses mittelfristig sinkt. Zudem wies sie den Zusammenhang der Vorbereitung im Unterricht mit dem Interesse nach. Dabei identifizierte sie die *Basic Needs* unter Verwendung selbst formulierter Items in drei Subskalen als Mediatorvariablen. So ist die Vorbereitung im Unterricht ein wesentlicher Prädiktor des Kompetenzerlebens (Glowinski & Bayrhuber, 2011). In ihrem auf den Daten der Dissertation beruhenden Zeitschriftenartikel verwenden Glowinski und Bayrhuber (2011) den Begriff „situationales Interesse“ für die abhängige Variable, zudem wird die epistemische Komponente nicht in die Darstellung mit einbezogen.

Scharfenberg (2005) erfragte mit selbst formulierten Items, ob die Schüler über verschiedene Bereiche der Gentechnik mehr wissen möchten und zielte so singular auf die epistemische Komponente des Interesses ab. In einem Pre-Post-Follow-up-Design waren die Werte über die Messzeitpunkte stabil. Auch zwischen den drei Treatments „Schülerlabor mit Experimenten“, „Schülerlabor ohne Experimente“ und „Schule“ konnte er keine Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Dies mag zum einen an stark auf das individuelle Interesse abzielende Fragen liegen und zum anderen an dem insgesamt sehr hohen Gesamtinteresse an der Gentechnik.

Damerau (2012) untersuchte unter Verwendung leicht modifizierter Items nach Engeln (2004) den Zusammenhang von Schüler- und Labormerkmalen auf das aktualisierte Interesse. Ebenso wie Engeln (2004), Glowinski (2007), Pawek (2009) und Guderian (2006) stellte er fest, dass der Laborbesuch einen signifikanten Einfluss auf das aktuelle Interesse hat. Zudem blieben die Werte der wertbezogenen Valenzen wiederum auf einem ähnlichen Niveau, während die Werte der gefühls- und wertbezogenen Komponenten absanken. Um dies zu verhindern, fordert er, wie auch schon die vorher benannten Autoren, eine stärkere Einbindung des Schülerlaborbesuches in den Unterricht. Zudem identifizierte er unterschiedliche Schülertypen, welche über verschiedene Ausprägungen von Interesse verfügen: Die fachlich sehr interessierten Allrounder verfügen über das höchste aktualisierte

Interesse, Praktiker das niedrigste. Zudem lagen Unterschiede zwischen den Kursmodulen vor.

Zusammengefasst konnten Rodenhauser (2016) und Buse (2017) zeigen, dass in bilingualen Schülerlaborkursen speziell bei dem Schülertypus ‚Fremdsprachler‘ das biologische Fähigkeitsselbstkonzept gesteigert wird. Englischsprachige Kurse bieten somit eine gute Möglichkeit zur MINT-Förderung fremdsprachlich orientierter Schüler. Bei dem Schülertypus ‚Naturwissenschaftler‘ verändert sich wiederum die Einstellung zum Fremdsprachenlernen und auch das bilinguale Fähigkeitsselbstkonzept. Die Gruppe der ‚Allrounder‘ wies während der Kurse die höchste tätigkeitsbezogene intrinsische Motivation auf.

Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse

Trotz unterschiedlicher inhaltlicher Auffassungen von motivationalen Variablen und unter Anwendung einer Vielfalt von analytischen Zugängen können einige zentrale Übereinstimmungen zusammengefasst werden:

- Einmalige sowie mehrmalige Schülerlaborbesuche fördern kurzfristig motivationale Variablen der Schüler.
- Nach einmaligen und auch nach mehrmaligen Besuchen von Schülerlaboren sinken die motivationalen Werte langfristig.
- Vom langfristigen Absinken der motivationalen Werte ist die Wertkomponente des Interesses nicht betroffen.
- Die Einbindung von Schülerlaborbesuchen in den Unterricht ist von zentraler Bedeutung für motivationale Variablen.
- Es liegen keine generellen Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen vor, obwohl dies in den Fächern Chemie und Physik in der Schule der Fall ist.
- In bilingualen Schülerlaborkursen können sprachlich orientierte Schülertypen besonders im MINT-Bereich gefördert werden und eher naturwissenschaftlich orientierte Schülertypen besonders im sprachlichen Bereich.

3.3 Zusammenführung der Konstrukte als Basis der Entwicklung und Evaluation des Schülerlabors

Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, wird in dieser Arbeit das Ziel verfolgt, Forschungslücken im Bereich der Wirkmechanismen von Schülerlaboren zu verringern. Dies geschieht im Rahmen einer Design-Based-Research-Studie durch

die Entwicklung und Evaluation des *teutolab*-biotechnologie. Die Ergebnisse sollen dazu dienen, tiefere Einblicke in die Zusammenhänge der relevanten Konstrukte zu erlangen.

In Schülerlaboren können Schüler an authentischen Lernorten selbstständig experimentieren. So wird das Ziel verfolgt, Interesse an den Naturwissenschaften zu wecken und das Verständnis zu vertiefen (Haupt et al., 2013). Daher sind die Prozesse beim Wissenserwerb durch Experimentieren sowie der motivationalen Entwicklung essentiell für die Forschung im Schülerlabor. Die in den folgenden Kapiteln dargelegten Entwicklungen und Untersuchungen basieren daher auf dem im Theorieteil vorgestellten Verständnis von Wissenserwerb, Motivation und Interesse. Die Interpretation der Begriffe für diese Arbeit sowie der Zusammenhang der Konstrukte soll hier kurz verdeutlicht werden:

Wissenszuwachs vollzieht sich durch einen *Conceptual Change* bereits vorhandener Vorstellungen (Duit & Treagust, 2003a) und wird gemäß der konstruktivistischen Lernauffassung aktiv vom Lerner konstruiert (Reinmann & Mandl, 2006). Das Experimentieren im Schülerlabor bietet die Möglichkeit, forschend zu lernen und dabei den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg zu beschreiten. Dabei sollen die Schüler so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig angeleitet werden. Limitierende Faktoren sind einerseits ein evtl. zu hoher *Cognitive Load* (Sweller, 1988) beim freien Experimentieren sowie andererseits ein evtl. nur eingeschränktes Verständnis für die naturwissenschaftliche Arbeitsweise. Als Instruktionsansatz bietet sich das Konzept des *Cognitive Apprenticeship* an (Collins et al., 1989). Beim Experimentieren im Schülerlabor wird situiertes Lernen in authentischen Kontexten ermöglicht und Experten können hier als „Meister“ in ihr Fach einleiten.

Der Bezug zur echten Wissenschaft wirkt motivierend und interessefördernd. So kann einerseits die Interesseförderung in den MINT-Bereichen erreicht werden, andererseits wirkt sich dies auch positiv auf die Lernleistung aus, da Lernen die Aktivität des Lerners voraussetzt. In Anlehnung an das Rahmenmodell von Krapp (1993) wird der Wissenserwerb als unmittelbares Ergebnis einer Lernhandlung betrachtet. Diese geschieht in einem spezifischen motivationalen Zustand. Es ist das Ziel, ihn im Schülerlabor positiv zu stimulieren und intrinsische Erlebensqualitäten zu ermöglichen. Die Lernsituation und der Lerngegenstand sowie das soziale Umfeld sind durch die Gestaltung des Labors zu beeinflussen.

Der Lerngegenstand soll so gestaltet sein, dass er das Interesse fördert, da diese als Bedingung für intrinsische Motivation betrachtet wird. Interesse wird nach Krapp (2002) als Person-Gegenstands-Beziehung aufgefasst, welche sich ausgehend von situationalem in individuelles Interesse entwickeln kann. Im Schülerlabor soll situationales Interesse ausgelöst (*triggered*) und gehalten (*maintained*) werden. Hier wird dem Verständnis von Linnenbrink-Garcia et al. (2010) gefolgt, welche beim gehaltenen Interesse in eine Gefühls- und in eine Wertkomponente differenzieren. Das individuelle Interesse des Lerners wird als relativ stabiles Persönlichkeitsmerkmal berücksichtigt.

Die Lernsituation soll so gestaltet sein, dass sie eine Handlung um ihrer selbst willen im Sinne von *Flow* nach Csikszentmihalyi (1985) ermöglicht, da intrinsische motivierte Tätigkeiten typischerweise mit dieser Erlebensqualität einhergehen. Dies setzt die Passung der Anforderungen im Labor mit den Fähigkeiten des Lerners voraus. Zudem soll die Lernsituation so gestaltet sein, dass sie die Internalisierung von extrinsischer Motivation in einen möglichst hohen Grad der Selbstbestimmung fördert. Dafür sollen die Bedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit erfüllt werden (Ryan & Deci, 2004), indem sich u. a. die Betreuer im Schülerlabor autonomieförderlich verhalten (Niemic & Ryan, 2009; Reeve, 2004).

Ein weiterer Faktor, der auf die aktualisierte Motivation wirkt, ist die Person des Lerners. Charakteristische Eigenschaften der Person sollen erfasst und berücksichtigt werden. Mittel- und langfristige Folgen können der Wissensbehalt und die mögliche Berufsorientierung im MINT-Bereich sein. Abbildung 7 veranschaulicht diese Zusammenhänge.

3.3 Zusammenführung der Konstrukte als Basis der Entwicklung und Evaluation des Schülerlabors

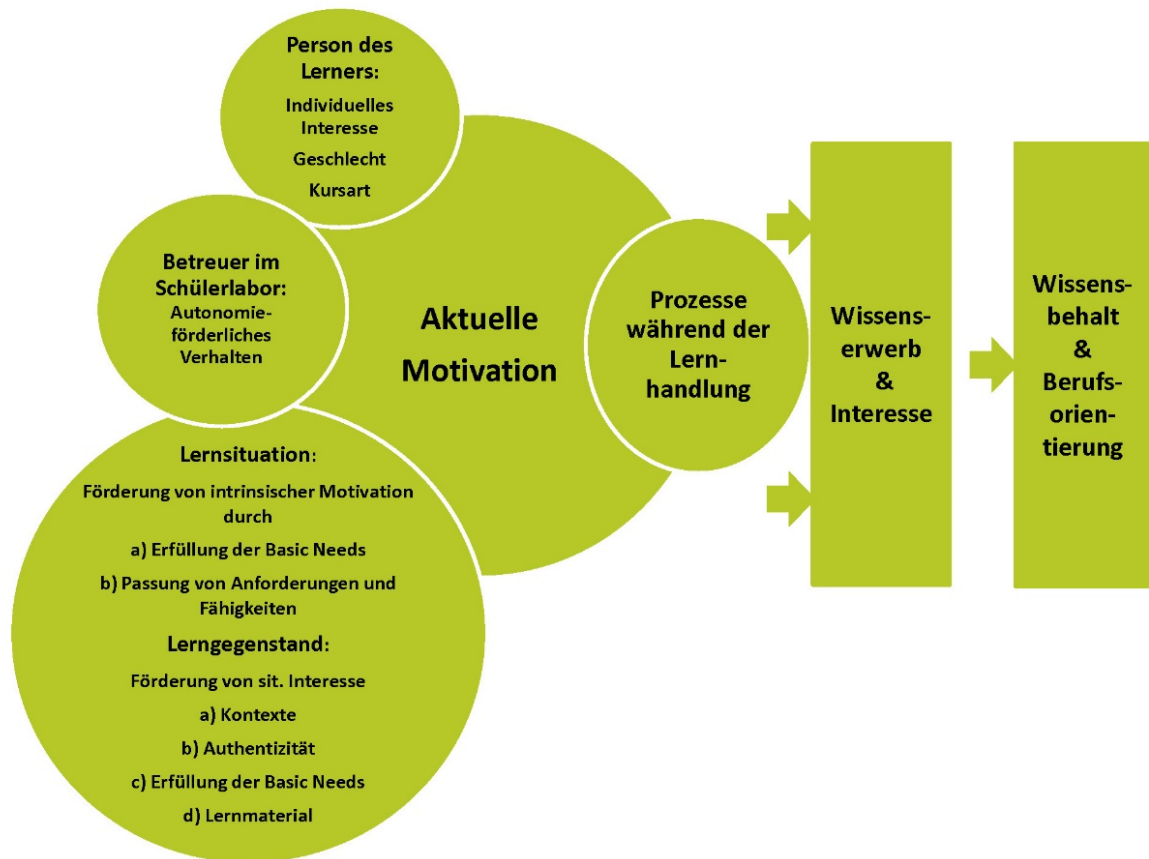


Abb. 7: Zusammenführung der relevanten Konstrukte in Orientierung am Rahmenmodell pädagogisch bedeutsamer Komponenten der Lernmotivation (Krapp, 1993)

4 Methoden

4.1 Forschungsrahmen

Wie in Kapitel 2 dargestellt, soll in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung und Analyse eines Gesamtkonzeptes für ein Schülerlabor dargestellt werden. Dies soll auf der in Kapitel 3 dargelegten theoretischen Basis und anknüpfend an die Ergebnisse aus den bereits vorliegenden Arbeiten in diesem Bereich geschehen. Hier wurden bisher die Auswirkungen von Schülerlaborbesuchen auf motivationale Zielvariablen sowie den Wissenserwerb in Form von Kontrollgruppendesigns oder von Zusammenhangsanalysen untersucht. Die Untersuchungen basierten auf Material, das für einmalige, unterschiedlich lang andauernde Interventionen für Schüler in Klassenverbänden entwickelt wurde. Ein Spezifikum dieser Arbeit ist die Bereitstellung von Angeboten zur Breiten- und zur individuelleren Begabtenförderung und zur Ausbildung von Lehramtsstudierenden. Die Entwicklung und Optimierung des Materials nehmen hier eine exponierte Rolle ein.

Daher wurde als Forschungsrahmen der Design-Based-Research(DBR)-Ansatz gewählt. Die holistische Sichtweise auf theoriegeleitet gestaltete Lernumgebungen steht hier im Mittelpunkt (Design-Based Research Collective, 2003). Es wird eine Brücke zwischen empirischer Forschung und der Praxis im Bildungsbereich geschlagen, indem Forscher und Akteure aus der Praxis zusammen arbeiten, um bedeutsame Erneuerungen z. B. in Schulen, Nachmittagsprogrammen etc. zu erwirken (Design-Based Research Collective, 2003). In diesem Bereich gehen aus der wissenschaftlichen Forschung heraus selten Innovationen hervor, die umfassend in die Praxis umgesetzt werden (Design-Based Research Collective, 2003; Reinmann, 2005). Der neue Forschungsansatz soll diesem Problem begegnen und wird seit der Jahrtausendwende verstärkt eingesetzt (Anderson & Shattuck, 2012). In Deutschland nimmt er noch keine zentrale Rolle ein, es wird ihm jedoch großes Potential zugeschrieben (Reinmann, 2005). Wie in Kapitel 2 dargestellt, sind Schülerlabore Bildungsinnovationen, die der Nachwuchsförderung in den Naturwissenschaften dienen. Häufig sind sie an Universitäten angesiedelt und stellen so eine Verbindung zwischen Schulen und Hochschulen und somit der Forschung her. So bietet der DBR-Ansatz einen geeigneten Rahmen, um den Aufbau eines Schülerlabores zu beforschen.

Es ist das Ziel des DBR, sowohl innovative lokal wirkende Lernumgebungen hervorzubringen, als auch die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Gestaltungsprozess zu nutzen (Design-Based Research Collective, 2003). So entstehen kontextualisierte Theorien zur Unterstützung von Praktikern und auch globalere Theorien. Die Forschung geschieht in authentischen Settings unter Anwendung qualitativer und quantitativer Methoden. Dies geschieht iterativ in mehreren Zyklen der Entwicklung, der Analyse und des Redesigns. Die dargestellten Spezifika gehen auf das Verständnis des DBR-Ansatzes durch das Design-Based Research Collective (2003) zurück. Es finden sich in der Literatur auch ähnliche Begrifflichkeiten (z. B. Design Experiments, Design Research, Development Research, Educational Design Research), welche weitgehend synonym gebraucht werden (Anderson & Shattuck, 2012; Reinmann, 2005). Im Folgenden soll deren spezifischer Forschungsansatz näher erläutert werden.

Ein Forschungsrahmen, der auf eine Innovation fokussiert, ist in der Lehr-Lernforschung bisher unüblich. Laut Burkhardt und Schoenfeld (2003) wird hier eher den geisteswissenschaftlichen oder naturwissenschaftlichen Ansätzen gefolgt, in denen als Output Erklärungen für Beobachtungen und damit auch Implikationen für die Praxis geliefert werden. Die Ergebnisse werden durch die Integration und Kommentierung theoretischer Ansätze oder durch die Anwendung empirischer Methoden generiert. Konkrete Lösungen sowie eine Übertragung in die Praxis nehmen hier keine zentrale Rolle ein. An dieser Intention orientiert sich jedoch die ingenieurwissenschaftliche Forschungstradition: Sie unterstützt das Verständnis für Vorgänge, indem systematisch und auf der aktuellen Forschung basierend qualitativ hochwertige Lösungen für praktische Probleme entwickelt werden. Dabei wird auf vorhandenes Wissen aufgebaut und es werden empirische Methoden zur Evaluation und Optimierung angewendet. Der Output des ingenieurwissenschaftlichen Ansatzes ist ein gut in der konkreten Situation funktionierendes Produkt oder ein Prozess (Burkhardt & Schoenfeld, 2003). Die Übertragung dieser Forschungstradition in die Lehr-Lernforschung bietet das Potential, dass auch hier durch systematische Gestaltung und Optimierung die Komplexität von Bildungsangeboten besser durchdrungen werden kann. Es ergibt sich sowohl ein praktischer als auch ein theoretischer Output, da einerseits Innovationen nachhaltig in diesen Bereich implementiert werden, andererseits Theorien zum Lehren und Lernen sowie Wissen zum Designprozess generiert werden (Reinmann, 2005). Der DBR-Ansatz verfolgt

also auch ein theoretisches Erkenntnisinteresse. Der von Krüger (2003) für die Biologiedidaktik vorgestellte Ansatz der entwicklungsorientierten Evaluationsforschung weist deutliche Parallelen zu diesem Konzept auf. Ebenso wie beim DBR-Ansatz wird eine Neuentwicklung beforscht, um ein empirisch abgesichertes Lernangebot zu liefern und zudem auch tiefere Einsichten in das Zusammenspiel der Neuentwicklungen, der Praxis und der Theorie zu generieren (Krüger, 2003). Er betont die Phase der formativen Evaluation mit dem Ziel der Optimierung des Lernangebots und die Phase der summativen Evaluation zur abschließenden Effektivitätsuntersuchung und Überprüfung von Hypothesen. Bei dieser Verknüpfung von Entwicklungsarbeit und Forschung liegen explizit formulierte Theorien zugrunde und die wissenschaftlichen Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität werden erfüllt (Krüger, 2003). Die Daten werden mit empirischen Methoden erhoben, welche eher qualitativ oder eher quantitativ ausgerichtet sein können. Dieses Konzept kann als deckungsgleich mit dem DBR bezeichnet werden und wird inhaltlich identisch im Jahr 2013 von Wilhelm und Hopf (2014) unter dem Begriff der Design-Forschung als Methode in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung vorgestellt. Hier wird zudem klar gestellt, dass bei dem Wechselspiel verschiedener Einflussfaktoren häufig keine isolierbaren Einzelelemente für die Wirkung einer Innovation identifiziert werden können. Daher ist es legitim, dass in der Praxis durchaus die Variation mehrerer Faktoren einer Lernumgebung durchgeführt wird (Wilhelm & Hopf, 2014).

Die oben aufgeführten Gütekriterien müssen bei der reinen Evaluationsforschung nicht unbedingt erfüllt sein. Sie orientieren sich an den Kriterien der Nützlichkeit, Durchführbarkeit, Fairness und Genauigkeit (Döring & Bortz, 2016, S. 992). Reinmann (2005) schlägt für den DBR die Gütekriterien der ingenieurwissenschaftlichen Forschungstradition vor. Dies sind Nützlichkeit, Neuheit und Nachhaltigkeit der Innovation.

Die vorliegende Arbeit wurde so konzipiert, dass alle genannten Kriterien erfüllt werden konnten. Die konkrete Umsetzung der Erhebung, Auswertung und Interpretation quantitativer und qualitativer Daten wird in den folgenden Kapiteln eingehender erläutert.

4.2 Quantitative Methoden

Alle quantitativen Daten wurden anonym erhoben, digitalisiert und mit der Software SPSS Version 24 analysiert.

4.2.1 Gütekriterien

Bei der Konzeptionierung des Schülerlabors wurde jeder Entwicklungsschritt dokumentiert und mit Fragebögen evaluiert. Der Einfluss einer Neuentwicklung wurde als unabhängige Variable in seiner Auswirkung auf verschiedene abhängige Variablen getestet. Dabei wurden überwiegend bereits publizierte Testinstrumente eingesetzt, so dass die Testgütekriterien hier sicher erfüllt werden konnten.

Objektivität

Eine Untersuchung ist objektiv, wenn die Ergebnisse eines Tests unabhängig vom Untersucher sind. Dabei soll das Testergebnis weder während der Durchführung durch den Untersuchungsleiter (Durchführungsobjektivität), noch durch eine uneinheitliche Auswertung (Auswertungsobjektivität) noch durch individuelle Deutungen der Ergebnisse (Interpretationsobjektivität) beeinflusst werden (Döring & Bortz, 2016, S. 443). Diese Voraussetzung wurde durch die Verwendung von fünfstufigen Ratingskalen (1 = trifft nicht zu, 5 = trifft voll zu) und die Verwendung bereits formulierter Items und Subskalen erfüllt.

Reliabilität

Eine Untersuchung ist reliabel, wenn der Test zu einem anderen Zeitpunkt zuverlässig zum gleichen Ergebnis führen würde. Die Überprüfung kann z. B. durch eine Wiederholung des Tests geschehen (Retest-Methode). In dieser Arbeit wird jedoch wie allgemein üblich die interne Konsistenz überprüft. Hier werden die Elemente des Tests halbiert und miteinander verglichen. Dieses Verfahren wird in der Konsistenzanalyse erweitert durch eine multiple Teilung jedes einzelnen Items und abschließende Korrelation aller Teile (Döring & Bortz, 2016, S. 444). Der so berechnete Alphakoeffizient nach Cronbach sollte bei einem Forschungsinstrument zum Vergleich von Gruppen mindestens zwischen 0,5 und 0,7 liegen (Lienert & Raatz, 1998, S. 14). Diese Voraussetzung ist in der vorliegenden Arbeit immer erfüllt. Die Werte der Skalen werden bei der Vorstellung der Testinstrumente im Methodenteil aufgeführt.

Validität

Eine Untersuchung ist valide, wenn der Test sicher das Konstrukt erfasst, welches gemessen werden soll. Diese Definition zielt inhaltlich auf die Konstruktvalidität ab, der eine besondere Bedeutung zukommt. Zudem soll eine Untersuchung auch inhaltsvalide sein, d. h. sie soll ein Konstrukt in seiner gesamten Facette erfassen, und sie soll kriteriumsvalide sein, d. h. die Testwerte sollen mit denen eines korrespondierenden Merkmals korrelieren (Döring & Bortz, 2016, S. 447). Diese Voraussetzung ist bei der Verwendung publizierter und somit auch bereits validierter Testinstrumente erfüllt.

Zur formativen Evaluation der Neuentwicklungen, zum *Forschenden Lernen* und zu den Schlüsselkompetenzen waren keine validierten Testinstrumente verfügbar und die Fragebögen wurden daher selbst entwickelt. Der Itempool wurde entsprechend der Empfehlung von Lienert und Raatz (1998, S. 227) einer Faktorenanalyse unterzogen. Als Voraussetzung muss jedoch ein Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert von 0,6 überschritten werden, da die Stichprobe andernfalls für eine Faktorenanalyse nicht geeignet ist (Bühl, 2014, S. 632). Sie wurde mit der Extraktionsmethode der Hauptachsen-Faktorenanalyse durchgeführt. Mit dieser in psychologischen Bereichen gebräuchlichen Methode werden die gemessenen Variablen durch die zugrundeliegenden Faktoren vorausgesagt (Field, 2011, S. 787). Die Extraktion der Faktoren geschah nach dem Kaiser's Kriterium, bei dem Faktoren mit einem Eigenwert >1 extrahiert werden. Zudem wurde der Verlauf des Grafts der Eigenvalues der einzelnen Variablen (Scree Plots) ergänzend beachtet (Field, 2011, S. 790). Die Kalkulation der Ladung der verschiedenen Variablen auf die extrahierten Faktoren erfolgte mit der Varimax-Rotation. Bei diesem orthogonalen Verfahren sind die rotierenden Faktoren weiterhin unkorreliert (Field, 2011, S. 792–793). Items mit Faktorladungen von unter 0,40 sollten ausgeschlossen werden (Field, 2011, S. 795). Abschließend wurden die Reliabilitäten der extrahierten Faktoren überprüft.

Gütekriterien der Wissenstests

Zur Erfassung des Wissenserwerbs war die passgenaue Entwicklung eigener Testinstrumente notwendig. Die Eindeutigkeit der Fragen und Antworten wurde durch eine Expertenbefragung promovierter Biologen abgesichert und die Verständlichkeit durch exemplarische Vertreter der Zielgruppe überprüft. Bei Wissenstests wird die

Inhaltsvalidität von vornherein unterstellt, da die Testfragen eine repräsentative Stichprobe der Gesamtheit der Lerninhalte darstellen (Lienert & Raatz, 1998, S. 224–225). Die Reliabilität ist schwer zu prüfen, da innere Konsistenz nicht gegeben sein muss (Lienert & Raatz, 1998, S. 214). Der Alphakoeffizient wurde dennoch für die Wissenstests in der vorliegenden Arbeit berechnet, betrug stets mindestens 0,5 und wird jeweils in den Methodenteilen angegeben. Ergänzend wurde die korrigierte Item-Skala-Korrelation geprüft. Diese Korrelation aus der Aufgabenantwort und der im Test erreichten Gesamtpunktzahl gibt als Trennschärfekoeffizient an, wie gut dieses Item zwischen guten und schlechten Testteilnehmern differenzieren kann. Items mit besonders niedrigen Werten sollten ausgeschlossen werden (Bühl, 2014, S. 591–596). Die Objektivität wurde durch die Verwendung von Multiple-Choice-Fragen und eine eindeutige Anweisung für die Auswertung erfüllt. Ergänzend wurde der Schwierigkeitsindex der einzelnen Items überprüft. Er gibt an, wieviel Prozent der Teilnehmer eine Frage richtig beantwortet haben. In Orientierung an vergleichbaren Studien (Damerau, 2012; Scharfenberg, 2005) und an Schröder (1976) wurden Fragen mit zu geringer Schwierigkeit (10 %) und zu hoher Schwierigkeit (90 %) ausgeschlossen.

4.2.2 Statistische Testverfahren

Bei der Entwicklung des Gesamtkonzeptes des Schülerlabors wurde zunächst der Einfluss der Personenvariablen auf die Akzeptanz, den Wissenserwerb, die intrinsische Motivation und das Interesse untersucht. In den folgenden Schritten wurden die Neuentwicklungen (im Sinne von Treatments) verglichen mit den Gruppen, denen diese Veränderungen (noch) nicht zur Verfügung standen (im Sinne von Kontrollgruppen). Ergänzend zur deskriptiven Statistik wurde auf statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen den Gruppen geprüft (Interferenzstatistik). Als Testverfahren wurden unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS Varianzanalysen für unabhängige Stichproben durchgeführt.

4.2.2.1 Varianzanalysen für unabhängige Stichproben

Der statistische Kennwert der Varianzanalyse ist nach seinem Entwickler R. A. Fisher der *F*-Wert (Sedlmeier & Renkewitz, 2013, S. 428). Er gibt das Verhältnis der Varianzeinschätzung zwischen den Gruppen und der Varianzeinschätzung innerhalb der Gruppen an (Sedlmeier & Renkewitz, 2013, S. 428). Bei gleich großer Varianz

beträgt der F -Wert also 1 (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2006, S. 22). Er ist von der Anzahl der Freiheitsgrade und somit der Anzahl und der Größe der Stichproben abhängig. Aus der F -Verteilung kann die Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, mit der ein aus einer Untersuchung ermittelter F -Wert auftritt, wenn die Nullhypothese zutrifft. Somit kann eine Entscheidung getroffen werden, ob die Unterschiede signifikant sind (Sedlmeier & Renkewitz, 2013, S. 428–432).

Der F -Test führt beim Vergleich von zwei Gruppen zu gleichbedeutenden Ergebnissen wie der t -Test. Bei dem Vergleich von mehr als zwei Gruppen bietet er aber den Vorteil, dass – anders als bei der Durchführung mehrerer separater t -Tests - der α -Fehler nicht kumuliert, da mehrere Mittelwerte simultan miteinander verglichen werden (Rasch et al., S. 1–6). So können gleichzeitig Unterschiede zwischen mehreren Gruppen überprüft werden. Dabei wird jedoch nur geprüft, ob die abhängige Variable überhaupt statistisch bedeutsam beeinflusst wird. Im Falle der Ablehnung der Nullhypothese muss in einem weiteren Schritt geprüft werden, welche Gruppen sich voneinander unterscheiden (Rasch et al., 2006, S. 45). In der vorliegenden Arbeit wird bei ähnlich großen Stichproben und angenommener Varianzgleichheit für diese Post-hoc-Analyse der Tukey HSD-Test verwendet. Entsprechend seiner Bezeichnung „Honest Significant Difference“ (HSD) orientiert er sich an den Mittelwertunterschieden, die mindestens erreicht werden müssen, um ein signifikantes Ergebnis zu erzielen. Durch die Bestimmung eines kritischen Wertes bietet dieser Test die Möglichkeit zu paarweisen Vergleichen, ohne dass der α -Fehler kumuliert (Rasch et al., 2006, S. 46–48). Bei deutlichen Unterschieden in den Stichprobengrößen wird entsprechend der Empfehlung von Field (2011, S. 551) der Hochberg's GT2-Test angewendet, bei nicht vorliegender Varianzhomogenität wurde als Post-hoc-Test der Games-Howell-Test durchgeführt.

Um intervallskalierte Variablen als Faktor verwenden zu können, wurden sie durch Kategorienbildung in nominale Variablen überführt. Dafür wurden aus den Werten zu den Schulnoten jeweils drei Kategorien erstellt, welche auf den die Stichprobe in drei Teile aufteilenden Werten (Terzilen) basieren. Nach Döring und Bortz (2016, S. 258–259) sollten weder zu enge noch zu breite Kategorien definiert werden, da zu breite Kategorien typische Eigenarten verdecken und zu enge Kategorien zu einer Überdifferenzierung führen. Durch die Kategorisierung durch Perzentile, also nach

Merkmalsverteilungen und nicht nach Merkmalsausprägungen, wurde eine gleichmäßige Kategorienbesetzung angestrebt.

4.2.2.2 Varianzanalysen mit Messwiederholung

Bei der Analyse der Unterschiede im Wissenstest vom Vortest zum Nachtest und zum Follow-up-Test handelt es sich nicht um unabhängige Stichproben. Hier werden die Mittelwerte der gleichen Personen zu verschiedenen Messzeitpunkten verglichen und daher die Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Auch hier wird ein F -Wert ermittelt, jedoch geht in die Formel die Varianz zwischen den Versuchspersonen mit ein (Rasch et al., 2006, S. 99–105).

4.2.2.3 Kovarianzanalyse

Um den Einfluss unterschiedlicher Voraussetzungen zu vergleichender Gruppen im Vorwissen zu berücksichtigen, wurde der Vorwissenstest als Kovariate in die Varianzanalyse mit einbezogen. Dabei wird die bereits durch die Kovariate erklärte Varianz aus der abhängigen Variablen herauspartialisiert (Field, 2011, S. 575–576).

4.2.3 Erfüllung der Voraussetzungen

Eine Voraussetzung für die Verwendung von F -Tests und t -Tests ist die Kenntnis über einschlägige Verteilungskennwerte (Parameter). Sie werden daher als parametrische Verfahren bezeichnet. Die untersuchten Merkmale sollten intervallskaliert, normalverteilt und homogen in den Varianzen der Stichproben sein (Rasch et al., 2006, S. 143).

Intervallskalierte Daten liegen vor, wenn die Differenzen zwischen den Werten auf einer Skala eindeutig sind (Eid, Gollwitzer & Schmitt, 2017, S. 104) und somit gleich große Unterschiede zwischen den Messwerten und den Merkmalsausprägungen vorliegen (Sedlmeier & Renkewitz, 2013, S. 64–65). Die auf Unterschiede getesteten Konstrukte in der vorliegenden Arbeit werden durch intervallskalierte Antwortformate erfasst.

Eine Normalverteilung liegt vor, wenn die ermittelten Werte symmetrisch, eingipfelig und mit glockenförmigem Verlauf verteilt sind, so dass Median, Modalwert und Mittelwert zusammen fallen (Rasch et al., 2006, S. 30). Je größer eine Stichprobe ist, desto stärker nähert sich die Verteilung des untersuchten Merkmals einer

Normalverteilung an (Sedlmeier & Renkewitz, 2013, S. 325). Auf diesem zentralen Grenzwertsatz basierend können Stichproben ab einer Größe von 30 Teilnehmern als normalverteilt betrachtet werden (Rasch et al., 2006, S. 59). Diese Voraussetzung ist in der vorliegenden Arbeit immer gegeben.

Varianzhomogenität liegt vor, wenn die Varianz zwischen den untersuchten Gruppen gleich groß ist (Rasch et al., 2006, S. 59). Hier besteht bei einem Vergleich unterschiedlich großer Gruppen die Gefahr eines veränderten α -Fehler-Niveaus (Sedlmeier & Renkewitz, 2013, S. 440). In diesem Fall wird empfohlen, das Signifikanzniveau nicht bei $p = 0,05$, sondern bei $p = 0,01$ anzusetzen (Bühl, 2014, S. 536). Die Varianzhomogenität wurde in dieser Arbeit durch den Levene-Test ermittelt. Die Varianzen der Gruppen waren in den überwiegenden Fällen homogen und zudem die Gruppen vorwiegend gleich groß. Daher wird der Levene-Test nur berichtet, falls eine Korrektur notwendig ist.

F-Tests und *t*-Tests gelten als grundsätzlich robust gegenüber Verletzungen der Voraussetzungen (Rasch et al., 2006, S. 49). Parametrische Tests sollten gegenüber nicht-parametrischen Tests vorgezogen werden, da mehr Informationen der Daten in die Auswertung eingehen, der Informationsgehalt so höher ist und weiter reichende Aussagen zugelassen werden (Rasch et al., 2006, S. 144).

4.2.4 Signifikanzprüfung

Statistische Kennwerte wie der *F*-Wert oder *r* dienen der Prüfung, ob ein Unterschied oder Zusammenhang zwischen Gruppen zufällig oder überzufällig zustande gekommen ist. Beim Vergleich von Gruppen soll analysiert werden, wie wahrscheinlich eine abhängige Variable durch den Einfluss einer unabhängigen Variable beeinflusst wurde. Dafür wird zunächst angenommen, dass die abhängige Variable keinen Einfluss hat (Nullhypothese). Beim Zusammenhang von Gruppen wird zunächst angenommen, dass in der Grundgesamtheit kein Zusammenhang besteht.

Die durch die Inferenzstatistik berechnete Irrtumswahrscheinlichkeitswert p (engl. probability) wird bei einem Wert $\leq 0,05$ als signifikant mit * gekennzeichnet, bei einem Wert $\leq 0,01$ als sehr signifikant mit ** gekennzeichnet und bei einem Wert $\leq 0,001$ als höchst signifikant mit *** gekennzeichnet (Zöfel, 2002, S. 65). Diese Werte besagen, dass die Wahrscheinlichkeit, eine Nullhypothese zu verwerfen, obwohl sie richtig ist,

5 % bzw. 1 % bzw. 0,1 % beträgt. Diesem möglichen α -Fehler steht der mögliche β -Fehler gegenüber, bei dem die Nullhypothese beibehalten wird, obwohl sie falsch ist. Die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler dieser Art zu begehen, lässt sich nicht berechnen. Je deutlicher die berechnete Irrtumswahrscheinlichkeit die Signifikanzgrenze übersteigt, desto kleiner ist die Gefahr eines Fehlers dieser Art. Wird also die Grenze nur knapp überstiegen, so kann es leicht passieren, dass die Nullhypothese fälschlicherweise beibehalten wird (Zöfel, 2002, S. 65–66). Unterschiede in den Mittelwerten, welche die Signifikanzgrenzen nicht überschreiten, werden daher in dieser Arbeit als Tendenzen berichtet.

Ergänzend zu der Entscheidung über eine Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese wird der empirische Effekt angegeben. Dies ist sinnvoll für eine Beurteilung der Daten, da bei einem großen Stichprobenumfang bereits kleinste Effekte eine signifikante Wahrscheinlichkeit haben können (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2008, S. 66). Es sind verschiedene Effektstärkemaße üblich. In der vorliegenden Arbeit wird in der Interferenzstatistik das partielle Eta-Quadrat (η_p^2) verwendet. Es gibt den Anteil der aufgeklärten Varianz der Gesamtvarianz einer Stichprobe an und errechnet sich aus dem Quotienten der Quadratsumme des systematischen Effekts und der Quadratsumme (Rasch et al., 2008, S. 74). Bei Untersuchung eines Faktors sind das partielle Eta-Quadrat und Eta-Quadrat identisch. Bei mehreren Faktoren oder bei Messwiederholung wird jedoch die Varianz der anderen Faktoren mit berücksichtigt (Rasch et al., 2006, S. 38). Da nach Field (2011, S. 567) η^2 und r^2 identisch sind, kann die Höhe des Effekts nach Cohen (1988, S. 83) beurteilt werden: Hier werden Grenzen für r aufgeführt (klein: $r = 0,1$, mittel: $r = 0,3$, groß: $r = 0,5$), so dass sich ergibt, dass $r^2 = 0,01$ als kleiner Effekt, $r^2 = 0,09$ als mittlerer Effekt und $r^2 = 0,25$ als großer Effekt bewertet werden. Auch für Zusammenhänge wird das Effektstärkemaß r^2 verwendet. Es handelt sich um das quadrierte Zusammenhangsmaß r und gibt den Prozentsatz der aufgeklärten Varianz an (Field, 2011, S. 179).

4.3 Qualitative Methoden

Nach Miles, Huberman und Saldaña (2014, S. 9) handelt es sich bei Informationen, die in Worten zu finden sind, um qualitative Daten. In der vorliegenden Arbeit wurden

in der Entwicklungssäule zur Breiten- sowie zur Begabtenförderung durch offene Fragen auf Fragebögen qualitative Daten in Form kurzer Antwortsätze erhoben. Im Bereich der Entwicklung zum Lehr-Lern-Labor wurden die Praktikumsberichte der Studierenden analysiert. Alle Daten wurden anonymisiert und digitalisiert. Zur Unterstützung der Analyse wurde die Software MAXQDA verwendet.

Die Daten wurden mit der Zielsetzung erhoben, die quantitativen Daten besser zu verstehen und somit komplementär zu ergänzen. In dem in dieser Arbeit umgesetzten Mixed Method-Design verlaufen der qualitative Strang und der quantitative Strang parallel und beziehen sich auf die gleiche Stichprobe. Die Daten werden am Ende der Untersuchung miteinander in Verbindung gebracht. Nach Kuckartz (2017) handelt es sich bei der Integration der Daten um die Schnittstelle im Mixed Methods Design. Sie kann im parallelen Design, im Gegensatz zu einem sequentiellen Design, zu verschiedenen Zeitpunkten geschehen.

Das methodische Vorgehen der in dieser Arbeit durchgeführten Analyse qualitativer Daten orientiert sich an der Inhaltsanalyse nach Mayring (2010). Auf Grundlage verschiedener definitorischer Ansätze fasst er zusammen, dass Inhaltsanalysen folgende Merkmale aufweisen: Bei der Inhaltsanalyse wird fixierte Kommunikation analysiert und dabei systematisch, regelgeleitet und theoriegeleitet vorgegangen. Dabei wird das Ziel verfolgt, systematisch Rückschlüsse auf ausgewählte Aspekte zu ziehen. Zusammenfassend schlägt er den treffenderen Begriff der kategoriengeleiteten Textanalyse vor (Mayring, 2010, S. 13). Das Vorgehen fasst er in einem dreistufigen Phasenmodell zusammen: Im ersten Schritt werden in Form einer qualitativen Analyse die Fragestellung geklärt, Kategorien gesucht und ein Analyseinstrumentarium angelegt. Der zweite Schritt kann qualitativer oder quantitativer Art sein: Das Analyseinstrumentarium wird abhängig vom Ziel der Analyse angewendet. Im letzten Schritt werden im Rahmen einer qualitativen Analyse die Ergebnisse auf die Fragestellung zurück bezogen und interpretiert (Mayring, 2010, S. 17–22). Diese Berücksichtigung des gesamten Forschungsprozesses zeigt auf, dass auch bei den in Kapitel 4.2 aufgeführten quantitativen Methoden qualitative Elemente wie z. B. die Formulierung der Fragestellung enthalten sind. In der vorliegenden Arbeit wird zwischen der Auswertung quantitativer Daten (Kapitel 4.2) und qualitativer Daten (Kapitel 4.3) unterschieden. Letztere werden quantitativ in Form einer Frequenzanalyse nach

Mayring (2010, S. 15) analysiert. Hier werden zunächst, nach der Formulierung der Fragestellung und der Bestimmung der Materialstichprobe, Kategorien definiert und ggf. Beispiele angeführt. Zudem werden die Analyseeinheiten der Texte festgelegt. Im Anschluss erfolgt das Prüfen des Textmaterials, um das Auftreten der Kategorien aufzuzeichnen (Kodieren). Die Frequenzanalyse schließt mit der Analyse der ermittelten Häufigkeiten und der Ergebnisdarstellung und Interpretation ab. In der vorliegenden Arbeit geschieht hier zudem die Zusammenführung mit den qualitativen Ergebnissen.

In der vorliegenden Arbeit werden thematische Kategorien gebildet. Die Kategorien bezeichnen hier ein bestimmtes Thema und dienen der Klassifikation der Inhalte (Kuckartz, 2016, S. 34). Die Kategorienbildung geschieht induktiv durch Orientierung am Datenmaterial und wird im Codebuch beschrieben: Hier werden die inhaltliche Beschreibung, die Anwendung der Kategorie und Beispiele angegeben (Kuckartz, 2016, S. 29–55).

Zur Beurteilung der Güte qualitativer Daten ist es üblich, die Intercoderreliabilität zu ermitteln. Mit dieser Messung wird geprüft, inwiefern das Kategoriensystem reproduzierbar ist (Rössler, 2017, S. 207). Zudem sagt es außer über die Güte des methodischen Instrumentariums auch etwas über die Sorgfalt der Kodierer aus (Früh, 2017, S. 179). Dafür wird das Kategoriensystem von verschiedenen Kodierern angewandt und die Übereinstimmung ermittelt. Nach Mayring (2010, S. 124) wird durch dieses Vorgehen eher die Objektivität gemessen, also die Unabhängigkeit der Kategorisierung von Einflüssen der Person. Für die Ermittlung der Reliabilität müsste nach Mayring (2010, S. 124) eigentlich das gleiche Material von der gleichen Person in einem größeren Zeitabstand zweimal kodiert werden und die Entscheidungen verglichen werden. Die Ermittlung dieser Intracoderreliabilität ist jedoch relativ unüblich (Mayring, 2010, S. 124). Das Gütekriterium der Validität findet sich ebenso wie die Objektivität in der Reliabilitätsprüfung wieder: Weisen in einem Pretest bestimmte Kategorien niedrige Reliabilitäten auf, so werden sie überarbeitet. Diese Auseinandersetzung mit dem Analysematerial führt zu einer höheren Qualität und Validität (Bos, 1989). Die Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität werden letztlich in der Intercoderreliabilität miteinander vereint (Bos, 1989).

In der vorliegenden Arbeit wurden die offenen Fragen auf den Fragebögen in Säule A und C vollständig von zwei Kodierern geratet, von den Reflexionsteilen der

Praktikumsberichte der Studierenden wurden 25 % von zwei Ratern überprüft. Döring und Bortz (2016, S. 558) empfehlen eine Stichprobe von 10-20 % des Datenmaterials, Früh (2017, S. 180) empfiehlt eine Mindestgröße von 20-30 Nennungen pro Kategorie. Beide Vorgaben wurden erfüllt. Als Reliabilitätskoeffizient wurde Cohens Kappa berechnet. Hier werden die beobachteten Übereinstimmungen durch die zufällig zu erwartenden Übereinstimmungen bereinigt (Mayring, 2010, S. 127). Der Reliabilitätskoeffizient Cohens Kappa wird nach Landis und Koch (1977) als moderat (0,41 bis 0,60), beachtlich (0,61 bis 0,80) oder als nahezu perfekt (0,81 und 1,0) beurteilt und im Ergebnisteil berichtet.

4.4 Untersuchungsdesign

Wie in Kapitel 2 dargestellt, soll die exemplarische Entwicklung eines Schülerlabors am Beispiel des *teutolab*-biotechnologie auf drei Säulen basieren. Diese beinhalten jeweils mehrere Innovationen. Aus der Perspektive der iterativen Entwicklung eines Gesamtkonzeptes können die jeweiligen Innovationen der einzelnen Säulen als Schritte betrachtet werden. Eine Übersicht ist in Abbildung 8 dargestellt.



Abb. 8: Übersicht über die Entwicklungssäulen und deren Inhalte

Säule A (Angebote zur Breitenförderung)

Im Bereich der Angebote für die Breitenförderung wurden ergänzend zu dem bestehenden Workshop ‚Dem Lambda-Phagen auf der Spur‘ zwei neue Workshops mit den Themen ‚Barcoding von Orchideen – Artenvielfalt erkennen‘ und ‚Was steckt wirklich in der Wurst? Molekulargenetische Tierartendifferenzierung‘ entwickelt und formativ evaluiert. In einem als Redesign zu betrachtenden zweiten Schritt wurden die im Workshop verwendeten Materialien überarbeitet: Es wurden neue Abbildungen zur Vertiefung der molekularbiologischen Methoden entwickelt und zudem das Vermittlungskonzept deutlicher am Ansatz des *Cognitive Apprenticeship* (siehe Kapitel 3.1.4) orientiert. Die Auswirkung auf den Wissenserwerb und die Motivation wurde im Vergleich zu den vorherigen Materialien untersucht. In einem weiteren Schritt wurden Materialien zur Einbindung in den Unterricht entwickelt. Der Einsatz eines Schülerskriptes zur Vorbereitung sowie von Arbeitsblättern zur Nachbereitung wurde im Vergleich ohne Verwendung dieser Materialien analysiert. Im folgenden Schritt wurden die Workshops unter Verwendung eines auf Tablets zur Verfügung gestellten Umfragetools umgesetzt. Die Auswirkung dieses neuen Mediums im Vergleich zur bisherigen Lehrform wurde in Bezug auf den Wissenserwerb, die intrinsische Motivation und das situationale Interesse überprüft. Zudem wurden verschiedene Aspekte der Lernumgebung wie die Beurteilung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus, Merkmale des *Forschenden Lernens* sowie der Autonomieförderung durch die Schüler erfragt.

Säule B (Angebote für Studierende)

In der Säule des Lehr-Lern-Labors wurde die Lehrveranstaltung, ‚Forschendes Lehren und Lernen im *teutolab*-biotechnologie‘ entwickelt, in der die Studierenden im Rahmen einer gemeinsamen Studie die Effekte ihres Lehrerhandelns beforchten. Im Lehramtsstudium in NRW bietet sich dafür das am Ende des Bachelorstudiums vorgesehene Berufsfeldpraktikum an. Die Säule umfasst zwei Schritte: Im zuerst entwickelten Konzept vermittelten die Studierenden die Inhalte eines ausgewählten Workshops im Studierendentandem, im folgenden Konzept wurden die Themen im Tandem mit einem Betreuer aus dem *teutolab*-Team umgesetzt. Hier wurde die Professionalisierung der Studierenden und deren Wahrnehmung bei den Schülern analysiert.

Säule C (Angebote zur Begabtenförderung):

Die Säule der Angebote zur Begabtenförderung umfasst vier Neuentwicklungen. Zwei Entwicklungen wurden jeweils eine Woche lang in den Schulferien durchgeführt: Bei den CeBiTec-Schülerakademien zur Biotechnologie/Synthetischen Biologie wurde ein Programm aus Vorträgen von Wissenschaftlern, Experimenten und Exkursionen umgesetzt. Hier standen der Austausch mit authentischen Wissenschaftlern sowie die Vernetzung der begabten Jugendlichen im Fokus. Bei den einwöchigen *teutolab*-Akademien zur Systembiologie stand der fächerübergreifende Charakter im Mittelpunkt des Konzeptes. Am Beispiel experimenteller Daten wurden mathematische Modelle entwickelt. Zwei weitere Angebote wurden schuljahresbegleitend durchgeführt: Bei den Lab2Venture-Projekten forschten begabte Jugendliche an unternehmerischen Fragestellungen aus dem Bereich der Biotechnologie. Bei dem Erasmus-Projekt führten Schüler aus sechs europäischen Ländern Arbeiten zu biotechnologischen Fragen durch. Bei diesem als Gruppenpuzzle konzipierten internationalen Projekt fanden drei gemeinsame Treffen pro Schuljahr statt.

Die Entwicklungen zur Begabtenförderung wurden in Bezug auf deren Akzeptanz, die Schlüsselkompetenzen der Jugendlichen und deren situationales Interesse untersucht und verglichen.

Eine schematische Übersicht über die untersuchten Konstrukte wurde bereits in Kapitel 2 in Abbildung 1 dargestellt. Detaillierte Untersuchungsdesigns werden jeweils in den Methodenteilen der Teilstudien aufgeführt.

Für jede Neuentwicklung wurde hier der Ausdruck „Schritt“ gewählt, obwohl beim Design Based Research (DBR)-Ansatz der Begriff „Zyklus“ verwendet wird und der Ansatz in dieser Arbeit bei der Gesamtkonzeption verfolgt wurde. In der Entwicklungssäule C handelt es sich jedoch nicht um Weiterentwicklungen eines Prototyps, sondern um eine breite Palette von verschiedenen Konzeptionen zur Begabtenförderung. Die Kriterien bei der Umsetzung des DBR sind hier also im engeren Sinne nicht erfüllt. Dennoch bleibt die zentrale Zielsetzung – die Implementation von Innovationen im Bildungsbereich – dieselbe. Auch die bereits in Kapitel 4.1 vorgestellten Gütekriterien des DBR (Neuheit, Nützlichkeit, Nachhaltigkeit der Innovation) sind erfüllt.

Jeder einzelne Schritt kann auch als Einzelstudie betrachtet werden, denn die Analysen genügen ebenfalls den Gütekriterien der naturwissenschaftlichen Forschungstradition: Jeder Entwicklungsschritt wurde unter Verwendung validierter Testinstrumente mit hinreichenden Reliabilitäten untersucht. Die Analysen wurden mit relativ großen Stichproben mit Fragebögen unter Verwendung von Ratingskalen oder Multiple-Choice-Tests umgesetzt, sodass auch die Objektivität gegeben war. Ergänzend wurden auch offene Fragen beantwortet.

5 Teilstudien Säule A: Entwicklung von Angeboten zur Breitenförderung

5.1 Erster Schritt: Entwicklung neuer Workshops

5.1.1 Einleitung und Ausgangssituation

Wie in Kapitel 4.4 dargestellt, wurden im ersten Schritt der Entwicklung der Säule zur Breitenförderung (Säule A) im *teutolab*-biotechnologie neue Workshops entwickelt. Diese können mit ganzen Biologiekursen, wie in klassischen Schülerlaboren üblich, im Rahmen einer Schulveranstaltung durchgeführt werden. Sie knüpfen inhaltlich und konzeptionell an den bereits bestehenden Workshop ‚Dem Lambda-Phagen auf der Spur‘ an. Er wurde mit der Zielsetzung entwickelt, die Begeisterung von Schülern für die Naturwissenschaften durch die Förderung des Interesses an Biotechnologie zu unterstützen und wird im Folgenden skizziert:

Workshop ‚Dem Lambda-Phagen auf der Spur‘ (‚Lambda‘)

Hier wenden die Schüler drei verschiedene Methoden zur Virusdiagnostik am Beispiel des Lambda-Phagen und seines Wirtsorganismus *Escherichia coli* an. Zunächst wird Virus-DNA durch Restriktionsspaltung mit den Enzymen *EcoRI* und *HindIII* charakterisiert. Die Spaltungsprodukte werden im Agarosegel aufgetrennt und durch Anfärbung mit einem Fluoreszenzfarbstoff unter UV-Licht sichtbar gemacht. Die entstandenen DNA-Banden werden mit den bekannten zu erwartenden DNA-Profilen abgeglichen und so die DNA des Lambda-Phagen identifiziert. In einem weiteren Versuch weisen die Schüler in *E. coli* das Vorhandensein einer spezifischen Sequenz von Phagen-DNA nach. Dies geschieht durch Polymerase-Kettenreaktion (PCR) mit phagenspezifischen Primern. Die PCR-Produkte verschiedener Proben von Bakterien werden mittels Gelelektrophorese überprüft. Beim Vorhandensein einer Bande in der erwarteten Fragmentgröße kann auf die Insertion mit Phagen-DNA geschlossen werden. Bei der letzten angewendeten Methode wird der Lambda-Phage mithilfe eines Transmissionselektronenmikroskops visualisiert und das phänotypische Erscheinungsbild mit Referenzen abgeglichen. Dieses Verfahren wird durch einen Mitarbeiter des Zentrums für Ultradiagnostik vorgeführt.

Ausstattung des Schülerlabors

Der ganztägige Workshop findet (bis auf die Elektronenmikroskopie) im Praktikumsraum des *teutolab*-biotechnologie im Centrum für Biotechnologie (CeBiTec) statt. Die Ausstattung des Schülerlabors umfasst acht Gruppentische, an denen jeweils zwei bis drei Schüler experimentieren können. Diese sind ausgestattet mit einem Satz Mikropipetten (20, 200 und 1000 μ l) und Reaktionsgefäßen. Jeweils vier Gruppentische sind zu einer Insel zusammengefasst und benutzen gemeinsam eine Mini- und eine Tischzentrifuge, zwei Vortexmischer und einen Spannungsgeber (siehe Abb. 9). Zwei Tischgruppen teilen sich jeweils eine Gelkammer. Zudem ist der Raum mit einem Thermocycler, einem Thermoblock und einem Beamer mit Leinwand ausgestattet. Zur Vor- und Nachbereitung der Proben und Gelbilder verfügt das Schülerlabor über einen weiteren Laborraum.



Abb. 9: Vier zu einer Insel zusammengefasste Gruppentische mit den bereitgestellten Utensilien im *teutolab*-biotechnologie

Vermittlungskonzept

Ein Dozententeam führt anhand einer PowerPoint-Präsentation durch den Tag. Das Dozententeam setzte sich zunächst aus promovierten Molekularbiologen, einer abgeordneten Lehrkraft und einer technischen Assistentin zusammen. Im Laufe der Entwicklung des Schülerlabors kamen weitere biologische Fachwissenschaftler,

wissenschaftliche Mitarbeiter aus der Biologiedidaktik, wissenschaftliche Hilfskräfte sowie Studierende hinzu und wechselten über die Dauer des Vorhabens. Die konkret eingesetzten Betreuer wurden für die Untersuchungen in dieser Arbeit erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt. Bei der Vermittlung der Inhalte wechseln sich Theorie- und Praxisphasen ab. Nach einer Einführung in die Thematik des Workshops erhalten die Schüler zunächst eine Sicherheitseinweisung und üben den Umgang mit den Mikropipetten. Im Anschluss erfolgt die Vorbesprechung der fachlichen Hintergründe des ersten Versuchsschrittes durch PowerPoint-Folien unterstützt in einem Klassengespräch. Während der Besprechung der Versuchsanleitung werden die benötigten Proben an die Gruppen ausgeteilt. Die Schüler setzen den Versuch praktisch um und können sich bei Fragen an das Dozententeam wenden. Die folgenden Versuchsschritte des Workshops werden nach dem gleichen Konzept umgesetzt. Zum Abschluss werden beispielhaft Gelbilder anderer Praktikumstage besprochen, um die Schüler zur Auswertung ihrer eigenen Gelbilder zu befähigen. Diese werden aufgrund des zeitaufwändigen Gellaufs und Färbeprozesses erst im Nachgang des Workshops auf einen Server hochgeladen.

Das Konzept der Umsetzung orientiert sich bereits in der Ausgangssituation des Schülerlabors an dem in Kapitel 3.1.4 dargestellten Instruktionsansatz des *Cognitive Apprenticeship*, bei dem Experten in die *Ordinary Practices of the Culture* einführen (Collins et al., 1989). Nach Glowinski (2007) wurde dieses Konzept auch in den in ihrer Dissertation untersuchten Schülerlaboren umgesetzt. Sie bieten Lernumgebungen, in denen Schüler *Authentic Science* (Lee & Butler, 2003) in spezifischen Kontexten umsetzen können. In Schülerlaboren wird die praktische Arbeit in vielfältige Anwendungskontexte eingebettet (Euler, 2009a). Authentische, mehrperspektivische und anwendungsbezogene Lernumgebungen führen zu anwendbarem, vernetztem Wissen (Killermann et al., 2016), wirken interesselördernd (Ruppert, 2012) und motivierend (Mayer & Ziemek, 2006). So fordert der Kernlehrplan für die Sekundarstufe II für Gymnasien und Gesamtschulen in NRW das Lernen in Kontexten, in denen Fragestellungen aus der Praxis der Forschung, der Lebenswelt der Schüler oder aus dem Bereich Technik oder Gesellschaft den Rahmen für Unterricht bilden (MSW NRW, 2014, S. 14). Inhaltlich ist im Bereich Genetik für die Qualifikationsphase das „Erläutern molekulargenetischer Verfahren (u. a. PCR, Gelelektrophorese) und ihrer[r] Einsatzgebiete“ (MSW NRW, 2014, S. 40) obligatorisch. Diese Vorgaben basieren auf den bundesweit maßgeblichen

einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung für Biologie, die u. a. die „Anwendung moderner biologischer Erkenntnisse und Methoden, z. B. Gentechnologie, Reproduktionsbiologie, Biotechnologie“ als verbindliche fachliche Inhalte nennen (KMK, 2004a, S. 8). Sie sind in der Schule experimentell kaum umsetzbar. Um diese Lücke zu schließen, bieten Schülerlabore mit biologischer Ausrichtung vorwiegend Experimente aus der Molekularbiologie und Gentechnik an (Euler, 2009b). Im Vergleich zu Schülerlaboren aus den Bereichen Physik und Chemie orientieren sie sich enger am Lehrplan (Euler & Weßnigk, 2011). Dies mag auch dadurch begründet sein, dass bei dem knappen Zeitplan von Oberstufenschülern ein definierter Beitrag für die Vorbereitung auf das Abitur klar ersichtlich sein muss. Die Anwendung der anspruchsvollen apparativen Spezialausstattung in umfassenden Kontexten erfordert eine engere Anleitung als beispielsweise die Nutzung einfacherer Materialien für kürzere Versuche. Die Schüler werden daher in molekularbiologischen Schülerlaboren stärker angeleitet (Euler & Weßnigk, 2011). Da dies wiederum die Motivation der Schüler beeinträchtigen kann, ist beim Labordesign eine Balance von Anleitung und Selbstständigkeit notwendig (Euler & Weßnigk, 2011). Euler (2010) fasst daher folgende Gestaltungsmerkmale für Schülerlabore zusammen:

- Ermöglichung erfahrungsbasierter Zugänge zu Forschung und Entwicklung durch Experimente
- Schaffung eines Lernumfeldes zur aktiven Auseinandersetzung mit authentischen Problemen
- Umsetzung von Team- und Projektarbeit zur Förderung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen
- Ermöglichung persönlicher Kontakte zu Personen aus Forschung und Entwicklung

Die fachliche und didaktische Entwicklung zwei neuer Workshops orientiert sich an den dargestellten Spezifika und wird im Folgenden vorgestellt. Sie sollen das Angebot des *teutolab*-biotechnologie sinnvoll erweitern. Daher werden ergänzend zum Praktikumstag mit Bezug zur Labordiagnostik von Kleinstlebewesen eine Fragestellung in einem pflanzlich-ökologischen Kontext und ein Thema mit Bezug zur Lebensmittelanalyse von Fleischprodukten bearbeitet.

5.1.2 Material

5.1.2.1 Workshop ‚Was ist in der Wurst? Molekulargenetische Tierartendifferenzierung‘ (‚Tierarten‘)

In diesem Workshop werden Wurstproben durch Erstellung eines DNA-Profiles mithilfe von Restriktionsanalyse amplifizierter DNA auf die enthaltenen Fleischsorten untersucht. Er ist ein Anwendungsbeispiel der immer stärker an Bedeutung gewinnenden molekularbiologischen Verfahren in der Lebensmittelanalyse. Sie dienen zur Kontrolle der Einhaltung europäischer und deutscher Richtlinien (z.B. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2005; Europäisches Parlament, 2002), welche die Bürger vor Gesundheitsrisiken und Betrug schützen sollen. Die gesellschaftliche Relevanz wurde durch den Lebensmittelbetrug im Jahr 2013 deutlich, bei dem die Verwendung von nicht deklariertem Pferdefleisch anstelle von Rindfleisch in Fertigprodukten wie Lasagne und Hackfleischsaucen nachgewiesen wurde.

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund sowie die laborpraktische Umsetzung im Schülerlabor erläutert.

Theoretischer Hintergrund

Zur Identifikation von verarbeiteten Tierarten in Lebensmittelproben bieten sich zwei verschiedene Wege an: Bei der Anwendung des amplifizierten Restriktionsfragmentlängenpolymorphismus (aRFLP) wird nach der DNA-Extraktion zunächst eine PCR durchgeführt, bei der bei allen Tierarten universell bindende Primer verwendet werden. Eine Restriktionsspaltung der Amplifikate im Anschluss führt zu spezifischen Fragmenten bei den verschiedenen Tierarten. Hier ist auch der Nachweis unerwarteter Fragmente und somit Spezies möglich. Bei der Methode der amplifizierten Fragmentlängen (aFL) dagegen werden in die PCR spezifische Primer für die vermutlich enthaltenen Tierarten eingesetzt. So entstehen nur dann PCR-Produkte, wenn die vorher durch die Auswahl der Primer definierten Tierarten in der Probe enthalten sind. Die aFL-Methode ist zur Testung vorgegebener möglicher Tierarten zeitökonomischer. Auf die auch für dieses Verfahren entwickelten Materialien soll hier nicht näher eingegangen werden. Die Umsetzung beider Methoden ist inklusive aller selbst designeten spezifischen Primer in der Zeitschrift BU praktisch nachzulesen (Röllke, Kamp & Grotjohann, 2018). Hier wurde die

Thematik für Lehrkräfte durch Arbeitsblätter so ergänzt, dass sie auch ohne den Zugang zur experimentellen Umsetzung im Schulunterricht erarbeitet werden kann. Im Folgenden wird die aRFLP-Methode näher beschrieben, da sie aufgrund der größeren Methodenvielfalt im Workshop umgesetzt wird.

Um verschiedene Spezies zu unterscheiden, wird häufig ein Abschnitt der mitochondrialen DNA (mtDNA) untersucht (Stüber, 2007). Saccone, Giorgi, Gissi, Pesole und Reyes (1999) schlugen mitochondriale DNA als Modellsystem für phylogenetische Untersuchungen vor. Sie eignet sich aus mehreren Gründen besonders gut für phylogenetische Untersuchungen: Sie liegt in besonders großer Menge vor, da Zellen mehrere Mitochondrien besitzen und diese wiederum 2 bis 10 DNA-Moleküle aufweisen können (Knippers, 2015). Zudem wird die DNA cytoplasmatisch vererbt und es findet somit kein Austausch maternalen und paternalen Erbgutes statt (Knippers, 2015). So kommt es zu keiner Rekombination und es entstehen keine durch Heterozygotie bedingten Analyseprobleme (Stüber, 2007, S. 20). Zudem ist die Mutationsrate im Vergleich zur nuklearen DNA etwa zehnmal höher (Knippers, 2015). Tierische mtDNA umfasst etwa 16 000 bis 20 000 Basenpaare (bp) (Knippers, 2015). Die ca. 16 500 bp von Säugetieren besitzen 2 Gene für rRNAs, 22 Gene für tRNAs und 13 Gene, die Proteine kodieren. Letztere sind allesamt an der Atmungskette beteiligt (Knippers, 2017, S. 222). Eines der proteincodierenden Gene der mtDNA ist das *Cytochrom B (cytB)*-Gen. Durch Cytochrome wird der schrittweise Elektronentransport in der Atmungskette gewährleistet, die frei gewordene Oxidationsenergie dient der Synthese von ATP. Das Cytochrom B (CytB)-Protein ist Bestandteil des Elektronentransportkomplexes III in der Mitochondrienmembran (Campbell et al., 2016, S. 223–227). Die Basenabfolge des 1140 Basenpaare umfassenden *cytB*-Gens weist kaum intraspezifische, aber deutliche interspezifische Unterschiede auf. Daher ist es gut geeignet als Markergen zur Identifikation von Spezies (Zehner, Zimmermann & Mebs, 1998) sowie für phylogenetische Untersuchungen (Irwin, Kocher & Wilson, 1991; Kocher et al., 1989). Das Gen weist verschieden stark konservierte Regionen auf. Die Aminosäuren des Transmembranproteins variieren innerhalb der Membran am stärksten und an der inneren Oberfläche der Membran stärker als an der äußeren Oberfläche (Irwin et al., 1991). Um über möglichst große Organismengruppen hinweg einen einheitlich großen Abschnitt des *cytB*-Gens zu amplifizieren, wurden in

verschiedenen Arbeitsgruppen Primer entwickelt, die in den konservierten Regionen des *cytB*-Gens binden (Irwin et al., 1991; Kocher et al., 1989; Zehner et al., 1998).

Laborpraktische Umsetzung

DNA-Extraktion

Im *teutolab*-biotechnologie werden verschiedene Wurstproben darauf getestet, ob sie Schweine, Rind-, Puten- oder Pferdefleisch enthalten. Zunächst werden mit Einmal-Gewebestanzten kleine Mengen von tiefgekühlten Fleisch- und Wurstproben entnommen und alkalisch lysiert (vgl. Jurk, 2009). Das verwendete Extraktionsmittel enthält 0,05 M NaOH und 0,025% SDS. Nach zweiminütiger Inkubation bei 20 °C und achtminütiger Inkubation bei 98 °C werden die Proben 1 Minute lang bei 6000 rpm zentrifugiert. Schwere Zell-Fragmente sedimentieren, die freigesetzte DNA verbleibt im Überstand. Sie wird 1:10 verdünnt als Template in die PCR eingesetzt.

PCR

In der PCR werden unter Verwendung einer DNA-Polymerase gezielt spezifische DNA-Abschnitte exponentiell vervielfältigt. Nach einer Denaturierung der doppelsträngigen DNA bei 90 – 95 °C wird der Startpunkt der Neusynthese durch Primer markiert. Diese Oligonukleotide von 18 – 30 Nukleotiden Länge hybridisieren bei Temperaturen zwischen 52 °C und 58 °C. Die optimale Temperatur berechnet sich aus der Länge und dem GC-Gehalt der Primer. Die im Reaktionsmix enthaltenen Desoxyribonukleotide binden komplementär an die Templates. Im dritten Schritt katalysiert eine DNA-Polymerase die Verknüpfung durch Phosphodiesterbindungen und somit die Neusynthese komplementärer Stränge. Dies geschieht normalerweise bei 72 °C unter Verwendung der aus *Thermus aquaticus* gewonnenen hitzestabilen Taq-Polymerase. Abhängig von der jeweiligen Untersuchung werden diese drei Schritte 25 bis 35 Zyklen lang durchlaufen (Schmidt & Rothhämel, 2012).

Die Umsetzung der PCR zur Amplifikation des *cytB*-Gens mit universellen Primern erfolgt in 32 Zyklen mit 15 Sekunden Denaturierung bei 95 °C, 10 Sekunden Hybridisierung bei 55 °C und 25 Sekunden Polymerisation bei 70 °C. Es wird der 5x HOT FIREPol Blend Master Mix (Ready to Load) der Firma Solis BioDyne verwendet. Er enthält Desoxyribonukleotide der verschiedenen Basen (dATP, dCTP, dGTP, dTTP), HOT FIREPol DNA-Polymerase, Proofreading Enzyme und einen PCR-Puffer

(Solis BioDyne, 2018). Zur Aktivierung der chemisch inhibierten Polymerase wird eine 13-minütige Inkubation bei 95 °C vorgeschaltet. Dies dient auch der initialen Denaturierung der Templates. Zudem werden 5 Minuten bei 70 °C zur abschließenden Elongation nachgeschaltet. Der 10 µmolar verwendete Primermix (Cyt-b_for: CCCCMTCMAACATCTCAKWCWTGATGAAA, Cyt-b_rev: TCTCCTARGAGGTYDGGTGAGAATA²) begrenzt einen Bereich von 688 bp Größe.

Restriktionsanalyse

Im Anschluss an die PCR erfolgt eine Restriktionsanalyse. In diesem Verfahren wird DNA an spezifischen Erkennungssequenzen von einem Restriktionsenzym gespalten. Restriktionsenzyme sind Endonukleasen bakteriellen Ursprungs, die den eigenen Organismus vor dem Eindringen von Fremd-DNA durch Spaltung der Phosphodiesterbindungen bewahren. Die eigene DNA wird durch Methylierung der fraglichen Sequenzen geschützt. In der Bioanalytik werden Restriktionsenzyme des Typs II verwendet. Sie restringieren innerhalb oder nahe der Erkennungssequenz, haben keinen ATP-Bedarf und die Erkennungssequenzen umfassen vier bis acht Basen. Von besonderer Bedeutung ist hier der Subtyp P, dessen Erkennungssequenzen palindromisch bzw. symmetrisch sind (Knippers, 2006, S. 24–26). Die Enzyme benötigen einen geeigneten Restriktionspuffer. Er enthält laut Literaturangaben normalerweise Tris(hydroxymethyl)-aminomethan (TRIS) zur Stabilisierung des pH-Wertes, Magnesiumchlorid (MgCl₂) zur Unterstützung der Enzymaktivität, ein Sulfhydrylreagens zur Stabilisierung der Enzyme sowie Natriumchlorid (NaCl) oder Kaliumchlorid (KCl) als Ionenspender (Engels, 2009).

In dem Workshop zur Identifikation von Tierarten werden die Amplifikate zehn Minuten lang mit dem Enzym *TasI*, einem Isoschizomer von *Tsp5091*, bei 65 °C restringiert. Dieses FastDigest® Enzym von Thermo Scientific hat eine besonders kurze Reaktionszeit von nur 5 - 15 Minuten (Thermo Scientific, 2014), sodass kaum Wartezeiten im organisatorischen Ablauf entstehen. Seine Erkennungssequenz AATT ist gut geeignet, um bei den im Schülerlabor untersuchten Tierarten distinkt unterscheidbare DNA-Fragmente vergleichen zu können.

²Anmerkung: A: Adenin, C: Cytosin, G: Guanin, T: Thymin, M: A oder C, K: G oder T, W: A oder T, R: A oder G, Y: C oder T

Durch das Wegfallen oder Hinzukommen von Erkennungssequenzen werden Mutationen in den variablen Bereichen des *cytB*-Gens detektiert. Die zwischen den verschiedenen Tierarten bestehenden Unterschiede führen zu einer unterschiedlichen Anzahl und Länge von DNA-Fragmenten. In Abbildung 10 sind die aufgrund der bekannten Sequenzen theoretisch zu erwartenden DNA-Fragmente für Schwein, Rind, Pute und Pferd dargestellt.

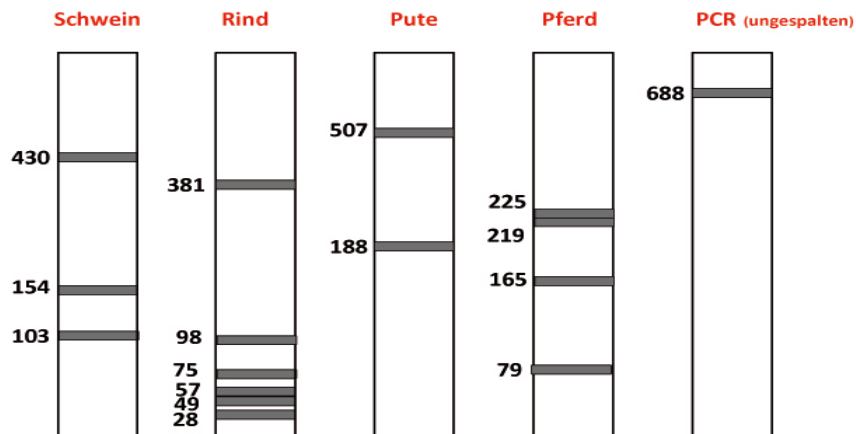


Abb. 10: Theoretisch zu erwartende DNA-Fragmente für Schwein, Rind, Pute und Pferd innerhalb des 688 kb großen amplifizierten Abschnitts des *cytB*-Gens

Die DNA-Fragmente werden nach der Restriktionsspaltung durch eine Gelelektrophorese aufgetrennt und sichtbar gemacht. Die DNA-Profile der Referenzproben dienen zum Vergleich mit den untersuchten Wurstproben.

Agarose-Gelelektrophorese

Bei der Agarose-Gelelektrophorese wandern DNA-Fragmente aufgrund ihrer negativen Ladung in einem elektrischen Feld in Richtung der Anode (Görg, 2009). Agarose wird aus Rotalgen gewonnen (Dechert, 2012) und in einem Puffer durch Aufkochen gelöst. Sie wird in einer Elektrophoresekammer in Form gegossen, durch einen Taschenkamm werden Vertiefungen für die Proben gebildet. Bei Raumtemperatur erstarrt die Agaroselösung zu einem Netz aus Polysacchariden. Dies wirkt wie ein Molekularsieb, in dem kleinere geladene Teilchen im elektrischen Feld aufgrund geringerer Reibung schneller wandern als größere (Görg, 2009). Die Voltzahl des Spannungsgebers und die Dauer des Gellaufs werden auf die erwartete Größe der DNA-Fragmente abgestimmt (Dechert, 2012). Laut Literatur können durch die Variation der Agarosekonzentration DNA-Fragmente von 100 – 60 000 Basen

separiert werden. Für eine Agarosekonzentration von 2 % wird ein Trennbereich von 100 bis 2000 Basen angegeben. Um die Kettenlängen der untersuchten DNA in Basenpaaren bestimmen zu können, werden Längenstandards verwendet (Dechert, 2012). Die DNA wird im Anschluss durch Anfärben mit einem Fluoreszenzfarbstoff detektiert und fotografisch dokumentiert. Das dafür klassischerweise verwendete Ethidiumbromid interkaliert dabei zwischen die Basen der Nukleinsäuren (Dechert, 2012). Im Schülerlabor wird stattdessen das weder als toxisch noch als mutagen eingestufte GelredTM verwendet. Es emittiert in einem ähnlichen Spektralbereich (500 - 600 nm Wellenlänge) unter UV-Licht oranges Licht (Biotium, 2018).

Beim Tierartenversuch wird ein 3 %iges Agarosegel unter Verwendung eines TRIS-Borat-EDTA (TBE)-Puffers eingesetzt. Das Agarosegel wird hoch konzentriert, da anhand der Anzahl und der Lage der Erkennungssequenzen für *TasI* relativ kleine DNA-Fragmente zu erwarten sind. Es wird eine Stunde lang 110 Volt angelegt. Als Längenstandard wird der Low Range Gene Ruler der Firma Thermo Scientific verwendet, der 10 DNA-Fragmente zwischen 25 bis 700 bp Größe enthält (Thermo Scientific, 2012b). Die Gele werden 20 Minuten lang in einem Färbebad mit GelredTM (1:10 000) gefärbt und unter UV-Bestrahlung fotografiert.

Versuchsanleitungen

Im Anhang 1 dieser Arbeit findet sich die konkrete Versuchsanleitung für alle einzelnen Schritte im Schülerskript. Es beinhaltet zudem die Darstellung der theoretischen Hintergründe und molekulargenetischen Methoden für die Schüler sowie ein Gelbild zur exemplarischen Auswertung.

5.1.2.2 Workshop ‚Artenvielfalt erkennen - Barcoding von Orchideen‘ (,Barcoding‘)

In diesem Workshop setzen Schüler die in den letzten Jahren neu entwickelte und immer stärker an Bedeutung gewinnende Technik des DNA-Barcoding am Beispiel ausgewählter Spezies aus der Pflanzenfamilie der Orchidaceae selbst um. Mithilfe von DNA-Barcoding soll die Artenvielfalt der Erde sicherer erfasst werden, um sie besser schützen zu können. Die Erhaltung der biologischen Vielfalt durch das Zusammentragen von Informationen über die biologischen und genetischen Ressourcen ist ein Teilziel der Agenda 21. Diese Leitlinien für das 21. Jahrhundert wurden auf der Riokonferenz im Jahr 1992 verabschiedet. Die Unterzeichnung eines

Aktionsprogrammes zur nachhaltigen Entwicklung durch 172 Staaten verdeutlicht die hohe gesellschaftliche Relevanz dieser Aufgabe. Die Anwendung molekularbiologischer Untersuchungsmethoden in einem ökologischen Kontext dient der MINT-Umweltbildung und wurde daher als ein Best-Practice Beispiel in Schülerlaboren in diesem Bereich vorgestellt (Röllke & Grotjohann, 2018a) Naturwissenschaftlich-technische Umweltbildung stellt ein neues Bildungskonzept dar, in dem naturwissenschaftliche Grundbildung, technische Bildung, Bildung für nachhaltige Entwicklung und Umweltbildung miteinander verbunden werden (Peters, 2015). Schülerlabore werden als wichtige Lernorte dieser noch jungen Disziplin angesehen (Peters, 2014).

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund sowie die laborpraktische Umsetzung im Schülerlabor erläutert.

Theoretischer Hintergrund

In Anlehnung an das System zur Identifikation von industriellen Produkten durch Strichcodes werden beim DNA-Barcoding die Basenabfolgen eines geeigneten DNA-Abschnittes als vierfarbiger Strichcode dargestellt. Dieses Verfahren konnte in den vergangenen Jahren auf Grundlage der technischen Fortschritte bei DNA-Sequenzanalysen etabliert werden und dient der eindeutigen Identifikation von Arten. Im Vergleich dazu bestehen bei der bisher üblichen Identifikation durch morphologische Methoden verschiedene Schwierigkeiten: Zunächst erfordert die sichere Bestimmung eine hohe Expertise der Taxonomen. Dennoch kann es wegen der Variabilität im Phänotyp zu Fehlentscheidungen kommen und kryptische Taxa können übersehen werden. Zudem können die Bestimmungsschlüssel nur zu bestimmten Lebensabschnitten der untersuchten Organismen verwendet werden (Hebert, Cywinska, Ball & deWaard, 2003). Aufbauend auf dem bereits zuvor angewendeten Konzept zur Erkennung von Viren, Bakterien und Protisten anhand eines kleinen Genomsegmentes wurde erstmals im Jahr 2003 der neue Zugang zur Erfassung von Spezies unter dem Begriff „barcode“ vorgestellt: Hebert et al. (2003) wiesen die Eignung des Cytochrom-c-Oxidase-I-Gens (*COI*) zur Identifikation von Tieren nach. Dieser DNA-Abschnitt verfügt über die meisten phylogenetischen Signale aller mitochondrialen Gene (Hebert et al., 2003). So wurde dieses Gen bereits ebenfalls im Jahr 2003 bei der Gründung des Consortiums for the Barcode of Life (CBOL) zur Bestimmung von Vertebraten und Invertebraten vorgeschlagen

(Stoeckle, Janzen, Hallwachs, Hanken & Baker, 2003). Diese Arbeitsgemeinschaft hat sich zum Ziel gesetzt, die Barcodes aller Eukaryoten der Erde zu erfassen. Zudem soll eine elektronische Datenbank etabliert werden und das Wissen über Spezies gemeinsam mit Taxonomen zusammen getragen werden. Darüber hinaus sollen effektive Methoden zur Bestimmung von Barcodes etabliert werden und kostengünstige Apparaturen für den Gebrauch im Feld entwickelt werden (Stoeckle et al., 2003). Bereits im Jahr 2007 wurde die erste Version des Barcode of Life Data Systems (BOLD) vorgestellt, die als Plattform zur Analyse und Publikation von DNA-Barcodes dient (Ratnasingham & Hebert, 2007). Hier werden molekulare und morphologische Daten miteinander verbunden sowie die Verbreitung der Arten erfasst (Ratnasingham & Hebert, 2007). Bis zum Sommer 2018 wurden bereits über sechs Millionen Barcodes hinterlegt. Die bereits von Stoeckle (2003) angesprochene Eignung verschiedener DNA-Bereiche für die unterschiedlichen Reiche der Lebewesen findet sich dort weiterhin wieder: Er schlug bei seiner Forderung nach einer zentralen Erfassung der Artenvielfalt durch DNA-Barcodes *COI* für Tiere und ein plastidäres Gen wie z. B. Maturase K (*matK*) oder auch die nukleare Internal Transcribed Spacer (*ITS*)-Region für Pflanzen vor. *ITS* wird heute zur Identifikation von Pilzen genutzt, zur Identifikation von Pflanzen wird außer *matK* auch das Ribulose-1,5-Bisphosphat Carboxylase-Gen (*rbcL*) gewählt. Maturase K ist mutmaßlich in das Spleißen von Gruppe-II-Introns involviert (Hilu & Liang, 1997), *rbcL* kodiert für das Enzym Rubisco, welches den ersten Schritt im Calvin-Zyklus katalysiert (Campbell et al., 2016, S. 257–259). Die plastidären Gene bieten ebenso wie die mitochondrialen Gene den Vorteil, dass sie maternal vererbt werden, keiner Rekombination unterliegen und in großer Menge vorliegen (siehe Kap. 5.1.2.1). Mitochondriale Gene sind bei Pflanzen nicht geeignet, da sie zu langsam evolvieren (Kress & Erickson, 2007). Weltweit testeten daher verschiedene Arbeitsgruppen diverse plastidäre proteincodierende Gene sowie intergenische plastidäre DNA-Bereiche (Chase et al., 2007; Hollingsworth, Graham & Little, 2011; Kress, Wurdack, Zimmer, Weigt & Janzen, 2005). Eine gute Eignung hängt einerseits von der gelingenden Amplifikation des gewünschten DNA-Abschnittes mit universellen Primern sowie einer erfolgreichen Sequenzierung ab, zum anderen von der Wahrscheinlichkeitsrate, zwischen den Arten klare Unterschiede zu finden und innerhalb der Arten keine Unterschiede zu finden (Hollingsworth et al., 2011). Die Ergebnisse waren hier nicht so eindeutig wie im Tierreich. Abschließend schlug die

CBOL Plant Working Group eine Kombination von *matK* und *rbcL* vor (CBOL Plant Working Group, 2009).

Bei einer Feldstudie an zwei Biodiversitäts-Hotspots wurden unter anderem geeignete genetische Markerregionen zur Unterscheidung von Orchideenspezies untersucht (Lahaye et al., 2008). Die Orchidaceae sind mit etwa 25 000 Arten eine der größten Pflanzenfamilien und weltweit über alle geografischen Klimazonen verbreitet (Röllke, 2008, S. 8–10). Durch Zerstörung der natürlichen Habitats und durch gesetzeswidrige Entnahmen aus der Natur ist ihr natürlicher Bestand bedroht. Die gesamte Pflanzenfamilie ist nach der „Convention on International Trade of Endangered Species of Wild Fauna and Flora“ (CITES) zu schützen (Cites, 2012). Daher muss deren Aus- oder Einfuhr bei grenzüberschreitendem Handel beantragt werden. In der nach seinem Unterzeichnungsort auch als „Washingtoner Artenschutzabkommen“ (WAA) bezeichneten Vereinbarung werden einige Orchideenarten als besonders bedroht eingestuft, daher ist deren Handel vollständig untersagt. Es ist insofern von großem Interesse, Orchideenarten eindeutig identifizieren zu können und so vor Schmuggel zu schützen. Die zentrale Problematik besteht darin, dass einer gemeinsamen Gattung angehörende Arten ohne Blüten kaum unterscheidbar sind und auch blühende Arten sogar für Spezialisten eine Herausforderung bei der Bestimmung darstellen können. Eine Methode, mit der die Arten präzise erkannt werden können, ist von weltweit hohem ökologischem Interesse.

Für den hier vorgestellten Workshop wurden vier Orchideenspezies ausgewählt, die einen konkreten Bezug zu einem speziellen Kontext repräsentieren: *Vanilla planifolia* bietet einen direkten Bezug zur Lebenswelt der Schüler, da die Fruchtkapseln der Gewürzvanille zum Würzen von Süßspeisen bekannt sind. *Angraecum sesquipedale* verfügt über einen bis zu 30 cm langen Blütensporn, der - wie von Charles Darwin vorhergesagt - von einem Nachtfalter mit ebenso langem Rüssel bestäubt wird. Diese Spezies bietet einen Anknüpfungspunkt zur Evolutionstheorie. Im Unterricht könnten ergänzend die Konzepte Koevolution und Präadaptation am Beispiel der Beziehung zwischen der Orchidee, ihrem Bestäuber und dessen Prädatoren erarbeitet werden (Engelbrecht & Grotjohann, 2016). *Cattleya forbesii* wurde bereits im 19. Jahrhundert durch Orchideensammler am Naturstandort in den Tropen Südamerikas nahezu ausgerottet und dient als Beispiel für den notwendigen Schutz

der Arten. *Dactylorhiza purpurella* zeigt exemplarisch, dass Orchideen auch in den gemäßigten Zonen beheimatet sind. Die auf Magerwiesen wachsende Art ist wie alle europäischen Orchideen streng geschützt. Abbildung 11 zeigt die vier ausgewählten Orchideen sowie deren *matk*-Barcodes.

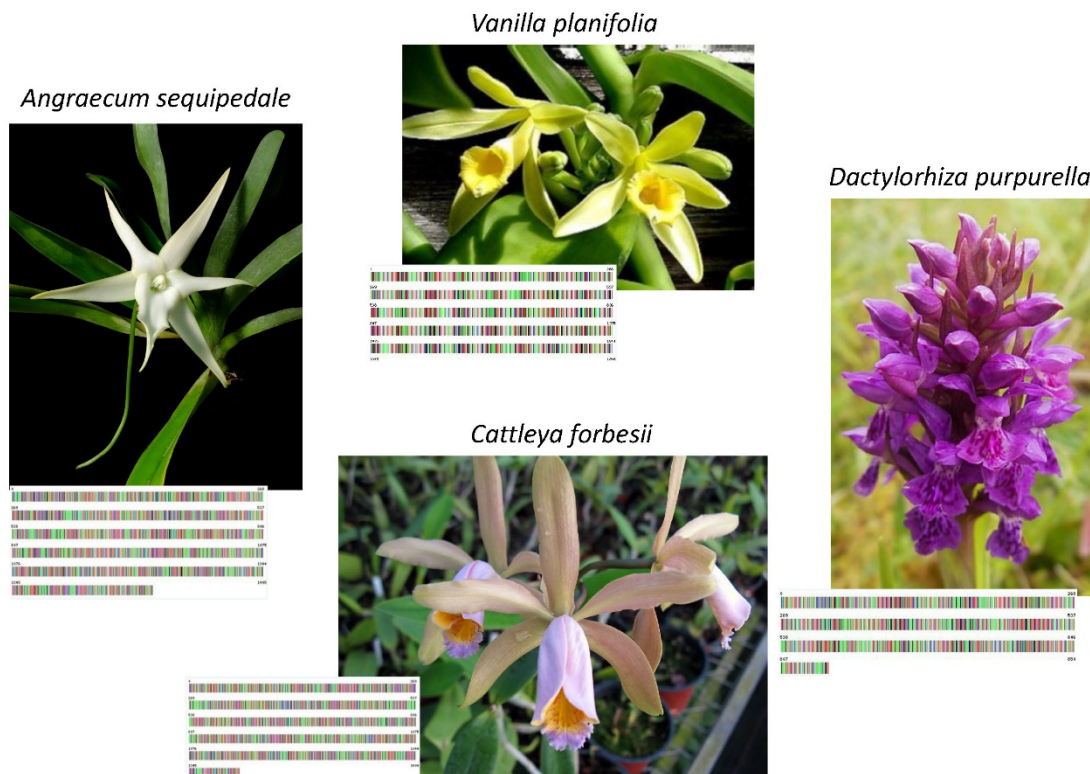


Abb. 11: Die vier untersuchten Orchideenarten *Angraecum sesquipedale*, *Vanilla planifolia*, *Cattleya forbesii* und *Dactylorhiza purpurella* mit ihren *matk*-Barcodes
Quelle: *teutolab*-biotechnologie

Die Hintergründe zu diesem Workshop wurden für Lehrkräfte und andere Schülerlabore zugänglich gemacht (Röllke & Grotjohann, 2015a). Das Thema wurde auf ergänzenden Arbeitsblättern so aufbereitet, dass es inhaltlich in der Schule umgesetzt werden kann. Zudem wurden die experimentellen Schritte in der praktischen Durchführung mit Materialien vorgestellt, die teils im Unterricht möglich sind. Die Umsetzung im Schülerlabor wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

Laborpraktische Umsetzung

DNA-Extraktion

Für die DNA-Extraktion wird ein auf Silikagel basierendes Verfahren eingesetzt: In Gegenwart hoher Konzentrationen chaotroper Salze wie z.B. Guanidinhydrochlorid binden Nukleinsäuren an Silikaoberflächen (Rio Bartulos, Tappe & Rothhämel, 2012). Nachdem die z. B. an Kieselsäuremembranen gebundene DNA mit alkoholhaltigen Puffern gewaschen wurde, wird sie unter Niedrigsalzbedingungen eluiert (Rio Bartulos et al., 2012). Die resultierende DNA ist sehr rein und somit für weitere Untersuchungsschritte gut geeignet (Rio Bartulos et al., 2012).

Im Schülerlabor wird dieses Prinzip mit dem NucleoSpin Plant II–Kit der Firma Macherey-Nagel angewendet. Nachdem die Blattproben einer der bereits vorgestellten Orchideenspezies im Mörser zerrieben wurden, werden die Zellmembranen des homogenisierten Pflanzenmaterials zunächst chemisch-thermisch unter Einwirkung denaturierender Agenzien lysiert. Hier erbringt der auf dem Standardprotokoll für Cetyltrimethylammoniumbromid (CTAB) basierende Lysepuffer PL1 gute Resultate. Das kationische Detergens CTAB greift die Zellmembranen an und komplexiert zudem die bei Pflanzen häufig in großer Menge vorhandenen Polysaccharide und entfernt Proteine (Jurk, 2009). Im Lysepuffer sind zudem chaotrope Salze enthalten. Durch das Hinzufügen von Ribonuklease A (RNase A) wird die Untersuchung kontaminierende RNA abgebaut. Im Anschluss geschieht eine Grob- sowie eine Feinreinigung: Zelltrümmer werden zunächst durch Filtrieren entfernt. Es folgt das Überführen des Durchflusses auf eine Kieselsäuresäule sowie das Waschen und die Elution von der Säule (Macherey-Nagel, 2017).

PCR

Da sich in der Studie von Lahaye et al. *matK* als gut geeignet erwies, wurde dieses Markergen für die Umsetzung des Workshops im Schülerlabor ausgewählt. Die Primer sowie das PCR-Protokoll wurden der Website von Kew Royal Botanical Gardens entnommen (Kew Botanic Gardens, 2012).

Analog zu dem Workshop „Molekulargenetische Tierartendifferenzierung“ erfolgt die Umsetzung der PCR mit dem 5x HOT FIREPol Blend Master Mix (Ready to Load) der Firma Solis BioDyne. Die Amplifikation erfolgt in 32 Zyklen mit 15 Sekunden

Denaturierung bei 95 °C, 40 Sekunden Hybridisierung bei 53 °C und 40 Sekunden Polymerisation bei 72 °C. Zudem wird eine 15-minütige Inkubation bei 95 °C vorgeschaltet und eine 5-minütige Elongation bei 72 °C nachgeschaltet. Der 10 µmolar verwendete Primermix (2_1a-for: ATCCATCTGGAAATCTTAGGTTTC, 2_1a-against: GTTCTAGCACAAAGAAAGTCG) begrenzt einen Bereich von ca. 750 bp Größe.

Gelelektrophorese

Der Erfolg der Amplifikation wird in einem mit TBE-Puffer angesetzten 1 %igen Agarosegel überprüft. Ergänzend zur DNA aus den zu analysierenden Blattproben werden eine Positiv- und eine Negativkontrolle untersucht. Bei der Positivkontrolle wurden in die PCR Eluate als Template eingesetzt, die in einem vorherigen Workshop nachweislich erfolgreich extrahiert und amplifiziert wurden. Bei der Negativkontrolle wurde anstelle von DNA Aqua destillata verwendet. Als Längenstandard wird der 1 kb plus DNA Ladder der Firma Thermo Scientific verwendet, der 15 DNA-Fragmente zwischen 75 bis 20 000 bp Größe enthält (Thermo Scientific, 2012a). Die Gele werden 30 Minuten lang bei 110 Volt gefahren und nach dem gleichen Verfahren gefärbt wie beim Tierarten-Versuch (siehe Kap. 5.1.2.1).

Sanger-Sequenzierung

Zur Bestimmung von Basensequenzen mit bis zu 750 bp Größe hat sich das in den 1970er Jahren entwickelte Kettenabbruchverfahren nach Fred Sanger durchgesetzt. Es können identische, einzelsträngige DNA-Moleküle analysiert werden, indem zunächst ein Primer hybridisiert und im folgenden Schritt durch DNA-Polymerase katalysiert neue komplementäre Stränge synthetisiert werden. Dabei werden nicht nur Desoxyribonukleosidtriphosphate (dNTPs) der vier Basen (dATP, dCTP, dGTP, dTTP) gebunden, sondern auch Dideoxyribonukleotide (ddNTPs: ddATP, ddCTP, ddGTP, ddTTP). Ihnen fehlt die 3'-Hydroxylgruppe, sodass hier nach Einbau keine Verknüpfung mit dem benachbarten Nukleotid möglich ist. So kommt es zu einem Synthese- bzw. Kettenabbruch. Der Reaktionsmix enthält dNTPs im Überschuss, sodass sich deren Einbau auf die gesamte Länge zufällig verteilt. Auf diese Weise entstehen unterschiedlich lange neue Fragmente, welche jeweils mit einem ddNTP enden. Da diese in unterschiedlichen Farben fluoreszenzmarkiert sind, kann man

darauf schließen, welche Basen sich an der entsprechenden Position der Matrizenstränge befinden. Für diese abschließende Analyse werden die verschieden großen neuen Fragmente elektrophoretisch aufgetrennt. Die kleinsten Moleküle wandern am schnellsten durch die Röhren eines Kapillarsystems und werden von einem Fluoreszenzdetektor erfasst. Die weiteren DNA-Fragmente wandern der Größe nach aufgetrennt hinterher, so dass in einem Bildgebungssystem ein Chromatogramm entsteht. Durch dessen Farben kann man die Abfolge der Basen des Matrizenstranges bestimmen (Brown & Jarosch, 2007, S. 112–118).

Die PCR-Produkte der erfolgreich amplifizierten Blattproben werden zur Bestimmung der Basenfolge des *matk*-Gens zur Sequenzierung in eine Arbeitsgruppe des CeBiTec der Universität Bielefeld gegeben. Die Proben werden dafür mit ExoSAP-IT™ von ThermoFisher enzymatisch aufgereinigt. Die enthaltene Exonuclease I und Shrimp Alkaline Phosphatase (SAP) hydrolysieren bei 15-minütiger Inkubation bei 37°C die restlichen Primer und dDNTPs. Abschließend erfolgt eine 15-minütige Inaktivierung der Enzyme bei 80°C (GE Healthcare, 2006). Für die Sequenzierung wird der Forward-Primer der PCR-Reaktion verwendet.

Auswertung

Die ermittelten Basenfolgen werden in einem letzten Schritt einer Sequenzanalyse unterzogen. Obwohl in dem bedeutenden Bioinformatikzentrum National Center for Biotechnology Information (NCBI) von zahlreichen Orchideenspecies *matk*-Sequenzen hinterlegt sind, wird die oben bereits vorgestellte BOLDSystems verwendet, da diese Datenbank speziell für die Barcodes der Eukaryoten der Erde eingerichtet wurde. Hier gibt es eine Suchmaschine zum Vergleich der selbst ermittelten mit den hinterlegten Sequenzen. Unter dem Menüpunkt ‚Identifications‘ wird ‚Plant Identification‘ gewählt und in das Suchfenster die Basenfolge des *matK*-Gens hineinkopiert. In kürzester Zeit wird eine nach den größten Übereinstimmungen sortierte Trefferliste angezeigt. Die ‚published‘ eingestellten Einträge bieten Einblick in das Alignment der Probe mit der eingetragenen Referenz. Hier wird deutlich, an welcher Stelle gegebenenfalls eine Mutation stattgefunden hat. Zudem ist die Basenfolge als farbiger Barcode dargestellt.

Versuchsanleitungen

In Anhang 2 dieser Arbeit findet sich die konkrete Versuchsanleitung für alle einzelnen Schritte im Schülerskript. Es beinhaltet zudem die Darstellung der theoretischen Hintergründe und molekulargenetischen Methoden für die Schüler sowie ein Gelbild zur exemplarischen Auswertung und eine Anleitung zur bioinformatischen Auswertung.

5.1.3 Methoden

5.1.3.1 Studiendesign und Stichproben

Im ersten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Breitenförderung wurden die in Kapitel 5.2.1 dargestellten Workshops formativ evaluiert. Abbildung 12 zeigt das Design dieser Teilstudie 1 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichproben. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Die prozentuale Verteilung auf die Workshops findet sich für die Akzeptanz in Anhang 3, für Wissen und Motivation in Anhang 4 und für Interesse in Anhang 5. Der Wissenstest (*teuto-Know*) wurde morgens zu Beginn der Workshops als Vortest und nachmittags am Ende der Workshops als Nachtest eingesetzt. Die Fragen zur Akzeptanz (*teuto-Akz*), zur intrinsischen Motivation (KIM, Wilde, Bätz, Kovaleva & Urhahne, 2009) und zum Interesse (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) wurden am Ende der Workshops im Nachtest beantwortet.

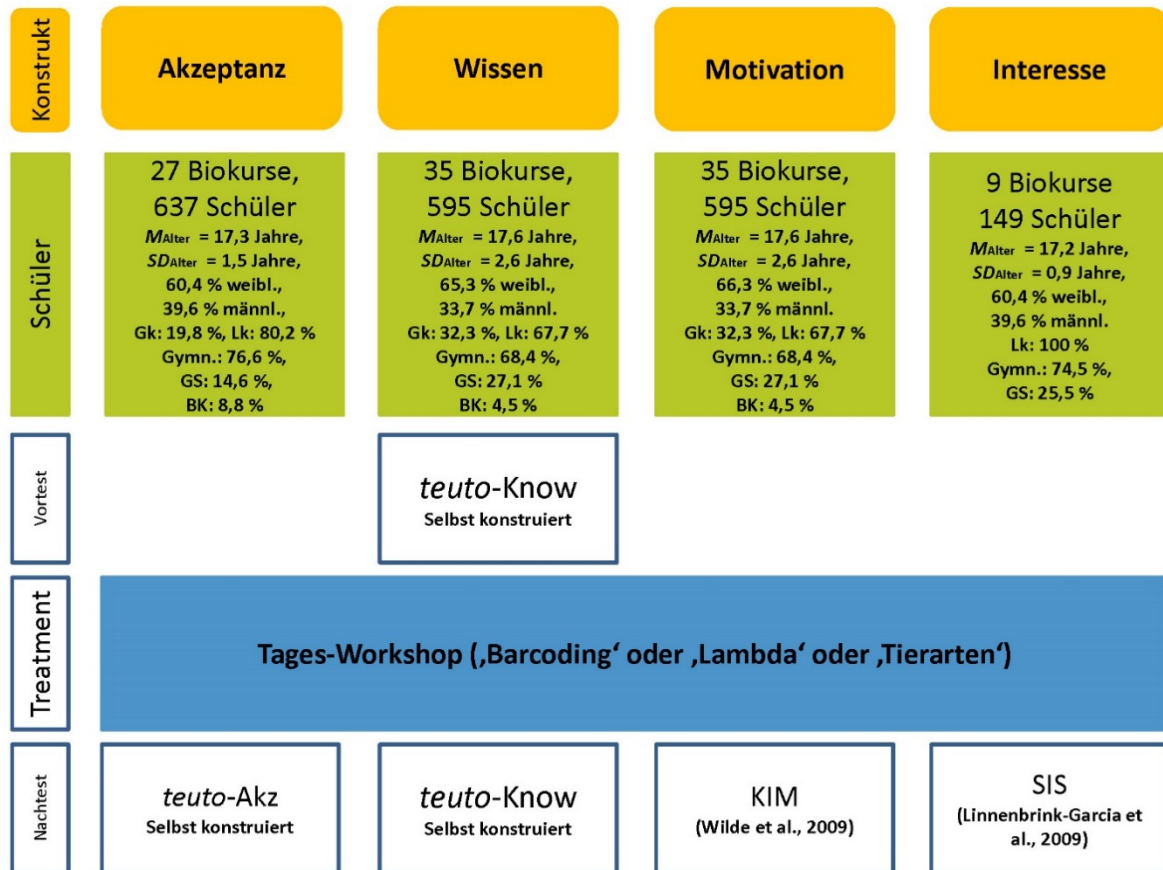


Abb. 12: Design der Teilstudie 1 zur Auswirkung der verschiedenen Workshops auf Akzeptanz, Motivation, Interesse und Wissenserwerb der Schüler

An der Untersuchung nahmen vorwiegend Oberstufenschüler der Qualifikationsphase 1 (Q1) von Gymnasien und Gesamtschulen teil. Teils gehörten sie auch Berufskollegs an. Es wurden sowohl Leistungs- als auch Grundkurse untersucht. Die Kurswahl wird als möglicher Indikator für das individuelle Interesse an den Naturwissenschaften angenommen, da Schüler mit großem Interesse an Biologie eher einen Leistungskurs wählen. Bei dieser Annahme werden jedoch die Schüler mit anderen naturwissenschaftlichen Leistungskursen nicht berücksichtigt. Diese möglichen Einflussfaktoren werden zusammen mit den Personenvariablen Zeugnisdurchschnitt und Biologiezensur berichtet. Die Biologiezensur kann ebenfalls als Indikator für das Interesse angesehen werden und zudem dient sie der Einschätzung der speziell im Fach Biologie gezeigten Leistungsfähigkeit. Der Zeugnisdurchschnitt wurde unter der Prämisse erhoben, über diesen Wert auf die allgemeine in der Schule gezeigte Leistungsfähigkeit rückschließen zu können. Nach Itzek-Greulich und Vollmer (2017) zeigt der letzte Zeugnisdurchschnitt in den naturwissenschaftlichen Fächern (*Science Grade*) als Personenvariable die in der

Schule gezeigte Leistung an und kann das emotionale Erleben von Lernsettings möglicherweise beeinflussen.

5.1.3.2 Testinstrumente

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 dargelegt, wurden die Akzeptanz und der Wissenserwerb unter Einsatz selbst entwickelter Fragebögen analysiert. Zur Erfassung der Motivation und des Interesses wurden validierte Fragebögen verwendet. Zudem wurden ergänzend qualitative Daten zur Akzeptanz erhoben.

Akzeptanz

Da im Schülerlabor durch die sinnvolle Gestaltung einer experimentellen Lernumgebung die Freude und das Interesse an den Naturwissenschaften sowie eine mögliche Berufsorientierung gefördert werden soll, war es für die formative Evaluation der Neuentwicklungen von Interesse, inwiefern die Schüler diesen Bereichen zustimmten. In Anlehnung an Scharfenberg (2005) wurde dafür der Begriff Akzeptanz verwendet. In dieser Arbeit wird unter Akzeptanz nach Endruweit (2014, S. 16) „die Eigenschaft einer Innovation, bei ihrer Einführung positive Reaktionen der Betroffenen zu erreichen“, verstanden. Unter Berücksichtigung der beabsichtigten Zielsetzung wurden insgesamt elf Items zur Erfassung der Qualität, Effektivität und einer affektiven Komponente formuliert (siehe Tab. 4), die von den Schülern am Ende des Workshops beantwortet wurden. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) verwendet.

Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug 0,840 und überschritt somit die Untergrenze von 0,6 für eine Eignung der Stichprobe. Die Faktorenanalyse bestätigt die Abdeckung der drei erwarteten Faktoren durch den Fragebogen zur Akzeptanz: Die affektive Komponente (Sub_Akz_Aff) dient der Erfassung des Erlebens des Workshops auf der Gefühlsebene, die effektive Komponente (Sub_Akz_Eff) fokussiert auf die Auswirkungen bei den Schülern, die Qualitäts-Komponente (Sub_Akz_Qu) dient zur Einschätzung des vom Schülerlabor entwickelten Konzeptes und Materials.

Zwei Items mussten wegen zu geringer Faktorladungen ($< 0,40$) ausgeschlossen werden. Das Item Akz_Eff_1 wurde trotz geringer, aber eindeutiger Ladung

beibehalten. Die verwendeten Items und die rotierten Faktorladungen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tab. 4: Items und Subskalen des Fragebogens zur Akzeptanz der Workshops (selbst konstruiert)

Kürzel	Item	Rotierte Faktorladung ¹		
		Akz_Aff	Akz_Eff	Akz_Qu
Akz_Aff_1	Ich habe am Kurstag viel Spaß gehabt.	0,585		
Akz_Aff_2	Das Thema des Kurstages war interessant.	0,448		
Akz_Aff_3	Die Experimente waren interessant.	0,756		
Akz_Aff_4	Das Arbeiten im Labor hat Spaß gemacht.	0,643		
Akz_Eff_1	Ich habe am Kurstag viel dazu gelernt.		0,356	
Akz_Eff_2	Die Erfahrungen am Kurstag haben Einfluss auf mein Interesse an biologischen, biotechnologischen und chemischen Themen.		0,775	
Akz_Eff_3	Die Erfahrungen vom Kurstag bringen mir schulische Vorteile.		0,473	
Akz_Eff_4	Die Erfahrungen vom Kurstag haben Einfluss auf meine berufliche Zukunft.		0,743	
Akz_Qu_1	Der PowerPoint-Vortrag und die Erklärungen waren gut verständlich.			0,631
Akz_Qu_2	Bei den Experimenten konnte ich selbstständig arbeiten.			0,441
Akz_Qu_3	Die Erklärungen & Versuchsanleitungen waren verständlich.			0,638
Reliabilität²				
Sub_Akz_Aff		0,787		
Sub_Akz_Eff			0,705	
Sub_Akz_Qu				0,649
Ges_Akz	0,801			

Anmerkungen:

¹ Extraktionsmethode: Hauptachsen-Faktorenanalyse

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

² Cronbachs Alpha

Ergänzend zu den geschlossenen Fragen umfasste der Fragebogen zwei offene Fragen. Sie lauteten „Welches Fazit ziehst du für dich aus dem Kurstag?“ und „Was könnte am Kurstag des *teutolab*-biotechnologie verbessert werden?“

Wissenserwerb

Der Fragebogen zum Wissenserwerb umfasste 16 Items zu den angewendeten Methoden (WVor_1 bis WVor_16 bzw. WNach_1 bis WNach_16). In Tabelle 5 ist beispielhaft der Fragebogen zum Workshop ‚Barcoding‘ aufgeführt, in Anhang 6 findet sich identische Fragebogen für die beiden Workshops ‚Lambda‘ und ‚Tierarten‘.

Tab. 5: Items des Wissenstests zum Workshop ‚Barcoding‘

Kürzel	Item und Antwortmöglichkeiten ¹	SI ²	TSK ³
		WNach	WNach
WVor_1 WNach_1	Extraktion reiner DNA kann bei pflanzlichen Zellen sehr aufwändig sein, weil... ...sie im Gegensatz zu tierischen Zellen Zellwände haben. ...nicht jede Pflanzenzelle DNA enthält. ...die Zellkerne so hart sind.	83,0 %	0,108
WVor_2 WNach_2	Welche Komponenten werden für die PCR unbedingt benötigt? DNA-Polymerase DNA DNA-Längenstandard (‘Marker’) dNTPs (Nukleotide) Primermix markierte ddNTPs (Nukleotide)	31,0 %	0,426
WVor_3 WNach_3	Wie heißt der Schritt bei der PCR, bei dem die komplementären Stränge in Einzelstränge getrennt werden?	87,9 %	0,329
WVor_4 WNach_4	Bei welcher Temperatur geschieht dieser Schritt? 120°C 72°C 94°C	95,1 %	0,232
WVor_5 WNach_5	Wie heißt der Schritt in der PCR, bei dem die Primer binden?	77,0 %	0,358
WVor_6 WNach_6	Bei welcher Temperatur geschieht dieser Schritt? 50-60°C 72°C 94°C	88,5 %	0,263
WVor_7 WNach_7	Wie heißt der Schritt in der PCR, bei dem die neuen komplementären DNA-Stränge synthetisiert werden?	72,6 %	0,339
WVor_8 WNach_8	Bei welcher Temperatur geschieht dieser Schritt? 50-60°C 72°C 94°C	86,0 %	0,296
WVor_9 WNach_9	Mithilfe der Polymerase-Kettenreaktion (PCR)... ...lassen sich geringe Mengen DNA vervielfältigen. ...lassen sich bestimmte DNA-Abschnitte gezielt vervielfältigen. ...kann man intakte Gesamt-DNA aus Zellen isolieren.	38,4 %	0,337
WVor_10 WNach_10	Bei der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) ...hängt es vom Primerpaar ab, welcher DNA-Abschnitt vervielfältigt wird. ...wird die gesamte extrahierte DNA exponentiell vervielfältigt. ...werden bei jedem Zyklus die entstandenen DNA-Fragmente erneut verdoppelt.	33,7 %	0,289
WVor_11 WNach_11	Welcher Fehler könnte passiert sein, wenn im Gelbild nach der PCR IN EINER SPUR keine Bande(n) sichtbar ist (sind)? Die DNA wurde in dieser Probe vergessen. Die Geltasche wurde durchstoßen und die Probe floss unter das Gel. Die DNA-Anfärbung hat nicht funktioniert.	30,4 %	0,024
WVor_12 WNach_12	Zu welchem Pol wandert die DNA während der Elektrophorese und warum? Sie wandert zum _____-Pol, weil _____.	81,4 %	0,298

WVor_13 WNach_13	Die Konzentration des Gels und die eingestellte Voltzahl am Spannungsgeber sind bei der Elektrophorese variabel. Worauf haben sie Einfluss? Auf die Gesamtdauer der Elektrophorese. Auf die Menge an DNA im Gel. Auf die Laufrichtung der DNA im Gel.	49,0 %	0,353
WVor_14 WNach_14	Welche Komponenten werden für die Sanger-Sequenzierung unbedingt benötigt? DNA-Polymerase DNA DNA-Längenstandard ('Marker') dNTPs (Nukleotide) Primer markierte ddNTPs (Nukleotide)	87,7 %	0,310
WVor_15 WNach_15	Bei der Elektrophorese bei der Sanger-Sequenzierung wird... ... das kleinste neu synthetisierte DNA-Fragment zuerst detektiert. ...die Basenfolge der eingesetzten DNA-Stränge ermittelt. ...die gesamte DNA kopiert.	81,9 %	0,231
WVor_16 WNach_16	Beim Abgleich der Sequenzierergebnisse in einer Datenbank kann man im Vergleich mit hinterlegten Sequenzen... ...Mutationen des untersuchten Probematerials erkennen. ...Rückschlüsse auf die Art ziehen. ...codierende und nicht codierende DNA-Abschnitte erkennen.	51,8 %	0,306
Gesamt		72,4 %	
Reliabilität ⁴	0,646		

Anmerkungen: ¹ Richtige Antworten sind fett gekennzeichnet.

² Schwierigkeitsindex

³ Trennschärfekoeffizient

⁴ Cronbachs Alpha

Bei den Multiple-Choice-Fragen konnten mehrere Antworten richtig sein. Es konnten max. 3 Punkte (1 Punkt pro richtig beantworteter Aussage) erzielt werden, bei den offenen Fragen 1 Punkt pro richtigem Begriff. Die maximale Punktzahl betrug 35. Zur Ermittlung von Wissenszuwachs oder –abnahme wurden die identischen Items eingesetzt und die Differenzen zwischen dem Vor- und dem Nachtest berechnet (Diff_WNachWVor_1 bis Diff_WNachWVor_16). Der Schwierigkeitsindex ist mit Werten zwischen 10 % und 90 % bis auf eine Ausnahme zufriedenstellend. Es wurden alle Items beibehalten, da dieses eine Item einem Set paralleler Fragen zum Zyklus der PCR angehörte. Auf einen Ausschluss des Items mit dem niedrigsten Trennschärfekoeffizienten wurde verzichtet, da die gleiche Frage bei dem Lambda- und Tierartentest einen höheren Koeffizienten aufwies. Die Reliabilität ist für den Vergleich von Gruppen angemessen (siehe Kapitel 4.2.1).

Intrinsische Motivation

Für die Erfassung der intrinsischen Motivation wurde die Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) verwendet. Sie gliedert sich in die Subskalen ‚Interesse/Vergnügen‘ (Sub_KIM_Int), ‚wahrgenommene Kompetenz‘ (Sub_KIM_Komp), ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ (Sub_KIM_Wahl) und ‚kein Druck‘ (Sub_KIM_Druck_inv). Dabei wird die Interessens-/Freudekomponente als

Selbstbericht der intrinsischen Motivation angesehen. Die Wahlfreiheits- und die Kompetenzkomponente sind positive Prädiktoren für das Erleben intrinsischer Motivation, Druck und Anspannung negative Prädiktoren (Wilde et al., 2009). Diese inverse Skala wird invertiert als ‚kein Druck‘ berichtet. Das Testinstrument umfasst drei Items je Subskala und wurde in dieser Form erstmalig von Krombass und Harms (2006) verwendet. Es handelt sich um eine reduzierte Variante des Task Evaluation Questionnaire, der von Deci & Ryan (2018) zur Erfassung intrinsischer, tätigkeitsbezogener Motivation mit den gleichen Subskalen, jedoch mit 22 Items, vorgeschlagen wurde. In Tabelle 6 sind die Subskalen mit Reliabilitäten und Beispielitems aufgeführt, die Gesamtheit der Fragen findet sich in Anhang 7. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) verwendet. Inverse Fragen wurden für die Auswertung umkodiert.

Tab. 6: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009)

Subskala	Beispielitem	Reliabilität ¹
Sub_KIM_Int	Das Experimentieren am Kurstag hat mir Spaß gemacht.	0,777
Sub_KIM_Druck_inv	Ich fühlte mich während meiner Tätigkeiten am Kurstag unter Druck.	0,674
Sub_KIM_Komp	Mit meiner Leistung bin ich wirklich zufrieden.	0,790
Sub_KIM_Wahl	Beim Experimentieren konnte ich wählen, wie ich es mache.	0,690
Ges_KIM		0,748

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

Interesse

Das situationale Interesse wurde unter Verwendung des Situational Interest Scale (SIS) nach Linnenbrink-Garcia et al. (2010) erhoben. Wie in Kapitel 3.2.8 dargestellt, wird das Konstrukt hier in das ausgelöste Interesse (*Triggered*, Sub_Int_T), die Gefühlskomponente des gehaltenen Interesses (*Maintained-Feeling*, Sub_Int_F) und die Wertkomponente des gehaltenen Interesses (*Maintained-Value*, Sub_Int_V) untergliedert. Zudem wurde das individuelle Interesse ebenfalls nach Linnenbrink-Garcia et al. (2010) erfasst. Die Individual Interest Scale umfasst 6 Items (Ges_Int_I). In Tabelle 9 sind die Subskalen mit Reliabilitäten und Beispielitems aufgeführt, die

Gesamtheit der Fragen findet sich in Anhang 8. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft völlig zu“ (5) verwendet.

Tab. 7: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems des Situational Interest Scale und des Individual Interest Scale (SIS, IIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010)

Subskala	Beispielitem	Reliabilität ¹
Ges_Int_I	Ich mag Naturwissenschaften.	0,845
Sub_Int_T	Der Workshop war unterhaltsam.	0,708
Sub_Int_F	Ich habe den Workshop genossen.	0,784
Sub_Int_V	Was ich beim Workshop gemacht habe, ist mir wichtig.	0,680
Ges_Sit_Int		0,876

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

5.1.4 Ergebnisse

5.1.4.1 Akzeptanz

Einfluss des Geschlechts auf die Akzeptanz

Das Geschlecht hat keinen signifikanten Einfluss auf die affektive Komponente (Sub_Akz_Aff), die effektive Komponente (Sub_Akz_Eff) und die Qualitätskomponente (Sub_Akz_Qu) und somit auch nicht auf die Gesamtskala (Ges_Akz) der Akzeptanz der Workshops (Sub_Akz_Aff: $F(1;632) = 0,491$, $p = 0,484$; Sub_Akz_Eff: $F(1;632) = 2,511$, $p = 0,114$; Sub_Akz_Qu: $F(1;632) = 2,575$, $p = 0,109$; Ges_Akz: $F(1;632) = 0,314$, $p = 0,576$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 13 dargestellt.

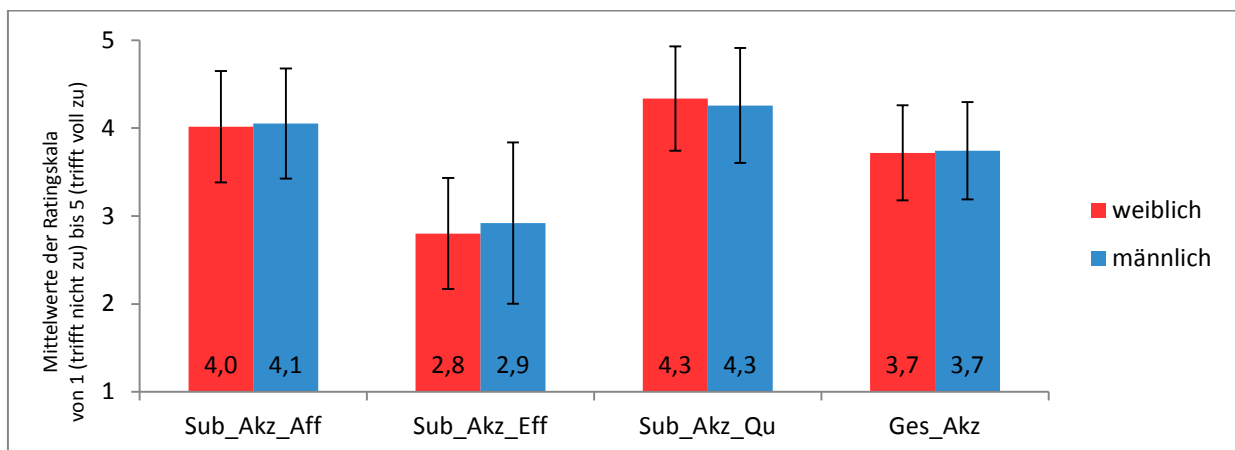


Abb. 13: Einfluss des Geschlechts auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (Weiblich: $n = 383$, männlich: $n = 251$)

Einfluss der Kurswahl auf die Akzeptanz

Die Kurswahl hat einen Einfluss auf die effektive Komponente der Akzeptanz der Workshops: Die Einschätzung der Effektivität ist bei Leistungskursen sehr signifikant höher ausgeprägt als bei Grundkursen (Sub_Akz_Eff: $F(1;635) = 9,732$, $p = 0,002$, $\eta_p^2 = 0,015$). Die affektive und die Qualitätskomponente unterscheiden sich nicht signifikant bezüglich der unterschiedlichen Kursformen (Sub_Akz_Aff: $F(1;635) = 2,850$, $p = 0,092$; Sub_Akz_Qu: $F(1;635) = 1,648$, $p = 0,200$). Der große Unterschied in der effektiven Komponente führt zu einem sehr signifikant höheren Gesamtwert der Akzeptanz bei Leistungskursschülern (Ges_Akz: $F(1;635) = 8,459$, $p = 0,004$, $\eta_p^2 = 0,013$). Die Effektstärken sind gering. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 14 dargestellt.

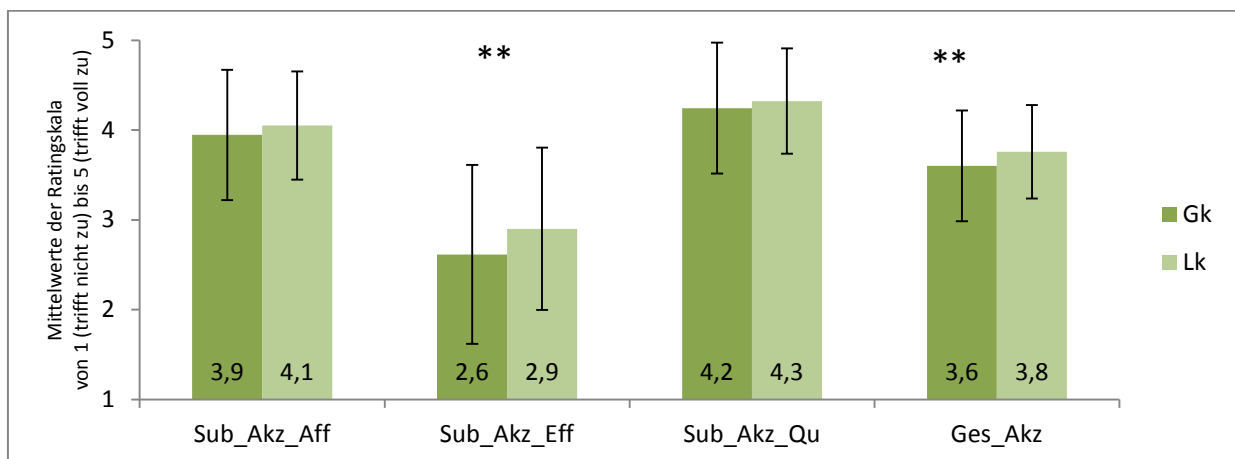


Abb. 14: Einfluss der Kurswahl auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (Grundkurs: $n = 126$, Leistungskurs: $n = 511$)

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Akzeptanz

Der Zeugnisdurchschnitt hat einen signifikanten Einfluss auf die affektive Komponente und die Qualitätskomponente der Akzeptanz der Workshops. Die Einschätzung affektiver Variablen und der Qualität ist in den Terzilen umso höher, je besser der Zeugnisdurchschnitt ist (Sub_Akz_Aff: $F(2;292) = 4,498$, $p = 0,012$, $\eta_p^2 = 0,030$; Sub_Akz_Qu: $F(2;292) = 3,651$, $p = 0,027$, $\eta_p^2 = 0,024$;). In der effektiven Komponente zeichnet sich zwar die gleiche Tendenz ab, die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant (Sub_Akz_Eff: $F(2;292) = 0,755$, $p = 0,471$). In der Gesamtskala ergeben sich ebenfalls signifikant höhere Mittelwerte bei Schülern im oberen Terzil gegenüber dem unteren Terzil (Ges_Akz: $F(2;292) = 3,980$, $p = 0,020$,

$\eta_p^2 = 0,027$). Die Effektstärken sind niedrig. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 15 dargestellt. Laut Post-hoc-Test liegen die signifikanten Unterschiede jeweils zwischen der höchsten und der niedrigsten Kategorie vor (siehe Anhang 9).

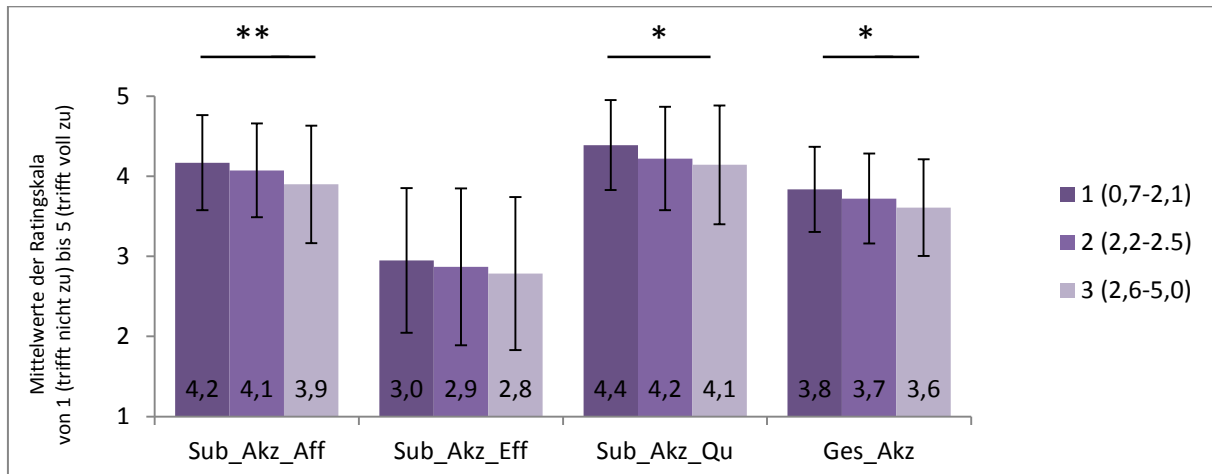


Abb. 15: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Workshops (1. Terzil: $n = 101$, 2. Terzil: $n = 99$, 3. Terzil: $n = 95$)

Einfluss der Biologiezensur auf die Akzeptanz

Die Biologiezensur hat einen signifikanten bzw. höchst signifikanten Einfluss auf die affektive und die effektive Komponente der Akzeptanz der Workshops. Die Einschätzung der affektiven und effektiven Variablen ist bei Schülern im unteren Terzil niedriger (Sub_Akz_Aff: $F(2;308) = 4,090$, $p = 0,018$, $\eta_p^2 = 0,026$; Sub_Akz_Eff: $F(2;308) = 7,012$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,044$). In der Qualitätskomponente zeichnet sich zwar die gleiche Tendenz ab, die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant (Sub_Akz_Qu: $F(2;308) = 2,987$, $p = 0,052$). Der Gesamtwert der Akzeptanz unterscheidet sich höchst signifikant zwischen den Terzilen (Ges_Akz: $F(2;308) = 8,358$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,051$). Die Effektstärken sind relativ niedrig. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 16 dargestellt. Laut Post-hoc-Test liegen die signifikanten Unterschiede in der affektiven Komponente zwischen der höchsten und der niedrigsten Kategorie, in der effektiven Komponente zwischen der mittleren und der niedrigsten Kategorie sowie der höchsten und der niedrigsten vor. In der Gesamtskala liegen sie von den beiden höheren Kategorien gegenüber der niedrigsten Kategorie vor (siehe Anhang 10).

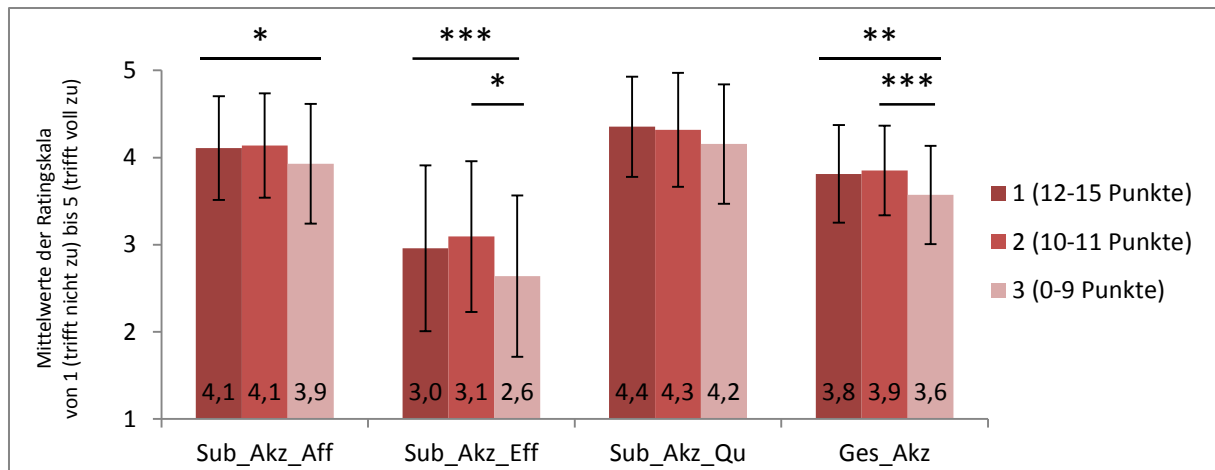


Abb. 16: Einfluss der Biologiezensur auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (1. Terzil: $n = 98$, 2. Terzil: $n = 95$, 3. Terzil: $n = 118$)

Vergleich: Einfluss des Themas der Workshops auf die Akzeptanz

Es liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Themen in der affektiven, effektiven und der Qualitätskomponente sowie der Gesamtskala der Akzeptanz vor (Sub_Akz_Aff: $F(2;639) = 1,519$, $p = 0,220$; Sub_Akz_Eff: $F(2;636) = 0,561$, $p = 0,571$; Sub_Akz_Qu: $F(2;634) = 1,411$, $p = 0,244$; Ges_Akz: $F(2;634) = 0,248$, $p = 0,780$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 17 dargestellt.

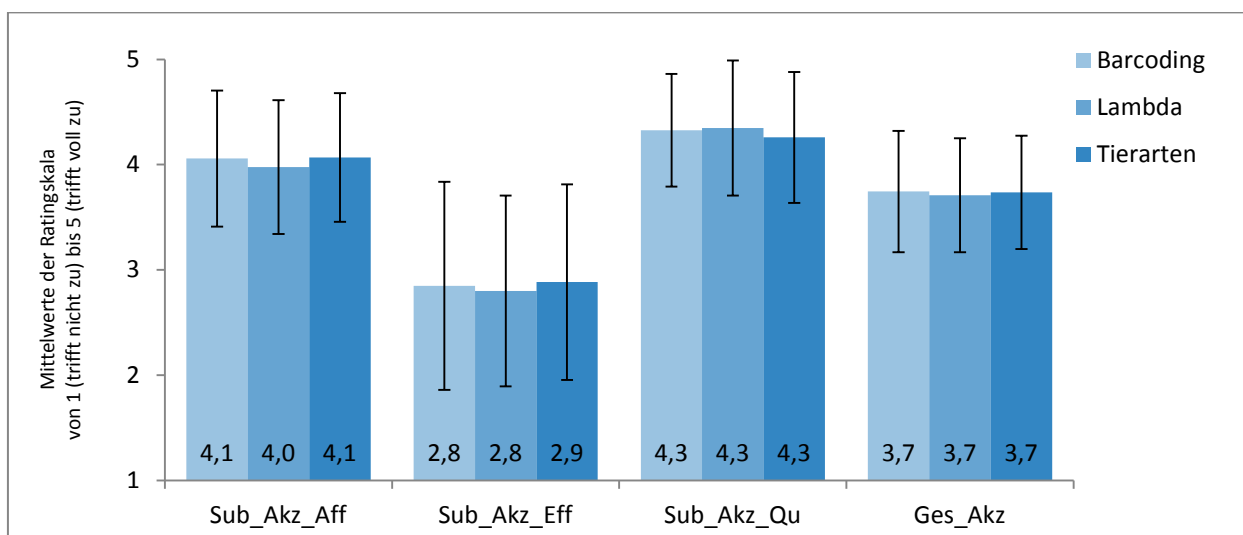


Abb. 17: Einfluss des Themas auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (Barcoding: $n = 103$, Lambda: $n = 264$, Tierarten: $n = 275$)

Auswertung der offenen Frage zum Fazit der Schüler

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, wurden durch Orientierung am Datenmaterial inhaltliche Kategorien gebildet, um die qualitativen Daten auszuwerten. Die Frage „Welches Fazit ziehst Du aus Deinem Praktikumstag?“ wurde aufgefasst im Sinne von „Welche Kernaussage kannst Du zur Bedeutung des Praktikumstages formulieren?“

Es konnten induktiv sechs Kategorien identifiziert werden. Sie stehen in engem Bezug zu den für Schülerlabore relevanten theoretischen Hintergründen: Wie in Kapitel 3.1 und 3.2 dargestellt, sollten sich Schüler in Schülerlaboren durch Freude im praktischen Tun motiviert werden, sich ihr Interesse am Lerngegenstand erhöhen, das Verständnis im Sinne von Anwendungswissen vertieft werden und die Studien- und Berufsorientierung gefördert werden. Außer den Äußerungen zu Motivation, Interesse, Wissenserwerb und Berufsorientierung machten die Schüler in ihren Fazits Aussagen zur Einschätzungen zur Qualität der Veranstaltung und zur besonderen Bedeutung der Laborarbeit. Viele Aussagen konnten gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Es wurden durchweg positive oder zumindest ambivalente Fazits (8 Schüler) geäußert. Daher wurden Wertigkeiten nicht erfasst. Von 349 Schülern formulierten 248 Schüler Fazits. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 79,7 % und ist als beachtlich einzustufen. In Tabelle 8 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 8: Kategorien der Fazits der Schüler zu den Workshops mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Nr.	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent- satz
1	Bedeutung für die Motivation	Alle Äußerungen zu Freude/ Vergnügen/positiven Gefühlen	„Der Kurstag und das Experiment hat viel Spaß gemacht.“	43/ 11,0 %
2	Bedeutung für das Interesse	Alle Äußerungen zum Lerngegenstand/Interesse	„Es war sehr interessant zu sehen, wie im Labor gearbeitet wird.“	111/ 28,3 %
3	Bedeutung für den Wissenszuwachs	Alle Äußerungen zur Vertiefung des Verständnisses, Wissenserwerb/ Bedeutung für den Unterricht	„Ich habe viel gelernt und kann die Vorgänge noch besser nachvollziehen.“	52/ 13,3 %

4	Bedeutung für die Studien- und Berufsorientierung	Alle Äußerungen zu beruflicher Zukunft und Studieninteresse. Entscheidungen gegen den naturwissenschaftlichen Bereich sind mit eingeschlossen	„Bestätigt meine LK-Wahl in Biologie und hat mein Interesse an Berufen im biologischen Bereich geweckt.“ „Die praktische Arbeit war interessant, jedoch für mich für später nichts.“	27/ 6,9 %
5	Allgemeine persönliche Beurteilung des Workshops	Alle Äußerungen zur persönlich eingeschätzten Qualität des Workshops, Feedback zu Qualität	„Tolles Programm“, „Es hat sich gelohnt.“	64/ 16,3 %
6	Bedeutung der Laborarbeit	Alle Äußerungen, welche die Bedeutung der Laborarbeit betonen	„Sehr interessant, wie Biologie in der Praxis funktioniert und nicht nur in der Theorie.“	69/ 17,6 %
8	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		26/ 6,6 %

Auswertung der offenen Frage zu den Verbesserungsvorschlägen der Schüler

Bei der Analyse der Antworten auf die Frage „Was könnte am Kurstag des *teutolab*-biotechnologie verbessert werden?“ konnten anhand des Datenmaterials vier Kategorien identifiziert werden: Es wurden Verbesserungsvorschläge zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Workshops im Bereich der Erklärungen und im Bereich des Theorieteils gemacht. Zudem wurden die organisatorische Konzeption und die Rahmenbedingungen thematisiert. Viele Äußerungen wurden gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet.

Von 349 Schülern formulierten 125 Schüler die Frage nach den Verbesserungsvorschlägen. Davon nannten 29 Schüler, dass es explizit keine Vorschläge gebe, so dass in der Summe 72,5 % keine Vorschläge geäußert haben. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 84,3 % und ist somit als nahezu perfekt einzustufen. In Tabelle 9 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 9: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für die Workshops mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Nr.	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent- satz
0	Explizit kein Vorschlag	Alle Äußerungen, in denen explizit geäußert wird, dass es keinen Verbesserungsvorschlag gibt	„Alles perfekt“ oder „Gar nichts“	30/ 23,6 %
1	Didaktische Konzeption und Umsetzung: Erklärungen	Alle Äußerungen zu den Erklärungen	„Langsamere und deutlichere Erklärung.“ „Nicht so lange Erklärungen.“	23/ 18,1 %
2	Didaktische Konzeption und Umsetzung: Theorieteils	Alle Äußerungen zur PPT-Präsentation, den Versuchsanleitungen etc.	„PP Vortrag spannender gestalten.“	14/ 11 %
3	Organisatorische Konzeption und Umsetzung: Organisatorische Abläufe	Alle Äußerungen zur Programmgestaltung und zu organisatorischen Abläufen inkl. Pausenstrukturen	„Andere Experimente während der Wartezeiten.“ oder „Mehr Essenspausen.“	42/ 33,1 %
4	Rahmenbedingungen	Alle Äußerungen zu Räumlichkeiten, Ausstattung etc.	„Suboptimale Leinwand für Tischgruppe 7 u. 8.“ „Kleinere Laborkittel.“	10/ 7,9 %
5	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		8/ 6,3 %

5.1.4.2 Wissenserwerb

Einfluss des Geschlechts auf das Wissen

Das Geschlecht hat weder einen Einfluss auf das Wissen im Vortest (Summe_WVor), im Nachtest (Summe_WNach), noch auf den Wissenszuwachs (Diff_WNachWVor) (Summe_WVor: $F(1;571) = 0,200$, $p = 0,655$; Summe_WNach: $F(1;571) = 1,040$, $p = 0,308$; Diff_WNachWVor: $F(1;571) = 1,040$, $p = 0,308$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 18 dargestellt.

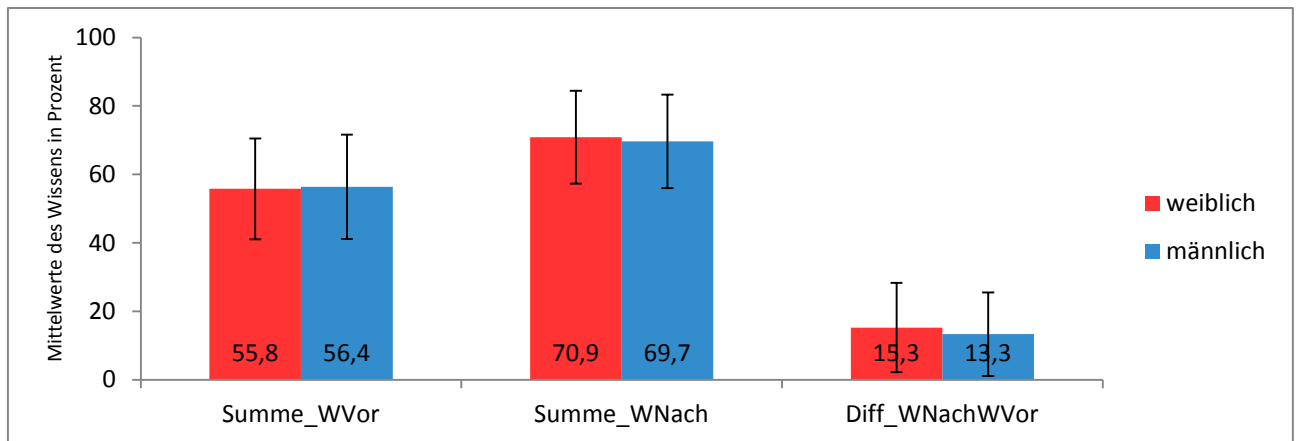


Abb. 18: Einfluss des Geschlechts auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (weiblich: $n = 380$, männlich: $n = 193$)

Einfluss der Kurswahl auf das Wissen

Die Kurswahl hat einen Einfluss auf das Wissen im Vortest und im Nachtest. Schüler aus Leistungskursen verfügen über ein höchst signifikant höheres Vorwissen und Wissen im Nachtest (Summe_WVor: $F(1;593) = 39,576$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,063$; Summe_WNach: $F(1;593) = 101,749$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,146$). Die Effektstärken sind mittel bis groß. Im Wissenszuwachs liegt ein signifikanter Unterschied mit niedriger Effektstärke vor (Diff_WNachWVor: $F(1,593) = 6,108$, $p = 0,014$, $\eta_p^2 = 0,010$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 19 dargestellt.

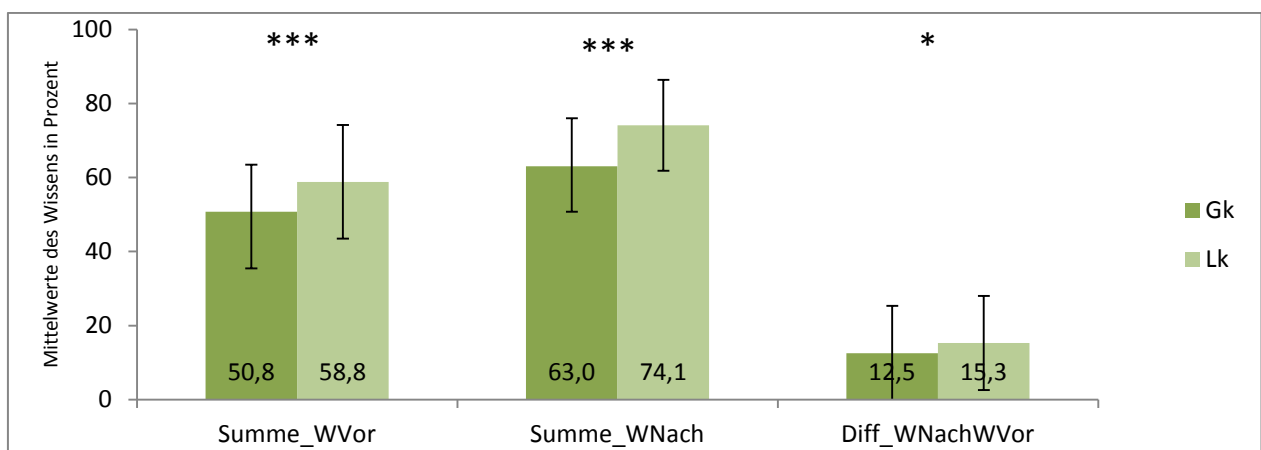


Abb. 19: Einfluss der Kurswahl auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (Grundkurs: $n = 192$, Leistungskurs: $n = 403$)

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Wissen

Der Zeugnisdurchschnitt hat keinen signifikanten Einfluss auf das Wissen im Vortest, im Nachtest und im Wissenszuwachs (Summe_WVor: $F(2;211) = 0,805$, $p = 0,449$;

Summe_WNach: $F(2;211) = 0,191$, $p = 0,826$; Diff_WNachWVor: $F(2,211) = 1,691$, $p = 0,187$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 20 dargestellt.

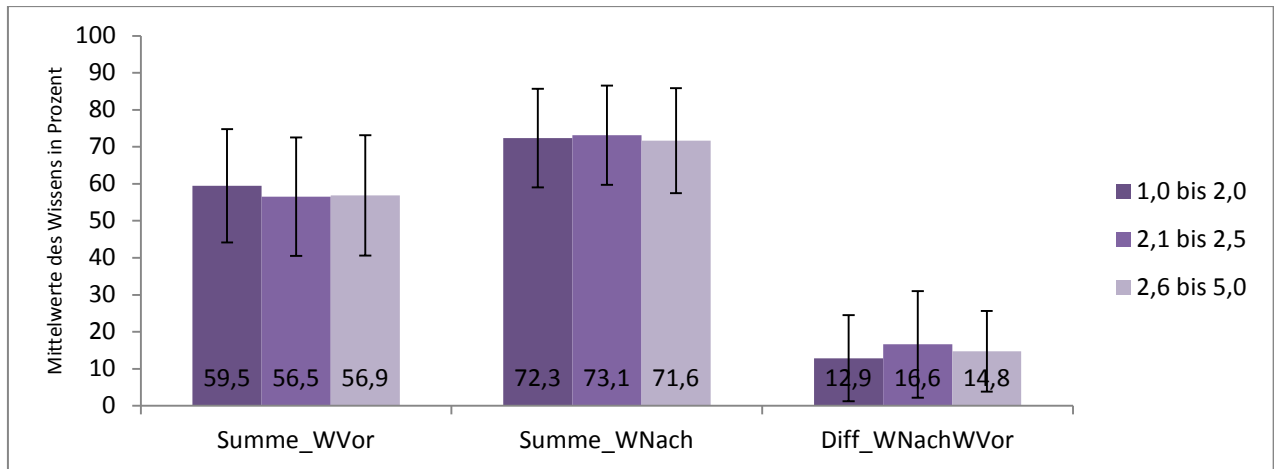


Abb. 20: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (1. Terzil: $n = 88$, 2. Terzil: $n = 61$, 3. Terzil: $n = 65$)

Einfluss der Biologiezensur auf das Wissen

Die Biologiezensur hat keinen signifikanten Einfluss auf das Wissen im Vortest, im Nachtest und den Wissenszuwachs (Summe_WVor: $F(2;218) = 2,515$, $p = 0,083$; Summe_WNach: $F(2;218) = 1,783$, $p = 0,171$; Diff_WNachWVor: $F(2,218) = 0,802$, $p = 0,450$). Schüler des oberen Terzils verfügen tendenziell über ein höheres Vorwissen als diejenigen der beiden niedrigeren Gruppen. Diese Tendenz ist auch für das Wissen im Nachtest zu verzeichnen, die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Im Wissenszuwachs erreichten die Schüler aus dem mittleren Terzil die höchsten Werte, die Unterschiede sind jedoch ebenfalls nicht signifikant. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 21 dargestellt.

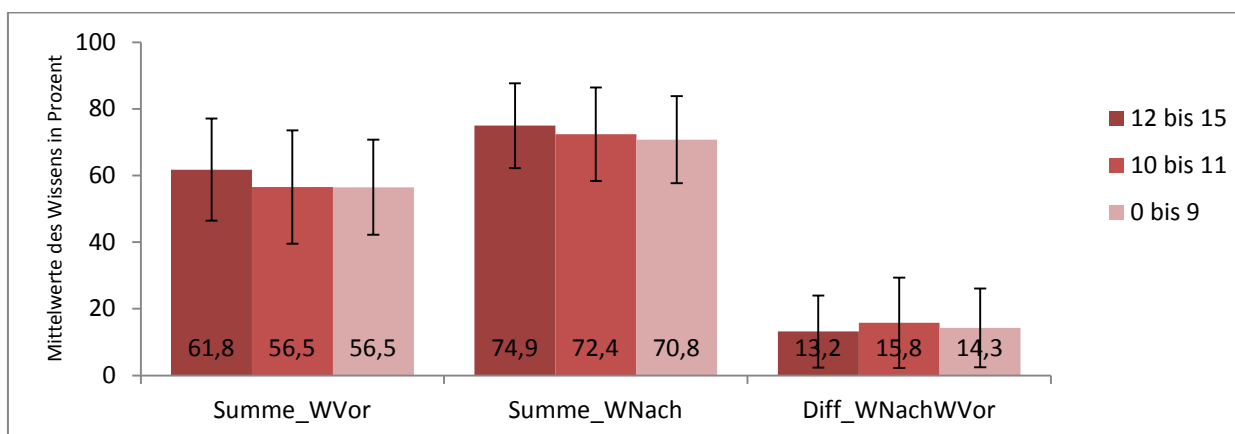


Abb. 21: Einfluss der Biologiezensur auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (1. Terzil: $n = 60$, 2. Terzil: $n = 72$, 3. Terzil: $n = 89$)

Vergleich: Einfluss des Themas der Workshops auf das Wissen

Zunächst unterschied sich das Wissen im Vortest signifikant zwischen den drei Workshops (Summe_WVor: $F(2;592) = 3,855$, $p = 0,022$; $\eta_p^2 = 0,013$). Das Wissen im Nachtest unterschied sich höchst signifikant (Summe_WNach: $F(2;592) = 10,386$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,034$). Die Unterschiede lagen laut Post-hoc-Test (siehe Anhang 11) im Vortest und im Nachtest zwischen ‚Barcoding‘ und ‚Lambda‘. Im Wissenszuwachs sind die Unterschiede zwischen den Themen der Workshops nicht signifikant (Diff_WNachWVor: $F(2;592) = 2,192$, $p = 0,113$). Die Kovarianzanalyse ergibt einen höchst signifikanten Einfluss des Wissens im Vortest auf das Wissen im Nachtest mit hoher Effektstärke ($F(1;595) = 335,96$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,352$) sowie einen signifikanten Einfluss der Workshops auf das Wissen im Nachtest mit kleiner Effektstärke ($F(1;595) = 7,720$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,025$). Außer dem Vorwissen haben also auch die Workshops einen Einfluss auf den Wissenszuwachs. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 22 dargestellt.

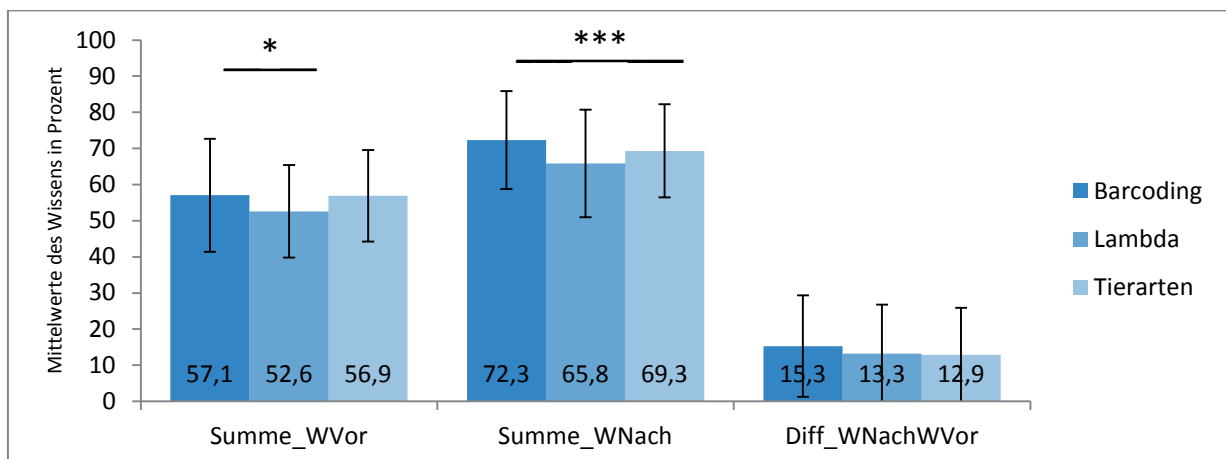


Abb. 22: Einfluss des Themas der Workshops auf den Wissenszuwachs (Diff_WNachWVor) in Prozent in Abhängigkeit vom Vortest (Summe WVor) und vom Nachtest (Summe WNach) (Barcoding: $n = 361$, Lambda: $n = 105$, Tierarten: $n = 192$)

Zeitlicher Vergleich des Wissens

Die Werte im Nachtest sind signifikant höher als die Werte im Vortest (Summe_WVor/Summe_WNach: $F(1;600) = 729,751$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,549$). Die Effektstärke ist hoch. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 23 dargestellt.

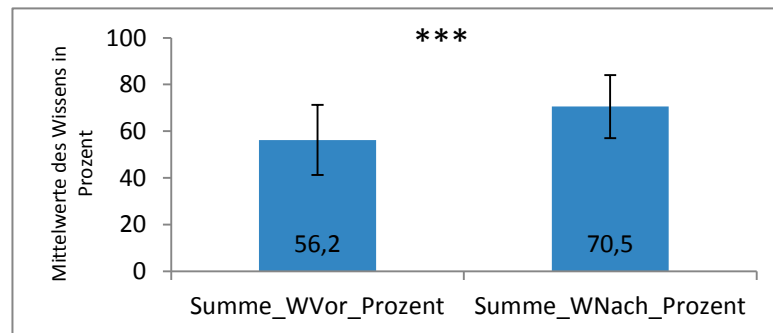


Abb. 23: Vergleich des Wissens der Schüler im Vortest (Summe_WVor) und im Nachtest (Summe_WNach) ($N = 595$)

5.1.4.3 Motivation

Einfluss des Geschlechts auf die Motivation

Das Geschlecht hat keinen signifikanten Einfluss auf die vier Subskalen ‚Interesse/Vergnügen‘ (Sub_KIM_Int), ‚kein Druck‘ (Sub_KIM_Druck_inv), ‚wahrgenommene Kompetenz‘ (Sub_KIM_Komp) und ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ (Sub_KIM_Wahl) und somit auch nicht auf die Gesamtskala (Ges_KIM) der intrinsischen Motivation. Tendenziell empfinden Jungen jedoch ein höheres Kompetenzerleben und mehr Wahlfreiheit als Mädchen und Mädchen wiederum ein geringeres Druckerleben (Sub_KIM_Int: $F(1;571) = 1,321$, $p = 0,251$; Sub_KIM_Druck: $F(1;571) = 0,013$, $p = 0,908$; Sub_KIM_Komp: $F(1;571) = 3,532$, $p = 0,061$, Sub_KIM_Wahl: $F(1;571) = 3,316$, $p = 0,069$; Ges_KIM: $F(1;571) = 3,699$, $p = 0,055$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 24 dargestellt.

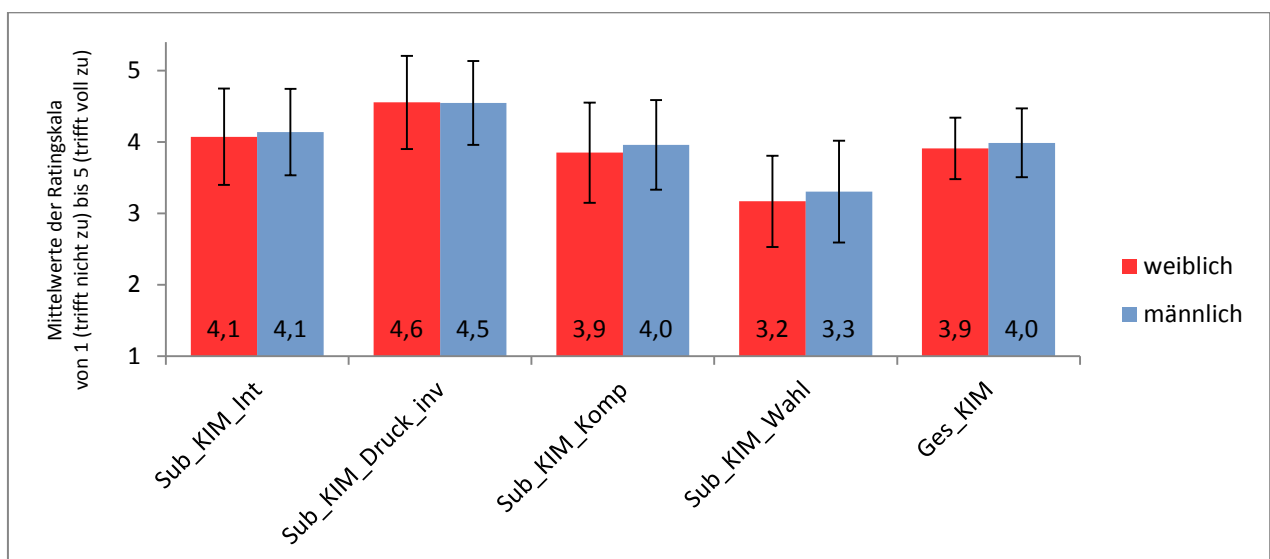


Abb. 24: Einfluss des Geschlechts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (weiblich: $n = 380$, männlich: $n = 193$)

Einfluss der Kurswahl auf die Motivation

Leistungskurse weisen höhere Werte in allen Subskalen der intrinsischen Motivation auf als Grundkurse. Diese Unterschiede sind in den Subskalen ‚Interesse/Vergnügen‘ und ‚wahrgenommene Kompetenz‘ sowie in der Gesamtskala höchst signifikant (Sub_KIM_Int: $F(1;593) = 23,827$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,039$; Sub_KIM_Komp: $F(1;593) = 10,691$, $p = 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,018$; KIM_Ges: $F(1;593) = 22,965$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,037$). In der Subskala ‚kein Druck‘ sind sie signifikant (Sub_KIM_Druck_inv: $F(1;593) = 5,779$, $p = 0,017$, $\eta_p^2 = 0,010$). Die Effektstärken sind niedrig. In der Subskala ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ sind die Unterschiede nicht signifikant (Sub_KIM_Wahl: $F(1;593) = 3,835$, $p = 0,051$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 25 dargestellt.

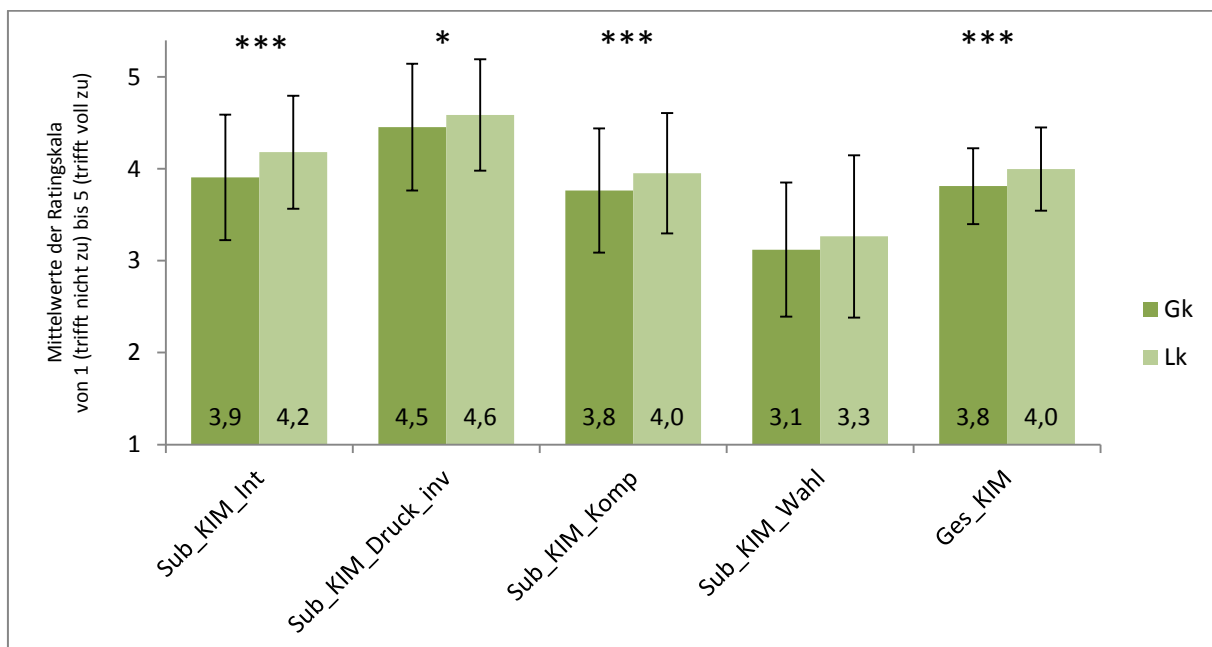


Abb. 25: Einfluss der Kurswahl auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (Grundkurs: $n = 192$, Leistungskurs: $n = 403$)

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Motivation

Der Zeugnisdurchschnitt hat keinen signifikanten Einfluss auf die intrinsische Motivation der Schüler (Sub_KIM_Int: $F(2;211) = 1,110$, $p = 0,331$; Sub_KIM_Druck_inv: $F(2;211) = 0,062$; $p = 0,940$; Sub_KIM_Komp: $F(2;211) = 2,132$, $p = 0,121$; Sub_KIM_Wahl: $F(2;211) = 0,234$, $p = 0,792$; KIM_Ges: $F(2;211) = 1,231$, $p = 0,294$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 26 dargestellt.

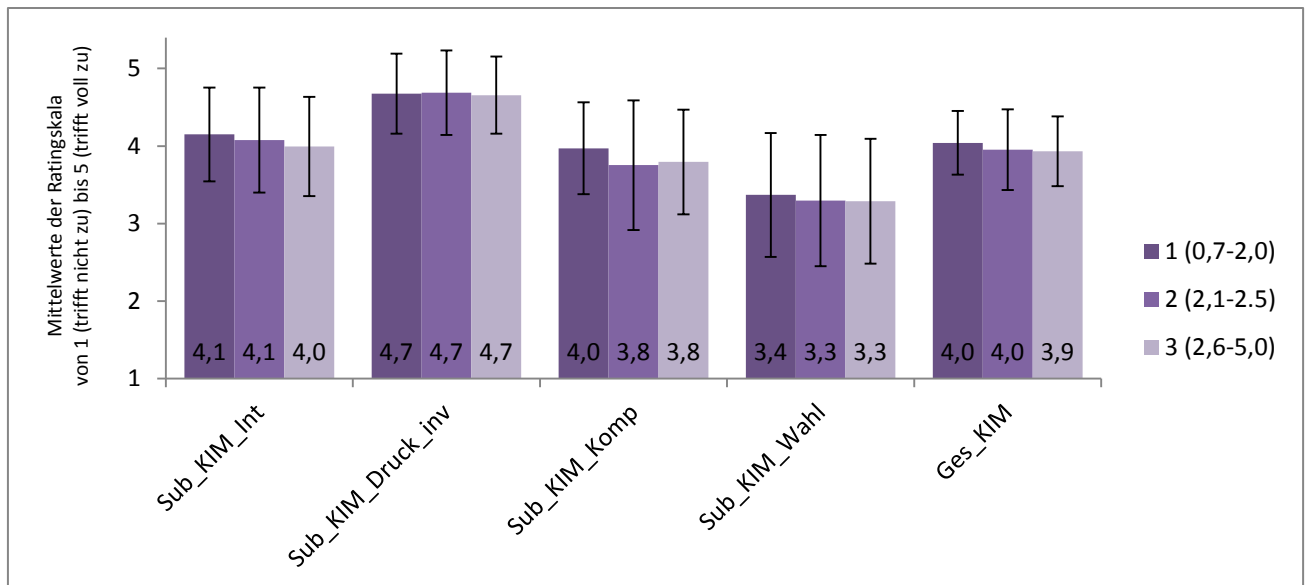


Abb. 26: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (1. Terzil: $n = 88$, 2. Terzil: $n = 61$, 3. Terzil: $n = 65$)

Einfluss der Biologiezensur auf die Motivation

Die Biologiezensur hat einen Einfluss auf die intrinsische Motivation der Schüler. Die Unterschiede zwischen den Terzilen sind in allen Subskalen mit Ausnahme von ‚kein Druck‘ signifikant (Sub_KIM_Int: $F(2;218) = 5,496$; $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,048$; Sub_KIM_Druck_inv: $F(2;218) = 1,233$, $p = 0,293$; Sub_KIM_Komp: $F(2;218) = 4,304$, $p = 0,015$, $\eta_p^2 = 0,038$; Sub_KIM_Wahl: $F(2;218) = 5,755$, $p = 0,004$, $\eta_p^2 = 0,050$; KIM_Ges: $F(2;218) = 8,028$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,069$). Die Effektstärken sind niedrig. Laut Post-hoc-Test (siehe Anhang 12) weisen Schüler aus dem oberen Terzil gegenüber dem mittleren und unteren Terzil in den Subskalen ‚Interesse/Vergnügen‘, ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ und in der Gesamtskala signifikant höhere Werte auf. In der Subskala ‚wahrgenommene Kompetenz‘ ist dieser Unterschied nur zwischen dem oberen und dem unteren Terzil signifikant. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 27 dargestellt.

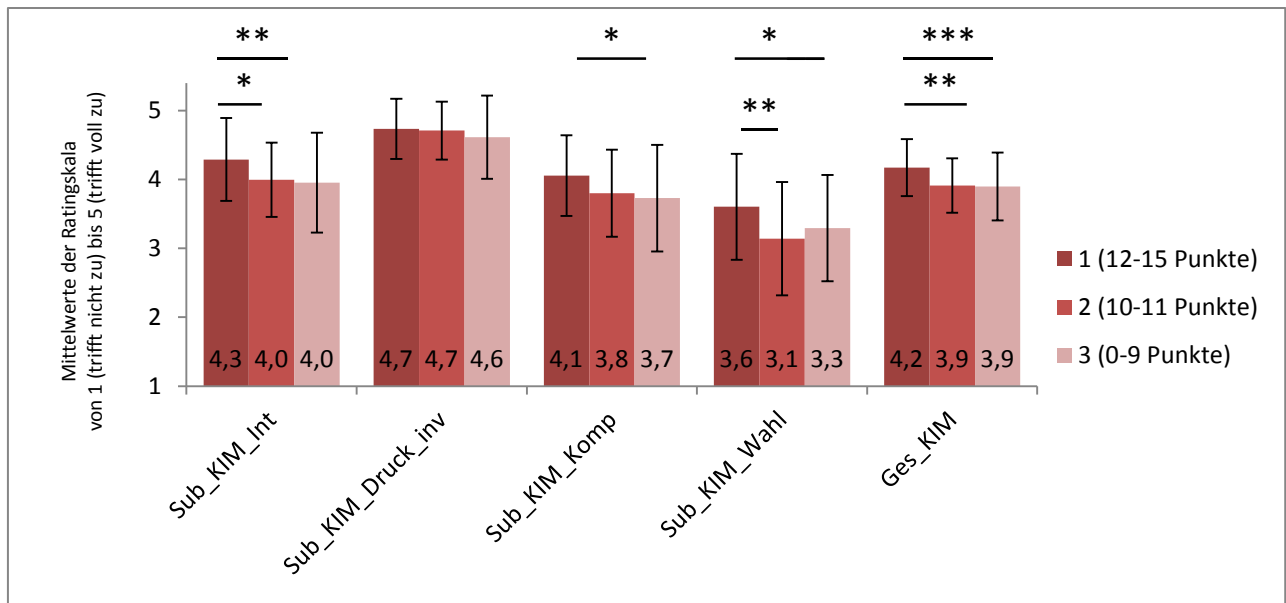


Abb. 27: Einfluss der Biologiezensur auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (1. Terzil: $n = 60$, 2. Terzil: $n = 72$, 3. Terzil: $n = 89$)

Vergleich: Einfluss des Themas der Workshops auf die Motivation

Es liegen Unterschiede zwischen den drei Themen der Workshops in Bezug auf die intrinsische Motivation der Schüler vor. Sie sind in allen Subskalen und in der Gesamtskala mit Ausnahme der Subskala ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ sehr bis höchst signifikant (Sub_KIM_Int: $F(2;592) = 6,753$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,022$; Sub_KIM_Druck_inv: $F(2;592) = 6,594$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,022$; Sub_KIM_Komp: $F(2;592) = 3,124$, $p = 0,045$, $\eta_p^2 = 0,010$; Sub_KIM_Wahl: $F(2;592) = 1,223$, $p = 0,295$; KIM_Ges: $F(2;592) = 5,745$, $p = 0,003$, $\eta_p^2 = 0,019$). Die Effektstärken sind niedrig. Laut Post-hoc-Test (siehe Anhang 13) weist der ‚Lambda‘-Workshop in der Skala ‚Interesse/Vergnügen‘ signifikant niedrigere Werte auf als die beiden anderen Workshops, in der Subskala ‚kein Druck‘ besteht der Unterschied zwischen ‚Tierarten‘ und ‚Barcoding‘, in der Gesamtskala und in der Skala ‚wahrgenommene Kompetenz‘ zwischen ‚Lambda‘ und ‚Barcoding‘. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 28 dargestellt.

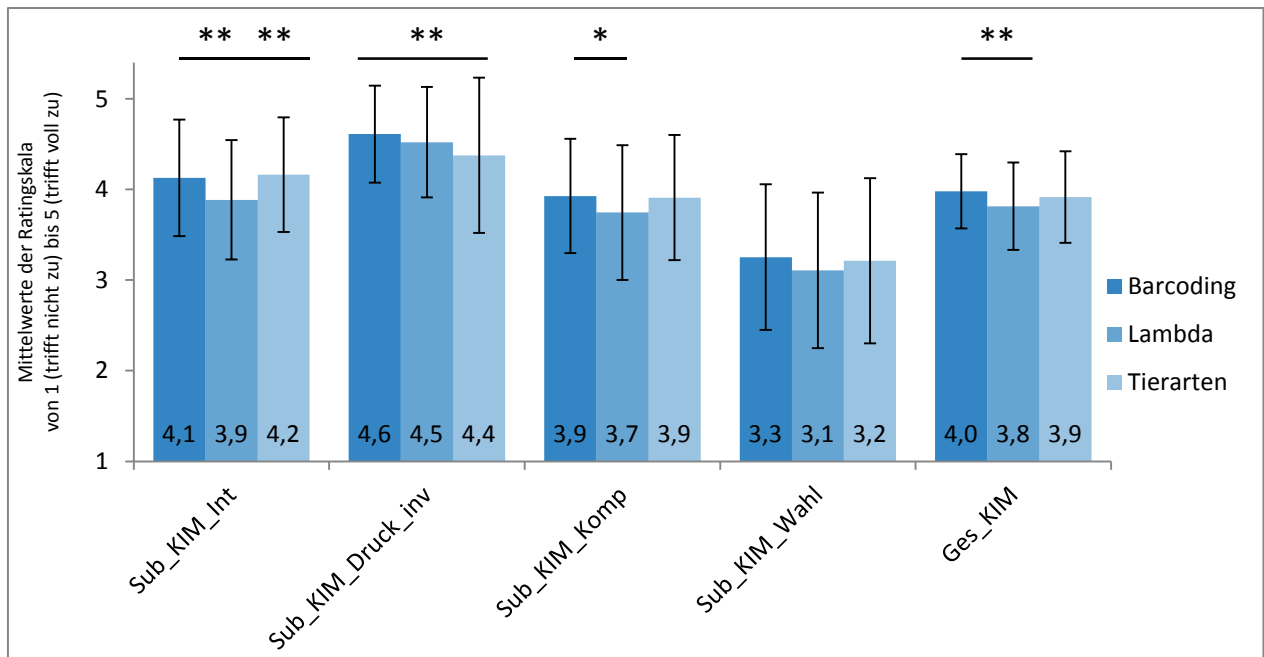


Abb. 28: Einfluss des Themas der Workshops auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (Barcoding: $n = 361$, Lambda: $n = 105$, Tierarten: $n = 129$)

5.1.4.4 Situationales Interesse

Zunächst wurde das individuelle Interesse als relativ stabiles Persönlichkeitsmerkmal in einer separaten Skala überprüft, da dies die Wahrnehmung der Situation beeinflusst (siehe Kapitel 3.2.7). Daher ist ein ähnlich hohes individuelles Interesse eine Voraussetzung für den Vergleich weiterer Einflussfaktoren auf das situationale Interesse.

Einfluss des Geschlechts auf das Interesse

Das individuelle Interesse von weiblichen und männlichen Schülern unterscheidet sich nicht signifikant (Ges_Int_I: $F(1;142) = 1,401$, $p = 0,239$). Zudem hat das Geschlecht keinen signifikanten Einfluss auf das ausgelöste (*triggered*) Interesse (Sub_Int_T), die *Maintained-Feeling*-Komponente (Sub_Int_F), die *Maintained-Value*-Komponente (Sub_Int_V) und die Gesamtskala (Ges_Sit_Int) des situationalen Interesses (Sub_Int_T: $F(1;142) = 0,115$; $p = 0,736$; Sub_Int_F: $F(1;142) = 0,217$; $p = 0,642$; Sub_Int_V: $F(1,142) = 0,085$, $p = 0,770$; Ges_Sit_Int: $F(1,142) = 0,031$, $p = 0,860$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 29 dargestellt.

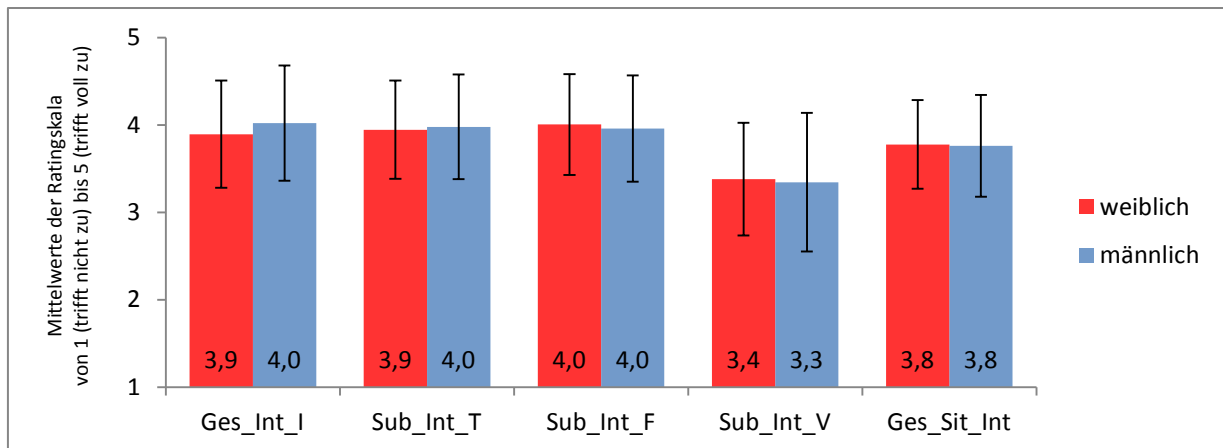


Abb. 29: Individuelles Interesse und Einfluss des Geschlechts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (weiblich: $n = 87$, männlich: $n = 57$)

Zensuren wurden in dieser Teilstudie nicht erhoben. Der Einfluss des Zeugnisdurchschnitts und der Biologiezensur auf das individuelle und situationale Interesse wurde daher in einem späteren Entwicklungsschritt analysiert und wird in Kapitel 5.4.4 dargestellt. Dort wird auch der Einfluss der Kurswahl analysiert, da in dieser Teilstudie ausschließlich Leistungskurse teilnahmen.

Vergleich: Einfluss des Themas der Workshops auf das Interesse

Es wurden nur die Workshops ‚Lambda‘ und ‚Tierarten‘ verglichen. Zunächst unterscheidet sich das individuelle Interesse bei den Teilnehmern des Lambda-Workshops nicht von denen des Tierarten-Workshops (Ges_Int_I: $F(1, 147) = 0,093$, $p = 0,761$). Zudem hat das Thema keinen signifikanten Einfluss auf die Subskalen und die Gesamtskala des situationalen Interesses (Sub_Int_T: $F(1, 147) = 0,054$, $p = 0,817$; Sub_Int_F: $F(1,147) = 0,106$, $p = 0,745$; Sub_Int_V: $F(1,147) = 0,222$, $p = 0,638$; Ges_Sit_Int: $F(1,147) = 0,167$, $p = 0,683$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 30 dargestellt.

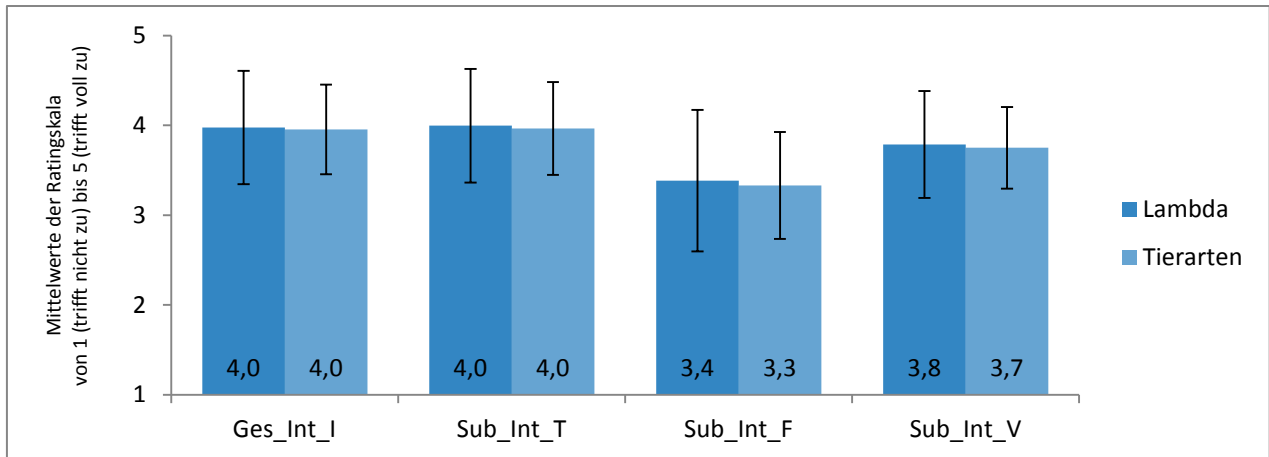


Abb. 30: Individuelles Interesse und Einfluss des Themas der Workshops auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (Lambda: $n = 80$, Tierarten: $n = 69$)

5.1.5 Diskussion

Im ersten Schritt der Säule A der Angebote zur Breitenförderung wurden neue Workshops entwickelt, in denen Biologiekurse abiturrelevante molekulargenetische Methoden in verschiedenen Kontexten praktisch umsetzen konnten. Ergänzend zu dem bereits bestehenden Workshop ‚Lambda‘, in dem Experimente mit Phagen und Bakterien durchgeführt werden, wurde der Workshop ‚Tierarten‘ mit Organismen aus dem Tierreich und ‚Barcoding‘ mit Organismen aus dem Pflanzenreich entwickelt. Die theoretischen und laborpraktischen Hintergründe dieser Neuentwicklungen wurden Lehrkräften zum Einsatz im Unterricht zugänglich gemacht. In allen Workshops wird eine DNA-Extraktion, PCR und Gelelektrophorese durchgeführt. Bei ‚Lambda‘ und ‚Tierarten‘ wird zudem eine Restriktionsanalyse umgesetzt, bei ‚Barcoding‘ eine Sanger-Sequenzierung beauftragt und eine bioinformatische Auswertung selbst durchgeführt. Alle drei Workshops sind ähnlich konzipiert, indem sich Einführungen in die theoretischen Hintergründe, Besprechungen von Versuchsanleitungen und laborpraktisches Arbeiten abwechseln. Es war das Ziel, motivierende, interesselördernde Workshops zu entwickeln, die sowohl von Grund- als auch von Leistungskursen der gymnasialen Oberstufe gewinnbringend durchgeführt werden können. Dabei sollte auf bereits vorhandenem Wissen aufgebaut und dieses vertieft werden.

Bei der Evaluation der Workshops standen daher die Konstrukte Akzeptanz, Wissenserwerb, Motivation und Interesse im Fokus. Die Analyse gliederte sich in zwei Bereiche: Zunächst wurde der Einfluss der Personenvariablen geklärt.

Abschließend wurde der mögliche Unterschied zwischen den verschiedenen Workshops getestet.

Einfluss des Geschlechts

Das Geschlecht der Schüler hat keinen signifikanten Einfluss auf die Akzeptanz, den Wissenserwerb, die Motivation und das Interesse. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit bisherigen Untersuchungen, die zeigten, dass Schülerlabore gut geeignet sind, um Jungen und Mädchen gleichermaßen zu fördern (Brandt, 2005; Damerau, 2012; Pawek, 2009). Hier muss einschränkend vermerkt werden, dass die *Gender Gap* zwar allgemein für die Naturwissenschaften berichtet wird, Untersuchungen dazu sich aber vorwiegend auf den Fachbereich Physik beziehen (Euler & Weßnig, 2011). Die verstärkten Bemühungen, Mädchen hier besonders zu unterstützen, erklärt sich z. B. durch Studienanfängerzahlen: Der Mädchenanteil in Physik ist sehr gering, in Chemie ist er nahezu ausgewogen und in Biologie überwiegt sogar der Mädchenanteil (Holstermann & Bögeholz, 2007). Dies spiegelt sich auch im *teutolab*-biotechnologie durch einen Mädchenanteil von deutlich über 50 % wider. Daraus kann auf deren ausgeprägtes Interesse an Biologie zurückgeschlossen werden. Auf den Fragebögen zum Interesse wurde jedoch in der Skala zum individuellen Interesse explizit nach den Naturwissenschaften im Allgemeinen gefragt und auch hier ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Auch im situationalen Interesse zeigten sich keine Unterschiede. Zudem zeigten sich keine Unterschiede im Vorwissen sowie im Nachtest und im Follow-up-Test. Auch die Akzeptanz der Workshops und die empfundene intrinsische Motivation unterschieden sich bei beiden Geschlechtern nur marginal. Einerseits überrascht es nicht, dass die Geschlechter sich nicht unterscheiden: In der PISA-Studie 2009 wurden bei den naturwissenschaftlichen Kompetenzen – anders als beim Lesen und in der Mathematik – kaum Unterschiede festgestellt (Rönnebeck, Schöps, Prenzel, Mildner & Hochweber, 2010). Andererseits bezieht sich diese Untersuchung auf die Kompetenzen und bezieht motivationale Faktoren nicht mit ein. Hier deckte die PISA-Studie 2015 eine Abnahme von Freude und Interesse an den Naturwissenschaften insbesondere bei Mädchen auf. Auch deren Selbstwirksamkeitserwartungen sind im Vergleich zu 2006 signifikant gesunken (Schiepe-Tiska et al., 2016). Nach Jansen, Scherer und Schroeders (2015) besteht zwischen Selbstwirksamkeitserwartungen und naturwissenschaftlicher Kompetenz ein enger Zusammenhang. Als Implikation

für Schülerlabore ergibt sich eine eventuell notwendige Unterstützung im Erleben der eigenen Kompetenz bei Mädchen. Dieser Ansatz wurde bereits von Mokhonko, Nickolaus und Windaus (2014) verfolgt: Ein Förderprogramm zur Steigerung des fachspezifischen Selbstkonzeptes und der beruflichen Interessen bei Mädchen durch den mehrmaligen Besuch von Schülerlaboren zeigte hier jedoch keine langfristigen Effekte. Itzek-Greulich und Vollmer (2017) dagegen konnten zeigen, dass Mädchen insbesondere beim Experimentieren höhere Freude, situationales Interesse und situationale Kompetenz sowie geringere negative emotionale Gefühle berichten als Jungen. Durch die Daten in der vorliegenden Arbeit wird der Unterschied im situationalen Interesse nicht bestätigt. Dies kann dadurch begründet sein, dass hier nicht zwischen dem Erleben von Theorie und Praxis unterschieden wurde und bei den Workshops sowohl theoretische als auch praktische Elemente enthalten sind. Im motivationalen Erleben zeigten sich im *teutolab*-biotechnologie nur schwache Tendenzen von geringerem Druckerleben und schwächerem Kompetenz- und Wahlfreiheitserleben bei Mädchen im Vergleich zu Jungen.

Einfluss der Kurswahl

Schüler aus Leistungskursen verfügen im Vergleich zu Schülern aus Grundkursen in der effektiven Komponente der Akzeptanz und somit auch in der Gesamtskala über höhere Werte. Die Gefühls- und Qualitätskomponente sind jedoch fast gleich ausgeprägt.

Deutlichere Unterschiede zeigen sich im Wissenstest: Grundkursschüler verfügen über ein signifikant geringeres Vorwissen und Wissen im Nachtest. Der Unterschied im Wissenszuwachs ist nicht signifikant. Die unterschiedliche Ausgangslage kann also zwar im Nachtest nicht kompensiert werden, die beiden Kursarten werden jedoch annähernd gleichermaßen gefördert. In der intrinsischen Motivation weisen Schüler aus Leistungskursen in allen Subskalen mit Ausnahme der Subskala ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ signifikant höhere Werte auf.

Schüler wählen Biologieleistungskurse v. a. aus Interesse und wegen vorangegangener guter Noten (Berck & Graf, 2018, S. 387). Interessen gehen im Bereich der Wertkomponente mit dem Verlangen nach Wissen einher (siehe Kapitel 3.2.6). Zudem werden Leistungskurse mit einer deutlich höheren Stundenzahl unterrichtet. Daher sind im Bereich des Interesses und des Wissens bei

Leistungskursschülern höhere Werte zu erwarten. Ergebnisse zur Auswirkung der Kurswahl auf das Interesse werden erst in Kapitel 5.4.4.4 aufgeführt, da in der Stichprobe zur Untersuchung der verschiedenen Workshops keine Grundkursschüler teilnahmen. Antizipierte Unterschiede im Wissen haben sich grundsätzlich bestätigt. Leistungskursschüler verfügen über ein höheres Wissen im Vortest und im Nachtest. Zudem lernen sie während der Workshops mehr dazu.

Der Einfluss auf schulische Variablen und v. a. auf die mögliche Berufs- und Studienwahl wird bei Schülern, die sich bereits gegen einen Leistungskurs entschieden haben, kaum durch einen eintägigen Workshop so ausgeprägt sein können wie bei Schülern aus Leistungskursen. So verwundern die niedrigen Werte in der Effektivitätskomponente nicht und mögen auch nicht leicht zu beeinflussen sein. Es ist erfreulich, dass zwischen Leistungskursen und Grundkursen keine Unterschiede in der affektiven Komponente und der Qualitätskomponente bestehen. Die Workshops werden also mit gleich hohen positiven Gefühlen attribuiert und die Qualität von beiden Gruppen gleich eingeschätzt. Durch verständliche Erklärungen und Anleitungen sind also grundsätzlich die Voraussetzungen zum Lernen für beide Gruppen gleichermaßen vorhanden. Zudem sollte auch die intrinsische Motivation, welche als eine Interaktion einer Person mit einer Situation definiert ist (siehe Kapitel 3.2.6) theoriegemäß durchaus zu beeinflussen sein. Hier ergibt sich als Implikation für das Schülerlabor eine verstärkte Unterstützung dieses Bereiches.

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts

Der Zeugnisdurchschnitt wurde unter der Prämisse erhoben, über diesen Wert auf die allgemeine in der Schule gezeigte Leistungsfähigkeit rückschließen zu können. Es zeigten sich keine Unterschiede in den Wissenstests. In der intrinsischen Motivation zeigte sich eine geringe Tendenz durchgängig leicht höherer Werte bei besseren Terzilen. Diese Unterschiede waren nicht signifikant. Die gleiche Tendenz war bei der Akzeptanz der Workshops zu verzeichnen. Hier waren die Unterschiede in der Gefühls- und Qualitätskomponente signifikant. Zum Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Interesse können hier keine Aussagen gemacht werden, da sie in der Stichprobe im ersten Entwicklungsschritt in Säule A nicht erhoben wurden. Daher wird diese Fragestellung im vierten Entwicklungsschritt aufgegriffen und die Ergebnisse in Kapitel 5.4.4.4 dargestellt.

Es kann zusammengefasst werden, dass die allgemeine in der Schule gezeigte Leistungsfähigkeit kaum Einfluss auf die untersuchten Konstrukte hat. Dieser Befund weist in die gleiche Richtung wie die Ergebnisse der Studie von Itzek-Greulich und Vollmer (2017). Sie zeigten, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Zensuren der Schüler in den naturwissenschaftlichen Fächern und motivationalen Variablen beim Praxisteil einer Unterrichtsintervention besteht. Beim theoretischen Teil bestehen jedoch Zusammenhänge. Dieses Ergebnis zeigt auf, dass eine differenzierte Analyse der Theorie – und Praxisphasen noch zu weiteren Erkenntnissen führen könnte.

Einfluss der Biologiezensur

Die Biologiezensur wurde unter der Annahme erhoben, über diesen Wert auf die speziell im Fach Biologie gezeigte Leistungsfähigkeit rückschließen zu können. Sie hat einen etwas stärkeren Einfluss auf die untersuchten Konstrukte als der Zeugnisdurchschnitt: Schüler der höheren Terzile erleben sich tendenziell stärker intrinsisch motiviert. Die Unterschiede sind in der wahrgenommenen Kompetenz, Wahlfreiheit und der Gesamtskala signifikant. Im Bereich der Akzeptanz ist eine ähnliche Tendenz zu verzeichnen. Hier weisen die unteren Terzile durchgängig die niedrigsten Werte auf. Die Unterschiede sind in der Gefühls- und Effektivitätskomponente sowie in der Gesamtskala signifikant. Beim Wissen besteht die gleiche Tendenz, es liegen jedoch keine signifikanten Unterschiede vor. Beim Wissenszuwachs weist das mittlere Terzil die höchsten Werte auf.

Diese Resultate weisen in die gleiche Richtung wie die Forschungsergebnisse von Scharfenberg (2005), der zeigen konnte, dass die mittelstark kognitiv belasteten Schüler die besten Lerneffekte erzielten. Itzek-Greulich und Vollmer (2017) erfassten die kognitive Leistungsfähigkeit und wiesen signifikante Korrelationen mit emotionalen Variablen nach. Vorteile der mittelstark belasteten Schüler werden nicht berichtet.

Als Implikation für Schülerlabore ergibt sich wie schon bereits bei der Einflussvariablen Kurswahl, dass eine gleichmäßige Förderung der intrinsischen Motivation über alle Gruppen angestrebt werden sollte.

Vergleiche der Workshops

Akzeptanz

Im Bereich der Akzeptanz wurden alle drei Workshops über alle Subskalen hinweg sehr ähnlich eingeschätzt. Dabei sind durchweg recht hohe Werte in der affektiven und der Qualitätskomponente zu verzeichnen: Die Schüler schätzen die Themen der Workshops sowie die Experimente als interessant ein und hatten viel Spaß beim Experimentieren sowie beim Workshop insgesamt. Die PowerPoint-Folien und Erklärungen der theoretischen Hintergründe sowie der Versuchsanleitungen waren gut verständlich und sie konnten selbstständig arbeiten. In der effektiven Komponente wurden geringere Werte erzielt. Die Schüler stimmten teilweise zu, dass die Erfahrungen des Workshops einen Einfluss auf ihr Interesse und ihre berufliche Zukunft haben bzw. dass er schulische Vorteile für sie erbringt. Es besteht ein signifikanter Einfluss von Kurswahl und Biologiezensur in dieser Subskala. Einerseits kann kaum davon ausgegangen werden, dass ein einmaliger Schülerlaborbesuch bei Schülern aus Grundkursen einen Einfluss auf z. B. deren Berufswahl hat. Andererseits muss angenommen werden, dass Schülerlabore mit der Zielsetzung der Ergänzung des Unterrichts als auch für die Schule bereichernd wahrgenommen werden. Eine separate Betrachtung der einzelnen Items des Fragebogens zur Akzeptanz in Abhängigkeit von der Kurswahl zeigte, dass der Einfluss auf die berufliche Zukunft insgesamt, aber insbesondere bei Schülern aus Grundkursen, eher niedrig eingeschätzt wird (Röllke & Grotjohann, 2015b). Jedoch werden die Schülerlaborbesuche insgesamt von beiden Kursformen ähnlich positiv bewertet (Röllke & Grotjohann, 2015b). Es gelingt also, sowohl mit Grundkursen als auch mit Leistungskursen die Workshops so durchzuführen, dass sie von beiden Gruppen positiv bewertet werden. Als Implikation für Schülerlabore ergibt sich dennoch, nach Möglichkeiten zu suchen, um Schülern greifbare schulische Vorteile sowie die Bedeutung naturwissenschaftlicher Inhalte und Berufe für deren Leben aufzuzeigen. So wurden diese Zielsetzungen u. a. auch durch die Überarbeitung des Vermittlungskonzeptes im zweiten Schritt und durch die stärkere Vor- und Nachbereitung im Schulunterricht im dritten Schritt der Entwicklung der Säule zur Breitenförderung angestrebt.

Wissenserwerb

Im Bereich des Wissenserwerbs verfügten die Schüler, welche die ‚Barcoding‘-Workshops durchführten, über ein signifikant höheres Wissen im Vortest und im Nachtest als die Teilnehmer der ‚Lambda‘-Workshops. Der Wissenszuwachs war ebenfalls höher, jedoch war der Unterschied nicht signifikant. Hier zeigte sich eine Tendenz zu einem höheren Zuwachs bei ‚Barcoding‘ gegenüber ‚Lambda‘ und ‚Tierarten‘. Da es für Schüler mit einem niedrigeren Vorwissen leichter ist, einen Wissenszuwachs zu erzielen, als für Schüler mit hohem Vorwissen, wurden nicht nur die Differenzen betrachtet, sondern das Vorwissen zudem als Einflussvariable auf das Wissen im Nachtest berechnet. Die Kovarianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Workshops im Nachtest mit niedriger Effektstärke. Die Höhe des Wissenszuwachses ist bei allen Themen bei großer Effektstärke höchst signifikant. Dennoch sollte bei der Entwicklung von Schülerlaboren stets angestrebt werden, das Erreichte weiterhin zu verbessern. So sollte nach Möglichkeiten gesucht werden, Schülern die Inhalte so anzubieten, dass sie in Anknüpfung an ihr Vorwissen möglichst viel Wissen erweitern und vertiefen können.

Intrinsische Motivation

Im Bereich der intrinsischen Motivation liegen signifikante Unterschiede in den Subskalen ‚Interesse/Vergnügen‘, ‚kein Druck‘, ‚wahrgenommene Kompetenz‘ sowie in der Gesamtskala vor. Dabei liegen ‚Barcoding‘ und ‚Tierarten‘ außer in ‚kein Druck‘ höher als ‚Lambda‘. Es kann resümiert werden, dass es gelungen ist, neue Workshops zu entwickeln, die noch motivierender erlebt werden als der bereits vorhandene Workshop, an dessen Konzept sich die Innovationen orientierten. Dabei sind durchweg recht hohe Werte in der Gesamtskala sowie in allen Subskalen (durchschnittlich mindestens „trifft ziemlich zu“) mit Ausnahme der Subskala ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ zu verzeichnen. Die Schüler stimmten teils zu, Wahlmöglichkeiten wahrgenommen zu haben. Diese Einschätzung erklärt sich durch das Konzept der Workshops, einer Fragestellung in einem authentischen Kontext nachzugehen, welcher die Anwendung der einschlägigen molekularbiologischen Methoden ermöglicht und innerhalb eines Labortages zu einem Ergebnis führt. Bedingt durch diese Rahmenbedingungen und den Einsatz technisch hoch entwickelter Laborgeräte wie z. B. des Thermocyclers ist es notwendig, den Schülern Anleitungen für die Geräte und Versuche zur Verfügung zu stellen. Die Einzelschritte

eines Workshops ermöglichen kein wahlweises Vorgehen, sondern erfordern die Einhaltung vorgegebener Reihenfolgen und Versuchsprotokolle mit klar definierten Mengen. Hier ist die Umsetzung eines ‚Kochrezeptes‘ die Voraussetzung zum Gelingen des Gesamtversuches. Insofern hätten in dieser Skala durchaus noch niedrigere Werte erwartet werden können. Wie in Kapitel 3.1.4 dargestellt, stellt die Notwendigkeit stärker angeleiteten Experimentierens ein Spezifikum der meisten biologisch orientierten Schülerlabore dar. So stellten auch Rodenhauser und Preisfeld (2018) in einem molekularbiologischen Workshop in dieser Skala niedrigere Werte fest als in einem Workshop mit lebenden Tieren. Gleichzeitig betonen sie den großen Zusammenhang der Wahlfreiheit mit dem empfundenen Interesse und Vergnügen. Als Implikation für Schülerlabore insbesondere im Bereich der Molekularbiologie ergibt sich, nach Möglichkeiten zu suchen, welche die wahrgenommene Wahlfreiheit der Schüler erhöhen könnten.

Situationales Interesse

Im Bereich des situationalen Interesses bestehen keine Unterschiede zwischen ‚Lambda‘ und ‚Tierarten‘. Zum ‚Barcoding‘ kann im Bereich Interesse keine Aussage getroffen werden, da es nicht erhoben wurde. Die Werte des individuellen Interesses als recht stabiles Persönlichkeitsmerkmal sind bei den untersuchten Workshops hoch (‚trifft ziemlich zu‘). Das ausgelöste Interesse und die Gefühlskomponente des gehaltenen Interesses sind ebenso hoch ausgeprägt, jedoch liegt die Wertkomponente deutlich niedriger. Theoriegemäß ist diese Komponente des situationalen Interesses am schwierigsten zu beeinflussen (siehe Kapitel 3.2.8). Insbesondere bei einem nur einmaligen Besuch im Schülerlabor kann hier daher kaum eine Einflussnahme erwartet werden. Als Implikation für Schülerlabore ergibt sich dennoch, nach Möglichkeiten zu suchen, um den Schülern den Wert der Inhalte noch besser zu verdeutlichen.

Im ersten Schritt in der Entwicklungssäule A zur Breitenförderung wurde durch die Entwicklung neuer Workshops eine Basis geschaffen, die zu einem deutlichen Wissenszuwachs und hohen Werten in der intrinsischen Motivation und im situationalen Interesse führt. Die Untersuchungen des Einflusses der Personenvariablen haben gezeigt, dass sie im Schülerlabor in verschiedenen Bereichen einen Einfluss nehmen und berücksichtigt werden müssen.

5.2 Zweiter Schritt: Überarbeitung des Unterrichtsmaterials

5.2.1 Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund

Wie in Kapitel 4.4 dargestellt, wurde im zweiten Schritt der Entwicklung der Säule zur Breitenförderung das Unterrichtsmaterial überarbeitet. Dabei wurde das Ziel verfolgt, bei den Schülern die Bildung vernetzten Anwendungswissens noch stärker zu fördern. Dies wurde durch Innovationen in zwei Bereichen angestrebt: Zum einen sollten die Schüler noch deutlicher an die in Kapitel 3.1.4 dargestellte *Ordinary Practice of the Culture* (Collins et al., 1989) herangeführt werden. So wurde angestrebt, die Workshops noch stärker als in ihrer Grundform (siehe Kapitel 5.1.1) nach dem Vermittlungskonzept des *Cognitive Apprenticeship* umzusetzen. Zum anderen sollten die theoretischen Hintergründe der angewendeten molekularbiologischen Methoden noch besser verständlich gemacht werden. Um dies zu erreichen, wurde die den Tagesablauf begleitende PowerPoint-Präsentation auf zwei Ebenen überarbeitet:

Es wurden neue, stringent aufeinander bezogene Abbildungen zur Vertiefung der molekularbiologischen Methoden entwickelt. Bilder haben einen hohen Stellenwert beim Lernen inne: Nach der *Dual Coding Theory* führen visuelle Informationen ebenso wie verbale Informationen zum Aufbau mentaler Repräsentationen (Paivio, 1986, S. 53–83). Die Speicherung geschieht in separaten Systemen, wobei durch Bilder vermittelte abstrakte Informationen sowohl verbal als auch bildhaft codiert werden (Paivio, 1986, S. 53–83). Daraus ergibt sich einerseits eine Überlegenheit bildlicher gegenüber verbaler Information (*Picture Superiority Effect*) (Paivio & Csapo, 1973), andererseits eine Basis für die *kognitive Theorie des multimedialen Lernens* (Mayer, 2001, S. 41–62). Auf der Grundlage eines Arbeitsgedächtnisses, in dem Informationen durch verschiedene Medien separat generiert werden und welches nach der *Cognitive Load Theory* (Sweller, 1988) in seiner Kapazität begrenzt ist (siehe Kapitel 3.1.4), kann sinnvolles Lernen stattfinden, wenn Informationen aus verschiedenen Speichern kohärent organisiert werden. Daraus ergeben sich Implikationen für die Praxis: Zunächst sollte das Multimedia-Prinzip umgesetzt werden, da eine Kombination aus Wörtern und Bildern zu besseren Lernerfolgen führt, als die alleinige Verwendung eines einzelnen Mediums. Bei der Bildgestaltung

sollte textuelle und bildliche Informationen nahe beieinander platziert und gleichzeitig präsentiert werden (Kontiguitätsprinzip). Es sollten keine für das Lehrziel irrelevanten Informationen gegeben werden (Kohärenzprinzip). Zudem sollten persönliche Ansprache und Designeffekte genutzt werden (Prinzip der individuellen Unterschiede) (Mayer, 2001, S. 184). Bei der Gestaltung von Bildern sollten elementare Wahrnehmungsanforderungen wie Erkennbarkeit, Diskriminierbarkeit und Identifizierbarkeit grafischer Elemente berücksichtigt werden (Schnotz, 2011, S. 169–171). Die Darstellungsperspektive sollte so gewählt werden, dass die wesentlichen Bestandteile des Sachverhalts und deren Beziehungen optimal hervorgehoben werden. Zusammengehörende Komponenten sollten durch Ähnlichkeit, räumliche Nähe o.ä. erkennbar sein. Dabei sind Farben gut geeignet, um qualitative Merkmale zu repräsentieren (Schnotz, 2011, S. 169–171). Bei der Entwicklung neuer Abbildungen für die Workshops im *teutolab*-biotechnologie wurden diese Prinzipien berücksichtigt. Sie werden im Materialteil in Kapitel 5.2.2 näher vorgestellt.

Zudem wurden in den Workshops die typischen Vorgehensweisen von Wissenschaftlern deutlicher expliziert. Durch das Kennenlernen der *Ordinary Practices of the Culture* (Brown et al., 1989) soll authentische naturwissenschaftliche Forschung verstärkt erfahrbar gemacht werden. Das Konzept des *Cognitive Apprenticeship* bietet eine Möglichkeit, *Real World Science* trotz begrenzten inhaltlichen und konzeptuellen Wissens kennen zu lernen (Lee & Butler, 2003). Dabei werden die Lernenden vom Lehrenden angelernt (*Modelling*) und erhalten Orientierungsgrundlagen für die Tätigkeiten (*Scaffolding*) (Schnotz, 2011, S. 133). Wie in Kapitel 5.1.5 diskutiert, ist in molekularbiologischen Laboren eine geeignete Form der Anleitung notwendig. Durch die Überarbeitung des Vermittlungskonzepts der Workshops sollen die Schüler, wie von Euler und Weßnigk (2011) gefordert, stärker an der Planung, Durchführung, Auswertung und Diskussion der Experimente beteiligt werden. Scharfenberg und Bogner (2011) schalteten dem Experimentieren eine Phase vor, in der sich die Schüler untereinander über den folgenden Experimentierschritt austauschen (*Two-step-approach*) (siehe Kapitel 3.1.5). Im *teutolab*-biotechnologie sollten die Workshops einen deutlicheren Projektcharakter mit einer konkreter vermittelten Fragestellung erhalten. Die Konzeptionierung geschah in Orientierung an den von Euler (2010) genannten Gelingensfaktoren. Dies sind u. a. das Anknüpfen an Vorwissen, die Stellung lösbarer Probleme, die Anleitung und Unterstützung, die Einbettung in bedeutsame Kontexte, die

Verknüpfung von Wissenserwerb und Anwendungen. Die konkrete Umsetzung wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

5.2.2 Material

Um den Schülern ein selbstständigeres Arbeiten zu ermöglichen, wurden zunächst die Laborgeräte, die von mehreren Tischgruppen gemeinsam genutzt werden, mit Anleitungen zur selbstständigen Bedienung versehen. Durch Abbildungen mit ergänzendem Textmaterial sollen die Schüler dazu befähigt werden, nach einer kurzen verbalen Instruktion die Zentrifugen, Elektrophoresekammern und Thermoblocks selbstständig zu bedienen. Außerdem wurden ergänzende Informationen wie Temperaturen und PCR-Zyklen fixiert.

Zudem wurden an der durch den Workshop führenden PowerPoint-Präsentation folgende Änderungen vorgenommen:

- Der Workshop beginnt mit einer konkreten Fragestellung und wird mit der Lösung dieser Fragestellung abgeschlossen.
- Die wissenschaftlichen Arbeitsweisen im Labor werden deutlicher expliziert. So wurde die Bedeutung von Positiv- und Negativkontrollen stärker herausgearbeitet und die Quellen der Materialien und Versuchsanleitungen verdeutlicht. Bei der Darstellung der Hybridisierung bei der PCR wurde eine Folie als Exkurs eingefügt. Sie zeigt, dass geeignete Primer durch Literaturrecherche gefunden werden können, bei der Darstellung der Gelelektrophorese wird auf die Verwendung von Längenstandards einschlägiger Firmen eingegangen.
- Die Planungsschritte für die Laborexperimente werden verdeutlicht und die Schüler werden gedanklich daran beteiligt, indem sie aufgefordert werden, ihre Vorschläge zu nennen. So wurde zu Beginn des Workshops eine Folie eingefügt, bei welcher die Schüler die Umsetzung der abgebildeten Versuchsschritte in die richtige Reihenfolge bringen können. Am Ende des Theorieteils zur PCR können die Schüler Vorschläge für die einzusetzenden Materialien für das Versuchsprotokoll machen.
- Verschiedene Gelbilder mit möglichen Ergebnissen werden ausgewertet, diskutiert und einer Fehleranalyse unterzogen.

- Während des Workshops wird über authentische Forschung, die im CeBiTec stattfindet, berichtet.
- Beim Workshop wird über Anwendungsfelder der Biotechnologie berichtet.

Bei der Entwicklung neuer Abbildungen wurden die in Kapitel 5.2.1 dargestellten Prinzipien berücksichtigt. So wurde durch die Verwendung gleichbleibender Symbole die Parallelität zwischen der PCR und dem ersten Teil der Sanger-Sequenzierung kohärent dargestellt und somit leichter nachvollziehbar gemacht. Zudem waren insbesondere zu dieser Methodik fehlerfreie und anschauliche Materialien kaum verfügbar. Einen ergänzenden Aspekt stellt die Unabhängigkeit von Bildrechten dar. So konnten die entwickelten Materialien auf der Homepage des *teutolab-biotechnologie* für Lehrkräfte sowie Schüler frei verfügbar gemacht werden. Unter dem Menüpunkt ‚Arbeitsmaterial‘ werden zu allen drei Workshops nicht nur die Abbildungen inklusive Erklärungen, sondern auch Verlinkungen zur weiteren individuellen Vertiefung angeboten. Diese Bilder können jedoch den entscheidenden Vorteil, den eine PowerPoint-Präsentation bietet, noch nicht erreichen: Insbesondere bei der Darstellung der PCR und der Sanger-Sequenzierung bieten die selbst entwickelten Folien den Vorteil, dass Sie kleinschrittig aufbauend durch Verwendung jeweils einer Folie oder Animation den iterativen Prozess veranschaulichen können. Die PowerPoint-Präsentation findet sich in Anhang 14.

5.2.3 Methoden

5.2.3.1 Studiendesign und Stichproben

Im zweiten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Breitenförderung wurde das in Kapitel 5.2.2 dargestellte, neue Vermittlungskonzept (Neue Abb., ‚Projekt‘) mit der in Kapitel 5.1.2 dargestellten Grundform (Alte Abb., ‚Standard‘) verglichen. Abbildung 31 zeigt das Design dieser Teilstudie 2 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichprobe. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Die prozentuale Verteilung auf die Treatments ‚alte Abb., Standard‘ und ‚neue Abb., Projekt‘ findet sich in Anhang 15. Es wurde die gleiche Stichprobe für die Konstrukte Wissen und Motivation untersucht. Der Wissenstest (*teuto-Know*) wurde morgens zu Beginn der Workshops im Vortest und nachmittags am Ende der Workshops im Nachtest eingesetzt. Die

Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) wurde am Ende der Workshops im Nachtest beantwortet.

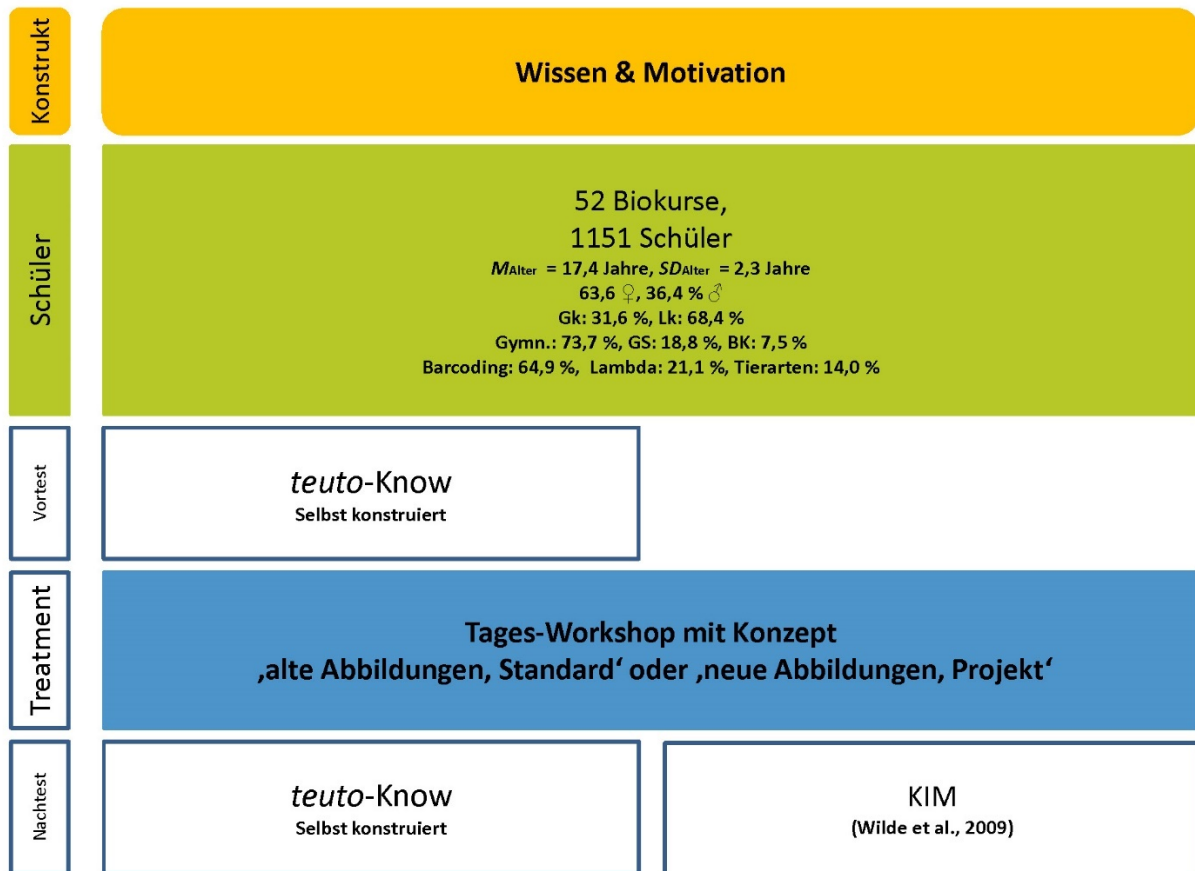


Abb. 31: Design der Teilstudie 2 zum Einfluss neuer Arbeitsmaterialien auf den Wissenserwerb der Schüler

5.2.3.2 Testinstrumente

Für die Erhebung des Wissens vor und nach dem Workshop wurde das gleiche Testinstrument verwendet wie für den ersten Schritt der Entwicklung (siehe Kapitel 5.1.3). Die Reliabilität betrug für den Barcoding-Fragebogen im Nachtest Cronbachs Alpha = 0,650 und der Schwierigkeitsindex 74,7 %. Für den Tierarten-Fragebogen betrug die Reliabilität im Nachtest Cronbachs Alpha = 0,647 und der Schwierigkeitsindex 68,9 %.

Auch für die Erfassung der intrinsischen Motivation wurde das gleiche Messinstrument verwendet wie in den vorangegangenen Schritten (siehe Kapitel 5.1.3). Die Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) waren für den Vergleich von Gruppen

angemessen (Sub_Int: 0,769, Sub_Druck: 0,717, Sub_Komp: 0,774, Sub_Wahl: 0,699, Ges_KIM: 0,744).

5.2.4 Ergebnisse

5.2.4.1 Einfluss des Vermittlungskonzeptes auf das Wissen

Zunächst unterschied sich das Wissen im Vortest signifikant in den beiden zu vergleichenden Gruppen ‚Neue Abb., Projekt‘ gegenüber ‚Alte Abb., Standard‘ (Summe_WVor: $F(1;1149) = 7,384$, $p = 0,007$, $\eta_p^2 = 0,006$). Das Wissen im Nachtest war bei dem neuen Vermittlungskonzept höchst signifikant höher (WNach: $F(1;1149) = 30,888$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,026$). Die Schüler verfügten über einen signifikant höheren Wissenszuwachs (Diff_WNachWVor: $F(1;1149) = 5,832$, $p = 0,016$; $\eta_p^2 = 0,005$). Die Effektstärken sind niedrig. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 32 dargestellt.

Die Kovarianzanalyse ergibt einen höchst signifikanten Einfluss des Wissens im Vortest auf das Wissen im Nachtest mit hoher Effektstärke ($F(1;1149) = 649,733$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,361$) sowie einen signifikanten Einfluss des Vermittlungskonzeptes auf das Wissen im Nachtest mit kleiner Effektstärke ($F(1;1149) = 23,939$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,020$). Außer dem Vorwissen hat also auch das Vermittlungskonzept einen Einfluss auf den Wissenszuwachs.

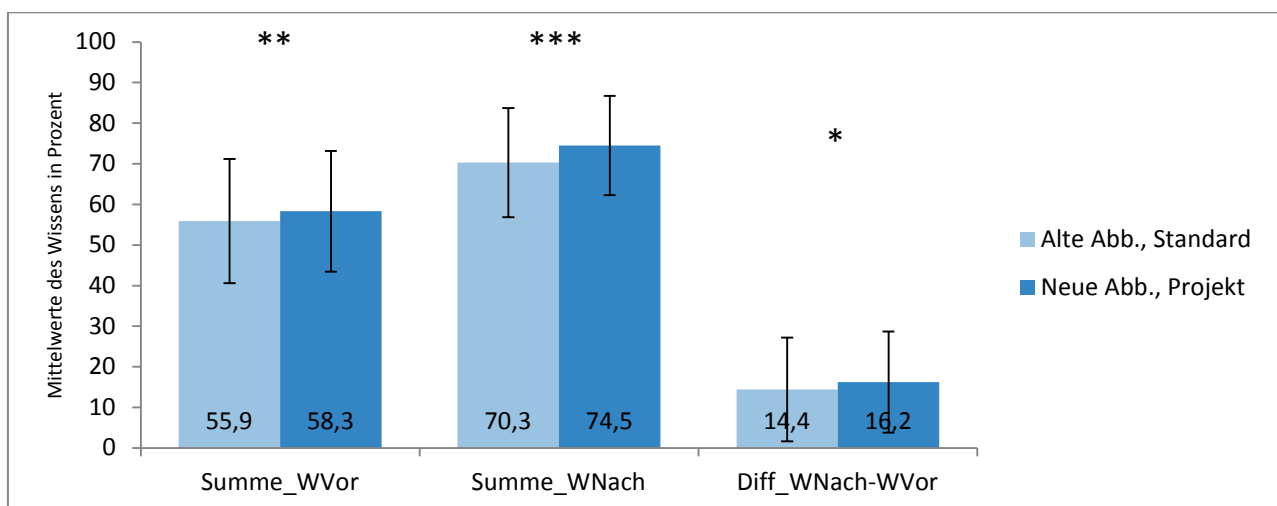


Abb. 32: Einfluss der Vermittlungskonzepte ‚Alte Abbildung, Standard‘ und ‚Neue Abbildungen, Projekt‘ auf das Wissen im Vortest, im Nachtest und in der Differenz in Prozent (‚Alte Abbildung, Standard‘: $n = 577$, ‚Neue Abbildungen, Projekt‘: $n = 574$)

5.2.4.2 Einfluss des Vermittlungskonzeptes auf die intrinsische Motivation

Diejenigen Schüler, die den Workshop nach dem Konzept ‚Neue Abb., Projekt‘ durchführten, hatten höchst signifikant niedrigere Werte in der Subskala ‚Interesse/Vergnügen‘ und signifikant niedrigere Werte in der Gesamtskala (Sub_KIM_Int: $F(1;1149) = 10,432$, $p = 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,009$; Ges_KIM: $F(1;1149) = 5,005$, $p = 0,025$, $\eta_p^2 = 0,004$). Die Effektstärken sind niedrig. In den anderen Subskalen lagen keine Unterschiede vor (Sub_KIM_Druck_inv: $F(1;1149) = 0,478$, $p = 0,490$; Sub_KIM_Komp: $F(1;1149) = 0,223$, $p = 0,637$; Sub_KIM_Wahl: $F(1;1149) = 1,658$, $p = 0,198$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 33 dargestellt.

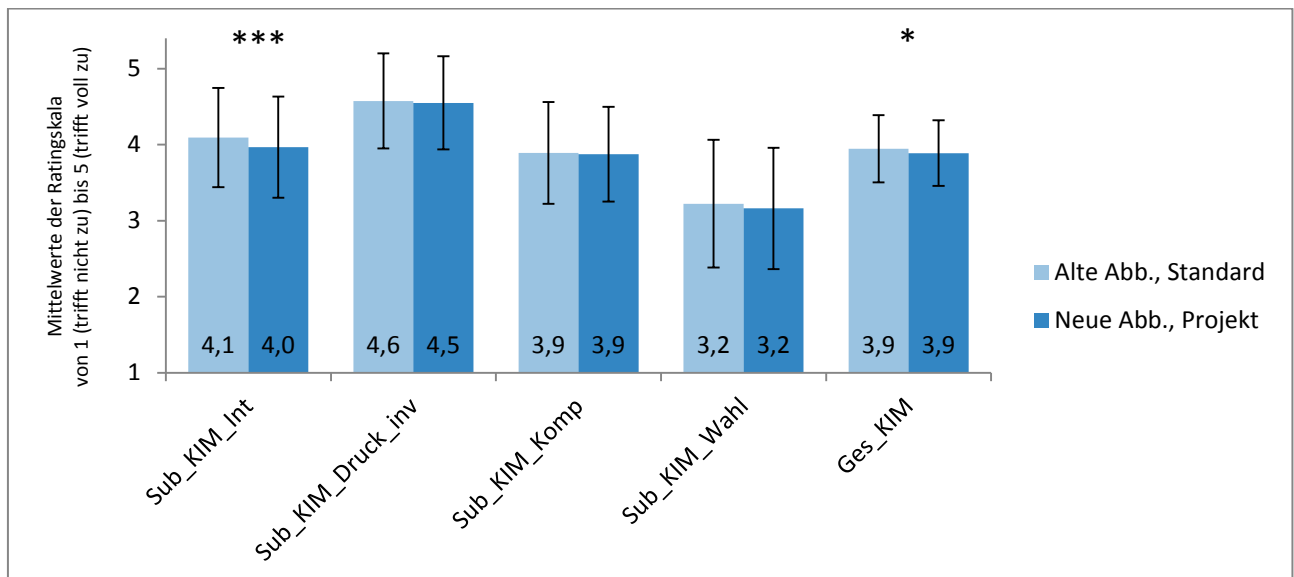


Abb. 33 Einfluss der Vermittlungskonzepte ‚Alte Abbildung, Standard‘ und ‚Neue Abbildungen, Projekt‘ auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (‚Alte Abbildung, Standard‘: $n = 577$, ‚Neue Abbildungen, Projekt‘: $n = 574$)

5.2.5 Diskussion

Im Rahmen der Workshops, die nach dem neuen, stärker forschungsorientierten und projektartigeren Konzept mit selbst entwickelten Abbildungen der molekularbiologischen Methoden umgesetzt wurden, erzielten die Schüler einen signifikant höheren Wissenszuwachs als diejenigen Schüler, die den Workshop nach dem ursprünglichen Konzept durchführten. Dies kann dadurch bedingt sein, dass die Abbildungen die Vorgänge klarer verständlich machen konnten. Ebenso ist es denkbar, dass durch die stärker projektartige Umsetzung der Workshops das

vorwiegend abgefragte Anwendungswissen stärker gefördert wurde. Gleichzeitig reduzierten sich die Werte der intrinsischen Motivation in der Subskala ‚Interesse/Vergnügen‘ sowie in der Gesamtskala signifikant. In den anderen Subskalen lagen keine Unterschiede vor. Es war beabsichtigt, durch die Verdeutlichung der notwendigen Arbeitsschritte die Schüler mental stärker daran teilhaben zu lassen. Dies hätte zu einer höher wahrgenommenen Wahlfreiheit führen können. Dieser Effekt konnte jedoch nicht erzielt werden. Es ist denkbar, dass den Schülern in einem biotechnologischen Labor bewusst ist, dass hier ohne Anleitungen das Ziel nicht erreicht werden kann. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass die Schüler im *teutolab*-biotechnologie das Gefühl haben, sehr selbstständig zu experimentieren (Röllke & Grotjohann, 2015b). Die Zustimmung zu diesem Item in der Qualitätskomponente der Akzeptanz muss nicht im Widerspruch zur Wahlfreiheit stehen, sondern macht deutlich, dass aktive Tätigkeiten als selbstständiges Experimentieren wahrgenommen werden. Die Verdeutlichung der Gründe, warum die Vorgehensweisen notwendig sind, könnte die nicht mögliche Wahlfreiheit insofern sogar noch betonen und somit auf diese Subskala einen negativen Einfluss nehmen. Diese blieb jedoch unverändert.

Der Rückgang der Mittelwerte in der Skala ‚Interesse/ Vergnügen‘ kann durch die längere Dauer der Workshops bedingt sein: Es wurden zusätzliche PowerPoint-Folien eingefügt, um die Hintergründe zu verdeutlichen und den Ablauf der PCR und Sanger-Sequenzierung besser verständlich zu machen. Dies mag außer einem positiven Einfluss auf den Wissenserwerb auch einen entsprechenden negativen Einfluss auf das Vergnügen der Schüler haben.

5.3 Dritter Schritt: Einbindung in den Unterricht

5.3.1 Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund

Verschiedene Studien legen die Vorteile der Einbindung eines Schülerlaborbesuches in den Unterricht nahe (siehe Kapitel 2.3 und 3.1.5). Dabei fokussieren Brandt (2005), Engeln (2004), Glowinski (2007), Guderian (2006), Pawek (2009) und Streller (2016) auf motivationale Variablen, Scharfenberg (2005) und Zehren (2009) auf den Wissenserwerb. Brandt (2005), Guderian (2006) und Zehren (2009) entwickelten Settings, in denen Mehrfachbesuche eines Schülerlabors mit dem Unterricht

verzahnt wurden. Dies setzt langfristige Kooperationen voraus. Fallik, Rosenfeld und Eylon (2013) schlagen ein Modell zur Verbindung formeller und informeller Lernorte vor. Vier Aspekte (,Identifizierung der Wichtigkeit der Verbindung der Lernorte‘, ,Kenntnis über die Inhalte beider Gruppen‘, ,Vorbereitung der Schüler auf den außerschulischen Lernort‘ und ,Fortlaufender Dialog zwischen Lehrkräften und Betreuern des außerschulischen Lernortes‘) werden jeweils untergliedert in Entwicklungsprinzipien auf organisationaler, kognitiver, affektiver und gesellschaftlich-ökologischer Ebene. Die Vorbereitung der Schüler ist notwendig, um den Umfang der Neuigkeiten (*Novelty Space*) zu reduzieren (Fallik et al., 2013). Diese Forderung geht auf Orion und Hofstein (1994) zurück. Sie zeigten in ihrer Studie zur Entwicklung von Lernleistung und Einstellungen im Rahmen einer Exkursion, dass die Effektivität außer von der Qualität des Lernangebotes von der Vertrautheit (*Familiarity Index, Novelty Space*) abhängt. Hier haben kognitive, psychologische und geografische Variablen einen Einfluss. Dieser Befund steht mit den Ergebnissen von Scharfenberg (2005) in Einklang, der einen hohen *Cognitive Load* bei Schülern, die im Schülerlabor experimentieren, identifiziert (siehe Kapitel 3.1.4 und 3.1.5). Als Implikation aus seinen Forschungsergebnissen schlägt er häufigeres Experimentieren im Unterricht (Scharfenberg et al., 2007) sowie die Vorschaltung einer Austauschphase vor dem Experimentieren (*Two-step-approach*) vor (Scharfenberg & Bogner, 2011) (siehe Kapitel 3.1.5 und 5.2.1). Zudem unterstreicht er die Wichtigkeit einer Vorbereitungs- sowie Interpretationsphase sowohl im Schülerlabor als auch in der Schule (Scharfenberg & Bogner, 2013b).

Intensive Absprachen in Anlehnung an das von Fallik et al. (2013) vorgeschlagene Modell sind zwar sicher erstrebenswert, aber nicht unbedingt mit allen Schulen, die ein Schülerlabor besuchen möchten, praktisch umsetzbar. Andererseits zeigten Griffin und Symington (1997), dass Lehrkräfte selten die Inhalte außerschulischer Lernorte mit dem Unterricht verbinden. Daher orientierte sich das *teutolab-biotechnology* an dem Modell von Orion (1993), nach dem eine Exkursion durch eine Vorbereitungsphase und eine Nachbereitungsphase in den Unterricht eingebettet werden sollte. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, wird dieses Vorgehen im naturwissenschaftlichen Unterricht bei Exkursionen zu außerschulischen Lernorten grundsätzlich gefordert. Runge, Stiefs und Schecker (2013) konnten bereits zeigen, dass eine 90-minütige Vorbereitung auf inhaltlicher und organisatorischer Ebene zu höheren Werten im Vorwissen, Wissen im Nachtest und in motivationalen Variablen

führt. Die praktische Umsetzung einer passgenauen Vorbereitung ist jedoch durch Lehrkräfte nur schwer umsetzbar. Daher fordert Runge (2013) die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für die Lehrkräfte durch das Schülerlabor oder die Bereitstellung umfangreicher Informationen über den allgemeinen Ablauf und die Versuche. Streller (2016) stellte diese Materialien zur Vor- und Nachbereitung in einem Onlinetool zur Verfügung und konnte die Wirksamkeit auf das situationale Interesse der Schüler nachweisen (siehe Kapitel 3.2.10).

Das *teutolab*-biotechnology entwickelte zur Einbindung der Workshops in den Unterricht ein Konzept, bei dem den Lehrkräften für die Vor- und Nachbereitung Schülerskripte und Arbeitsblätter zur Verfügung gestellt werden. Der von Guderian et al. (2006) geforderte Bezug zum Lehrplan war – wie bei Schülerlaboren im Bereich Molekularbiologie üblich - bereits bei der Entwicklung der Inhalte der Workshops berücksichtigt worden.

5.3.2 Material

Zur Vorbereitung auf den Workshop im *teutolab*-biotechnology wurden für die drei verschiedenen Kontexte Schülerskripte entwickelt. Sie enthalten außer den organisatorischen Rahmenbedingungen eine Einführung in den jeweiligen Kontext, Ausführungen zu den theoretischen Hintergründen der angewendeten molekularbiologischen Methoden sowie Informationen zur konkreten Umsetzung im Labor (siehe Anhang 1 und 2). Die Schülerskripte werden den Lehrkräften bereits bei der Anmeldung zu einem Workshop zugesandt. So können sie langfristig ihren Unterricht so planen, dass die angewendeten abiturrelevanten Methoden bereits vor dem Schülerlaborbesuch behandelt wurden. Dabei ist es ihnen freigestellt, in welcher Form das Schülerskript für die Vermittlung der theoretischen Hintergründe und auch für die Vermittlung des Kontextes und der Versuchsabläufe eingesetzt wird. Es ist eine gemeinsame Besprechung des Skriptes im Unterricht ebenso möglich wie die Einzellektüre als Hausaufgabe. Die Inhalte sowie weiterführende Informationen finden sich zudem auf der Homepage unter dem Menüpunkt ‚Arbeitsmaterialien‘.

Zur Nachbereitung der Workshops wurde ein Set aus je drei Arbeitsblättern mit paralleler Konzeption entwickelt:

Arbeitsblatt 1 bietet eine Unterstützung zur Auswertung der Ergebnisse des Workshops. Die Schüler erhalten die Aufgabe, ein Mustergelbild mit ihren Gelbildern

zu vergleichen und die Ergebnisse zu diskutieren. Aufgrund der Dauer des Gellaufs und der DNA-Färbung werden den Schülern ihre eigenen Ergebnisse stets erst im Nachgang auf einem Server der Universität Bielefeld zur Verfügung gestellt. Durch dieses Konzept bedingt kann die Analyse der eigenen Ergebnisse immer erst im Unterricht erfolgen. Im Schülerlabor werten die Schüler Beispielgelbilder aus vorangegangenen Workshops aus.

Auf Arbeitsblatt 2 werden vorwiegend Anwendungsfragen zu den umgesetzten molekularbiologischen Methoden gestellt. Zudem werden verschiedene Gelbilder zur Auswertung und Diskussion angeboten und es werden die Abläufe inklusive Fachbegriffe bei der PCR erfragt. Dieses Arbeitsblatt kann im Unterricht bei Bedarf zur Lernzielkontrolle eingesetzt werden.

Auf Arbeitsblatt 3 werden für einen Wissenstransfer weiterführende Kontexte angeboten, welche einen Bezug zu den Inhalten der Workshops haben. Zudem werden die Schüler aufgefordert, die experimentellen Elemente zu reflektieren.

In Anhang 16 sind exemplarisch die Arbeitsblätter zum Barcoding-Workshop zusammengestellt.

5.3.3 Methoden

5.3.3.1 Studiendesign und Stichproben

Zunächst wurde die Auswirkung der Vorbereitung durch das Schülerskript auf das Wissen im Vor- und im Nachtest sowie auf die im Workshop wahrgenommene intrinsische Motivation geprüft, indem die Form des Einsatzes in der Schule abgefragt wurde. Hier standen die Möglichkeiten ‚Gemeinsam im Unterricht besprochen‘, ‚Allein durchgelesen‘, ‚Nicht bekannt‘ und ‚Sonstiges‘ zur Auswahl. Aufgrund der sehr wenigen und heterogenen Antworten unter ‚Sonstiges‘ wurden diese wie ohne Angaben gewertet. Alle befragten Schüler führten den Workshop nach dem Vermittlungskonzept ‚Neue Abb., Projekt‘ durch.

Um die Wirkung des Einsatzes der Arbeitsblätter zu analysieren, wurden Lehrkräfte gebeten, den Workshop unter Einsatz des neu entwickelten Arbeitsblattes 2 nachzubereiten. Die Verwendung der Arbeitsblätter 1 und 3 war optional. Von Arbeitsblatt 1 ist kein großer Einfluss zu erwarten, da davon ausgegangen werden kann, dass die eigenen Gelbilder in jedem Fall mit oder ohne Unterstützung durch

Arbeitsblätter ausgewertet werden. Arbeitsblatt 3 wiederum hat inhaltlich aufgrund neuer Kontexte wenig Bezug zum Fragebogen. Diese Gruppe wurde derjenigen Gruppe verglichen, welcher die Arbeitsblätter noch nicht zur Verfügung gestellt wurden. Sechs bis acht Wochen nach dem Schülerlaborbesuch wurde das Wissen im Follow-up-Test überprüft.

Da die Gruppe ohne Einsatz von Arbeitsblättern zeitlich eher befragt wurde, führte sie den Workshop noch nach dem Vermittlungskonzept ‚Alte Abbildungen, Standard‘ durch. Die Gruppe, welche die Arbeitsblätter einsetzte, führte ihn nach dem neuen Konzept durch. Es muss also davon ausgegangen werden, dass die Arbeitsblätter-Gruppe während des Schülerlaborbesuches einen höheren Wissenszuwachs erzielte. Zudem unterschieden sich die beiden Gruppen im Wissen im Vortest. Aus diesen Gründen wurden nicht die Summen im Follow-up-Test, sondern der Wissensbehalt betrachtet. Dafür wurde die Differenz zwischen dem Follow-up-Test und den Nachtest (Diff_FU-WNach) analysiert. Der Wissenstest (*teuto-Know*) wurde morgens zu Beginn der Workshops im Vortest und nachmittags am Ende der Workshops im Nachtest eingesetzt und zudem als Follow-up-Test 6-8 Wochen nach dem Workshop beantwortet. Die Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) wurde am Ende der Workshops im Nachtest beantwortet.

Abbildung 34 zeigt das Design dieser Teilstudie 3 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Die prozentuale Verteilung auf die verschiedenen Formen der Skriptvorbereitung findet sich in Anhang 17, die prozentuale Verteilung auf die Treatments ‚keine Arbeitsblätter‘ und ‚Arbeitsblätter‘ findet sich in Anhang 18.

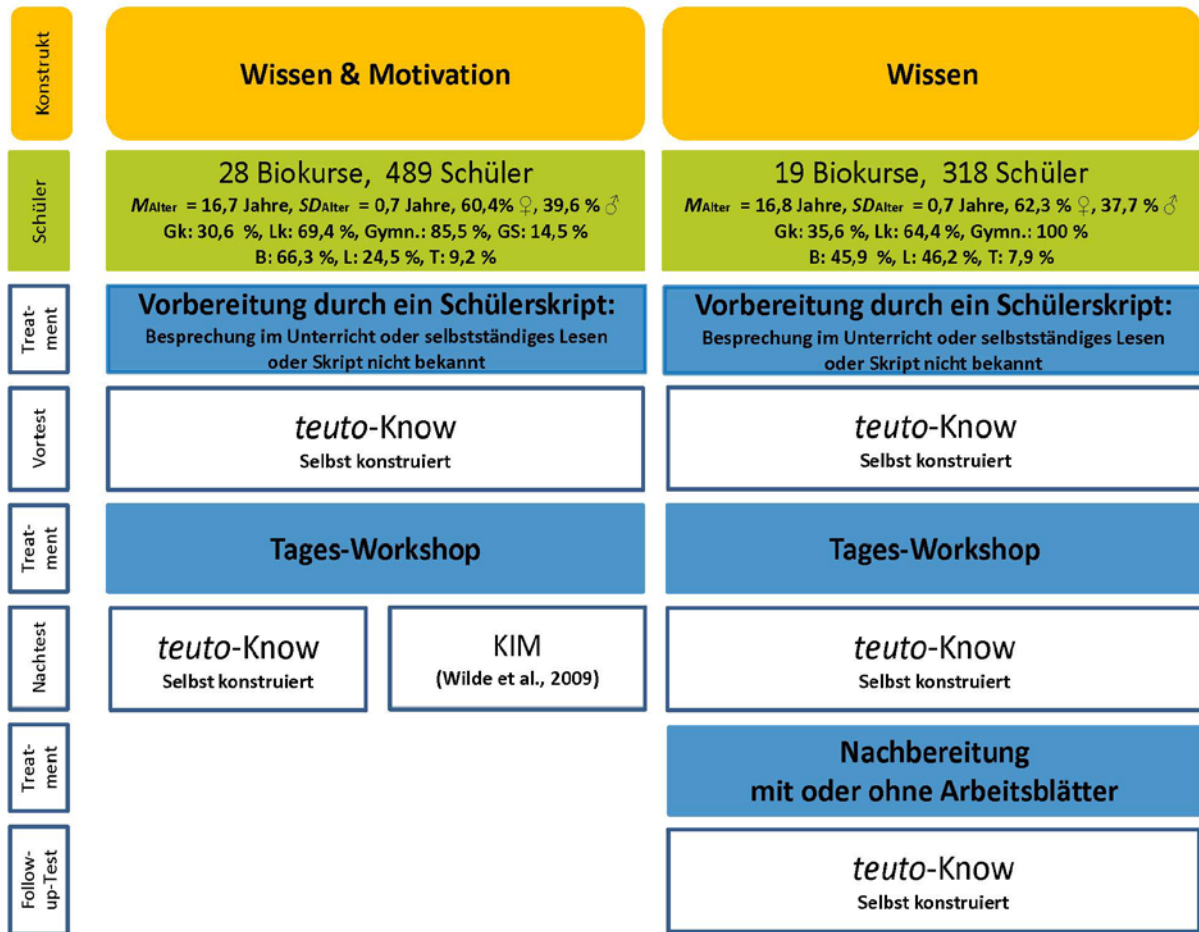


Abb. 34 Design der Teilstudie 3 zum Einfluss der Einbindung in den Unterricht durch die Vorbereitung mit einem Schülerskript und die Nachbereitung durch Arbeitsblätter auf die Motivation, den Wissenserwerb und den Wissensbehalt der Schüler

5.3.3.2 Testinstrumente

Es wurde der gleiche Wissenstest verwendet wie für die vorangegangenen Entwicklungsschritte (siehe Kapitel 5.1.3). Für den Barcoding-Fragebogen betrug die Reliabilität im Nachtest Cronbachs Alpha = 0,603 und der Schwierigkeitsindex 78,4 %. Für den Tierarten-Fragebogen betrug die Reliabilität im Nachtest Cronbachs Alpha = 0,565 und der Schwierigkeitsindex 71,2 %.

Auch für die Erfassung der intrinsischen Motivation wurde das gleiche Messinstrument verwendet wie in den vorangegangenen Schritten (siehe Kapitel 5.1.3). Die Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) waren für den Vergleich von Gruppen angemessen (Sub_Int: 0,764, Sub_Druck: 0,660, Sub_Komp: 0,749, Sub_Wahl: 0,684, Ges_KIM: 0,730).

5.3.4 Ergebnisse der Vorbereitung durch ein Schülerskript

Von den Schülern gaben 40,7 % an, das Schülerskript im Unterricht besprochen zu haben, 45,6 % gaben an, es allein durchgelesen zu haben, und 13,7 % gaben an, es nicht durchgelesen oder nicht erhalten zu haben.

5.3.4.1 Einfluss der Vorbereitung durch ein Schülerskript auf den Wissenserwerb

Zwischen den drei Gruppen bestehen höchst signifikante Unterschiede im Wissensvortest (Summe_WVor: (2;486) = 8,258; $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,033$). Sie liegen laut Post-hoc-Test zwischen denjenigen Schülern, die das Skript nicht gelesen haben und denjenigen, die es entweder gelesen oder im Unterricht besprochen haben. Die Effektstärken sind niedrig. Die Unterschiede zwischen den Gruppen, welche die Inhalte des Skriptes kennen, sind nicht signifikant. Es liegt jedoch eine Tendenz vor: Diejenigen Schüler, die das Skript im Unterricht besprochen haben, verfügen über ein höheres Vorwissen. Im Nachtest sind die Unterschiede zwischen den drei Gruppen nicht signifikant (Summe_WNach: (2;486) = 1,805; $p = 0,166$). Es liegt jedoch die gleiche Tendenz wie beim Vortest vor. Im Wissenszuwachs liegt wiederum ein sehr signifikanter Unterschied mit niedriger Effektstärke vor (Diff_WNachWVor: (2;486) = 5,152; $p = 0,006$, $\eta_p^2 = 0,021$). Laut Post-hoc-Test erzielen die Schüler, denen das Skript nicht bekannt ist, einen signifikant höheren Wissenszuwachs als die Schüler, die es allein gelesen haben und einen sehr signifikant höheren Wissenszuwachs als die Schüler, die es im Unterricht besprochen haben. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 35 dargestellt.

Die Kovarianzanalyse ergibt einen höchst signifikanten Einfluss des Wissens im Vortest auf das Wissen im Nachtest mit hoher Effektstärke ($F(2;486) = 235,832$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,327$) und einen höchst signifikanten Einfluss des Wissens im Vortest auf den Wissenszuwachs mit hoher Effektstärke ($F(2;486) = 293,476$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,377$). Es besteht kein signifikanter Einfluss des Umgangs mit dem Skript auf das Wissen im Nachtest ($F(2;486) = 0,824$, $p = 0,439$) und auf den Wissenszuwachs ($F(2;486) = 0,811$, $p = 0,445$). Der signifikante Unterschied in den Mittelwerten im Wissenszuwachs ist also auf den signifikanten Unterschied im Vortest zurückzuführen.

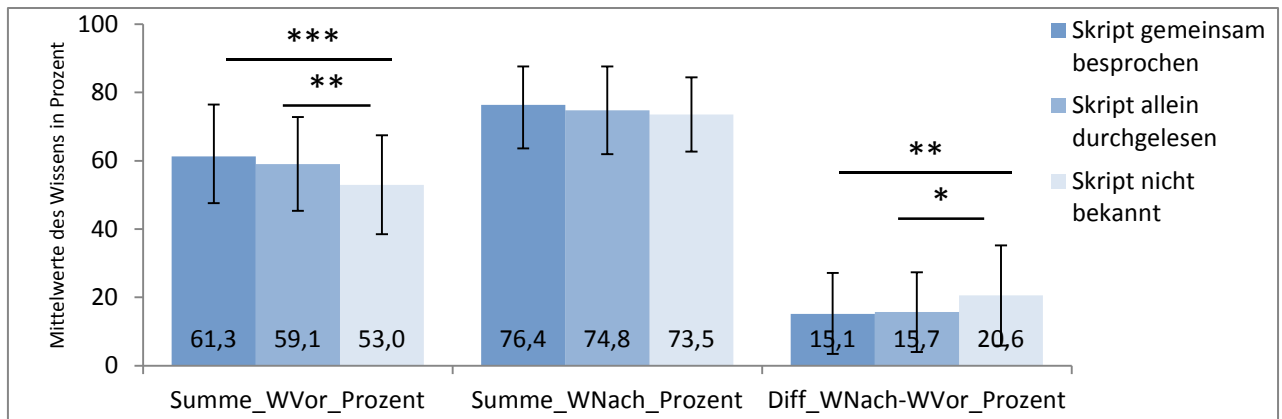


Abb. 35: Einfluss der Gruppen ‚Skript gemeinsam besprochen‘, ‚Skript allein durchgelesen‘ und ‚Skript nicht bekannt‘ auf das Wissen im Vortest, Nachtest und in der Differenz in Prozent (‚Skript gemeinsam besprochen‘: $n = 199$, ‚Skript allein durchgelesen‘: $n = 223$, ‚Skript nicht bekannt‘: $n = 67$)

5.3.4.2 Einfluss der Vorbereitung durch ein Schülerskript auf die Motivation

Zwischen den Gruppen liegen in der intrinsischen Motivation in der Subskala Sub_KIM_Int signifikante Unterschiede vor (Sub_KIM_Int: $F(2;486) = 3,816$, $p = 0,023$, $\eta_p^2 = 0,015$). Laut Post-hoc-Test berichteten diejenigen Schüler, die das Skript gemeinsam besprochen hatten, signifikant höhere Werte in dieser Subskala als diejenigen, denen das Skript nicht bekannt war. Die Effektstärken sind niedrig. In den anderen Subskalen sowie in der Gesamtskala unterschied sich die intrinsische Motivation nicht (Sub_KIM_Druck: $F(2;486) = 0,217$, $p = 0,805$; Sub_KIM_Komp: $F(2;486) = 1,583$, $p = 0,206$; Sub_KIM_Wahl: $F(2;486) = 0,303$, $p = 0,739$; Ges_KIM: $F(2; 486) = 2,225$, $p = 0,109$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 36 dargestellt.

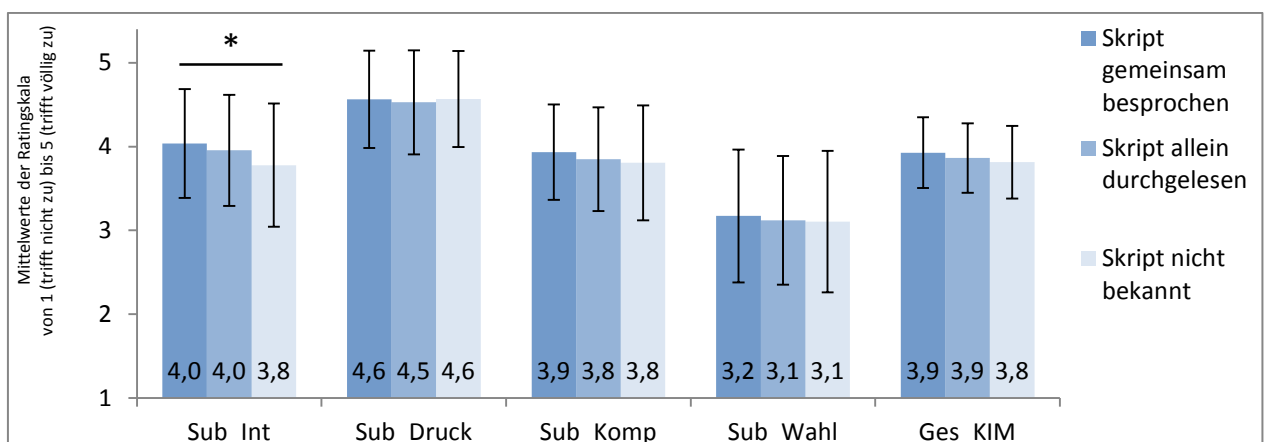


Abb. 36: Einfluss der Gruppen ‚Skript gemeinsam besprochen‘, ‚Skript allein durchgelesen‘ und ‚Skript nicht bekannt‘ auf die Subskalen sowie im Gesamtwert der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (‚Skript gemeinsam besprochen‘: $n = 199$, ‚Skript allein durchgelesen‘: $n = 223$, ‚Skript nicht bekannt‘: $n = 67$)

5.3.5 Ergebnisse der Nachbereitung durch Arbeitsblätter

Zeitlicher Vergleich

Auch in dieser Stichprobe sind – ebenso wie in der in Kapitel 5.1.4.2 analysierten Stichprobe - die Werte im Nachtest signifikant höher als die Werte im Vortest (Summe_WVor/Summe_WNach: $F(1;317) = 490,778$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,608$). Im Follow-up-Test sind die Werte gegenüber dem Nachtest signifikant niedriger (Summe_WNach/Summe_FU: $F(1;317) = 149,555$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,321$). Gegenüber dem Vortest sind die Werte im Follow-up-Test signifikant höher (Summe_WVor/Summe_FU: $F(1;317) = 69,641$, $p = 0,000$, $\eta_p^2 = 0,180$). Alle Effektstärken sind hoch. Die Mittelwerte sind in Abbildung 37 dargestellt.

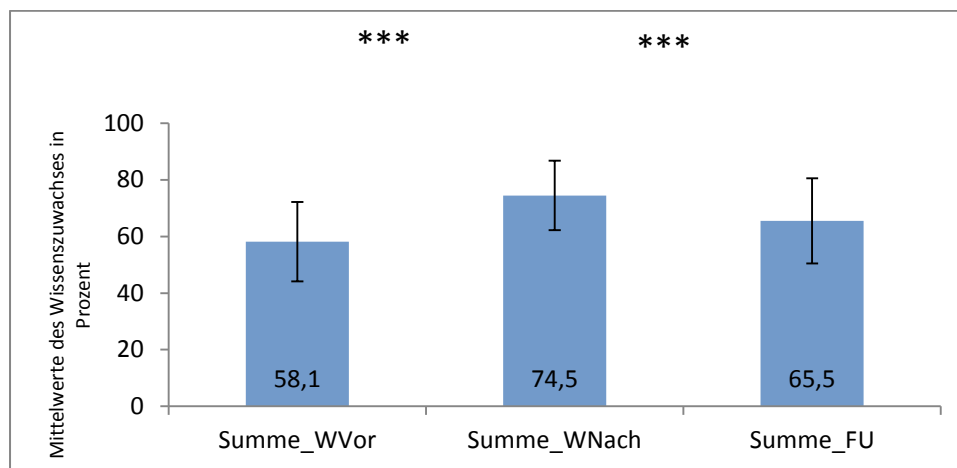


Abb. 37: Wissen im zeitlichen Vergleich von Vor- und Nach- zu Follow-up-Test ($N = 318$)

Einfluss des Geschlechts auf den Wissensbehalt

Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf den Wissensbehalt. Gegenüber dem Nachtest verfügen beide Geschlechter im Follow-up-Test über ein geringeres Wissen, der Unterschied zwischen den Geschlechtern ist nicht signifikant (Diff_FU-WNach: $F(1;314) = 1,916$; $p = 0,167$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 38 dargestellt.

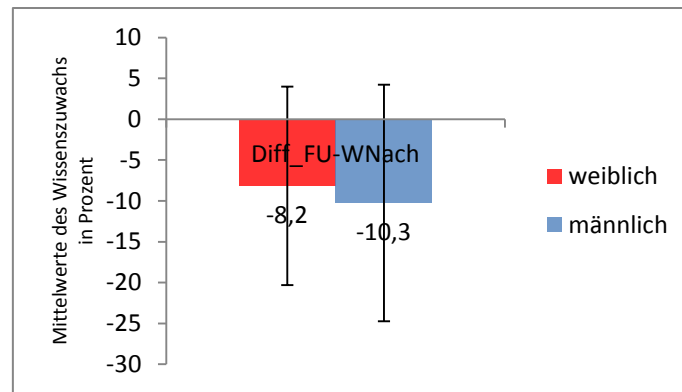


Abb. 38: Einfluss des Geschlechts auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (weiblich: $n = 197$, männlich: $n = 119$)

Einfluss der Kurswahl auf den Wissensbehalt

Die Kurswahl hat keinen Einfluss auf den Wissensbehalt. Der Abnahme des Wissens im Follow-up-Test gegenüber dem Nachtest unterscheidet sich nicht (Diff_FU-WNach: $F(1;313) = 0,000$, $p = 0,982$,). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 39 dargestellt.

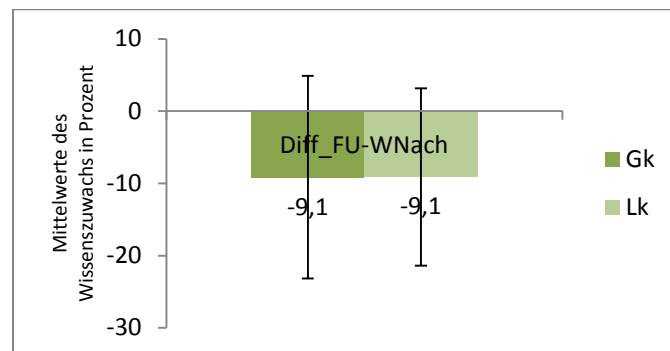


Abb. 39: Einfluss der Kurswahl auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (Grundkurs: $n = 112$, Leistungskurs: $n = 203$)

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf den Wissensbehalt

Der Zeugnisdurchschnitt hat einen Einfluss auf den Wissensrückgang: Je höher das Terzil, desto geringer ist die Wissensabnahme gegenüber dem Nachtest. Der Unterschied ist in der Differenz von Follow-up-Test zu Nachtest signifikant (Diff_FU-WNach: $F(2;270) = 3,024$, $p = 0,050$, $\eta_p^2 = 0,022$). Laut Post-hoc-Test liegt der signifikante Unterschied zwischen dem oberen und unteren Terzil vor. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 40 dargestellt.

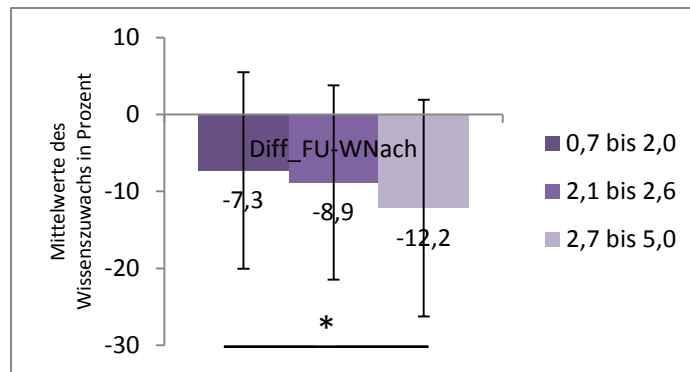


Abb. 40: Einfluss des Zeugnisdurchschnitt die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (1. Terzil: $n = 95$, 2. Terzil: $n = 101$, 3. Terzil: $n = 77$)

Einfluss der Biologiezensur auf den Wissensbehalt

Die Biologiezensur hat zwar keinen signifikanten Einfluss auf den Wissensrückgang, es zeichnet sich jedoch eine Tendenz ab: Das mittlere Terzil verfügt hier über die geringste Wissensabnahme gegenüber dem Nachtest. Dieser Unterschied ist nicht signifikant (Diff_FU-WNach: $F(1;294) = 0,923$, $p = 0,398$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 41 dargestellt.

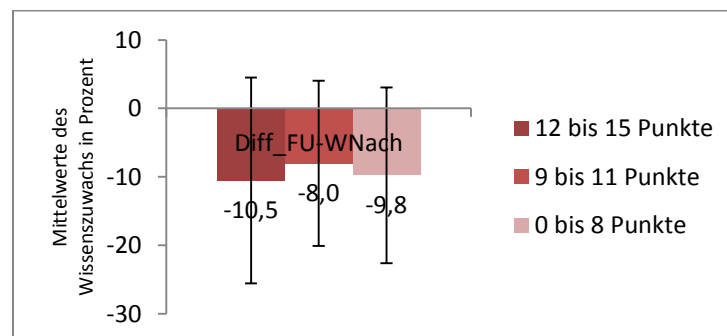


Abb. 41: Einfluss der Biologiezensur auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (1. Terzil: $n = 55$, 2. Terzil: $n = 135$, 3. Terzil: $n = 107$)

Einfluss der Vorbereitung durch ein Schülerskript auf den Wissensbehalt

Bei der Vorbereitung durch das Schülerskript zeichnet sich eine Tendenz ab. Diejenigen Schüler, die es allein gelesen haben, verfügen die geringste Wissensabnahme gegenüber dem Nachtest. Diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant (Diff_FU-WNach: $F(2;288) = 0,715$, $p = 0,490$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 42 dargestellt.

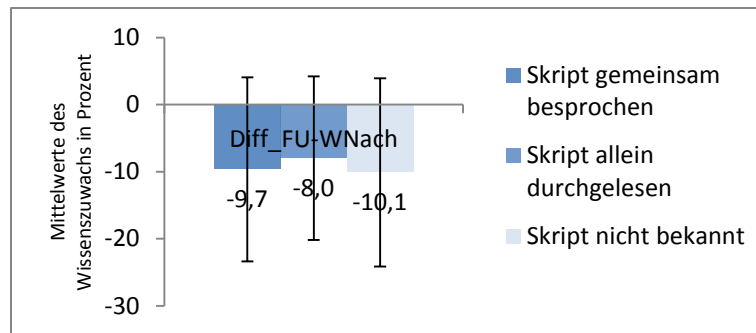


Abb. 42: Einfluss der Vorbereitung durch ein Schülerskript auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (,Skript gemeinsam besprochen': $n = 107$, ,Skript allein durchgelesen': $n = 128$, ,Skript nicht bekannt': $n = 56$)

Vergleich: Einfluss der Nachbereitung unter Einsatz von Arbeitsblättern auf den Wissensbehalt

Der Einsatz von Arbeitsblättern zur Nachbereitung eines Workshops hat einen Einfluss auf die Wissensabnahme gegenüber dem Nachtest: Gegenüber dem Nachtest war die Wissensabnahme der Schüler, welche die Arbeitsblätter verwendeten, sehr signifikant geringer als derjenigen, die sie nicht verwendeten (Diff_FU-WVor: $F(1;316) = 7,896$, $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,024$). Die Effektstärke ist niedrig. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 43 dargestellt.

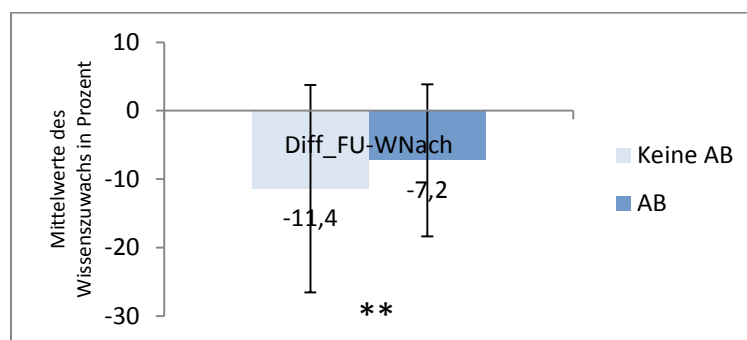


Abb. 43: Einfluss des Einsatzes von Arbeitsblättern (AB) auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (Keine AB: $n = 131$, AB: $n = 187$)

5.3.6 Diskussion

Die Verwendung der neu entwickelten Materialien zur Einbindung des Schülerlaborbesuches zeigt durch beide Komponenten positive Auswirkungen: Zum einen bewirkt die Kenntnis des Schülerskriptes ein höheres Vorwissen der Schüler und eine höhere intrinsische Motivation in der Subskala ,Interesse/Vergnügen'.

Zudem bewirkt die obligatorische Verwendung des Arbeitsblattes 2 einen höheren Wissensbehalt.

Schülerskript zur Vorbereitung

Wie in Kapitel 5.3.1 dargelegt, soll durch die Vorbereitung eines Schülerlaborbesuches im Unterricht der *Novelty Space* verringert und dadurch der *Cognitive Load* der Schüler reduziert werden. So sollen die Schüler am außerschulischen Lernort einen effektiveren und langfristigeren Lernzuwachs erzielen. Diese Auswirkung kann durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden: Diejenigen Schüler, die das Skript nicht kennen, verfügen über einen signifikant höheren Lernzuwachs während des Workshops. Beim Wissensbehalt liegen keine signifikanten Unterschiede zu den Schülern vor, denen das Skript bekannt ist. Hier sind tendenziell die Schüler, die das Skript allein durchgelesen haben, im Vorteil gegenüber den etwa gleich hohen Werten bei den Schülern, die das Skript im Unterricht besprochen haben und denjenigen, die es nicht kennen. Die Kovarianzanalyse zeigte, dass der höhere Lernzuwachs während des Workshops bei Schülern ohne Vorbereitung durch die niedrigeren Werte im Vortest zu erklären ist: Heterogenes Vorwissen wird durch den Praktikumstag tendenziell ausgeglichen. Schüler mit niedrigerem Vorwissen lernen also mehr dazu als Schüler mit höherem Vorwissen.

Zusammenfassend kann zudem kommentiert werden, dass der Anteil derjenigen Schüler, denen das Skript nicht bekannt ist, mit 13,7 % in der Gesamtstichprobe sehr niedrig ist. Die Lehrkräfte nutzen also die Materialien überwiegend wunschgemäß und setzen sie entweder im Unterricht oder als Hausaufgabe ein.

Arbeitsblätter zur Nachbereitung

Zur Nachbereitung eines Schülerlaborbesuches lagen bisher zum Wissenserwerb keine vergleichbaren Studien, sondern nur die Forderung der Einbindung in den Unterricht vor. Eindeutige Effekte konnten lediglich durch Zehren (2009) bei einer Verzahnung mit dem Unterricht mit wiederholten Schülerlaborbesuchen gezeigt werden. Die Entwicklung eines Sets aus Arbeitsblättern für alle drei Workshops des *teutolab*-biotechnologie sollte als einfach zu organisierende Unterstützung für die Lehrkräfte ohne intensive Kooperationen dienen. So wurde letztlich die Erreichung

der Ziele von Schülerlaboren – eine Ergänzung des Unterrichts zur Unterstützung der *scientific literacy* – verfolgt.

Zunächst ist es erfreulich, dass bei den Schülern zwar ein signifikanter Wissensrückgang vom Nachtest zum Follow-up-Test vorliegt, jedoch die Werte im Follow-up-Test signifikant über den Werten im Vortest liegen. Die Schüler sind überwiegend bereits durch das Schülerskript auf den Workshop vorbereitet. Beim Vortest zu Beginn des Praktikumstages sind die Schüler also gut über die Thematik informiert und haben in den meisten Fällen die molekularbiologischen Methoden aktuell im Unterricht behandelt. Zum Zeitpunkt des Follow-up-Tests werden im Unterricht bereits andere Themen besprochen, teils liegen auch Schulferien zwischen den Messzeitpunkten.

Die Analyse des Einflusses der Personenvariablen auf den Wissensbehalt zeigte verschiedene Tendenzen:

Mädchen und Jungen unterscheiden sich in der Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test geringfügig: Mädchen können die Inhalte tendenziell besser erinnern als Jungen. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

Zwischen Leistungs- und Grundkursschülern bestehen in der Wissensabnahme keine Unterschiede. Es ist erfreulich, dass Grundkursschüler mit einem deutlich geringeren Stundenumfang über einen so großen Wissensbehalt verfügen. Dies zeigt, dass durch den Schülerlaborbesuch wie intendiert eine Breitenförderung gelingen kann.

Je höheren Terzilen die Schüler beim Zeugnisdurchschnitt angehören, desto weniger vergessen sie. Dies entspricht den Erwartungen, da von dieser Variablen auf die allgemeine schulische Leistungsfähigkeit zurückgeschlossen werden soll. Da die Unterschiede aber lediglich zwischen dem obersten und untersten Terzil signifikant sind, kann wiederum rückgeschlossen werden, dass Schüler grundsätzlich über alle Leistungsstufen hinweg profitieren.

Bei der Biologiezensur ist das mittlere Terzil tendenziell im Vorteil. Dieser Befund stellte sich auch bereits bei dem in Kapitel 5.1.4.2 dargestellten Wissenszuwachs während des Workshops dar. Die Tendenz zur Förderung der dem mittleren Bereich zuzuordnenden Schüler wurde, wie bereits in Kapitel 5.1.5 diskutiert, auch durch

Scharfenberg (2005) gezeigt. Es ist davon auszugehen, dass sie am stärksten profitieren, da hier die Fähigkeiten am besten zu den Anforderungen passen.

Durch die obligatorische Verwendung von Arbeitsblatt 2 konnte im Follow-up-Test eine geringere Wissensabnahme gegenüber dem Nachtest erreicht werden. Als praktische Konsequenz aus den Befunden werden die Lehrkräfte weiterhin gebeten, den Schülern die Inhalte des Schülerskriptes zugänglich zu machen. Zudem wird ihnen bereits bei der Anmeldung die Zusendung der Arbeitsblätter angeboten. Diese Vorgehensweise könnte auch für andere Schülerlabore umsetzbar sein. Es sind aber auch alternative Vorbereitungsformen denkbar wie z. B die Entwicklung eines Onlinetools (Streller, 2016). So kann zusammengefasst werden, dass von den Schülerlaboren zur Unterstützung der Lehrkräfte bereit gestellte Materialien die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen erhöhen.

5.4 Vierter Schritt: Einsatz neuer Medien

5.4.1 Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, verfügen die verschiedenen Biologiekurse, die das *teuto*lab-biotechnology besuchen, über sehr unterschiedliche Voraussetzungen. So haben Leistungskurse im Durchschnitt ein höheres Vorwissen und größeres individuelles Interesse als Grundkurse. Die Spannweite im Vorwissen reicht zwischen den verschiedenen Kursen von unter 42 % bis über 72 % der möglichen Punktzahl im Wissenstest. Zudem liegt innerhalb der Kurse Heterogenität zwischen den Schülern vor. Daher wurde nach einer Möglichkeit gesucht, einen noch zielführenderen Einstieg in die theoretischen Hintergründe zu ermöglichen. So sollte einerseits für das Betreuerteam die Diagnose über den Lernstand der Schüler erleichtert werden, andererseits allen Schülern unabhängig von ihrem Wissensstand eine aktivere Beteiligung insbesondere im Theorieteil ermöglicht werden. Nach Euler (2001) ist eine Balance zwischen Theorie und Experiment für einen gelingenden Schülerlaborbesuch entscheidend. Die Einbettung des Experimentierens in den Unterrichtsverlauf ist dabei eine wichtige Voraussetzung (Tesch & Duit, 2004).

Daher wurde das anonyme Umfragetool PINGO eingesetzt, bei dem die Schülergruppen gemeinsam Fragen zu den theoretischen Hintergründen der

angewendeten molekulargenetischen Methoden beantworteten. Die umgehend zur Verfügung stehende anonyme Auswertung soll die Basis für eine differenzierte inhaltliche Auseinandersetzung bereitstellen. Dieses Life-Feedback-System ist den Learning-Management-Systemen zuzuordnen. Hier ist das Anlegen von Lernergruppen sowie Quiz- und Auswertungsdiensten möglich (Wuttke, 2011). Nach Niegemann (2011) bieten Online-Lernangebote Interaktionsmöglichkeiten. Die dialogartige Kommunikation hat die gleichen Funktionen wie bei einem menschlichen Tutor: Sie motivieren, informieren, fördern das Verstehen, das Behalten und das Anwenden bzw. den Transfer. Zudem können sie dabei unterstützen, Lernprozesse zu organisieren (Niegemann, 2011). Ergänzend kann und soll Online-Lernen auch einen Beitrag zur Medienkompetenz leisten (Schulz-Zander & Tulodziecki, 2011). Im praktischen Umgang mit neuen Medien sollen Jugendliche Kompetenz und Autonomie erfahren können (Wagner, 2012).

5.4.2 Material

Das Umfragetool PINGO wird als Freeware von der Universität Paderborn angeboten (pingo.upb.de). Registrierte Nutzer können hier in der Rolle eines Senders offene Fragen oder Multiple Choice-Fragen vorbereiten. Den Schülern wird unter einer Kennnummer der Zugang zur spezifisch vorbereiteten Umfrage gewährt. Der Sender wählt an geeigneter Stelle die gewünschten Fragen aus und legt die Dauer für die Beantwortungszeit fest. Die empfangenen Antworten werden bei geschlossenen Fragen in Balkendiagrammen angezeigt, bei offenen Fragen als Text.

Während des Praktikumstages wird jeweils zum Einstieg in die theoretischen Hintergründe von PCR, Gelelektrophorese und wahlweise Restriktionsspaltung oder Sanger-Sequenzierung (abhängig vom Thema des Workshops) die PINGO-Umfrage eingeschoben. Für die drei Blocks mit jeweils drei bis fünf Fragen werden zwölf der 16 aus dem Wissenstest bekannten Items verwendet. Den Schülern stehen auf ihren Gruppentischen Tablets zur Verfügung, an denen sie die Fragen gemeinsam beantworten. Die Anzeige des Ergebnisses (siehe Abb. 44) dient als Einstieg in den Dialog zwischen den Betreuern und den Schülern.

Tierartendifferenzierung 086556

Zur Zeit verbunden: **ca. 1**

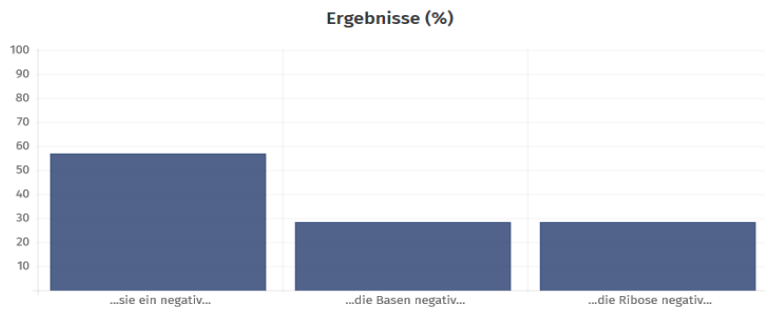
T 3.2 Die DNA wandert zum Pluspol der Elektrophoresekammer, weil...

Dies ist eine Multiple-Choice-Umfrage.

Teilnehmer: **7**

Antwortmöglichkeiten:

- 4** **57%** ...sie ein negativ geladenes Phosphatrückrad hat
- 2** **29%** ...die Basen negativ geladen sind
- 2** **29%** ...die Ribose negativ geladen ist



Neue Umfrage zu Session hinzufügen

Single Choice
 Multiple Choice
 Text/TagCloud
 Numerisch BETA

Wie viele Antworten?

Wie lange?

Starten merken

Frage aus Katalog starten

Neue Frage erstellen

Veranstaltungsfeedback

Abb. 44: Anzeige eines exemplarischen Ergebnisses einer PINGO-Umfrage

5.4.3 Methoden

5.4.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Im vierten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Breitenförderung wurde die in Kapitel 5.4.2 dargestellte Einbindung neuer Medien mit dem im zweiten Schritt entwickelten Vermittlungskonzept (Neue Abb., ‚Projekt‘) verglichen. Es wurden die Konstrukte Wissen, Motivation und Interesse untersucht. Dabei wurden jeweils verschiedene Stichproben betrachtet. Abbildung 45 zeigt das Design dieser Teilstudie 4 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichproben. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Die prozentuale Verteilung auf die beiden Gruppen ‚Keine Tablets‘ und ‚Tablets‘ findet sich in Anhang 19, 20 und 21. Der Wissenstest (*teuto-know*) wurde nachmittags am Ende der Workshops im Nachtest und als Follow-up-Test 6-8 Wochen nach dem Workshop beantwortet. Die Fragen zur intrinsischen Motivation (IMI, Deci & Ryan, 2018a) und zum Interesse (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) wurden am Ende der Workshops im Nachtest beantwortet.

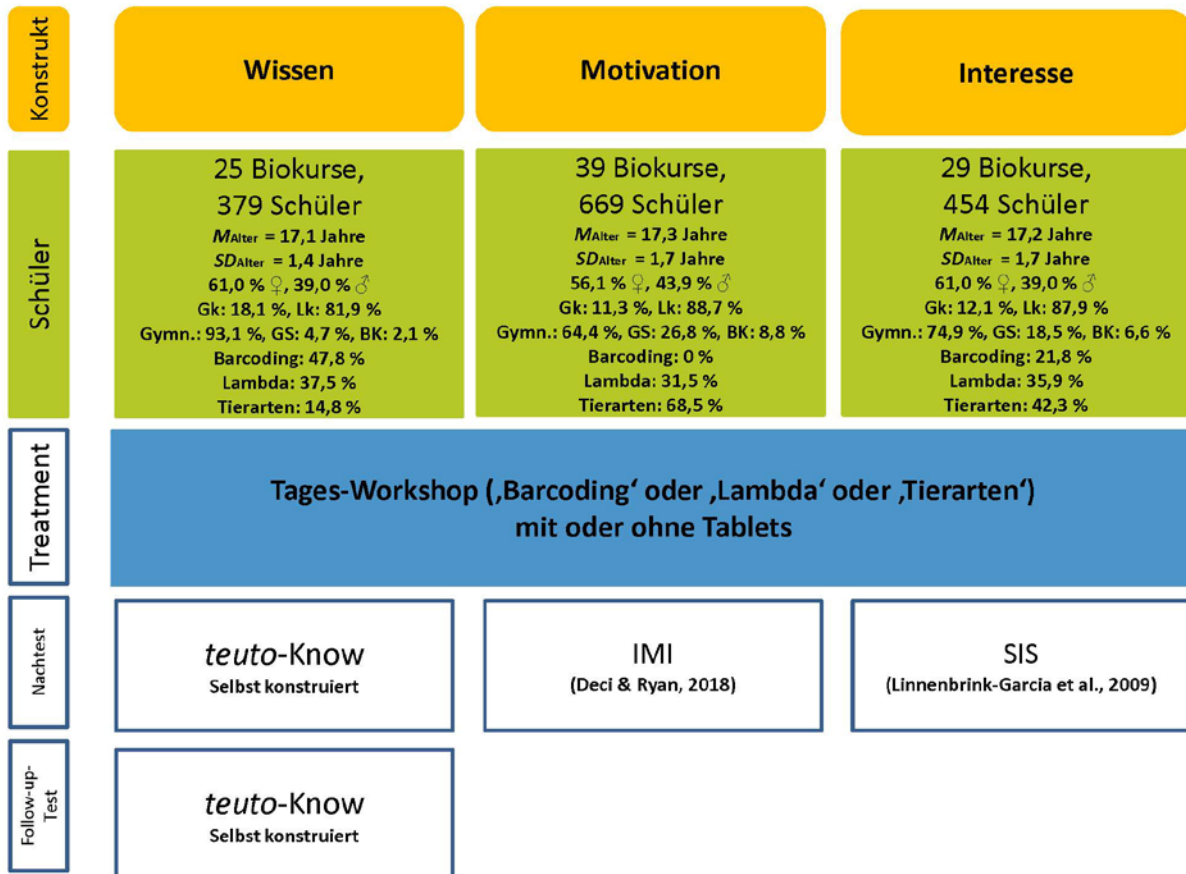


Abb. 45: Design der Teilstudie 4 zur Auswirkung des Einsatzes neuer Medien auf Motivation, Interesse und Wissenserwerb der Schüler

5.4.3.2 Testinstrumente

Wissenserwerb

Für die Erhebung des Wissens vor und nach dem Workshop sowie im Follow-up-Test wurde das gleiche Testinstrument verwendet wie für den ersten Schritt der Entwicklung (siehe Kapitel 5.1.3). Die Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) waren für den Vergleich von Gruppen angemessen (WNach: 0,528; WFU: 0,562).

Motivation

Um die intrinsische Motivation der Schüler facettenreicher zu verstehen, wurde in dieser Teilstudie der Intrinsic Motivation Inventory (IMI) nach Deci und Ryan (2018a) eingesetzt. Der IMI erfasst die Motivation mehrdimensionaler als die in Kapitel 5.1.3.2 näher erläuterte Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009). Es handelt sich hier um das Basismessinstrument, welches sieben Subskalen umfasst. Zunächst sind die Interessens-/Freudekomponente (Interest/Enjoyment,

Sub_IMI_En), Druckkomponente (No Pressure/Tension, Sub_IMI_Pr_inv), Kompetenzkomponente (Competence, Sub_IMI_Co) und Wahlfreiheitskomponente (Choice, Sub_IMI_Ch) identisch, setzen sich aber aus anderen Items zusammen. Zudem werden ergänzend eine Anstrengungskomponente (Effort, Sub_IMI_Ef), Wertkomponente (Value/Usefulness, Sub_IMI_Va) und die Komponente der sozialen Eingebundenheit (Relatedness, Sub_IMI_Re) erfasst.

Wie in Kapitel 5.1.3.2 dargestellt, gelten die bereits von der KIM bekannten Skalen als Selbstberichtswert, positive Prädiktoren bzw. negative Prädiktoren. Die neu hinzugekommene Skala Anstrengung dient als ergänzende Variable für einige motivationale Fragen. Die Wertkomponente ist für die Internalisierung von Bedeutung, diese setzt zudem die soziale Eingebundenheit voraus (siehe Kap. 3.2). Die originalen Items des IMI zielen in dieser Subskala auf die Anbahnung neuer Freundschaften ab. Sie erwiesen sich für die Erfassung sozialer Eingebundenheit im Schülerlabor nicht als praktikabel. Daher wurden in dieser Skala sechs eigene Fragen verwendet, von denen drei auf die soziale Eingebundenheit gegenüber den Betreuern und drei weitere gegenüber den Mitschülern fokussieren. Der IMI umfasst in seiner Originalform insgesamt 45 Items. Um die Belastung der Schüler durch die Fragebogenerhebung möglichst gering zu halten, wurden aus den anderen Subskalen je drei bis vier Items ausgewählt, die inhaltlich am besten geeignet erschienen. So wurden in allen sieben Subskalen insgesamt 31 Items verwendet. In Tabelle 10 sind die Subskalen mit Reliabilitäten und Beispielitems aufgeführt, die Gesamtheit der Fragen findet sich in Anhang 22. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) verwendet. Inverse Fragen wurden für die Auswertung umkodiert.

Tab. 10: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems des Intrinsic Motivation Inventory (Deci & Ryan, 2018a)

Subskala	Beispielitem	Reliabilität ¹
Sub_IMI_En	Die Tätigkeiten beim Workshop haben Spaß gemacht.	0,829
Sub_IMI_Pr_inv	Ich fühlte mich im <i>teutolab</i> unter Druck.	0,602
Sub_IMI_Co	Ich bin zufrieden mit meiner Leistung im <i>teutolab</i> .	0,665
Sub_IMI_Ch	Ich habe mitgemacht, weil ich keine andere Wahl hatte.	0,617
Sub_IMI_Va	Ich würde den Kurstag im <i>teutolab</i> wieder machen, da er mir genutzt hat.	0,750
Sub_IMI_Ef	Ich habe mir im <i>teutolab</i> viel Mühe gegeben.	0,557

Sub_IMI_R	Ich kam mit den Betreuern gut zurecht.	0,683
Ges_IMI		0,886

Anmerkungen:
¹ Cronbachs Alpha

Interesse

Für die Erhebung des individuellen und situationalen Interesses wurde das gleiche Testinstrument verwendet wie im ersten Schritt der Entwicklung (siehe Kapitel 5.1.3). Die Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) waren für den Vergleich von Gruppen angemessen (Ges_Int_I: 0,864, Sub_Int_T: 0,767; Sub_Int_F: 0,838, Sub_Int_V: 0,745; Ges_Sit_Int: 0,899).

5.4.4 Ergebnisse

5.4.4.1 Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf den Wissenserwerb

Schüler, die den Workshop unter Einsatz der Tablets durchführten (Tabletgruppe), verfügten im Nachtest und im Follow-up-Test über ein höchst signifikant höheres Wissen (Summe_WNach: $F(1;377) = 75,762$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,167$; Summe_WFU: $F(1;377) = 16,932$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,043$). Die Effektstärke ist beim Nachtest mittel bis hoch, beim Follow-up-Test niedrig. Der Unterschied war in der Differenz zwischen den beiden Messzeitpunkten sehr signifikant bei niedriger Effektstärke. Die Tabletgruppe hatte hier eine größere Wissensabnahme (Diff_FUWNach: $F(1,377) = 7,960$, $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,021$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 46 dargestellt.

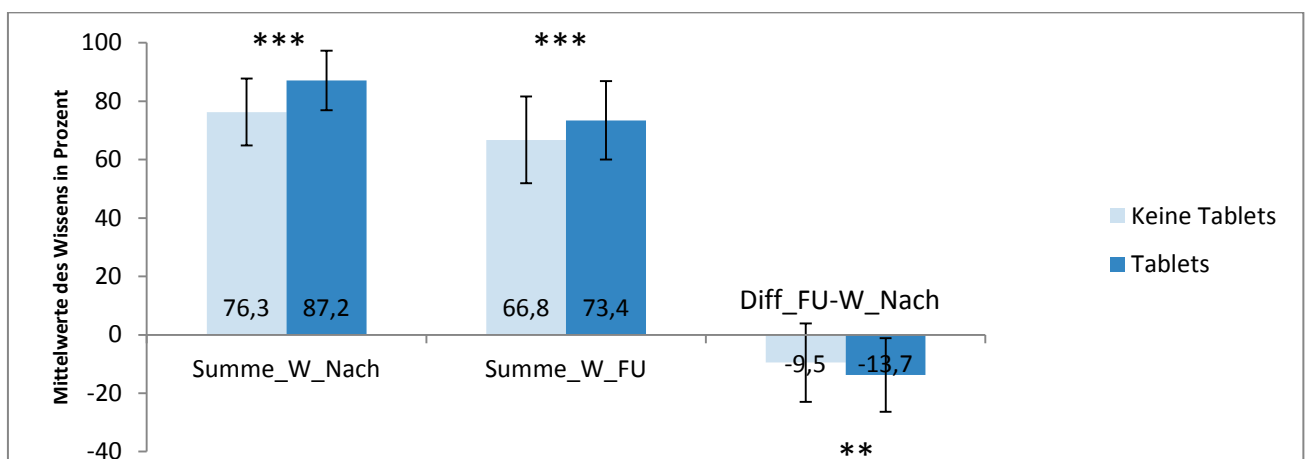


Abb. 46: Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf das Wissen im Nachtest, Follow-up-Test und in der Differenz in Prozent (keine Tablets: $n = 267$, Tablets: $n = 112$)

5.4.4.2 Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf die Motivation

Schüler, die den Workshop unter Einsatz der Tablets durchführten, verfügten in den Subskalen ‚Enjoyment‘ (Sub_IMI_En) und ‚Relatedness‘ (Sub_IMI_Re) und in der Gesamtskala (Ges_IMI) über signifikant bis höchst signifikant höhere Werte (Sub_IMI_En: $F(1;667) = 5,656$, $p = 0,018$, $\eta_p^2 = 0,008$; Sub_IMI_Re: $F(1;667) = 14,727$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,022$; Ges_IMI: $F(1;667) = 4,449$, $p = 0,035$, $\eta_p^2 = 0,007$). Die Effektstärken sind niedrig. In den Subskalen ‚No pressure‘ (Sub_IMI_Pr_inv), ‚Competence‘ (Sub_IMI_Co), ‚Choice‘ (Sub_IMI_Ch), ‚Value‘ (Sub_IMI_Va) und ‚Effort‘ (Sub_IMI_Ef) liegen keine signifikanten Unterschiede vor (Sub_IMI_Pr_inv: $F(1;667) = 2,537$, $p = 0,112$; Sub_IMI_Co: $F(1;667) = 0,031$, $p = 0,859$; Sub_IMI_Ch: $F(1;667) = 0,674$, $p = 0,412$; Sub_IMI_Va: $F(1;667) = 2,637$, $p = 0,105$; Sub_IMI_Ef: $F(1;667) = 0,324$, $p = 0,569$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 47 dargestellt.

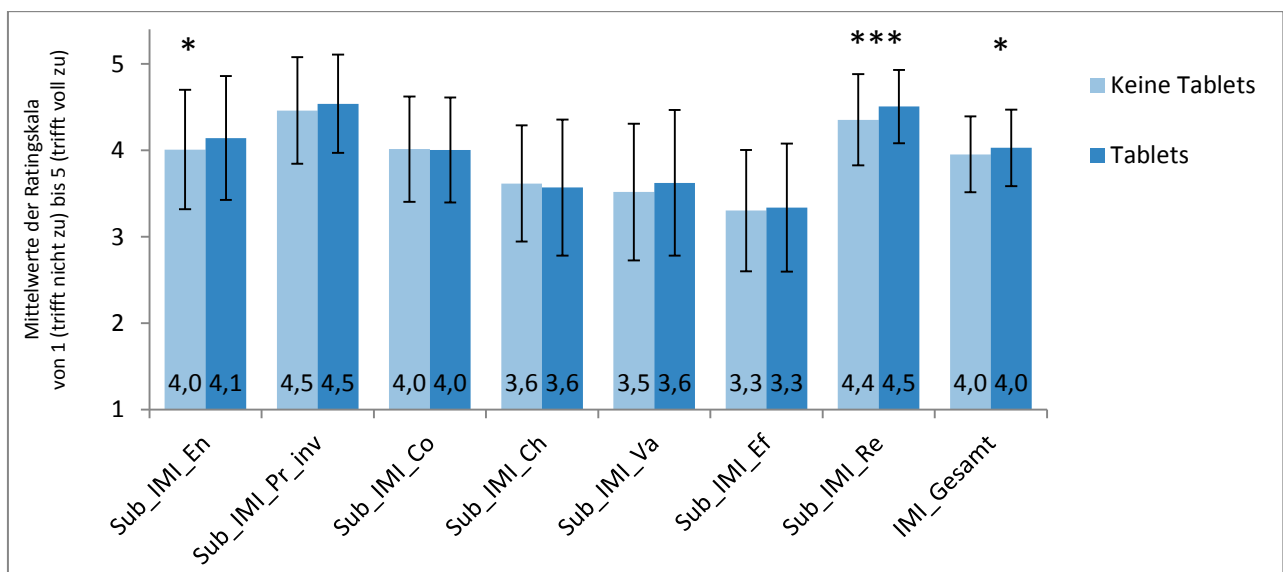


Abb. 47: Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der intrinsischen Motivation (IMI, Deci & Ryan, 2018a) (keine Tablets: $n = 428$, Tablets: $n = 241$)

5.4.4.3 Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf das Interesse

Zunächst unterscheidet sich das individuelle Interesse nicht zwischen den beiden Gruppen (Ges_Int_I: $F(1;452) = 0,398$, $p = 0,529$). Im situationalen Interesse verfügen die Schüler in der Tabletgruppe in allen Subskalen über durchgängig höhere Werte. Der Unterschied ist im ausgelösten Interesse und in der Gesamtskala signifikant bei niedriger Effektstärke (Sub_Int_T: $F(1;452) = 5,974$, $p = 0,015$,

$\eta_p^2 = 0,013$; Sub_Int_F: $F(1;452) = 3,176$, $p = 0,075$; Sub_Int_V: $F(1;452) = 1,947$, $p = 0,164$; Ges_Sit_Int: $F(1;452) = 4,516$, $p = 0,034$, $\eta_p^2 = 0,010$;). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 48 dargestellt.

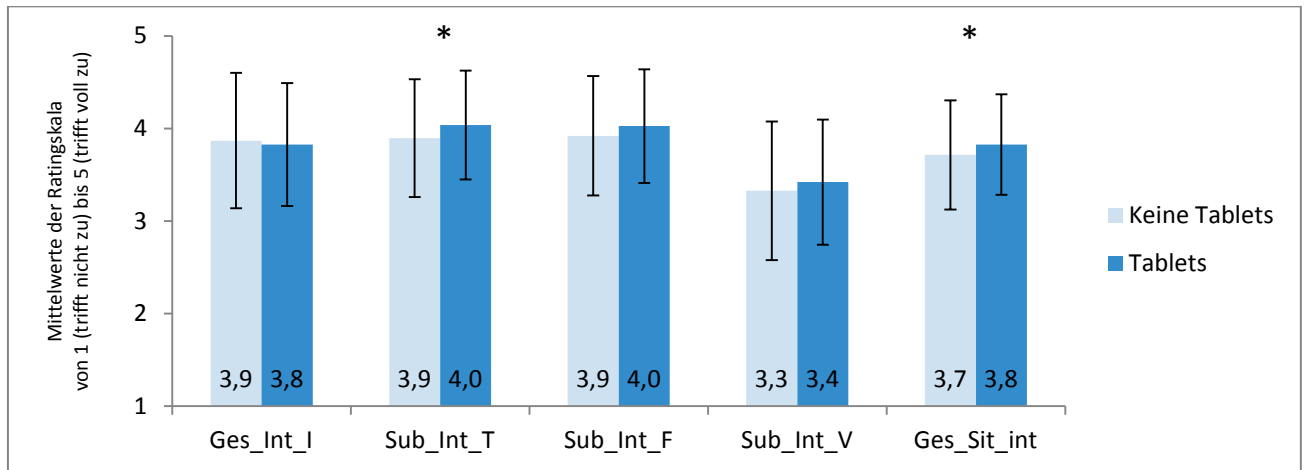


Abb. 48: Individuelles Interesse und Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (keine Tablets: $n = 222$, Tablets: $n = 232$)

5.4.4.4 Ergänzung zu Kapitel 5.1.4.4: Einfluss der Kurswahl und der Schulzensuren auf das Interesse

Einfluss der Kurswahl auf das Interesse

Zunächst verfügen Leistungskursschüler über ein höchst signifikant höheres individuelles Interesse als Grundkursschüler (Ges_Int_I: $F(1,252) = 42,061$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,085$). Die Effektstärke ist mittelhoch. In allen Subskalen des situationalen Interesses verfügen Leistungskursschüler über sehr bis höchst signifikant höhere Werte (Sub_Int_T: $F(1,252) = 10,232$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,022$; Sub_Int_F: $F(1,252) = 8,884$, $p = 0,003$, $\eta_p^2 = 0,019$; Sub_Int_V: $F(1,252) = 11,098$, $p = 0,001$; $\eta_p^2 = 0,024$; Ges_Sit_Int: $F(1,252) = 13,407$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,029$;). Die Effektstärken sind niedrig. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 49 dargestellt.

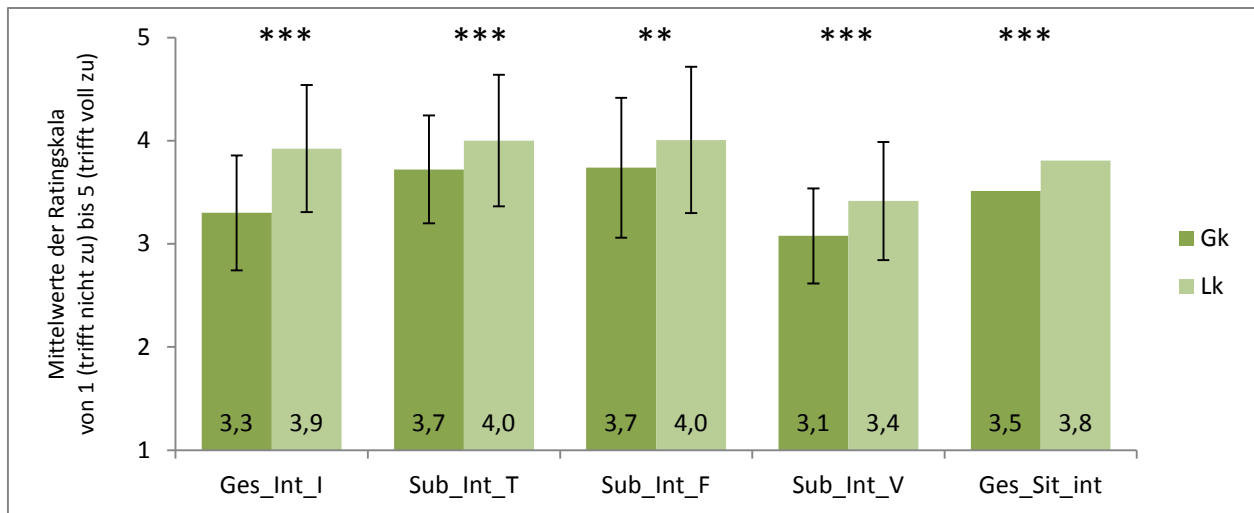


Abb. 49: Individuelles Interesse und Einfluss der Kurswahl auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (Grundkurs: $n = 55$, Leistungskurs: $n = 399$)

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Interesse

Zunächst bestehen zwischen den Terzilen höchst signifikante Unterschiede im individuellen Interesse (Ges_Int_I: $F(2;193) = 6,104$, $p = 0,003$, $\eta_p^2 = 0,058$). Die Effektstärke ist mittelhoch. In allen Subskalen des situationalen Interesses bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Terzilen (Sub_Int_T: $F(2;193) = 0,343$, $p = 0,710$; Sub_Int_F: $F(2;193) = 0,954$, $p = 0,387$; Sub_Int_V: $F(2;193) = 0,196$, $p = 0,822$; Ges_Sit_Int: $F(2;193) = 0,577$, $p = 0,562$). Laut Post-hoc-Test (siehe Anhang 23) bestehen die Unterschiede beim individuellen Interesse vom oberen zum mittleren und unteren Terzil. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 50 dargestellt.

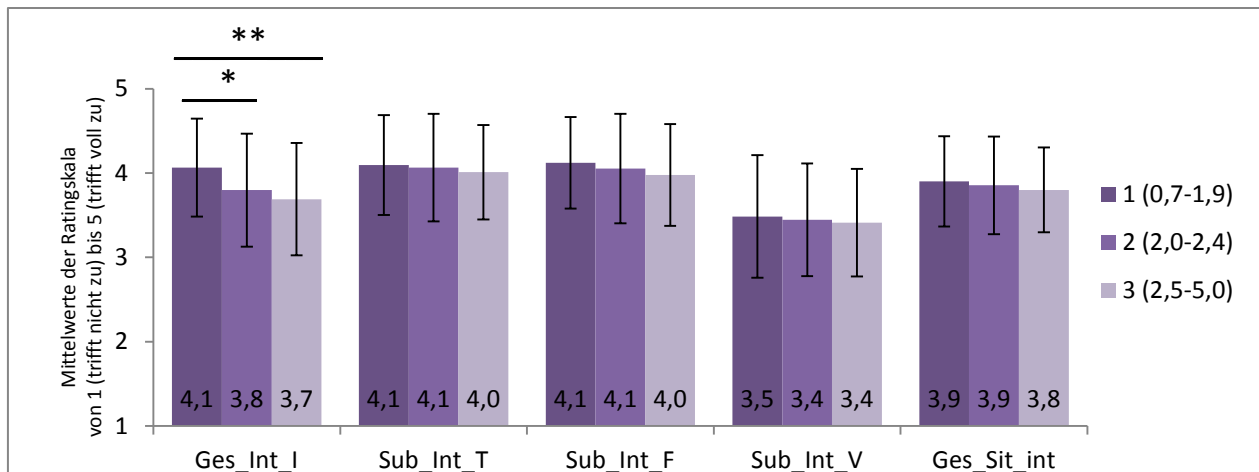


Abb. 50: Individuelles Interesse und Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (1. Terzil: $n = 69$, 2. Terzil: $n = 70$, 3. Terzil: $n = 63$)

Einfluss der Biologiezensur auf das Interesse

Zunächst bestehen zwischen den Terzilen höchst signifikante Unterschiede im individuellen Interesse (Ges_Int_I: $F(2;213) = 7,381$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,065$). Die Effektstärke ist mittelhoch. In allen Subskalen des situationalen Interesses bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Terzilen (Sub_Int_T: $F(2;213) = 1,224$, $p = 0,270$; Sub_Int_F: $F(2;213) = 0,718$, $p = 0,489$; Sub_Int_V: $F(2;213) = 0,983$, $p = 0,376$; Ges_Sit_Int: $F(2;213) = 0,770$, $p = 0,464$). Laut Post-hoc-Test (siehe Anhang 24) bestehen die Unterschiede beim individuellen Interesse vom oberen zum mittleren und unteren Terzil. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 51 dargestellt.

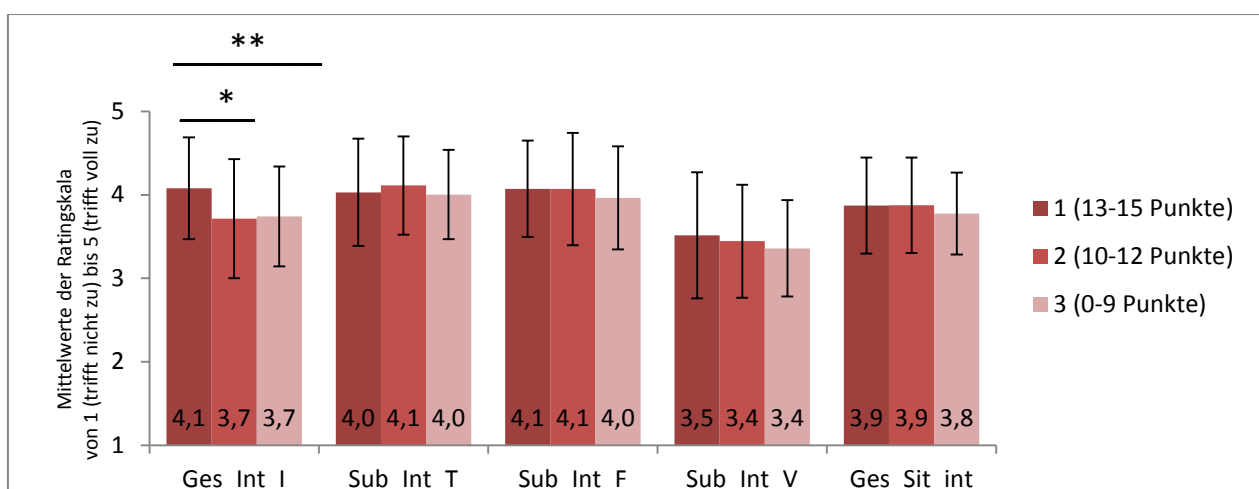


Abb. 51: Individuelles Interesse und Einfluss der Biologiezensur auf den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (1. Terzil: $n = 77$, 2. Terzil: $n = 66$, 3. Terzil: $n = 73$)

5.4.5 Diskussion

Der Einsatz von Tablets zum Einstieg in die molekularbiologischen Methoden bei den Workshops im Schülerlabor wirkt sich positiv auf den Wissenserwerb, die Motivation und das situationale Interesse aus.

Wissen

Der Wissenszuwachs während des Praktikumstages konnte nicht berechnet werden, da sich aus den nur zwölf der 16 Items des Fragebogens bei der PINGO-Umfrage und durch die gruppenweise Beantwortung keine vergleichbaren Vortest-Daten ableiten ließen. Daher wurden die Werte im Nachtest und auch im Follow-up-Test verglichen. Biologiekurse, die den Workshop unter Einsatz der Tablets durchführten, verfügten über ein signifikant höheres Wissen im Nachtest als diejenigen Schüler, die das Online-Tool nicht nutzten. Der Wissensrückgang im Follow-up-Test war dabei in der Tablet-Gruppe höher als in der Gruppe ohne Tablets. Dennoch erreichte die Tablet-Gruppe im Follow-up-Test weiterhin signifikant höhere Punktzahlen. Sie konnte also langfristiger repräsentierte Wissensstrukturen aufbauen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sie aufgrund des Feedbacks zu ihren in der PINGO-Umfrage geäußerten Vermutungen in der sich anschließenden Besprechung der theoretischen Hintergründe der molekularbiologischen Methoden passgenauer bezogen auf ihr Vorwissen die neuen Inhalte aktiv integrieren können. Ein weiterer Vorteil entstand durch die Übertragung der PowerPoint-Präsentation auf die Tablets der Schüler. Zuvor war durch die Laboranordnung die Sicht auf die Leinwand für zwei Gruppen erschwert.

Intrinsische Motivation

Die intrinsische Motivation war im Vergleich zu den Biologiekursen, die keine Tablets nutzten, in der Gesamtskala signifikant erhöht. Diese Unterschiede waren durch höhere Werte in zwei Subskalen des IMI (Deci & Ryan, 2018a) bedingt: Zunächst war die Subskala ‚Interest/Enjoyment‘ als Selbstberichtswert der Schüler signifikant erhöht. Dieser Befund steht im Einklang mit der generell positiven Beurteilung und Akzeptanz neuer Medien durch Schüler und auch Lehrkräfte (Aufenanger & Bastian, 2017, S. 4). Zudem fühlen sich die Schüler, welche die Online-Umfrage durchführten, sich stärker sozial eingebunden. Diese Subskala umfasste sowohl die Verbundenheit zu den Mitschülern als auch zu den Betreuern. Für die gemeinsame Beantwortung

der Fragen ist ein Austausch in der Gruppe notwendig und die Verantwortlichkeit wird gemeinsam getragen. Über die anonyme Anzeige der Verteilung der Antworten kommen die Betreuer mit den Schülern einfacher ins Gespräch und die Interaktion kann so mit einem größeren Anteil von Schülern und bei positiverer Beurteilung der Eingebundenheit gegenüber den Betreuern gelingen.

Interesse

Die Tabletgruppe verfügte bei gleich hohem individuellem Interesse über signifikant höhere Werte im situationalen Interesse. Dabei wies das ausgelöste Interesse (*triggered interest*) ebenfalls signifikante Unterschiede auf, die *Feeling*- und die *Value*-Komponente des gehaltenen Interesses (*maintained interest*) unterschieden sich nur tendenziell. Diese Befunde stehen in Einklang mit dem in Kapitel 3.2.8 dargestellten theoretischen Hintergrund zum situationalen Interesse: Das Interesse kann durch die Präsentation des Lernmaterials ausgelöst werden. Diese Darbietung der Inhalte wurde durch den Einsatz der Tablets verändert. Das Interesse wird gehalten, indem der Lerner innerlich beteiligt wird und die Wichtigkeit der Inhalte verdeutlicht wird. Bei der PINGO-Umfrage haben alle Schüler aktiv die Fragen beantwortet und wurden dadurch eventuell individuell stärker angesprochen und beteiligt. Dadurch könnten ihnen die Inhalte auch wichtiger geworden sein. An den Inhalten des Lernmaterials selbst, welche maßgeblich das gehaltene Interesse beeinflussen, wurde jedoch nichts geändert.

Der Nachtrag zur Auswirkung der Kurswahl auf das Interesse zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Kursarten auf: Bereits beim individuellen Interesse verfügen Schüler aus Leistungskursen über signifikant höhere Werte als Schüler aus Grundkursen. Wie in Kapitel 5.1.5 diskutiert, verwundert dies nicht, da die Kurswahl den Interessen entsprechend geschieht. Aufgrund des Zusammenhangs des individuellen Interesses mit dem situationalen Interesse wird weiterhin ein Unterschied zwischen den Kursarten erwartet und auch durch die Daten bestätigt: In allen Subskalen sowie in der Gesamtskala liegen signifikante Unterschiede vor. Die Effektstärken sind hier jedoch als gering einzustufen, beim individuellen Interesse war die Effektstärke mittelhoch. Bei den sehr unterschiedlichen Voraussetzungen von Schülern aus Leistungskursen und aus Grundkursen unterscheidet sich das situationale Interesse also geringer als erwartet und scheint insofern im Schülerlabor auch bei den weniger interessierten Schülern gefördert zu werden.

Der Befund zur Kurswahl weist in die gleiche Richtung wie der Nachtrag zur Auswirkung der Zensuren auf das Interesse. Hier ist der Unterschied zwischen dem individuellen Interesse und dem situationalen Interesse jedoch erheblich deutlicher: Zunächst ist das individuelle Interesse der Schüler umso höher, je besser die Schulnoten sind. Auch hier liegt ein Einfluss mit mittlerer Effektstärke vor. Auf das situationale Interesse haben dagegen weder der Zeugnisdurchschnitt noch die Biologiezensur einen Einfluss. Im Schülerlabor werden also alle Schüler gleichermaßen unabhängig von ihren Schulzensuren im Bereich des Interesses gefördert. Der Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das individuelle Interesse an den Naturwissenschaften könnte darauf hindeuten, dass bessere Schüler grundsätzlich ein stärkeres Interesse an schulischen Inhalten haben. Es verwundert nicht, dass Schüler mit besseren Biologiezensuren ein höheres Interesse aufweisen, denn, wie in Kapitel 3.2.1 dargestellt, korreliert der Lernerfolg mit dem Interesse.

Neue Medien

Neue Medien werden bisher in naturwissenschaftlichen Schülerlaboren kaum eingesetzt. Eine Ausnahme bildet jedoch z. B. das GecoLab in Heidelberg, in dem im Fachbereich Geografie mit neuen Medien gearbeitet wird. Auch Lee und Butler (2003) konzipierten in diesem Bereich unter Einbindung authentischer Programme zur Generierung von Wettervorhersagen eine Unterrichtsreihe. Die Visualisierung atmosphärischer Daten wird bereits langjährig im CoVis-Projekt zur Umsetzung wissenschaftlicher Praxis mit Schülern angewendet (Edelson, 1997). Für den Schulunterricht liegen weitere Studien vor, in denen neue mediale Techniken wie beispielsweise Smartphones für den Physikunterricht (Klein, Kuhn & Müller, 2017) oder virtuelle Mikroskopie im Biologieunterricht (Greßler et al., 2017) verwendet werden. Auch im *teuto*lab-biotechnologie werden die neuen Medien in einem der drei Workshops über das Online-Tool hinaus zur bioinformatischen Auswertung eingesetzt.

5.5 Abschließende Analyse der Entwicklungen in Säule A

5.5.1 Einleitung

Die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel zeigen, dass verschiedene Faktoren auf die untersuchten Konstrukte Einfluss nehmen und legen nahe, dass diese wiederum miteinander in einem Zusammenhang stehen. Verschiedene Autoren konnten bereits zeigen, dass die in Schülerlaboren wirksamen Faktoren miteinander in Beziehung stehen (z. B. (Damerau, 2012; Glowinski, 2007; Pawek, 2009; Scharfenberg, 2005). In der vorliegenden Design-Based-Research-Studie standen die Neuentwicklungen im Vordergrund. Jeder Entwicklungsschritt mit der Zielsetzung der Optimierung der Workshops wurde dokumentiert und analysiert. Der Umfang der jeweiligen Fragebögen wurde möglichst gering gehalten, um die Schüler nicht zu stark zu belasten. Dennoch wurden einige Bereiche zeitgleich erhoben, sodass hier Zusammenhangsanalysen bezüglich der verschiedenen Konstrukte möglich sind. Diese sollen in dem hier abschließenden Schritt der iterativen Entwicklung präsentiert werden.

Im Sinne einer summativen Evaluation soll zudem geklärt werden, inwiefern es gelungen ist, die laut theoretischer Hintergründe einflussnehmenden Faktoren zum Wissenserwerb und zu Motivation und Interesse zu berücksichtigen. Wie in Kapitel 3.1.2 dargestellt, wird Lernen entsprechend dem *gemäßigten Konstruktivismus* als aktiver Prozess verstanden, bei dem sich ein *Conceptual Change* vorhandener Vorstellungen vollzieht. Experimentieren im Schülerlabor kann durch die Ermöglichung praktischer Erfahrungen eine authentische Lerngelegenheit bieten, bei der die naturwissenschaftliche Erkenntnismethode und damit das *Forschende Lernen* umgesetzt werden. Dieser Prozess geschieht aktiv, produktiv und selbstbestimmt (siehe Kapitel 3.1.3.3). Hier findet die Theorie zum Wissenserwerb Anschluss zur Selbstbestimmungstheorie. Wie in Kapitel 3.2.3 dargestellt, determiniert der Grad der Selbstbestimmung die Qualität der intrinsischen Motivation. Voraussetzung für eine hohe Ausprägung ist die Erfüllung der *Basic Needs*, welche zudem einen positiven Einfluss auf die Interessensentwicklung nimmt.

Um zu klären, inwieweit es im *teutolab*-biotechnologie gelingt, eine konstruktivistische und autonomieförderliche Umgebung zu generieren, in dem Lernen forschend umgesetzt wird, wurden verschiedene Fragebögen eingesetzt, die

in Kapitel 5.5.3 näher vorgestellt werden. Obwohl diese abschließende Teilstudie keine Innovation analysiert, verfügt sie dennoch über einen Materialteil. Die bisherigen Entwicklungen betrafen stets das Lernsetting. Das Verhalten der Betreuer wurde nicht thematisiert. Die Vermittlungsweise der Inhalte wurde jedoch durch die identischen Lernmaterialien in den jeweiligen Entwicklungsschritten standardisiert.

Die in Kapitel 5.4 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass es den Betreuern unter Einsatz von Tablets besonders gut gelingt, mit den Schülern in Interaktion zu treten. Hier wird deren Rolle besonders deutlich: Lernen geschieht in einem Beziehungsdreieck aus Schülern, Unterrichtsmaterial und Lehrkräften. Wie in Kapitel 3.2.5 dargelegt, sollten in einem autonomieförderlichen Lernsetting verschiedene Elemente berücksichtigt werden. Es wurde angestrebt, diese umzusetzen. Die ersten von Reeve (2004) genannten Punkte beziehen sich auf die Konzeptionierung der Workshops: Die Schüler sollten möglichst viel Zeit eigenständig arbeiten können und Vorgaben im Sinne von Lösungen und befehlsartigen Vorschriften vermieden werden. Wie in Kapitel 5.2.5 diskutiert, ist bei dem Einsatz molekularbiologischer Gerätschaften eine Einweisung der Schüler in die laborspezifischen Techniken unumgänglich und der Praktikumstag durch Versuchsvorschriften geprägt. Das freie Arbeiten ist zudem dadurch eingeschränkt, dass die Experimente in einen Kontext gestellt werden, dessen Fragestellung am Ende des Praktikumstages beantwortet werden soll. Die Ergebnisse der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) zeigten in der Wahrnehmung der Wahlfreiheit Werte im mittleren Bereich. Hier bestehen Einschränkungen, welche auch durch ein stärker projektorientiertes Vermittlungskonzept nicht positiv beeinflusst werden konnten. Die weiteren von Reeve (2004) zusammengetragenen Elemente thematisieren das Lehrerverhalten: Betreuer sollen eine einfühlsame Kommunikation umsetzen, keinen Druck ausüben, Leistungen loben, Kritik vermeiden und Fragen beantworten. Diese Punkte können als differenziertere Ausformulierung der Empfehlung von Niemiec und Ryan (2009) angesehen werden, angemessenes Feedback zu geben und eine positive Einstellung gegenüber dem Lernenden einzunehmen. Die Ergebnisse der KIM in der Skala ‚kein Druck‘, in der Skala ‚wahrgenommene Kompetenz‘ sowie des IMI in der Skala ‚Relatedness‘ verdeutlichen bereits durch hohe Werte, dass diese Elemente offensichtlich erfolgreich umgesetzt werden. Niemiec und Ryan (2009) fordern zudem optimale Herausforderungen und angemessenes Material zur Unterstützung des Kompetenzerlebens. Die Passung von Anforderungen und Fähigkeiten ist laut

Csikszentmihalyi (1985) zudem für die Entstehung von *Flow*-Erleben notwendig. Dieser Zustand des völligen Aufgehens in einer Sache ist wiederum dem Erleben intrinsischer Motivation zuträglich (siehe Kapitel 3.2.9). Im folgenden Materialteil wird daher ergänzend zu den bereits vorgestellten Lernsettings aufgeführt, welche Verhaltensweisen von Betreuern im Schülerlabor motivationsförderlich wirken könnten. Sie wurden im *teutolab*-biotechnologie über alle Entwicklungsschritte hinweg überwiegend umgesetzt.

5.5.2 Material

In Anlehnung an Su und Reeve (2011) werden unter autonomieförderlichem Verhalten alle Aktionen und Äußerungen verstanden, welche den internen Ort der Handlungsverursachung, Volition und die wahrgenommene Wahlfreiheit während einer Aktion unterstützen. Die konkrete Umsetzung im Schülerlabor orientiert sich an den operationalen Definitionen der Bedingungen autonomieförderlichem Verhaltens nach Su und Reeve (2011) und ist in Tabelle 11 aufgeführt.

Tab. 11: Praktische Umsetzung der Bedingungen autonomieförderlichen Verhaltens in Orientierung an Su und Reeve (2011)

Bedingung	Praktische Umsetzung
Schaffung eines bedeutsamen Rahmens	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hervorhebung der Bedeutung des Kontextes des Workshops für die Lebenswelt der Schüler (z. B. beim Einstieg ins Thema)
Negative Gefühle anerkennen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aussagen zur Vermeidung von Druckbedingungen (z. B. „Es ist nicht schlimm, wenn...“)
Gebrauch nicht-kontrollierender Sprache	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vermeidung kontrollierender Signalwörter (z. B. „Ihr müsst“, „Ihr sollt“ etc.“) ➤ Verwendung von alternativen Redewendungen (z. B. „Ihr könnt“, „Wenn Ihr wollt, ...“)
Wahlmöglichkeiten bieten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Freie Auswahl der Gruppenzusammensetzung ➤ Nutzung der Geräte (Nach Sicherheitseinweisung) nach individuellen Absprachen der Schüler ohne Vorgaben durch Betreuer ➤ Selbstständige Beachtung zeitlicher Abläufe durch die Schüler (z. B. Inkubationszeiten) ➤ Angabe von Gründen für Regeln (z. B. bei der Sicherheitseinweisung)
Unterstützung des Interesses, Vergnügens und der Erfüllung der <i>Basic Needs</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informierendes Feedback ➤ Aufforderung zum Fragenstellen ➤ Aufforderung zu gegenseitiger Hilfe ➤ Motivierende Aussagen/Äußerungen

5.5.3 Methoden

5.5.3.1 Studiendesign und Stichproben

Die Lernumgebung mit Fokussierung auf die Umsetzung des gemäßigten Konstruktivismus, das *Forschende Lernen* und die wahrgenommene Autonomieförderung sowie die Passung der Anforderungen und das *Flow*-Erleben wurden anhand verschiedener Stichproben, welche einen Workshop im Schülerlabor durchführten, untersucht. Abbildung 52 zeigt das Design dieser abschließenden Teilstudie 5 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichproben. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Die Fragebögen zum gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Marsch et al., 2015), zum autonomiefördernden Lernklima (LCQ, Deci & Ryan, 2018b) und zum *Forschenden Lernen* (*teuto-FL*) wurden am Ende der Workshops im Nachtest beantwortet. Der Fragebogen zum *Flow*-Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) wurde während des Praktikumstages direkt vor der Mittagspause beantwortet.

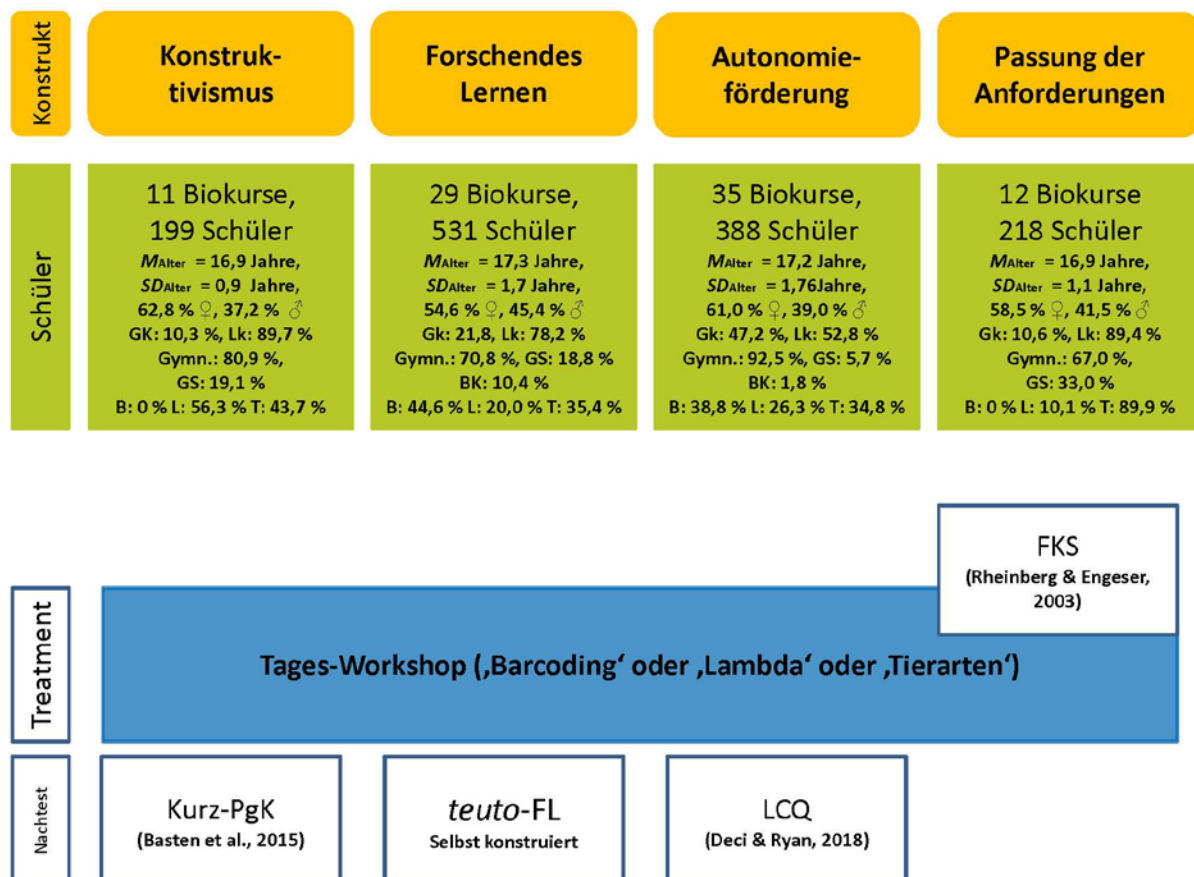


Abb. 52: Design der abschließenden Teilstudie 5 zur Wahrnehmung von gemäßigt konstruktivistischen Prozessmerkmalen, autonomieförderlichem Lernklima und Merkmalen *Forschenden Lernens* sowie des *Flow*-Erlebens in den Workshops

5.5.3.2 Testinstrumente

Gemäßigter Konstruktivismus

Die Merkmale des gemäßigten Konstruktivismus wurden unter Verwendung der Kurzskala zur Messung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale (Kurz-PgK) (Marsch et al., 2015) erhoben. Hier handelt es sich um die Kurzversion eines von Urhahne, Marsch, Wilde und Krüger (2011) entwickelten Testinstrumentes. Wie in Kapitel 3.1.2 dargestellt, ist Lernen nach konstruktivistischer Auffassung ein aktiver, selbstgesteuerter, emotionaler, situativer, sozialer und konstruktiver Prozess. Die Dimensionen des Konstruktes werden in den entsprechenden Subskalen Sub_PgK_Ak, Sub_PgK_Sg, Sub_PgK_So und Sub_Pg_Ko durch je zwei bis drei Items abgedeckt. In Tabelle 12 sind die Subskalen mit Beispielitems und Reliabilitäten aufgeführt, die Gesamtheit der Fragen findet sich in Anhang 25.

Tab. 12: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems der Kurzskala des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Marsch et al., 2015)

Subskala	Beispielitem	Reliabilität ¹
Sub_PgK_Ak	Ich war im <i>teutolab</i> beim Lernen aktiv.	0,690
Sub_PgK_Sg	Im <i>teutolab</i> konnte ich selbst bestimmen, was ich lerne.	0,734
Sub_PgK_Em	Ich hatte im <i>teutolab</i> Spaß beim Lernen.	0,792
Sub_PgK_Si	Ich habe im <i>teutolab</i> etwas gelernt, was mir im Leben weiterhilft.	0,795
Sub_PgK_So	Ich habe im <i>teutolab</i> beim Lernen mit anderen zusammen gearbeitet.	0,804
Sub_PgK_Ko	Ich habe im <i>teutolab</i> auf vorhandenes Wissen aufgebaut.	0,819
Ges_PgK		0,881

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

Forschendes Lernen

Der Fragebogen zum *Forschenden Lernen* wurde selbst konstruiert. Hier war zunächst eine zweifaktorielle Lösung angestrebt: Wie in Kapitel 3.1.3 dargestellt, wird *Forschendes Lernen* einerseits als Prozess des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns betrachtet. Andererseits weist *Forschendes Lernen* als wissenschaftliche Methode die Merkmale wissenschaftlichen Arbeitens auf. Die auf den Prozess fokussierenden Items wurden in Orientierung an den Forschungszyklus nach Mayer und Ziemek (2006) formuliert. Die auf die Merkmale abzielenden Items decken typische Aspekte in Anlehnung an verschiedene Autoren ab: Nach Mayer

(2016) werden beim *Forschenden Lernen* Probleme gelöst, neue Erkenntnisse gewonnen, etwas Neues gelernt und selbstständig Erfahrungen gemacht. Nach Edelson (1997) wird beim *Forschenden Lernen* eine neue Arbeitsweise erlernt und im Team zusammen gearbeitet. Nach Healey und Jenkins (2009) muss *Forschendes Lernen* nicht unbedingt aktiv umgesetzt werden, sondern der Lernende kann auch etwas über wissenschaftliche Arbeit erfahren. Zudem wurde die direkte Einschätzung der Schüler zum *Forschenden Lernen* und wissenschaftlichen Arbeiten im Sinne eines Selbstberichtswertes erfragt.

Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug 0,813 und überschritt somit die Untergrenze von 0,6 für eine Eignung der Stichprobe. Die Faktorenanalyse zeigte vier Faktoren auf: Drei Items fokussieren auf das Lernen selbst, was unweigerlich im *Forschenden Lernen* enthalten ist (Sub_FL_Lernen). Vier Items decken die Skala des direkten Bezuges zum wissenschaftlichen Arbeiten ab (Sub_FL_Wiss). Der Prozess des *Forschenden Lernens* gliedert sich entsprechend der Faktorenanalyse in die zwei Faktoren Versuchsplanung (Sub_FL_Vplanung) und Versuchsdurchführung inklusive Versuchsauswertung (Sub_FL_Vdurchf). Zwei Items wurden wegen zu geringer Faktorladungen (deutlich < 0,40) ausgeschlossen. Hierbei handelt es sich um die in Anlehnung an Edelson (1997) formulierten Items. Die verwendeten Items und die rotierten Faktorladungen sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tab. 13: Items und Subskalen des Fragebogens zum *Forschenden Lernen*

Kürzel	Item	Rotierte Faktorladung ¹			
		FL_V pla- nung	FL_V durch- führg.	FL_ Wiss	FL_ Ler- nen
FL_Vplanung_1	Ich habe im <i>teutolab</i> eine Forschungsfrage beantwortet.	0,438			
FL_Vplanung_2	Ich habe im <i>teutolab</i> eine Hypothese aufgestellt.	0,975			
FL_Vplanung_3	Ich habe im <i>teutolab</i> einen Versuch geplant.	0,418			
FL_Vdurchf_1	Ich habe im <i>teutolab</i> einen Versuch durchgeführt.		0,304		
FL_Vdurchf_2	Ich habe im <i>teutolab</i> (mögliche) Versuchsergebnisse erhalten		0,798		
FL_Vdurchf_3	Ich habe im <i>teutolab</i> (mögliche) Versuchsergebnisse diskutiert		0,494		
FL_Wiss_1	Ich habe im <i>teutolab</i> forschend gelernt.			0,396	

FL_Wiss_2	Ich habe im <i>teutolab</i> wie ein Wissenschaftler gearbeitet.			0,702	
FL_Wiss_3	Ich habe im <i>teutolab</i> erfahren, wie ein Wissenschaftler arbeitet.			0,669	
FL_Wiss_4	Ich habe im <i>teutolab</i> selbstständig Erfahrungen gemacht.			0,540	
FL_Lernen_1	Ich habe im <i>teutolab</i> Probleme/Aufgaben gelöst.				0,368
FL_Lernen_2	Ich habe im <i>teutolab</i> neue Erkenntnisse gewonnen.				0,840
FL_Lernen_3	Ich habe im <i>teutolab</i> etwas Neues gelernt.				0,780
Reliabilität₂					
Sub_FL_Vplanung		0,617			
Sub_FL_Vdurchführung			0,544		
Sub_FL_Wiss				0,737	
Sub_FL_Lernen					0,724
Ges_FL	0,786				

Anmerkungen:

¹ Extraktionsmethode: Hauptachsen-Faktorenanalyse
Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

² Cronbachs Alpha

Autonomieförderung

Die Wahrnehmung von Autonomieförderung wurde unter Verwendung des Learning Climate Questionnaire (LCQ, Deci & Ryan, 2018b) erhoben. Die Autoren bieten dieses eindimensionale Messinstrument als Langversion mit 15 Items sowie als Kurzversion mit sechs Items an. Für die Untersuchung im *teutolab*-biotechnologie wurden die Kurzversion sowie drei weitere Items ausgewählt, welche auch singular betrachtet von Interesse für Schülerlabore sind (LCQ_1 bis LCQ_9). In Tabelle 14 sind alle verwendeten Items sowie die Reliabilität des Gesamt-Fragebogens aufgeführt. Die sechs Fragen der Kurzversion sind mit ‚K‘ markiert.

Tab. 14: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems des Learning Climate Questionnaire (LCQ, Deci & Ryan, 2018b)

Subskala	Item	Reliabilität ¹
LCQ_1	Ich habe das Gefühl, dass mein Betreuer mit Wahlmöglichkeiten und Optionen bietet. (K)	
LCQ_2	Ich fühle mich von meinem Betreuer verstanden. (K)	
LCQ_3	Mein Betreuer hat mir das Gefühl vermittelt, dass er daran glaubt, dass ich innerhalb des Kurses gut bin. (K)	
LCQ_4	Mein Betreuer hat sich vergewissert, dass ich die Kursziele und meine Aufgaben wirklich verstanden habe.	
LCQ_5	Mein Betreuer hat mich dazu ermutigt, Fragen zu stellen. (K)	
LCQ_6	Mein Betreuer beantwortet meine Fragen vollständig und sorgfältig.	
LCQ_7	Mein Betreuer hört zu, wie ich Dinge machen würde. (K)	
LCQ_8	Ich fühle mich nicht sehr gut damit, wie mein Betreuer mit mir redet.	
LCQ_9	Mein Betreuer versucht zunächst meine Sichtweise auf die Dinge zu verstehen, bevor er neue Herangehensweisen vorschlägt. (K)	
Ges_LCQ		

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha (K) = Item der Kurzversion des Fragebogens

Passung der Fähigkeiten und Flow-Erleben

Die Passung der Fähigkeiten mit den Anforderungen wurde durch die drei Items im Appendix zur *Flow*-Kurzskala (FKS, Rheinberg et al., 2003) erhoben (E_1 bis E_3). Diese Übereinstimmung wird einerseits als zentrale Bedingung für das Zustandekommen von *Flow* angesehen, andererseits ist sie ein hilfreiches Tool, um die Entwickler von Lernangeboten über die Beurteilung der Schwierigkeit durch die Anwender zu informieren. Die FKS wird als zweidimensionales Testinstrument angewendet, welches sich in die Subskala ‚Glatter, automatisierter Verlauf‘ (Sub_Flow_GAV) und ‚Absorbiertheit‘ (Sub_Flow_Abs) untergliedert. Die Subskalen und die vollständig verwendeten Items sind in Tabelle 15 aufgeführt. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft völlig zu“ (5) bzw. bei der Passung der Fähigkeiten von „leicht“ (1) bis „schwer“ (5) bzw. von „zu gering“ (1) bis „zu hoch“ (5) bzw. „niedrig“ (1) bis „hoch“ (5) verwendet.

Tab. 15: Subskalen, Reliabilitäten und Items der Flow-Kurzskala (FKS), (Rheinberg et al., 2003)

Subskala	Item	Reli- abilität ¹
Flow_Abs_1	Ich fühle mich optimal beansprucht.	
Flow_GAV_1	Meine Gedanken bzw. Aktivitäten laufen flüssig und glatt.	
Flow_Abs_2	Ich merke gar nicht, wie die Zeit vergeht.	
Flow_GAV_2	Ich habe keine Mühe, mich zu konzentrieren.	
Flow_GAV_3	Mein Kopf ist völlig klar.	
Flow_Abs_3	Ich bin ganz vertieft in das, was ich da gerade mache.	
Flow_GAV_4	Die richtigen Gedanken/Bewegungen kommen wie von selbst.	
Flow_GAV_5	Ich weiß bei jedem Schritt, was ich zu tun habe.	
Flow_GAV_6	Ich habe das Gefühl, den Ablauf unter Kontrolle zu haben.	
Flow_Abs_4	Ich bin völlig selbstvergessen.	
E_1	Verglichen mit dem, was ich sonst mache, ist die jetzige Tätigkeit...	
E_2	Für mich persönlich sind die jetzigen Anforderungen...	
E_3	Ich denke, meine Fähigkeiten auf diesem Gebiet sind...	
Sub_Flow_Abs		0,668
Sub_Flow_GAV		0,744
Ges_Flow		0,704

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

5.5.4 Ergebnisse

5.5.4.1 Gemäßigter Konstruktivismus

Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale

Das Geschlecht hat einen Einfluss auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale. Bei Mädchen sind die Mittelwerte in den Subskalen ‚aktiv‘ (Sub_PgK_Ak), ‚emotional‘ (Sub_PgK_Em), ‚situativ‘ (Sub_PgK_Si), ‚sozial‘ (Sub_PgK_So), ‚konstruktiv‘ (Sub_PgK_Ko) und in der Gesamtskala (Ges_PgK) höher als bei Jungen. Lediglich in der Subskala ‚selbstgesteuert‘ (Sub_PgK_Sg) weisen Mädchen niedrigere Werte auf. Die Unterschiede sind nur in der Subskala ‚aktiv‘ signifikant bei niedriger Effektstärke (Sub_PgK_Ak: $F(1;197) = 4,744$, $p = 0,030$, $\eta_p^2 = 0,024$; Sub_PgK_Sg: $F(1;197) = 0,389$, $p = 0,534$; Sub_PgK_Em: $F(1;197) = 3,204$, $p = 0,075$, Sub_PgK_Si: $F(1;197) = 1,952$, $p = 0,164$; Sub_PgK_So: $F(1;197) = 2,653$, $p = 0,105$; Sub_PgK_Ko: $F(1;197) = 2,071$, $p = 0,152$; Ges_PgK:

$F(1;197) = 3,017$, $p = 0,084$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 53 dargestellt.

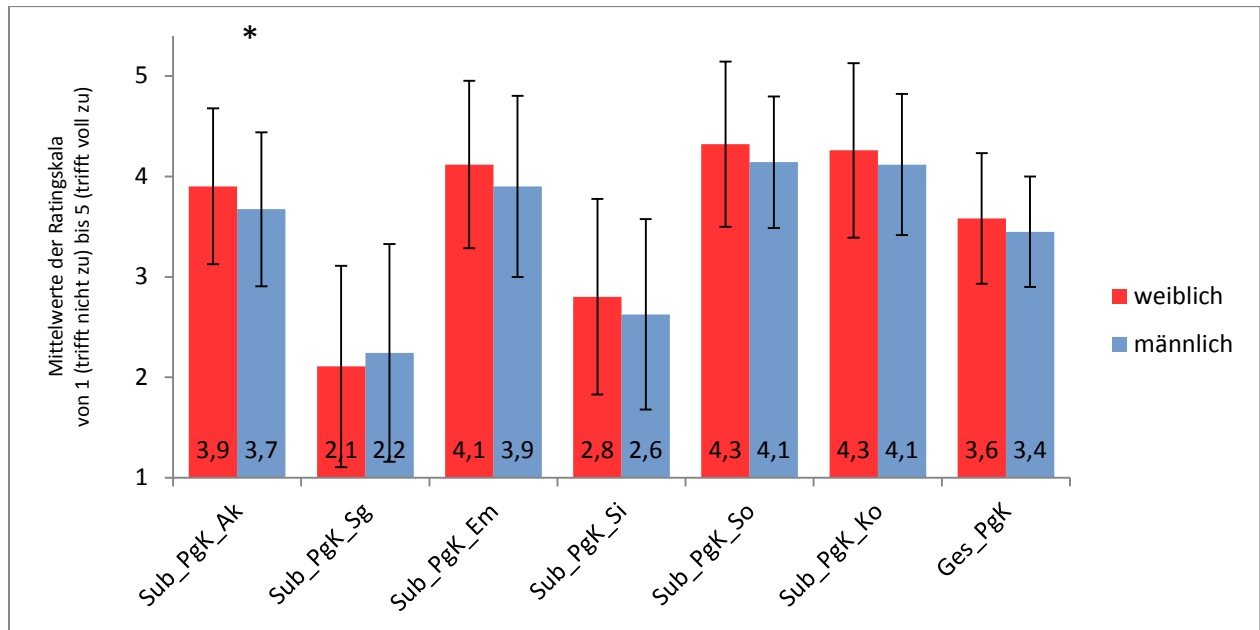


Abb. 53: Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Wilde et al., 2015) (weiblich: $n = 125$, männlich: $n = 74$)

Einfluss der Kurswahl auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale

Der Einfluss der Kurswahl konnte nicht geprüft werden, da die Stichprobe nur einen Grundkurs beinhaltete.

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale

Der Zeugnisdurchschnitt hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale (Sub_PgK_Ak: $F(2;170) = 1,834$, $p = 0,163$; Sub_PgK_Sg: $F(2;170) = 1,095$, $p = 0,337$; Sub_PgK_Em: $F(2;170) = 0,379$, $p = 0,685$; Sub_PgK_Si: $F(2;170) = 0,261$, $p = 0,770$; Sub_PgK_So: $F(2;170) = 0,145$, $p = 0,865$; Sub_PgK_Ko: $F(2;170) = 2,658$, $p = 0,073$; Ges_PgK: $F(2;170) = 0,198$, $p = 0,820$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 54 dargestellt.

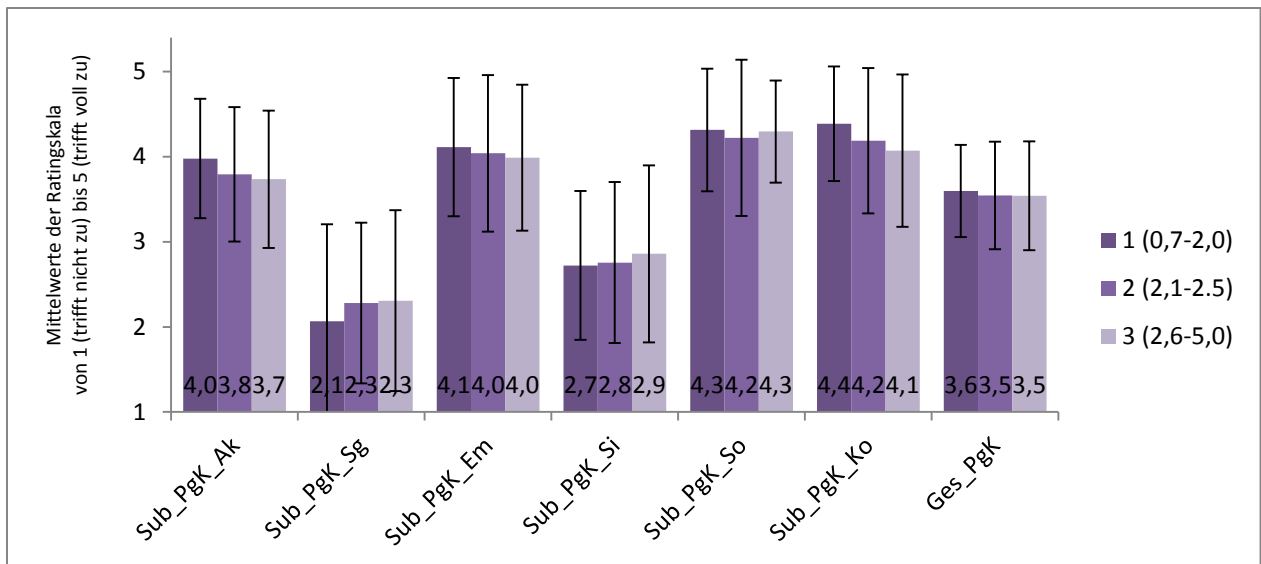


Abb. 54: Einfluss der Zeugnisdurchschnitt auf die Wahrnehmung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Wilde et al., 2015) (1. Tertil: $n = 66$, 2. Tertil: $n = 56$, 3. Tertil: $n = 51$)

Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale

Die Biologiezensur hat in der Subskala ‚Selbstgesteuert‘ einen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung konstruktivistischer Merkmale (Sub_PgK_Sg: $F(2;181) = 3,588$, $p = 0,030$, $\eta_p^2 = 0,038$). Die Effektstärke ist niedrig. In den anderen Subskalen sind die Unterschiede nicht signifikant (Sub_PgK_Ak: $F(2;181) = 0,438$, $p = 0,646$; Sub_PgK_Em: $F(2;181) = 0,800$, $p = 0,451$; Sub_PgK_Si: $F(2;181) = 1,631$, $p = 0,199$; Sub_PgK_So: $F(2;181) = 0,544$, $p = 0,581$; Sub_PgK_Ko: $F(2;181) = 3,479$, $p = 0,033$, $\eta_p^2 = 0,037$; Ges_PgK: $F(2;181) = 0,977$, $p = 0,378$). Der signifikante Unterschied besteht laut Post-hoc-Test in der Subskala ‚Selbstgesteuert‘ zwischen dem oberen und dem unteren Tertil (siehe Anhang 26). In den anderen Subskalen liegen die Werte des mittleren Tertils tendenziell am höchsten. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 55 dargestellt.

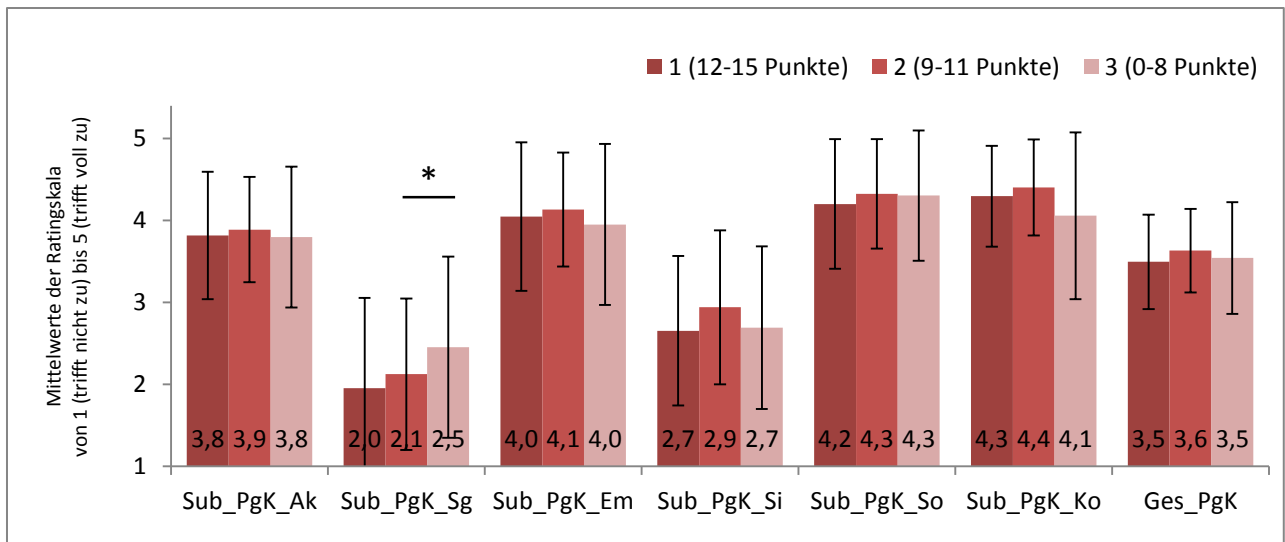


Abb. 55: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Wilde et al., 2015) (1. Terzil: $n = 56$, 2. Terzil: $n = 65$, 3. Terzil: $n = 63$)

5.5.4.2 Forschendes Lernen

Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung des Forschenden Lernens

Das Geschlecht hat einen schwachen Einfluss auf die Wahrnehmung *Forschenden Lernens*. Mädchen verfügen in der das Lernen betonenden Subskala (Sub_FL_Lernen) über signifikant höhere Mittelwerte als Jungen (Sub_FL_Lernen: $F(1;525) = 5,252$, $p = 0,022$, $\eta_p^2 = 0,010$). Die Effektstärke ist niedrig. In den beiden den Prozess betonenden Subskalen zur Versuchsplanung (Sub_FL_Vplanung) und Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung (Sub_FL_Vdurchf), der Subskala zum wissenschaftlichem Arbeiten (Sub_FL_Wiss) sowie in der Gesamtskala (Ges_FL) des *Forschenden Lernens* sind die Mittelwerte nahezu gleich (Sub_FL_Vplanung: $F(1;525) = 0,565$, $p = 0,453$; Sub_FL_Vdurchf: $F(1;525) = 0,931$, $p = 0,335$, Sub_FL_Wiss: $F(1;525) = 0,279$, $p = 0,598$; Ges_FL: $F(1;525) = 0,940$, $p = 0,333$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 56 dargestellt.

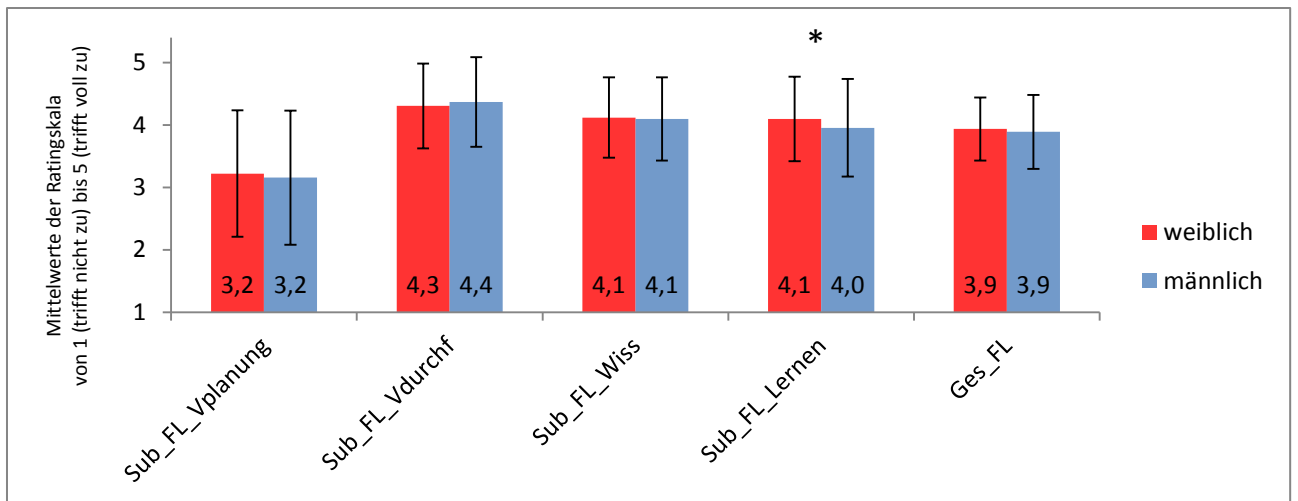


Abb. 56: Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum *Forschenden Lernen* (weiblich: $n = 288$, männlich: $n = 239$)

Einfluss der Kurswahl auf die Wahrnehmung des *Forschenden Lernens*

Die Kurswahl hat einen Einfluss auf die Wahrnehmung *Forschenden Lernens*. Leistungskursschüler berichten in allen Subskalen sowie in der Gesamtskala außer in der das Lernen betonenden Subskala signifikant bis höchst signifikant höhere Werte als Grundkursschüler (Sub_FL_Vplanung: $F(1;507) = 4,984$, $p = 0,026$, $\eta_p^2 = 0,010$; Sub_FL_Vdurchf: $F(1;507) = 12,762$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,025$; Sub_FL_Wiss: $F(1;507) = 6,252$, $p = 0,013$, $\eta_p^2 = 0,012$; Sub_FL_Lernen: $F(1;507) = 0,459$, $p = 0,499$; Ges_FL: $F(1;507) = 10,134$, $p = 0,002$, $\eta_p^2 = 0,020$). Die Effektstärken sind niedrig. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 57 dargestellt.

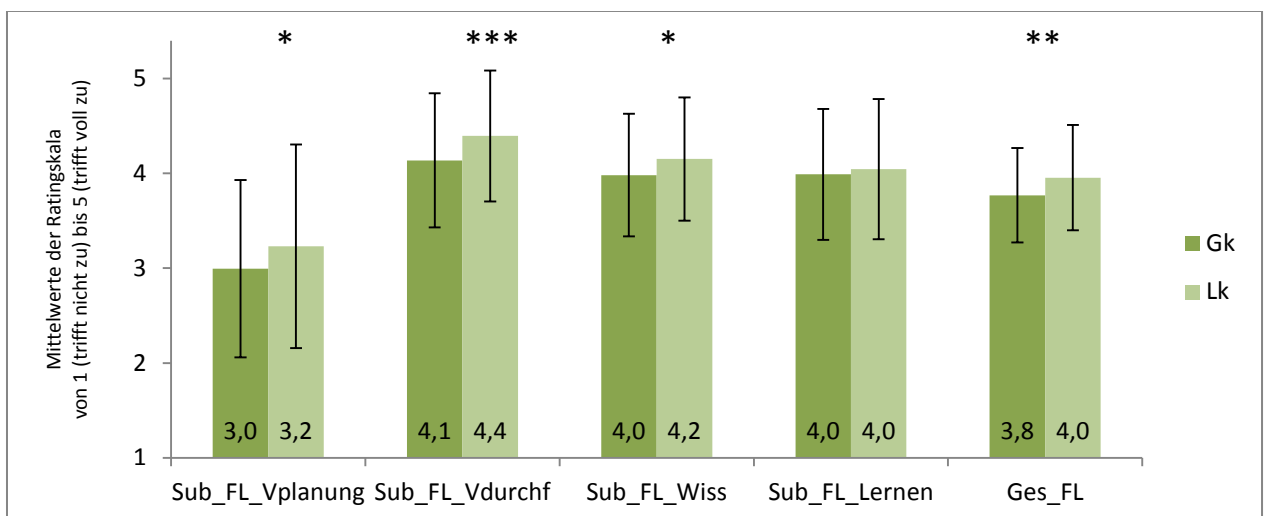


Abb. 57: Einfluss der Kurswahl auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum *Forschenden Lernen* (Grundkurs: $n = 111$, Leistungskurs: $n = 398$)

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung des *Forschenden Lernens*

Der Zeugnisdurchschnitt hat einen Einfluss auf die Wahrnehmung *Forschenden Lernens*. Die Schüler des unteren Terzils verfügen durchgängig über die niedrigsten Werte. Die Unterschiede sind in den das Lernen und die Merkmale von wissenschaftlichem Arbeiten betonenden Subskalen sowie in der Gesamtskala signifikant (Sub_FL_Wiss: $F(2;460) = 4,382$, $p = 0,013$, $\eta_p^2 = 0,019$; Sub_FL_Lernen: $F(2,460) = 4,414$, $p = 0,013$, $\eta_p^2 = 0,019$; Ges_FL: $F(2,460) = 4,039$, $p = 0,018$, $\eta_p^2 = 0,017$). Die Effektstärken sind niedrig. Die signifikanten Unterschiede bestehen laut Post-hoc-Test in Subskala des Lernens zwischen dem mittleren und unteren Terzil, in der Gesamtskala und in der Subskala des wissenschaftlichen Arbeitens von den beiden höheren Terzilen zum unteren Terzil (siehe Anhang 27). Bei den beiden den Prozess betonenden Subskalen zur Versuchsplanung und -durchführung handelt es sich nur um Tendenzen (Sub_FL_Vplanung: $F(2;460) = 0,884$, $p = 0,414$; Sub_FL_Vdurchf: $F(2;460) = 1,127$, $p = 0,325$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 58 dargestellt.

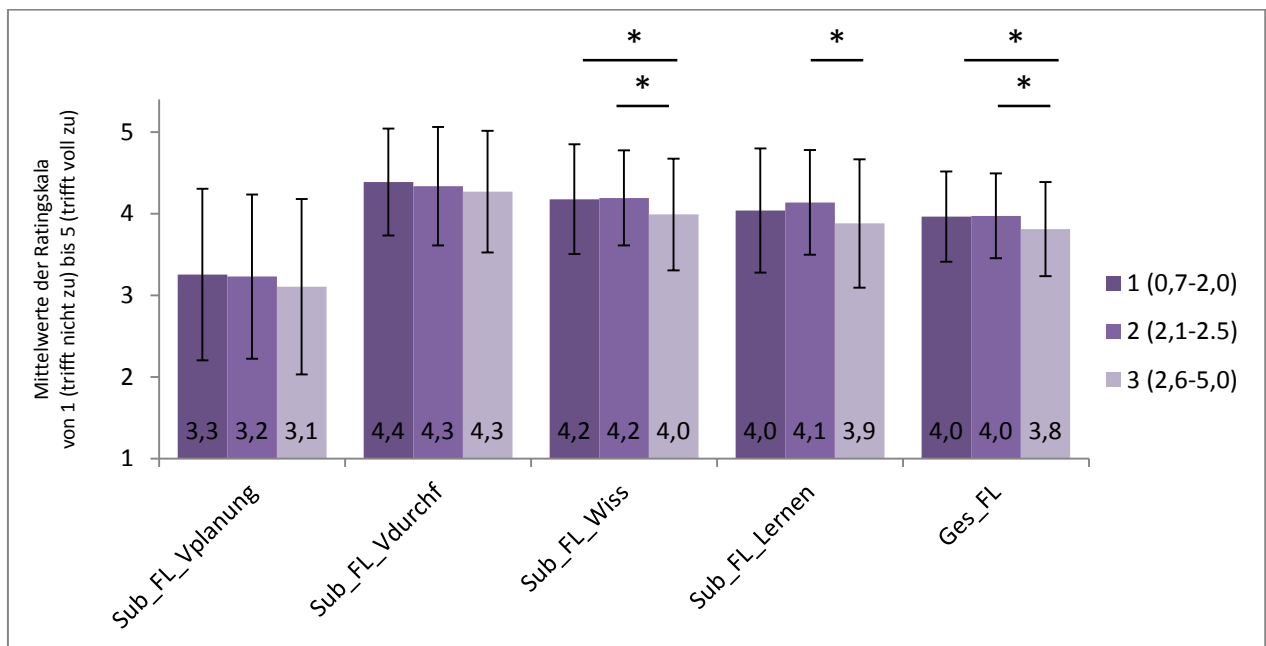


Abb. 58: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum *Forschenden Lernen* (1. Terzil: $n = 179$, 2. Terzil: $n = 140$, 3. Terzil: $n = 144$)

Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung des *Forschenden Lernens*

Die Biologiezensur hat einen Einfluss auf die Wahrnehmung *Forschenden Lernens*: Die Schüler des unteren Terzils verfügen über die niedrigsten Werte. Die

Unterschiede sind in den Subskalen der Versuchsplanung und des wissenschaftlichen Arbeiten sowie in der Gesamtskala signifikant (Sub_FL_Vplanung: $F(2;481) = 3,255$, $p = 0,039$, $\eta_p^2 = 0,013$; Sub_FL_Vdurchf: $F(1;481) = 0,621$, $p = 0,538$; Sub_FL_Wiss: $F(2;481) = 5,394$, $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,022$; Sub_FL_Lernen: $F(2,481) = 2,047$, $p = 0,130$; Ges_FL: $F(2,481) = 4,161$, $p = 0,016$, $\eta_p^2 = 0,017$). Die Effektstärken sind niedrig. Die signifikanten Unterschiede bestehen laut Post-hoc-Test in der Subskala der Versuchsplanung zwischen dem obersten und unteren Terzil, in der Subskala des wissenschaftlichen Arbeiten von den beiden höheren zum unteren Terzil und in der Gesamtskala zwischen dem mittleren und dem unteren Terzil (siehe Anhang 28). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 59 dargestellt.

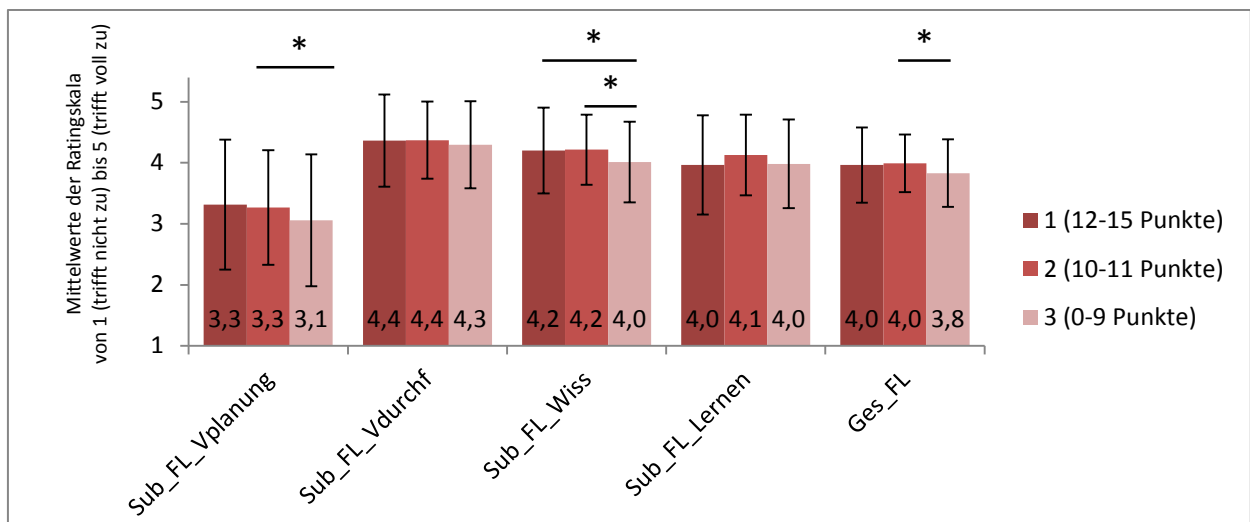


Abb. 59: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum *Forschenden Lernen* (1. Terzil: $n = 147$, 2. Terzil: $n = 140$, 3. Terzil: $n = 197$)

5.5.4.3 Autonomieförderung

Auf die wahrgenommene Autonomieförderung haben das Geschlecht, die Kurswahl, der Zeugnisdurchschnitt und die Biologiezensur keinen Einfluss. Daher ist kein Vergleich dieser eindimensionalen Skala dargestellt, sondern es sind zur detaillierteren Betrachtung die Mittelwerte aller Items sowie der Gesamtskala in Abbildung 60 aufgeführt.

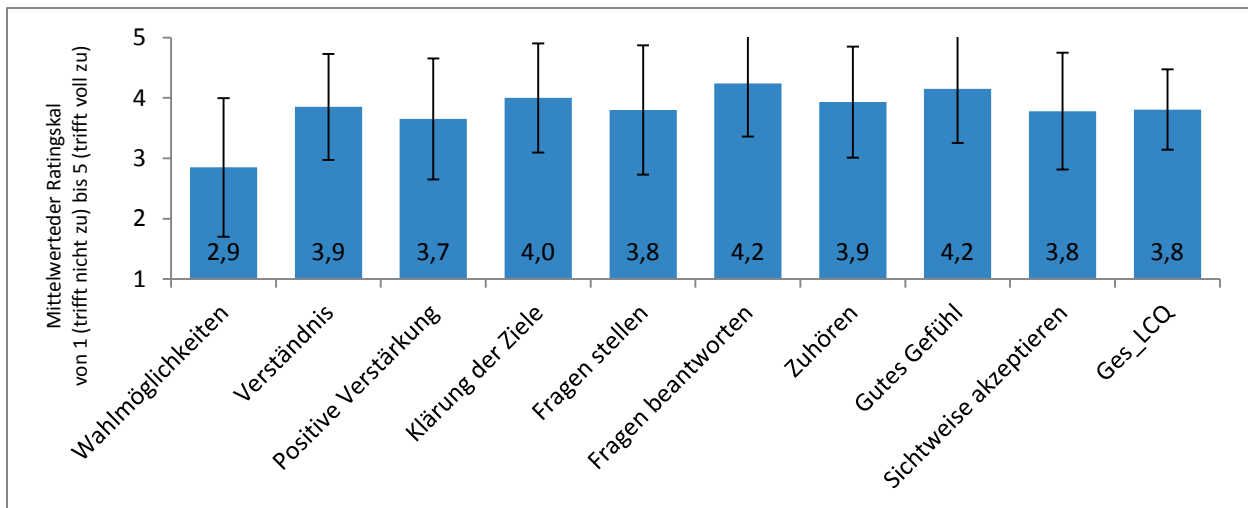


Abb. 60: Mittelwerte der Items des Learning Climate Questionnaire (LCQ, Deci & Ryan, 2018b) (N = 388)

5.5.4.4 Passung der Fähigkeiten und *Flow*-Erleben

Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das *Flow*-Erleben

Zunächst hat das Geschlecht tendenziell einen Einfluss auf die Selbsteinschätzung: Mädchen berichten höhere Werte bei der Frage, für wie schwer sie die Tätigkeit im Schülerlabor im Vergleich zu ihren sonstigen Tätigkeiten halten (E_1_Vergleich). Zudem schätzen sie ihre eigenen Fähigkeiten (E_3_Fähigkeiten) niedriger ein als Jungen. Diese Unterschiede sind nicht signifikant (E_1_Vergleich: $F(1;214) = 3,813$, $p = 0,052$; E_3_Fähigkeiten: $F(1;214) = 3,216$, $p = 0,074$). Bei den Anforderungen, welche an sie gestellt werden (E_2_Anforderungen), berichten sie signifikant höhere Werte. Hier symbolisiert ein niedriger Wert (zu) leichte Anforderungen, ein hoher Wert (zu) schwere Anforderungen und ein mittlerer Wert passende Anforderungen (E_2_Anforderungen: $F(1;214) = 4,615$, $p = 0,033$; $\eta_p^2 = 0,021$). Die Effektstärke ist niedrig. In der Subskala der Absorbiertheit (Sub_Flow_Abs) berichten weibliche Schüler höhere Werte, in der Subskala zum glatten, automatisierten Verlauf (Sub_Flow_GAV) berichten männliche Schüler höhere Werte (Sub_Flow_Abs: $F(1;215) = 3,489$, $p = 0,063$; Sub_Flow_GAV: $F(1;214) = 3,804$, $p = 0,052$). In der Gesamtskala (Ges_Flow) liegen keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern vor (Ges_Flow: $F(1;214) = 0,028$, $p = 0,867$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 61 dargestellt.

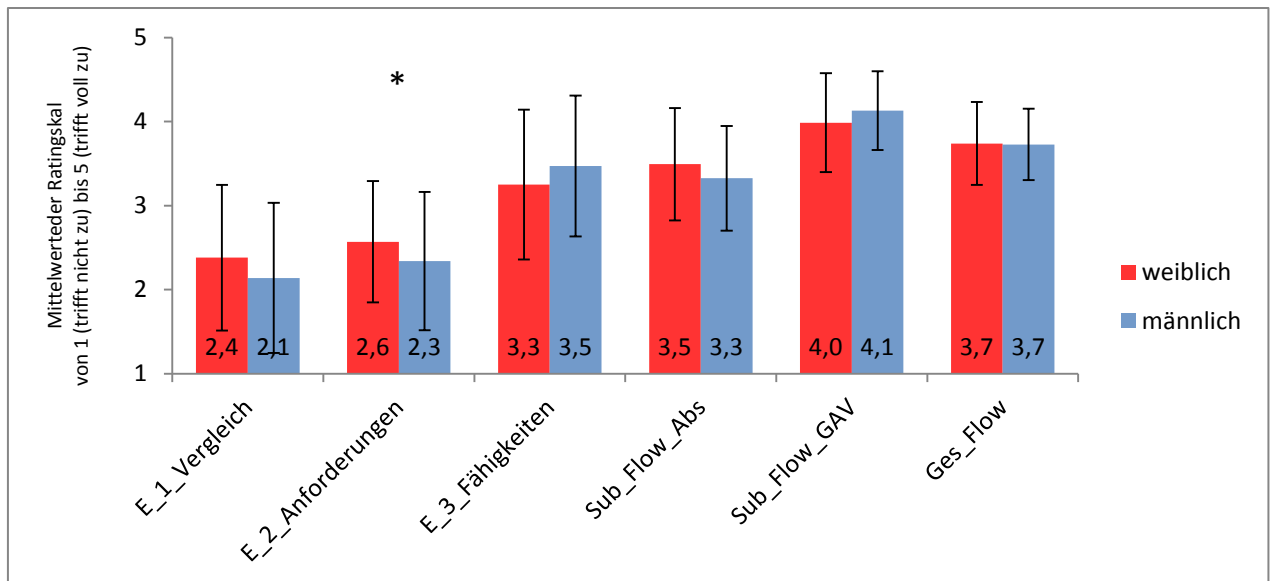


Abb. 61: Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) (weiblich: $n = 127$, männlich: $n = 90$)

Einfluss der Kurswahl auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben

Der Einfluss der Kurswahl konnte nicht geprüft werden, da die Stichprobe nur einen Grundkurs beinhaltete.

Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben

Der Zeugnisdurchschnitt hat einen signifikanten Einfluss auf die Einschätzung der eigenen Fähigkeiten der Schüler (E_3_Fähigkeiten: $F(2;193) = 3,069$, $p = 0,049$; $\eta_p^2 = 0,031$). Die Effektstärke ist niedrig. Laut Post-hoc-Test schätzen Schüler aus dem mittleren Terzil sie signifikant geringer ein als diejenigen aus dem oberen Terzil (siehe Anhang 29). Auf die anderen Einschätzungen sowie die Subskalen und die Flow-Gesamtskala hat der Zeugnisdurchschnitt keinen Einfluss (E_1_Vergleich: $F(2;192) = 0,100$, $p = 0,905$; E_2_Anforderungen: $F(2;190) = 0,638$, $p = 0,530$; Sub_Flow_Abs: $F(2,193) = 0,889$, $p = 0,413$; Sub_Flow_GAV: $F(2;193) = 0,701$, $p = 0,497$; Ges_Flow: $F(2,193) = 0,677$, $p = 0,509$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 62 dargestellt.

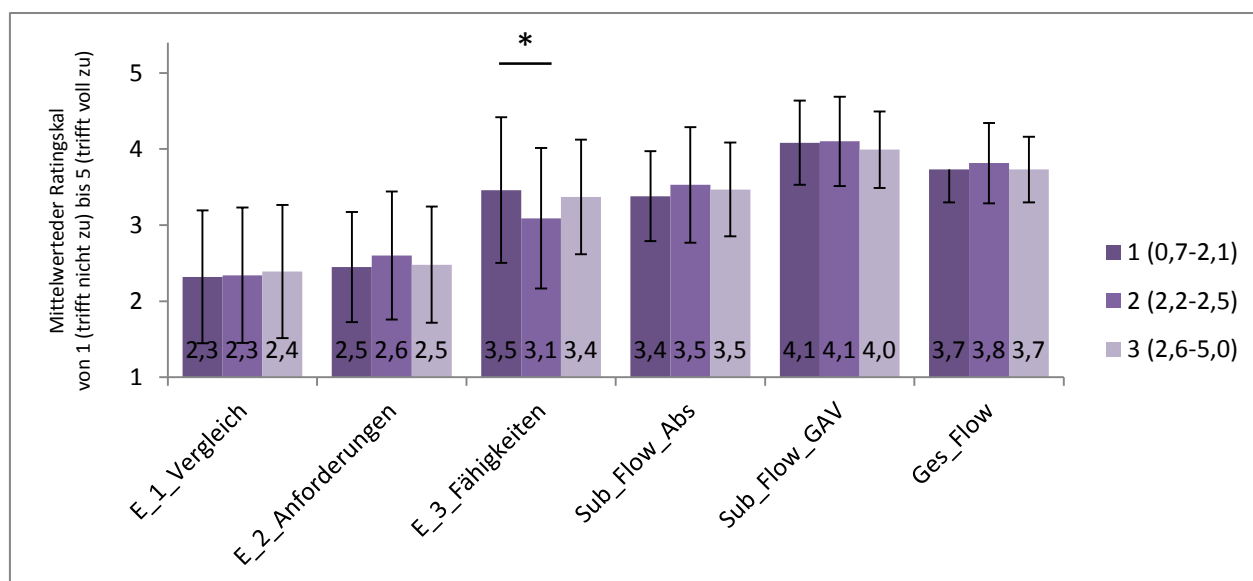


Abb. 62: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) (1. Terzil: $n = 76$, 2. Terzil: $n = 58$, 3. Terzil: $n = 62$)

Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben

Die Biologiezensur hat einen signifikanten Einfluss auf die Subskala zum glatten, automatisierten Verlauf (Sub_Flow_GAV: $F(2;205) = 3,360$, $p = 0,037$; $\eta_p^2 = 0,032$). Die Effektstärke ist niedrig. Laut Post-hoc-Test berichteten Schüler aus dem oberen Terzil signifikant höhere Werte als diejenigen aus dem unteren Terzil (siehe Anhang 30). Bei der Frage, für wie schwer die Tätigkeit im Schülerlabor im Vergleich zu sonstigen Tätigkeiten eingeschätzt wird, sowie bei der Einschätzung der eigenen Fähigkeiten und der Anforderungen beim Workshop liegen keine einheitlichen Tendenzen vor. Die Subskala zur Absorbiertheit sowie die Gesamtskala unterscheiden sich ebenfalls nicht (E_1_Vergleich: $F(2;204) = 0,694$, $p = 0,501$; E_2_Anforderungen: $F(2;203) = 1,216$, $p = 0,298$; E_3_Fähigkeiten: $F(2;205) = 1,460$, $p = 0,235$; Sub_Flow_Abs: $F(2;205) = 0,151$, $p = 0,860$; Ges_Flow: $F(2;205) = 0,954$, $p = 0,387$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 63 dargestellt.

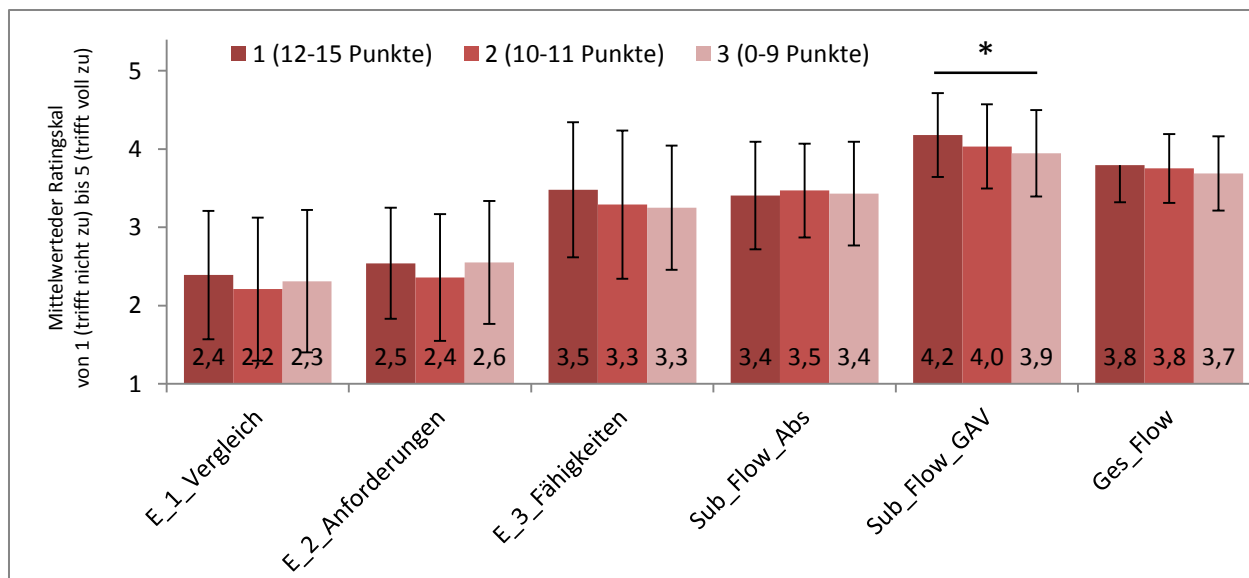


Abb. 63: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) (1. Tertil: $n = 66$, 2. Tertil: $n = 59$, 3. Tertil: $n = 83$)

5.5.5 Diskussion

Es wurden verschiedene Facetten der Lernumgebung untersucht, um festzustellen, wie die Schüler die didaktische Umsetzung der Workshops wahrnehmen. Zwar haben die Personenvariablen Geschlecht, Schulzensuren und Kurswahl auf die untersuchten Konstrukte gemäßiger Konstruktivismus, Autonomieförderung und die Einschätzung der Anforderungen in den Gesamtskalen keinen signifikanten Einfluss, jedoch liegen teilweise Tendenzen bzw. signifikante Unterschiede in einzelnen Subskalen vor. Die Wahrnehmung des *Forschenden Lernens* ist deutlicher von Personenvariablen abhängig.

Gemäßigter Konstruktivismus

Die Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus werden von Mädchen höher eingeschätzt als von Jungen. Dieser Unterschied ist jedoch nur in der Wahrnehmung der Aktivität signifikant. Dieser Befund steht in Einklang mit den Ergebnissen von Urhahne et al. (2011), die ebenfalls höhere Werte bei Mädchen identifizierten. Hier war der Unterschied in den drei Subskalen aktiv, situativ und sozial signifikant ausgeprägt.

Beim Zeugnisdurchschnitt liegen keine signifikanten Unterschiede und auch keine eindeutigen Tendenzen zwischen den Tertilen vor. Bei der Biologiezensur verfügt das mittlere Tertil über tendenziell höhere Werte. In der Subskala ‚Selbstgesteuert‘

liegen die Werte des oberen Terzils jedoch signifikant über denjenigen des unteren Terzils.

Diese Subskala nimmt zusammen mit der Wahrnehmung der Situationalität eine Sonderrolle ein: Hier liegen deutlich niedrigere Werte vor als in den anderen Subskalen. Die Schüler empfanden nur teilweise, dass sie ihre Lernaktivitäten selbst bestimmen konnten und sie etwas für reale Lebenssituationen gelernt hatten. Wie bereits in Kapitel 5.2.5 dargelegt, können den Schülern in den Workshops kaum Wahlmöglichkeiten geboten werden und die Schüler erzielen geringere Werte in dieser Subskala der Testinstrumente zur intrinsischen Motivation. Auch das Testinstrument zu den Prozessmerkmalen des gemäßigten Konstruktivismus fragt nach Wahlmöglichkeiten in der Subskala zur Selbststeuerung. Sie umfasst zwei Items, welche nach der Wahlfreiheit über Lerninhalte und Lernmethoden fragen. Daher verwundern auch hier niedrige Werte nicht. Die niedrigen Werte in der Situationalität sind insofern erstaunlich, als die Anwendung der Methoden in Kontexte eingebunden wird, um einen Lebensweltbezug herzustellen. Die Items des Testinstrumentes fokussieren auf die konkrete Anwendung der Erfahrungen im Alltag und die Nützlichkeit für das Leben der Schüler. Diese ist bei molekularbiologischen Methoden wiederum eher gering ausgeprägt. Die Skala Kurz-PgK wurde theoriegeleitet in Orientierung an Reinmann und Mandl (2006) basierend auf der Langversion der PgK (Urhahne et al., 2011) von Basten et al. (2015) entwickelt. Eine stärkere Fokussierung auf die Verantwortlichkeit für Steuerungs- und Kontrollprozesse sowie auf die Rolle eines Kontextes als spezifischer Interpretationshintergrund könnte in diesen Skalen zu anderen Werten führen.

Forschendes Lernen

Bei der Wahrnehmung des *Forschenden Lernens* berichten Mädchen signifikant höhere Werte in der Subskala der Fokussierung des Lernaspekts als Jungen. Auf diese Subskala hat auch der Zeugnisdurchschnitt einen Einfluss. Hier verfügt das untere Terzil über signifikant niedrigere Werte als das mittlere Terzil. Zudem sind in der Subskala zum wissenschaftlichen Arbeiten die Werte beim unteren Terzil niedriger als bei den beiden höheren Terzilen, was wiederum in einem ebenfalls signifikanten Unterschied in der Gesamtskala resultiert. Die Kurswahl und die Biologiezensur haben auf mehrere Subskalen und auf die Gesamtskala einen signifikanten Einfluss: Leistungskursschüler empfinden stärker als Grundkursschüler,

dass sie forschend gelernt haben und das unteren Terzil verfügt über die niedrigsten Werte.

Für die Gesamtskala kann zusammengefasst werden, dass die Schüler recht stark zustimmen, forschend gelernt zu haben: Dieser Befund resultiert daraus, dass sie das Gefühl hatten, gelernt und dabei wissenschaftlich gearbeitet zu haben sowie einen Versuch durchgeführt, ausgewertet und diskutiert zu haben. Bei der Beteiligung an der Versuchsplanung wurden deutlich geringere Werte berichtet: Die Schüler hatten nur teilweise das Gefühl, an der Generierung einer Forschungsfrage, Hypothese und Planung beteiligt zu sein. Diese Ergebnisse verwundern insofern nicht, als bereits in Kapitel 5.2 dargelegt wurde, dass eine Beteiligung an der Planung kaum möglich ist, da aus dem gewählten Kontext die entsprechenden notwendigen Versuchsschritte resultieren. Offensichtlich gelingt es dennoch in den Workshops, den Schülern den Ablauf des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges zu verdeutlichen.

Autonomieförderung

Die Wahrnehmung der Autonomieförderung wird über alle Gruppen hinweg relativ hoch eingeschätzt. Die Betrachtung der einzelnen Items bestätigt, dass bei den Workshops eine positive Frage- und Antwortkultur umgesetzt wird, die Sichtweise der Schüler akzeptiert wird und die Betreuer zuhören. Die Schüler stimmen zu, sich im *teutolab*-biotechnologie verstanden und wohl zu fühlen. Sie erhalten positive Verstärkung bei klarer Zielsetzung. Diese Aspekte bestätigen die Erfüllung der in Kapitel 5.5.2 zusammengestellten Gelingensbedingungen. Aus diesem Rahmen fallen jedoch wie erwartet niedrigere Werte bei der Einschätzung der Wahlmöglichkeiten. Dieser Aspekt wurde als Teilbereich der intrinsischen Motivation und der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus bereits aufgezeigt und diskutiert. Dabei kann ergänzend in Betracht gezogen werden, dass Reeve et al. (2003) bei der Überprüfung der Bedeutung der Wahlfreiheit (*Choice*) für das Konstrukt der Autonomie eine Sonderrolle für diese Dimension konstatierten. Der *Locus of Control* sowie die *Volition* konnten dagegen als feste Bestandteile der wahrgenommenen Selbstbestimmung nachgewiesen werden.

Passung der Anforderungen und *Flow*-Erleben

Die Schüler berichten, dass die Anforderungen weder zu hoch noch zu niedrig sind. Ihre eigenen Fähigkeiten schätzen sie mittelhoch ein und im Vergleich zu sonstigen Tätigkeiten berichten sie einen ähnlichen Schweregrad. Somit sind im *teutolab*-biotechnologie die Voraussetzungen erfüllt, um ein *Flow*-Erleben der Schüler zu ermöglichen. Dabei halten männliche Schüler die Anforderungen für niedriger als weibliche Schüler. Dementsprechend schätzen sie auch ihre Fähigkeiten höher ein und die Tätigkeit im Vergleich mit anderen Tätigkeiten für leichter. Dieser Befund steht im Einklang mit den in Kapitel 5.1.5 diskutierten Forschungsergebnissen zur *Gender Gap* in den Naturwissenschaften.

In der Gesamtskala des *Flow*-Erlebens schlagen sich die Unterschiede in der Einschätzung nicht nieder: Hier liegen keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern vor. Tendenzen in den beiden Subskalen, nach denen sich weibliche Schüler absorbiert fühlen und männliche Schüler den glatten automatisierten Verlauf stärker empfinden, gleichen sich hier aus. In der Gesamtskala zeigen sich auch keine Einflüsse von Zensuren. Beim Zeugnisdurchschnitt liegen hier auch in den Subskalen keine Unterschiede vor, bei der Biologiezensur empfinden höhere Terzile einen glatteren Tätigkeitsverlauf. Bei der Einschätzung der Anforderungen und Fähigkeiten liegen keine eindeutigen Tendenzen für den Einfluss der Biologiezensur vor, für den Einfluss der Zeugniszensur zeichnet sich klar ab, dass das mittlere Terzil seine Fähigkeiten niedriger und die Anforderungen höher einschätzt. Hier liegen die Mittelwerte am nächsten am Optimum einer Übereinstimmung von Fähigkeiten und Anforderungen. Dieser Befund steht in Einklang mit den in Kapitel 5.1 und 5.3 dargestellten und diskutierten Ergebnissen zum Wissenserwerb: Schüler des mittleren Terzils verfügen über einen höheren Wissenszuwachs während des Workshops und vom Vortest zum Follow-up-Test. Zudem verfügen sie über einen geringeren Wissensrückgang vom Nachtest zum Follow-up-Test. Dies wurde durch einen angemessenen *Cognitive Load* erklärt und damit durch die den Fähigkeiten entsprechenden Anforderungen. Diese Passung wird auch als Voraussetzung für *Flow*-Erleben angesehen, welches eine Form des intrinsischen Erlebens einer Situation darstellt. Höhere Werte in der Gesamtskala der Motivation konnten für das mittlere Terzil jedoch nicht gezeigt werden.

5.6 Zentrale Ergebnisse in Säule A

Aus den in Kapitel 5 dargestellten Entwicklungsschritten und Analysen in Säule A werden im Folgenden die zentralen Befunde zusammengefasst:

Einfluss der Personenmerkmale

Personenmerkmale der Schüler beeinflussen nur relativ gering, wie die Schüler die Praktikumstage im Schülerlabor wahrnehmen und welche Auswirkungen der dortige Aufenthalt hat. So bestehen keine Geschlechterunterschiede in der Akzeptanz, beim Wissenszuwachs, im situationalen Interesse und in der der intrinsischen Motivation. Eine *Gender Gap* liegt nicht vor.

Die Wahrnehmung und die Auswirkung der Workshops werden teilweise von Schulzensuren beeinflusst. Schüler mit besseren Zeugnisdurchschnitten schätzen einerseits die Qualität des Lernsettings und die affektive Komponente der Akzeptanz wie Freude und Interesse höher ein, andererseits bestehen bei der intrinsischen Motivation und beim Wissenserwerb keine Unterschiede. Obwohl Schüler mit besseren Zeugnisdurchschnitten ein größeres individuelles Interesse haben, unterscheidet sich das situationale Interesse im Schülerlabor nicht.

Die Biologiezensuren haben einen stärkeren Einfluss als der Zeugnisdurchschnitt. Schüler des oberen Terzils der Biologiezensuren sind motivierter als diejenigen der niedrigeren Terzile. In der Akzeptanz der Workshops besteht der größte Unterschied darin, dass die Schüler des unteren Terzils die effektive Komponente niedriger einschätzen. Schüler des mittleren Terzils verfügen tendenziell über den größten Wissenszuwachs. Ebenso wie beim Zeugnisdurchschnitt verfügen die Schüler mit besseren Biologiezensuren über ein höheres individuelles Interesse, weisen aber keine Unterschiede im situationalen Interesse auf. Obwohl das individuelle Interesse das situationale Interesse stark beeinflusst, gelingt es also im Schülerlabor, unabhängig von diesem relativ stabilen Personenmerkmal bei den Schülern ein Interesse in der Situation zu generieren.

Grundkursschüler verfügen zwar über ein niedrigeres Vorwissen als Leistungskursschüler, der Wissenszuwachs während des Workshops unterscheidet sich jedoch nur gering und im Wissensbehalt liegen keine Unterschiede vor. Die Workshops werden von Grundkursschülern in der Qualität und im emotionalen

Erleben ebenso positiv bewertet wie von Leistungskursschülern. Grundkursschüler berichten jedoch geringere mögliche Effekte bzgl. Interesse, Beruf und schulischen Vorteilen. Zudem verfügen sie über ein niedrigeres individuelles Interesse als Leistungskursschüler. Somit sind auch das situationale Interesse und die intrinsische Motivation geringer ausgeprägt.

Beschreibung der Labormerkmale

Die Workshops werden sehr positiv bewertet bzgl. ihrer Qualität und affektiver Komponenten. Die effektive Komponente wird ambivalenter eingeschätzt und ist stärker von den Personenvariablen abhängig. Die Schüler erzielen während eines Workshops einen hohen Wissenszuwachs und erleben sich stark intrinsisch motiviert. Die Wahlfreiheit weist dabei die niedrigsten Werte auf. Zudem haben sie ein hohes individuelles Interesse und ein hohes situationales Interesse. Die Wertkomponente des gehaltenen Interesses ist dabei am niedrigsten ausgeprägt.

Lernumgebung

Die Schüler erleben die Lernumgebung als autonomieförderlich, obwohl die Wahlfreiheit eingeschränkt ist. Zudem stimmen sie zu, forschend gelernt zu haben, obwohl sie nur bedingt an der Planung der Versuche beteiligt werden. Die Lernumgebung wird mit Einschränkungen in der Selbstgesteuertheit und Situationalität als gemäßigt konstruktivistisch empfunden und die Anforderungen passen mit den Fähigkeiten der Schüler weitestgehend überein. Die Schüler berichten insofern wie erwartet hohe Werte im *Flow*-Erleben.

Auswirkungen der Entwicklungsschritte in der didaktischen Umsetzung

Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, ein bereits positiv beurteiltes Schülerlabor-konzept durch die gezielte Modifizierung konkreter Bereiche weiter zu verbessern. Zunächst konnte durch die Umsetzung eines stärker projektorientierten Vermittlungskonzeptes sowie die Gestaltung neuer Abbildungen zu den molekularbiologischen Methoden ein höherer Wissenszuwachs bei den Schülern erzielt werden. Hier muss erwähnt werden, dass die intrinsische Motivation in der Subskala Interesse/Vergnügen davon beeinträchtigt wurde. In einem weiteren Schritt konnte gezeigt werden, dass die Bereitstellung von Materialien zur Einbindung in den Unterricht zu positiven Effekten führt: Die Vorbereitung durch ein Schülerskript

bewirkt ein höheres Vorwissen und eine höhere intrinsische Motivation in der Subskala Interesse/Vergnügen. Unterschiedliche Wissensbestände, welche durch die Vorbereitung oder auch unter dem Einfluss von Personenvariablen zustande gekommen sind, werden während des Praktikumstages tendenziell angeglichen und auch im Follow-up-Test beibehalten. Auf den Wissensbehalt haben vom Schülerlabor bereitgestellte Arbeitsblätter eine positive Auswirkung. Zudem wurde in einem weiteren Schritt gezeigt, dass der Einsatz neuer Medien zum Einstieg in die Besprechung der molekulargenetischen Methoden zu höherem Wissen im Nachtest und im Follow-up-Test führt. Auch die intrinsische Motivation ist höher ausgeprägt. Die Schüler fühlen sich stärker sozial eingebunden und empfinden ein größeres Vergnügen. Zudem führt der Einsatz neuer Medien zu einem höheren situationalen Interesse.

6 Teilstudien Säule B: Entwicklung von Angeboten für Studierende

6.1 Erster Schritt: Entwicklung eines Berufsfeldpraktikums mit Studierendentandems

6.1.1 Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund

Wie in Kapitel 2.3 dargelegt, soll in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung eines umfassenden Schülerlaborkonzeptes vorgestellt werden, das Angebote für die MINT-Breiten- sowie Begabtenförderung (Säule A und C) von Schülern und auch Angebote für Studierende (Säule B) umfasst. Bei der Darstellung der Entwicklungen für die Breitenförderung in Säule A wurde der Fokus auf die Gestaltung der Workshops für die Schüler gelegt. Die identischen Materialien wurden von verschiedenen Betreuern zur Vermittlung der Inhalte genutzt. Die organisatorischen Abläufe wurden vorgegeben und die Verwendung der schrittweise weiter entwickelten PowerPoint-Präsentation zur Begleitung der Praktikumstage war obligatorisch. So sind die Workshops einerseits weitestgehend standardisiert, andererseits sind die Umsetzung und Entwicklung eines spezifischen Betreuerverhaltens in einem vorgegebenen Rahmen möglich. Auf dieser Ausgangssituation basierend wurde im *teutolab*-biotechnologie in Säule B ein Lernarrangement für Studierende entwickelt, in dem sie die Workshops mit den erprobten Materialien in einer universitären Praxisphase nutzen konnten. Es ist das Ziel dieser Lehrveranstaltung, die Studierenden in ihrer Professionalisierung zu unterstützen.

Lehr-Lern-Labore

Wie in Kapitel 2.2 dargelegt, werden Schülerlabore, in denen Lehramtsstudierende im Rahmen einer Lehrveranstaltung eine Praxisphase mit Schülern umsetzen, zu den Lehr-Lern-Laboren gezählt. Hierfür liegen in allen naturwissenschaftlichen Bereichen erste Erfahrungen vor: Mit dem Projekt CHEMOL (Chemistry in Oldenburg) wurde bereits ab dem Jahr 2002 ein Angebot geschaffen, in dem Lehramtsstudierende Experimente für Grundschulklassen entwickeln und im Schülerlabor umsetzen konnten (Steffensky & Parchmann, 2007). Im Fachbereich Physik werden Schülerlabormodule im PhysLab der Freien Universität Berlin durch Studierende durchgeführt. An der Universität Würzburg bieten die Didaktiken der

Chemie, Physik und Astronomie, Mathematik und Informatik, Biologie und Geographie im MIND-Center Lehramtsstudierenden die Möglichkeit, im Schülerlabor Erfahrungen zu sammeln (Völker & Trefzger, 2010). Erste Ergebnisse liegen für den Fachbereich Physik vor: Die Studierenden berichten v. a., dass das wiederholte Durchführen eines Moduls zu mehr Routine, einer verbesserten Qualität der Instruktionen, schülergerechteren Hilfestellungen, einer besseren Einschätzung der Schüler, einem verbesserten Sprachgebrauch und einem Rollenwechsel führt. Hier verändert sich das eher an Kontrolle orientierte Verhalten hin zu einem offeneren Verhalten, das den Schülern mehr Raum für eigenes Handeln einräumt (Völker & Trefzger, 2011). Im Rahmen von drei Dissertationen wurden die Spezifika der Professionalisierung im Schülerlabor analysiert. So konnte nachgewiesen werden, dass das akademische Selbstkonzept durch eine Praxisphase im Schülerlabor nur dann gesteigert wird, wenn die Studierenden bereits über Vorerfahrungen im Unterrichten verfügen (Elsholz, 2018). Die professionelle Unterrichtswahrnehmung im Rahmen von Lehr-Lern-Labor-Seminars ist abhängig von der Reflexion mit Unterstützung einer Videoanalyse (Treisch, 2018). Die Ergebnisse der Untersuchungen des fachdidaktischen Wissens sind noch nicht öffentlich zugänglich.

Auch im Fachbereich Biologie liegen Analysen des Betreuerverhaltens von Lehramtsstudierenden im Schülerlabor vor: Studierende, die als Tutoren jeweils zwei Schülergruppen betreuen, führen nicht, wie erwartet, zu einer Verringerung der mentalen Anstrengung bei den Schülern, da der Fokus der Instruktion nicht zielgerichtet ist (Scharfenberg & Bogner, 2013a). Ein dreischrittiger Zugang, in dem die Studierenden nacheinander die Rolle des Schülers, des Tutors und des Lehrers einnehmen, führt jedoch zu einem bewussten Rollenwechsel und zu einem stärker schülerzentrierten Unterricht (Scharfenberg & Bogner, 2016). Die theoretischen Hintergründe der Professionalisierung werden im folgenden Kapitel eingehender beleuchtet.

Professionalisierung

In Anlehnung an das Rahmenmodell der Determinanten und Konsequenzen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften nach Voss, Kunina-Habenicht, Hoehne und Kunter (2015) (siehe Abb. 64) wurde im Schülerlabor *teutolab*-biotechnologie eine formale Lerngelegenheit geschaffen, die den Studierenden Praxiserfahrungen

ermöglicht. Dabei wurde an die bereits erworbene akademische Grundbildung angeknüpft. Durch die Nutzung eines Lernangebotes entwickelt sich unter dem Einfluss individueller Eingangsvoraussetzungen die professionelle Kompetenz.

Sie ist gekennzeichnet durch motivationale Orientierungen, selbstregulative Fähigkeiten, Überzeugungen und Professionswissen. Nach Shulman (1986) basiert Professionswissen auf inhaltlichem Wissen (*Content Knowledge*) und allgemeinem pädagogischen Wissen (*Pedagogical Knowledge*), sowie den verbindenden Domänen des Wissens für das Unterrichten (*Pedagogical Content Knowledge*) und des Wissens über das Schulcurriculum (*Curriculum Knowledge*). In Orientierung an Baumert und Kunter (2006), welche zum Professionswissen auch das Beratungswissen und das Organisationswissen zählen, finden sich auch diese Komponenten in dem Modell wieder. Die professionelle Kompetenz führt abhängig von Persönlichkeitsfaktoren und der aktuellen Performanz zu Unterrichtserfolg. Nach Kunter, Kleickmann, Klusmann und Richter (2011) können darunter einerseits Schülerergebnisse wie fachliches Lernen und motivational-emotionale Entwicklungen und andererseits Lehrerergebnisse wie Innovation, beruflicher Werdegang und Wohlbefinden zusammengefasst werden.

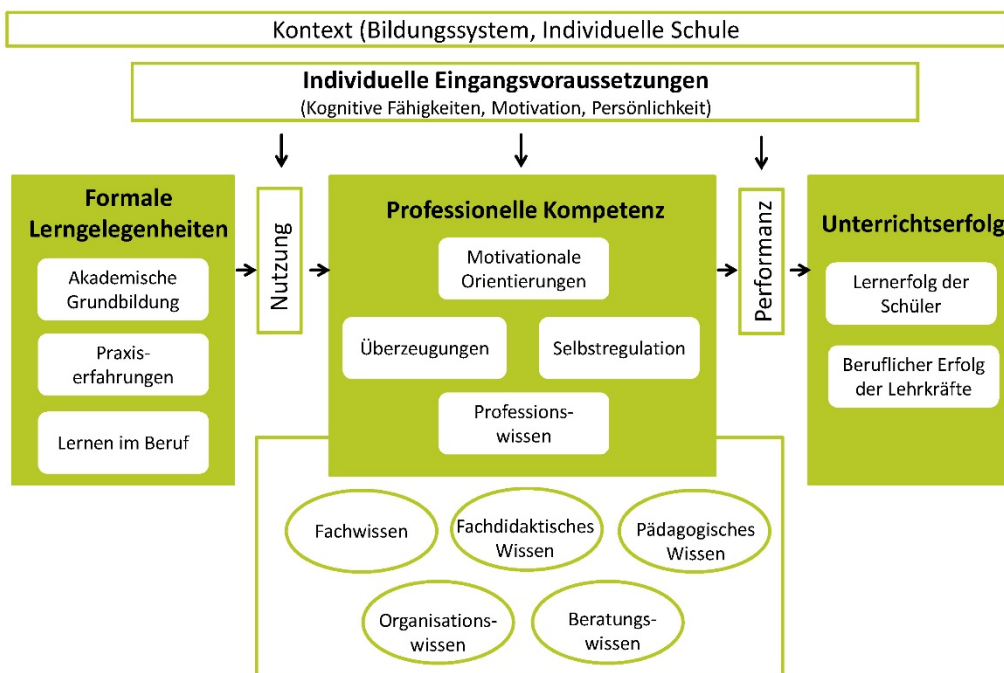


Abb. 64: Rahmenmodell der Determinanten und Konsequenzen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften nach Voss et al. (2015)

Die Bedeutung von Praxisphasen in der Lehrerbildung zur Entwicklung von Handlungskompetenz wird durch diverse ministeriale Vorgaben betont: Zunächst sind inzwischen in allen Bundesländern Praxisphasen im Bachelor- und im Masterstudium vorgesehen (Weyland, 2012). Dabei werden vom MSW NRW (2007) in der ersten Phase der Ausbildung von Lehrkräften nicht mehr, sondern bessere universitäre Praxisphasen gefordert. Als wissenschaftsorientierte Ausbildungselemente sollen sie dazu befähigen, Praxis durch systematische theoriebasierte Reflexion zu verstehen und eine professionelle Haltung zu entwickeln (MSJK, 2004). Bereits im Jahr 2001 forderte der Wissenschaftsrat von Deutschland die Stärkung des Praxisbezugs von Forschung und Lehre sowie des Wissenschaftsbezugs der Praxis. So sollen Praxisphasen nach dem Konzept des *Forschenden Lernens* umgesetzt werden (MSJK, 2004).

Forschendes Lernen

Laut MSJK (2004, S. 5) handelt es sich beim *Forschenden Lernen* um „einen Lernprozess, der darauf abzielt, den Erwerb von Erfahrungen im Handlungsfeld Schule in einer zunehmend auf Wissenschaftlichkeit ausgerichteten Haltung theoriegeleitet und selbstreflexiv [...] zu ermöglichen.“ *Forschendes Lernen* wurde bereits seit 1970 als hochschuldidaktisches Prinzip eingeführt (Wildt, 2009). Studierenden soll die Möglichkeit geboten werden, sich aktiv an Forschung zu beteiligen. Damit ist nicht die Übertragung elaborierter Forschung in die Ausbildung gemeint, sondern eine Partizipation der Studierenden, die unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann (Bundesassistentenkonferenz, 2009). So können verschiedene Grade der Selbstständigkeit bei der Beteiligung unterschieden werden: Auf der niedrigsten Stufe erhalten die Studierenden Einblicke in die Forschung, sie erhalten die Rolle von Zaungästen. Auf der nächsten Stufe sind sie teilverantwortlich für einen definierten Bereich, während die Fragestellung und Gesamtkoordination beim Hochschullehrer liegt. Auf der höchsten Stufe erforschen die Studierenden ihre eigene Praxis oder führen Untersuchungen zu unterrichtsrelevanten Fragestellungen durch und erhalten Beratung vom Hochschullehrer (Fichten, 2010). Bei dieser Differenzierung des *Forschenden Lernens* wird deutlich, dass nicht jeder Schritt in einem Forschungszyklus zwingend vom Studierenden selbst durchlaufen werden muss. Die einzelnen Teilschritte können zwar abhängig vom Fach variieren, jedoch ist der Prozess in der Sozial- und Bildungsforschung grundsätzlich mit der in Kapitel

3.1.3 dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnismethode kongruent: Es wird eine Forschungsfrage bzw. Hypothese formuliert, ein Forschungsdesign entworfen, durchgeführt und ausgewertet (Wildt, 2009). Nach der Vermittlung und Anwendung kann eine weiterführende Untersuchung in einem neuen Zyklus angeschlossen werden. So wird *Forschendes Lernen* als Handlungsrahmen genutzt, um Lernmöglichkeiten zu schaffen.

Einen Orientierungsrahmen zur Entwicklung eines Lernarrangements kann der von Healey und Jenkins (2009) entwickelte *Research Teaching Nexus* bieten: Basierend auf dem Grundgedanken, dass nicht jeder Schritt in einem Forschungsprozess vom Studierenden selbst durchlaufen werden muss, gliedern die Autoren forschungsnahe Lehre in die Ebene der Inhalte und der Akteure. Es ergibt sich ein 2 x 2-Schema, nach dem Lehrende entweder über Forschungsinhalte referieren (*forschungsvermittelnd*) oder darüber, wie Wissen im Fach generiert wird (*forschungsorientiert*), oder Studierende über Forschung lesen oder schreiben (*forschungsbegleitend*), oder selbst aktiv forschen (*forschungsbasiert*). In Abbildung 65 ist diese Taxonomie schematisch dargestellt.

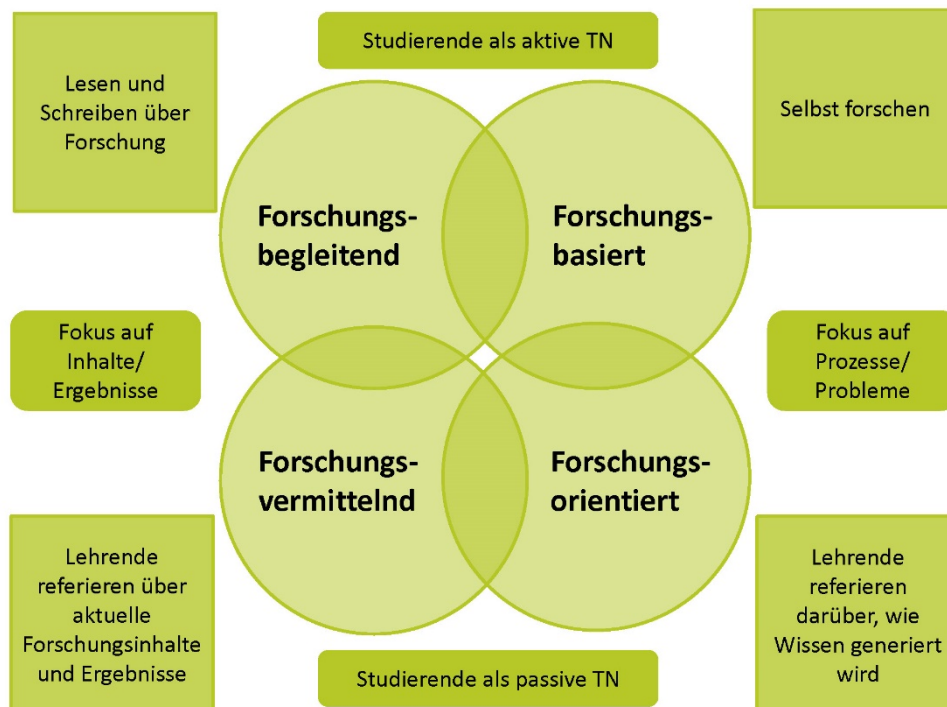


Abb. 65: Modell zur Gestaltung forschungsnaher Lehre (*Research Teaching Nexus*) nach Healey und Jenkins (2009)

6.1.2 Material

Auf den in Kapitel 6.1.1 dargestellten Hintergründen basierend wurde eine Lehrveranstaltung konzipiert, in der Lehramtsstudierende eine ihrer Praxisphasen im *teutolab*-biotechnologie durchführen konnten. Hier bietet sich in NRW das im Bachelorstudium vorgesehene Berufsfeldpraktikum an, das wahlweise an außerschulischen Lernorten oder in der Schule absolviert werden kann (Löhrmann & Schulze, 2013). Im Rahmen dieser universitären Wahlpflichtveranstaltung führten die Studierenden im Anschluss an ein Vorbereitungsseminar dreimal nacheinander den Workshop ‚Barcoding‘ durch. Dies geschah im Tandem mit einem Kommilitonen und unter Supervision eines Dozenten. Unmittelbar im Anschluss der Praktikumstage reflektierten sie ihre Erfahrungen mit dem Lehrenden. Die Nachbereitung der gesamten Lehrveranstaltung erfolgte durch einen gemeinsamen Reflexionstermin mit allen Studierenden sowie durch einen Praktikumsbericht. In der nach den Prinzipien des *Forschenden Lernens* konzipierten Lehrveranstaltung evaluierten die Studierenden den Effekt ihres Unterrichtshandelns, indem sie den Wissenszuwachs und die Motivation der Schüler analysierten und mit ihren subjektiven Erfahrungen abglichen. Entsprechend dem *Research Teaching Nexus* nach Healey und Jenkins (2009) wurde hier forschungsbasiert gearbeitet. Die Analyse wurde als gemeinsames Forschungsvorhaben im Vorbereitungsseminar geplant. Hier erfuhren die Studierenden zudem vom Dozenten, wie in der Forschung Wissen generiert wird (*forschungsorientiert*) und welche Ergebnisse insbesondere für Schülerlabore vorliegen (*forschungsvermittelnd*). Zudem erarbeiteten die Studierenden als aktive Teilnehmer aktuelle Forschungsinhalte aus Publikationen und stellten sie einander vor (*forschungsbegleitend*). Auf diesem Einblick in das Forschungsfeld basierend konnten sie ihr Forschungsvorhaben einordnen und planen. In dem Vorbereitungsseminar führten die Studierenden zudem den Workshop einmal ganztägig in der Rolle der Schüler selbst durch, bevor sie im Lauf des Semesters die Lehrerrolle einnahmen. Hier wurde also eine Modifikation des von Scharfenberg und Bogner (2016) geforderten dreischrittigen Ansatzes umgesetzt. Im Vorbereitungsseminar wurden außerdem die fachbiologischen Hintergründe vertieft, der Gebrauch des zur Verfügung stehenden Materials und organisatorische Abläufe abgesprochen. Die Studierenden konnten im Vorbereitungsseminar auf ihr bereits im Bachelorstudium erworbenes biologisches Fachwissen und fachdidaktisches sowie

pädagogisches Wissen aufbauen. In Abbildung 66 ist die Konzeption der Lehrveranstaltung dargestellt.

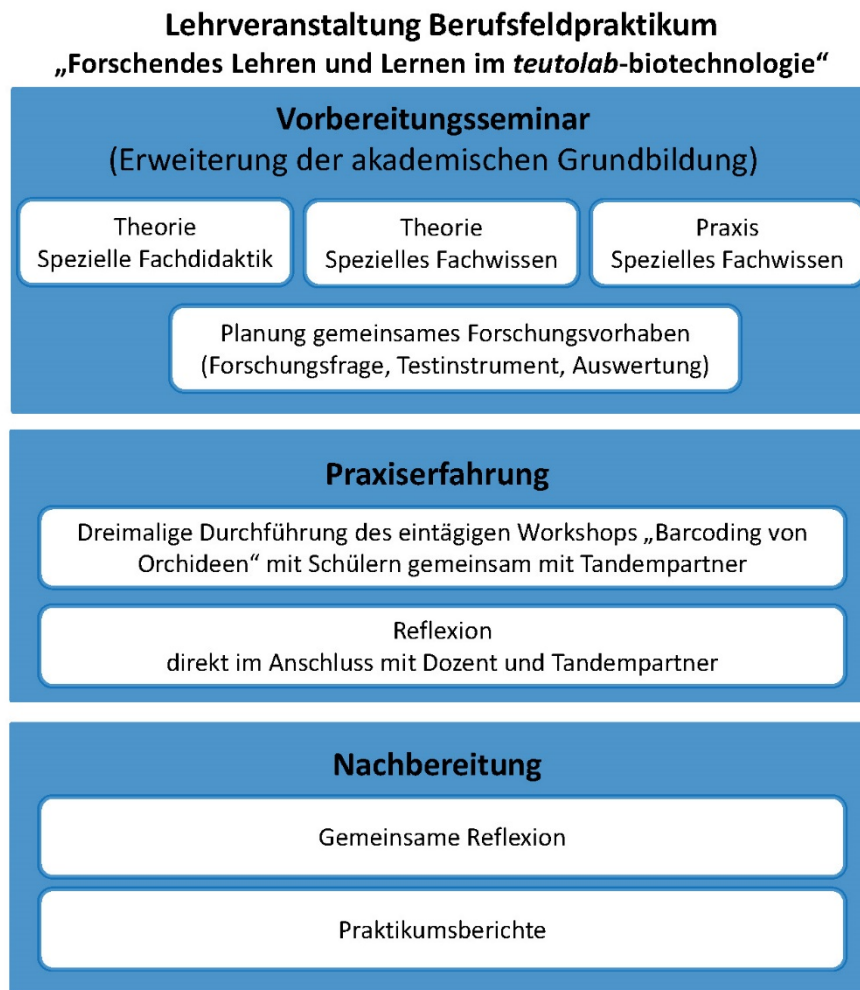


Abb. 66: Konzeption der Lehrveranstaltung Berufsfeldpraktikum ‚Forschendes Lehren und Lernen im *teutolab*-biotechnologie‘

6.1.3 Methoden

6.1.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Das Berufsfeldpraktikum wurde sowohl mit quantitativen als auch mit qualitativen Methoden untersucht. Dies geschah auf zwei Ebenen: Zunächst wurde, wie bereits in Kapitel 6.1.2 dargestellt, der kognitive und der motivationale Unterrichtserfolg bei den Schülern als Auswirkung der professionellen Kompetenz der Studierenden untersucht. Dafür beantworteten die Schüler den Wissenstest (*teuto*-Know) morgens zu Beginn der Workshops im Vortest und nachmittags am Ende der Workshops im

Nachtest. Zudem wurde am Ende der Workshops im Nachtest die Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) eingesetzt.

Zudem wurde die Professionalisierung der Studierenden in Orientierung an das Rahmenmodell von Voss et al. (2015) analysiert, indem das Fachwissen als Teil des Professionswissens und die (epistemologischen) Überzeugungen quantitativ erfasst wurden. Das Fachwissen wurde durch den Wissenstest (*teuto-Know*) im Vortest und im Nachtest zu Beginn und am Ende des Vorbereitungsseminars erfasst. Die epistemologischen Überzeugungen (EPÜ) wurden durch einen Fragebogen nach Urhahne und Hopf (2004) zu Beginn des Vorbereitungsseminars im Vortest und zum Abschluss der Reflexionssitzung des Berufsfeldpraktikums im Nachtest erfasst. Auf einen weiteren Wissenstest wurde verzichtet, da die Studierenden im Rahmen ihrer Studie selbst alle Wissenstests der von Ihnen unterrichteten Schüler ausgewertet hatten und daher dann sicher alle richtigen Antworten kannten.

Die Workshops wurden unter Supervision durchgeführt und kriteriengeleitet beobachtet und reflektiert. Zum Abschluss der Lehrveranstaltung wurde deren Beurteilung durch die Studierenden durch einen Fragebogen erfasst. Zudem wurde im Rahmen der Analyse der Praktikumsberichte ein Einblick in die Spezifika des Berufsfeldpraktikums am außerschulischen Lernort *teutolab*-biotechnologie und in Professionalisierungsprozesse der Studierenden gewonnen. Für die anonymisierte Auswertung wurde das schriftliche Einverständnis der Studierenden eingeholt. Abbildung 67 zeigt das Design dieser Teilstudie 6 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichproben. Die abschließende prozentuale Verteilung auf die drei Unterrichtstage findet sich in Anhang 31.

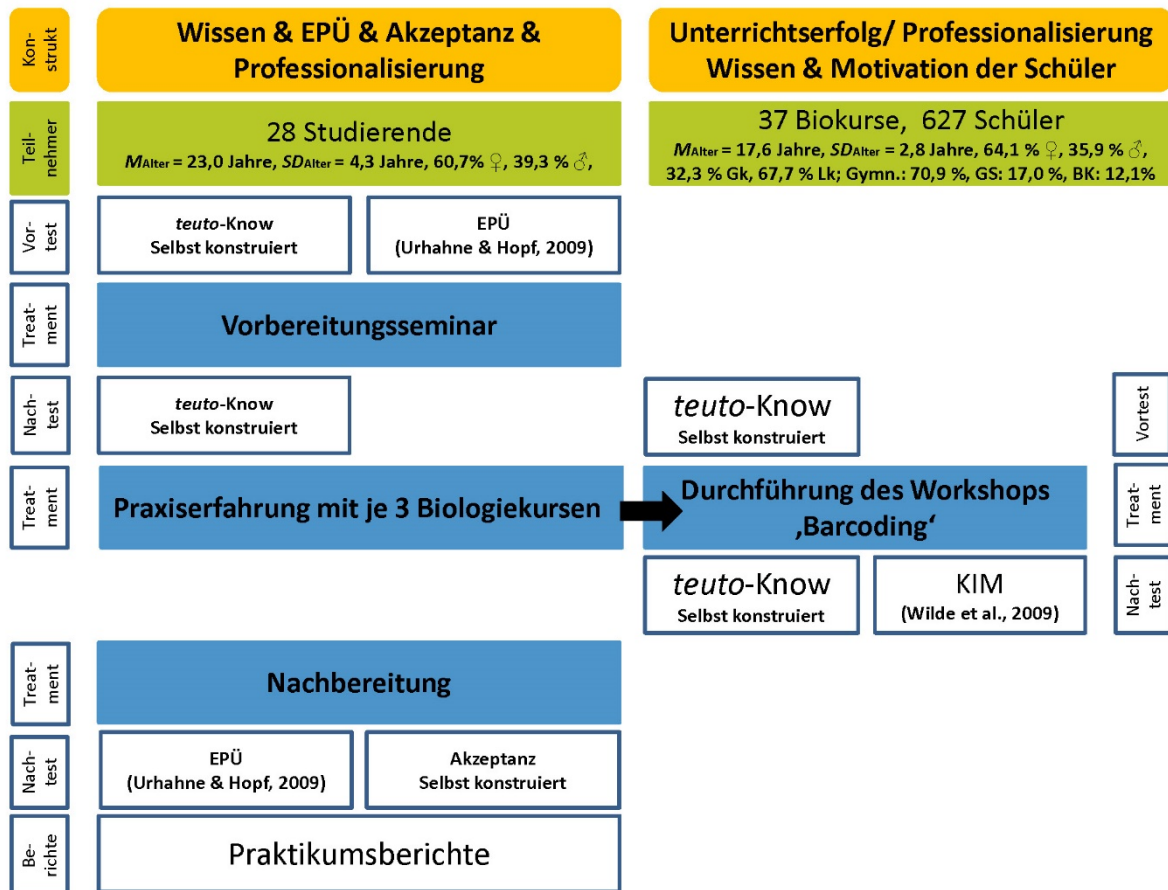


Abb. 67: Design der Teilstudie 6 zur Analyse der Wirkung des Lehr-Lern-Labors im ersten Schritt der Entwicklung auf Schüler und Studierende

6.1.3.2 Testinstrumente

Akzeptanz der Lehrveranstaltung durch die Studierenden

Bei dem selbst konstruierten Fragebogen zur Akzeptanz der Lehrveranstaltung konnten keine gemeinsamen Faktoren der 15 Items identifiziert werden. Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug 0,485 und lag damit unter der akzeptablen Grenze von 0,6, welche die Eignung einer Stichprobe für eine Faktorenanalyse markiert. Die Items werden daher separat betrachtet. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) eingesetzt. Die Items sind vollständig in Tabelle 16 aufgeführt.

Tab. 16: Items und Reliabilität des Fragebogens zur Akzeptanz der Lehrveranstaltung (selbst konstruiert)

Subskala	Item	Reliabilität ¹
Akz_1	Die Veranstaltung hat mir Spaß gemacht.	0,742
Akz_2	Die Veranstaltung ist hilfreich zur Vorbereitung auf mein Berufsfeld als Lehrer.	
Akz_3	In der Veranstaltung habe ich viel gelernt.	
Akz_4	Die Veranstaltung hat mich persönlich weiter gebracht.	
Akz_5	Die Veranstaltung hat mich fachlich weiter gebracht.	
Akz_6	Die Veranstaltung hat mich in didaktischer Hinsicht weiter gebracht.	
Akz_7	Die Veranstaltung hat mich in Bezug auf Forschung weiter gebracht.	
Akz_8	Ich kann mir unter <i>Forschendem Lernen</i> nun etwas Konkretes vorstellen.	
Akz_9	Ich habe selbst forschend gelernt.	
Akz_10	Die Schüler haben am Kurstag forschend gelernt.	
Akz_11	Der Einsatz von Fragebögen für die Schüler zur Evaluation der Kurstage war sinnvoll.	
Akz_12	Der Einsatz von Fragebögen in der Vorbereitung auf die Kurstage war sinnvoll.	
Akz_13	Das Vorbereitungsseminar war zielgerichtet und effektiv.	
Akz_14	Die Anforderungen für den Praktikumsbericht sind schlüssig auf die Veranstaltung abgestimmt.	
Akz_15	Für mich war die Wahl dieses Berufsfeldpraktikums eine richtige Entscheidung.	

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

Epistemologische Überzeugungen der Studierenden

Die Entwicklung der epistemologischen Überzeugungen der Studierenden wurde durch einen Fragebogen von Urhahne und Hopf (2004) im Prä-Post-Design erhoben. Überzeugungen von Lehrenden sind nach dem Rahmenmodell von Voss et al. (2015) Teil der professionellen Kompetenz. Epistemologische Überzeugungen als Vorstellungen über die Struktur des Wissens und des Wissenserwerbs beeinflussen durch eine Vorstrukturierung der wahrgenommenen Inhalte das Lernen (Urhahne & Hopf, 2004). Epistemologische Theorien der Lehrkräfte beeinflussen die Unterrichtstätigkeit und das pädagogische Handeln und wirken sich wiederum auf die epistemologischen Theorien der Schüler aus (Hofer, 2001). Conley, Pintrich, Vekiri und Harrison (2004) identifizierten vier Dimensionen dieses Konstrukts und

entwickelten ein entsprechendes Testinstrument mit insgesamt 26 Items. Hier wird erfragt, inwiefern Wissen durch Autoritäten oder durch Interaktionen entsteht (Subskala Quelle des Wissens, Sub_EPÜ_Q), inwiefern es feststehend und einzigartig oder veränderlich und facettenreich ist (Sicherheit des Wissens, Sub_EPÜ_S), inwiefern es über die Zeit veränderlich ist (Entwicklung des Wissens, Sub_EPÜ_E) und inwiefern vielfältige Meinungen zugelassen werden (Rechtfertigung des Wissens, Sub_EPÜ_R) (Conley et al., 2004). In Tabelle 17 sind die vier Subskalen mit Beispielitems des durch Urhahne und Hopf (2004) übersetzten Messinstrumentes sowie die Reliabilitäten dargestellt.

Tab. 17: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems der Skala zu den epistemologischen Überzeugungen (EPÜ, Urhahne & Hopf, 2004)

Subskala	Beispielitem	Reliabilität ¹
Sub_EPÜ_Q	Nur Naturwissenschaftler wissen genau, was in ihrem Fach wahr ist. (inv)	0,787
Sub_EPÜ_S	Alle Fragen in den Naturwissenschaften haben genau eine Lösung. (inv)	0,682
Sub_EPÜ_E	Durch neue Entdeckungen kann sich verändern, was Naturwissenschaftler für wahr halten.	0,677
Sub_EPÜ_R	Ein wichtiger Teil der Naturwissenschaften ist es, Experimente durchzuführen, um neue Ideen zu finden.	0,672
Ges_EPÜ		0,756

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

Wissen der Studierenden

Für die Erhebung des Wissens der Studierenden wurde das gleiche Testinstrument wie für die Schüler eingesetzt (*teuto-Know*, siehe Kapitel 5.1.3.2). Die Reliabilität war für den Vergleich von Gruppen angemessen (Cronbachs Alpha = 0,748). Der Schwierigkeitsindex betrug 80,7 %.

Wissen der Schüler

Für die Erhebung des Wissens der Schüler vor und nach dem Workshop wurde das bereits aus der ersten Säule der Entwicklung bekannte Testinstrument (*teuto-Know*) zum Workshop ‚Barcoding‘ eingesetzt (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die Reliabilität war für den Vergleich von Gruppen angemessen (Cronbachs Alpha = 0,647). Der Schwierigkeitsindex betrug 73,2 %.

Motivation der Schüler

Auch für die Erfassung der intrinsischen Motivation wurde das bereits aus der ersten Säule der Entwicklung bekannte Testinstrument, die Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009), eingesetzt (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die Reliabilität war für den Vergleich von Gruppen angemessen (Sub_KIM_Int: 0,761, Sub_KIM_Druck: 0,621, Sub_KIM_Komp: 0,743, Sub_KIM_Wahl: 0,645, Ges_KIM: 0,685, Cronbachs Alpha).

Qualitative Inhaltsanalyse der Reflexion in den Praktikumsberichten

Die Praktikumsberichte wurden von den Studierenden unter der Vorgabe angefertigt, die Untersuchung des Wissens und der Motivation der Schüler in den Reflexionsteil zu integrieren. Hier sollten die Studierenden über die persönlichen Erfahrungen an den Praktikumstagen berichten und die Auswertung der Schülerfragebögen kommentieren. Durch diese Form der Reflexion sollte die Verknüpfung von Theorie und Praxis gefördert werden. Der Bericht basierte auf einem Theorieteil, der von den Studierenden frei wählbar einen fachdidaktischen oder fachwissenschaftlichen Handlungsbezug herstellte. Der Reflexionsteil der Praktikumsberichte wurde durch eine qualitative Inhaltsanalyse untersucht. Da die Kategorienbildung induktiv in Orientierung am Material durchgeführt wurde, wird das Codebuch im Ergebnisteil präsentiert.

6.1.4 Ergebnisse

Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums

Die Mittelwerte der Items zur Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums sind in Abbildung 68 dargestellt.

6.1 Erster Schritt: Entwicklung eines Berufsfeldpraktikums mit Studierendentandems

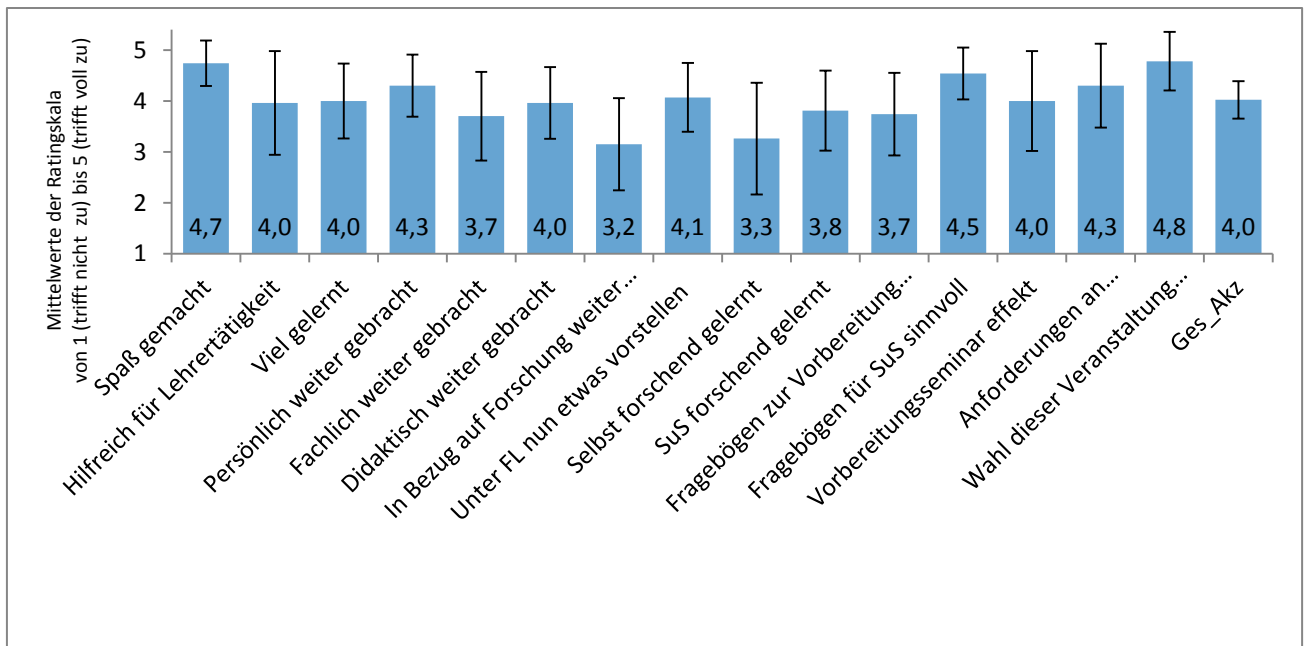


Abb. 68: Mittelwerte der Items zur Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums (N = 28)

Epistemologische Überzeugungen der Studierenden

Es liegt ein höchst signifikanter Unterschied in der Subskala ‚Sicherheit des Wissens‘ der epistemologischen Überzeugungen vor (Sub_EPÜ_S: $F(1;26) = 13,212$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,346$). Die Effektstärke ist hoch. In den anderen Subskalen sowie in der Gesamtskala liegen keine signifikanten Unterschiede vor (Sub_EPÜ_Q: $F(1;26) = 1,366$; $p = 0,253$; Sub_EPÜ_E: $F(1;25) = 0,022$, $p = 0,884$; Sub_EPÜ_R: $F(1;24) = 3,73$, $p = 0,065$; Ges_EPÜ: $F(1;24) = 3,73$, $p = 0,065$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 69 dargestellt.

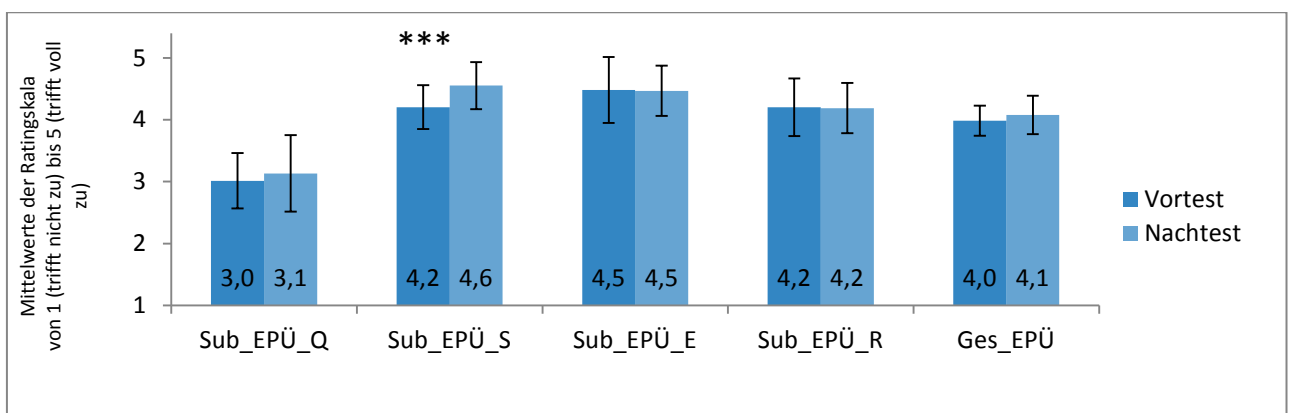


Abb. 69: Einfluss des Berufsfeldpraktikums auf die Subskalen und die Gesamtskala der epistemologischen Überzeugungen der Studierenden (Urhahne & Hopf, 2004)

Fachwissen der Studierenden

Die Werte der Studierenden sind im Nachtest des Vorbereitungsseminars signifikant höher als die Werte im Vortest des Vorbereitungsseminars ($F(1;25) = 71,803$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,742$). Die Effektstärke ist hoch. Die prozentualen Mittelwerte im Vortest und im Nachtest sind in Abbildung 70 dargestellt.

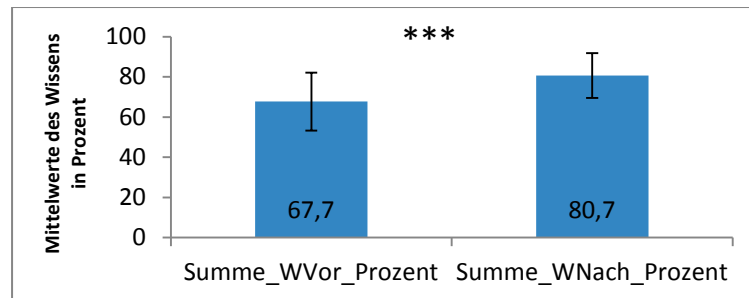


Abb. 70: Wissen der Studierenden im Vortest und im Nachtest des Vorbereitungsseminars

Zeitlicher Vergleich des Wissens der Schüler

Die Werte der Schüler im Nachtest sind signifikant höher als die Werte im Vortest ($F(1;626) = 1079,199$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,633$). Die Effektstärke ist hoch. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 71 dargestellt.

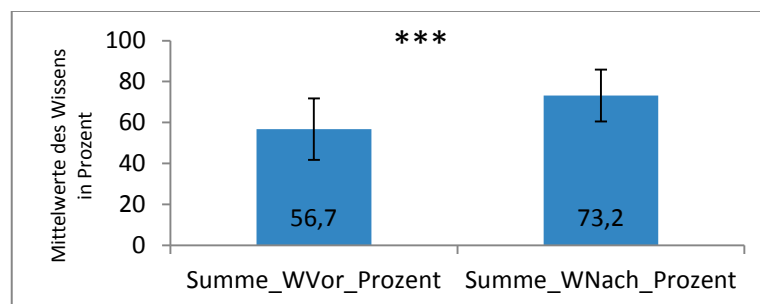


Abb. 71: Vergleich des Wissens der von den Studierenden unterrichteten Schüler im Vortest und im Nachtest (N = 627)

Einfluss des Unterrichtstages der Studierenden auf das Wissen der Schüler

Es liegen signifikante Unterschiede zwischen dem ersten, zweiten und dritten Tag des Unterrichtens der Lehramtsstudierenden im Einfluss auf das Wissen vor (Summe_WVor: $F(2;624) = 0,032$, $p = 0,968$; WNach: $F(2;624) = 7,031$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,022$; Diff_WNachWVor: $F(2;624) = 6,587$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,021$). Die Effektstärke ist niedrig. Der signifikante Unterschied besteht laut Post-hoc-Test

zwischen dem ersten Tag und dem zweiten und dritten Tag (siehe Anhang 32). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 72 dargestellt.

Die Kovarianzanalyse ergibt einen höchst signifikanten Einfluss des Wissens im Vortest auf das Wissen im Nachtest mit hoher Effektstärke ($F(2;624) = 357,520$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,365$) sowie einen signifikanten Einfluss des Unterrichtstages auf das Wissen im Nachtest mit kleiner Effektstärke ($F(2,624) = 10,608$, $p < 0,0001$; $\eta_p^2 = 0,033$). Außer dem Vorwissen hat also auch der Tag des Unterrichtshandelns der Studierenden einen Einfluss auf den Wissenszuwachs.

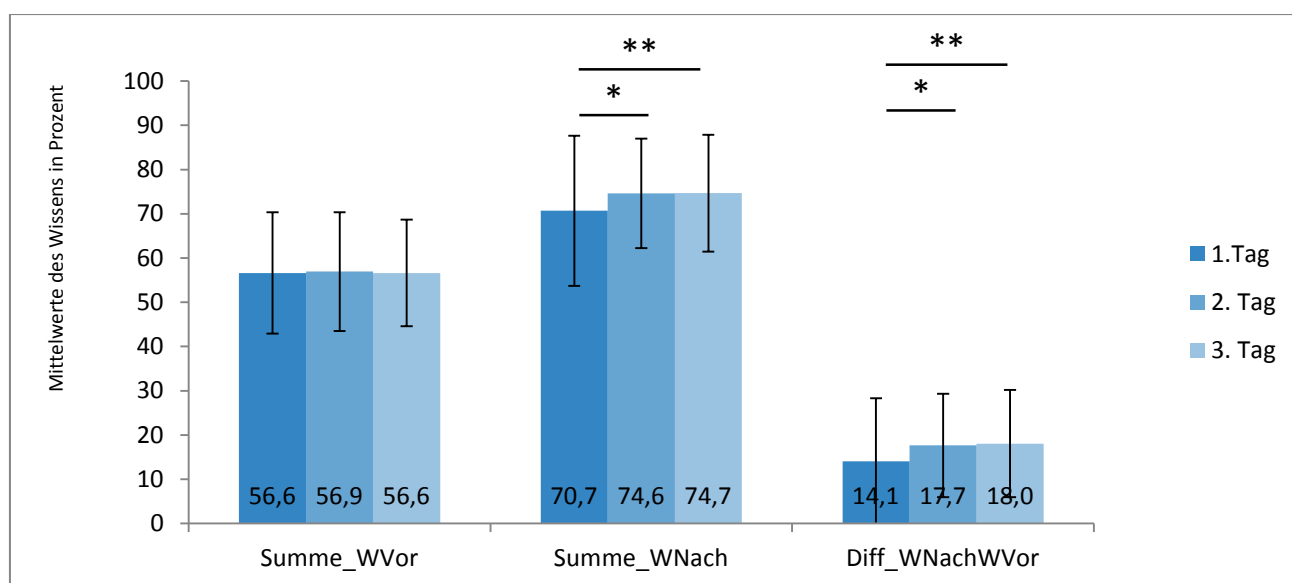


Abb. 72: Einfluss des ersten, zweiten und dritten Tages des Unterrichtens der Studierenden auf das Wissen im Vortest, im Nachtest und den Wissenszuwachs der Schüler in Prozent (1. Tag: $n = 223$, 2. Tag: $n = 210$, 3. Tag: $n = 194$)

Einfluss des Unterrichtstages der Studierenden auf die Motivation der Schüler

Es liegt ein signifikanter Unterschied zwischen dem ersten, zweiten und dritten Tag des Unterrichtens der Lehramtsstudierenden in der Subskala ‚wahrgenommene Kompetenz‘ vor (Sub_KIM_Komp: $F(2;624) = 4,233$, $p = 0,015$, $\eta_p^2 = 0,013$). Die Effektstärke ist niedrig. In den anderen Subskalen sowie in der Gesamtskala liegen keine signifikanten Unterschiede vor (Sub_KIM_Int: $F(2;624) = 2,037$; $p = 0,131$; Sub_KIM_Druck: $F(2;624) = 0,286$, $p = 0,751$; Sub_KIM_Wahl: $F(2;624) = 0,594$, $p = 0,553$; KIM_Ges: $F(2;624) = 0,212$, $p = 0,809$, $\eta_p^2 = 0,001$). Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 73 dargestellt.

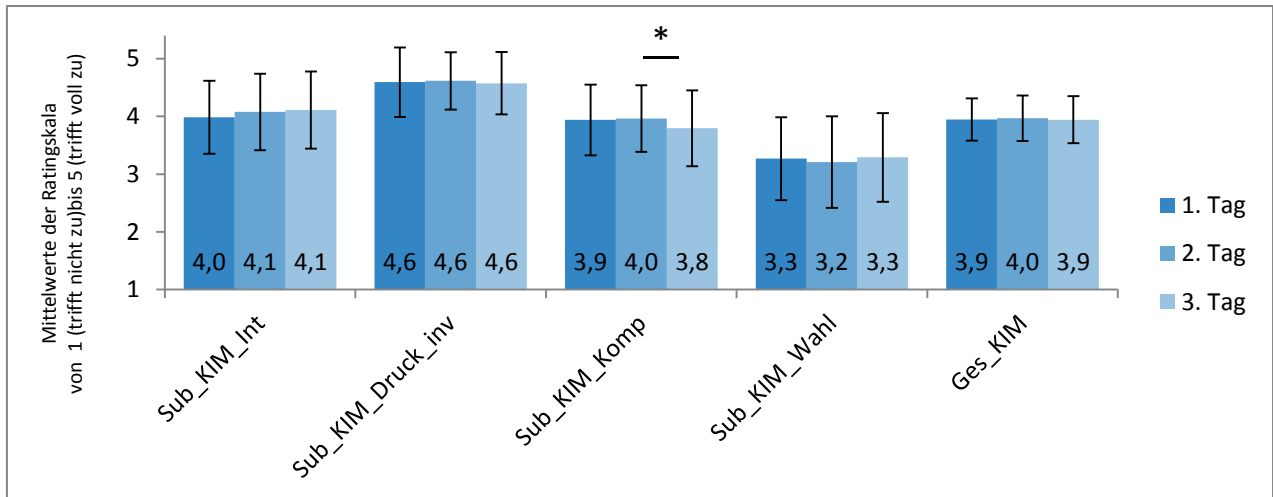


Abb. 73: Einfluss des ersten, zweiten und dritten Tages des Unterrichtens auf die Subskalen und die Gesamtskala der intrinsischen Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (1. Tag: $n = 223$, 2. Tag: $n = 210$, 3. Tag: $n = 194$)

Analyse der Praktikumsberichte

Bei der qualitativen Inhaltsanalyse der Reflexionsteile in den Praktikumsberichten wurde folgenden Fragen nachgegangen:

- Welche Äußerungen zur Professionalisierung der Studierenden können identifiziert werden?
- Welche Spezifika berichten die Studierenden für das Berufsfeldpraktikum im Schülerlabor?
- In welcher Form setzen die Studierenden die Verknüpfung der subjektiven Beobachtung ihrer Praktikumsstage mit den erhobenen Daten der Schüler um?

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, wurden für die Auswertung durch Orientierung am Datenmaterial inhaltliche Kategorien gebildet, um die qualitativen Daten auszuwerten. 25 % der Reflexionsteile der Praktikumsberichte wurden von zwei unabhängigen Codierern überprüft, um die Intercoderreliabilität zu bestimmen. Sie betrug 71,0 % und ist somit als beachtlich einzustufen. In Tabelle 8 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Da die Leitfragen ineinandergreifen, wurden sie nicht separat betrachtet. Zur Schaffung einer klaren Interpretationsstruktur wurden die identifizierten Kategorien dennoch den drei Bereichen ‚Äußerungen zum eigenen Unterrichten‘, ‚Äußerungen zu den Spezifika im Schülerlabor‘ und ‚Äußerungen zur Analyse der

Evaluationsergebnisse' zugeordnet. Es konnten insgesamt dreizehn Kategorien identifiziert werden. Manche Aussagen wurden mehreren Kategorien zugeordnet. Im Folgenden wird die Anwendung der Kategorien mit Beispielen beschrieben (siehe Tab. 18):

Tab. 18: Kategorien der Aussagen der Studierenden zum eigenen Unterrichten, den Spezifika im Berufsfeldpraktikum und zum Abgleich der Evaluationsergebnisse im Reflexionsteil der Praktikumsberichte mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Nr.	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent satz
A. Äußerungen zum eigenen Unterrichten				
1	Wahrnehmung der persönlichen Entwicklung	Alle Äußerungen, welche die persönlich wahrgenommenen Veränderungen während eines Tages oder im Lauf der drei Praktikumstage betonen	„Man wurde mehr und mehr mit den praktischen und zeitlichen Abläufen der Versuche vertraut...“ „Vor dem zweiten Kurstag fühlte ich mich deutlich entspannter als vor dem ersten.“ „Probleme, die am ersten Kurstag auftauchten, waren überwiegend fachlicher Natur.“	64/ 16,5 %
2	Diagnose wichtiger schulischer Variablen der Schüler	Alle Äußerungen zur Einschätzung von Motivation, Interesse, Vorwissen etc. der Schüler	„Zu erwähnen ist noch, dass sich das Interesse in den beiden Gk im Laufe des Tages veränderte.“ „Diesbezüglich bleibt v. a. die Heterogenität der Schüler im Gedächtnis. Während sich diese schon in ihrem Vorwissen teilweise erheblich unterschieden, waren zudem unterschiedliche Einstellungen zum durchgeführten Kurstag erkennbar.“	59/ 15,2 %
3	Betonung der Wichtigkeit der Interaktion mit den Schülern	Alle Äußerungen, welche die Wichtigkeit der Interaktion mit den Schülern betonen	„Während der Praxisphasen kam es zu einer Vielzahl von Gesprächen und der Kurs war sehr interessiert.“ „...und konnte sich so stärker auf die Interaktionen mit den Schülern konzentrieren.“	20/ 5,2 %
4	Änderung des Unterrichtsverhaltens	Alle Äußerungen, in denen die Studierenden bewusste Verbesserungen oder Modifikationen beschreiben	„Die Kurstage boten für mich eine hervorragende Möglichkeit, mich mehr zurückzunehmen, um den Schülern ihre eigenen Freiräume während der durchgeführten biotechnologischen Methoden zu geben.“	23/ 5,9 %
5	Persönliche Zielsetzung der Studierenden	Alle Äußerungen, in denen die Studierenden ihre persönliche Zielsetzung beschreiben	„...in mir den Willen gesteigert, in der nächsten Woche besser zu unterrichten.“ „...konnte man im nächsten Kurstag gezielt auf vorherige Schwierigkeiten eingehen, Inhalte tiefgehender oder auf	21/ 5,4 %

			eine etwas andere Art und Weise vermitteln und so den Lernerfolg der Schüler steigern.“	
B. Äußerungen zu den Spezifika im Schülerlabor				
6	Berücksichtigung spezifischer Voraussetzungen der Schüler	Alle Äußerungen zur Erklärung (möglicher) Verhaltens und (möglicher) Wissensbestände durch bekannte Rahmenbedingungen wie Leistungskurs oder Grundkurs, Bekanntheit des Schülerskriptes	„Bei der Klasse am ersten Tag handelte es sich um einen Lk einer Gesamtschule. Sie besuchten den Kurstag gegen Ende der Unterrichtsreihe zum Thema Genetik und hatten dementsprechend ein sehr großes Vorwissen.“	36/ 9,3 %
7	Bedeutung der begleitenden Lehrperson	Alle Äußerungen, in denen die Rolle der Lehrperson im Schülerlabor thematisiert wird, teils auch als mögliches positives oder auch negatives Vorbild (<i>Role Model</i>) für die Studierenden	„Schade war, dass nicht alle Kurse ihre Skripte von den Lehrpersonen erhalten haben. Das erschwerte den Schülern den Kurstag unnötig...“ „Viele Lehrer sind sich zu fein, bei Unklarheiten nachzufragen. Dies könnte daran liegen, dass sie Angst haben, dann vor ihren Schülern als inkompetent dazustehen. Aufgrund dieser Überlegung hat mir das Verhalten des Lehrers am dritten Kurstag doch sehr imponiert.“	28/ 7,2 %
8	Bedeutung von Feedback durch Schüler und Lehrer	Alle Äußerungen, in denen Feedback durch Schüler und Lehrer thematisiert wird	„Wir haben sowohl von der Kursleiterin als auch von den Schülern viele positive Feedbacks bekommen, was auf gut gemeisterte Kurse hinweist.“	19/ 4,9 %
9	Bedeutung der gemeinsamen Reflexion	Alle Äußerungen, in denen die gemeinsame Reflexion mit dem Tandempartner und der Veranstaltungsleitung im Nachgang des Praktikumstages thematisiert wird	„Darüber hinaus wurde in der anschließenden Reflexionsrunde stets konstruktives und motivierendes Feedback gegeben. Es wurde aufgezeigt, in welchem Bereich noch Schwächen vorhanden waren, ungeachtet, ob diese fachlicher oder didaktischer Natur waren.“	29/ 7,5 %
10	Bedeutung des Unterrichts im Team	Alle Äußerungen, in denen die Zusammenarbeit mit dem Tandempartner hervorgehoben wird	„...hat zusätzlich Sicherheit gegeben, weil man sich gegenseitig unterstützen und helfen konnte. Man konnte sich im Team aufeinander verlassen.“	12/ 3,1 %
11	Bedeutung des Unterrichts im Experimentieren/prakt. Arbeiten	Alle Äußerungen zum Unterrichten in der besonderen Unterrichtsform des Experimentieren/prakt. Arbeitens	„Besonders war in diesem Praktikum für mich die Möglichkeit, mit den Schülerinnen und Schülern zu experimentieren, da dies aus der Lehrerperspektive eine neue Erfahrung für mich war.“	9/ 2,3 %
C. Äußerungen zur Analyse der Evaluationsergebnisse				
12	Evaluationsdaten für Erklärungen	Alle Äußerungen zu allgemein herausgefundenen	„So hat jeder Kurs durchschnittlich im Nachtest erkennbar mehr gewusst als im Vortest.“	47/ 12,1 %

	auf allgemeiner Ebene	Ergebnissen	„Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Wissenszuwachs nicht nur in großer Korrelation mit dem Vorwissen steht, sondern es auch eine Obergrenze für neu hinzulernbares Wissen innerhalb einer begrenzten Zeitspanne gibt.“	
13	Evaluationsdaten zur Unterstützung der subjektiven Einschätzung	Alle Äußerungen zum Abgleich der persönlichen Diagnose mit den erhobenen Daten zu Wissen und Motivation der Schüler	„Die dritte Gruppe wusste als Einzige, was die Sanger-Sequenzierung ist. Die Schüler bestätigten mit den Testergebnissen meine Vermutung.“	21/ 5,4 %

6.1.5 Diskussion

Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums durch die Studierenden

Das Berufsfeldpraktikum wurde von den Studierenden sehr positiv bewertet. Es hat ihnen sehr viel Spaß gemacht und sie schätzen es als hilfreich für die spätere Lehrertätigkeit ein. Sie berichten, viel dazu gelernt zu haben und dass es sie persönlich, fachlich und didaktisch deutlich weiter gebracht hat. Am Ende des Berufsfeldpraktikums haben sie eine genaue Vorstellung von *Forschendem Lernen*. Dabei schätzen sie ein, selbst nur teils forschend gelernt zu haben und in diesem Bereich nur teilweise weiter gebracht worden zu sein. Das *Forschende Lernen* der Schüler wird deutlich höher eingeschätzt. Den Einsatz von Fragebögen für die Schüler halten sie jedoch für sehr sinnvoll. Das Vorbereitungsseminar wurde als effektiv mit Fokussierung auf sinnvolle Aspekte eingeschätzt. Den Einsatz von Fragebögen dabei hielten die Studierenden ebenfalls für relativ sinnvoll und die Anforderungen für den Praktikumsbericht waren schlüssig. Zusammenfassend stimmten sie sehr stark zu, die richtige Veranstaltung für ihr Berufsfeldpraktikum gewählt zu haben.

Epistemologische Überzeugungen der Studierenden

Die epistemologischen Überzeugungen der Studierenden weisen in den Subskalen ‚Sicherheit des Wissens‘, ‚Entwicklung des Wissens‘ und ‚Rechtfertigung des Wissens‘ sehr hohe Mittelwerte auf. In der Subskala ‚Quelle des Wissens‘ stimmen die Studierenden den Items jedoch nur teilweise zu. Im Lauf des Berufsfeldpraktikums verändern sich die epistemologischen Überzeugungen in der Gesamtskala nicht signifikant. Jedoch liegt eine signifikante Steigerung bei hoher

Effektstärke in der Subskala ‚Sicherheit des Wissens‘ vor. Die Studierenden stimmen im Nachtest signifikant stärker zu, dass Wissen facettenreich ist und dass es nicht nur genau eine Lösung für Fragestellungen geben muss. Es ist möglich, dass diese Dimension der epistemologischen Überzeugungen während des Berufsfeldpraktikums besonders stark beeinflusst wurde, da die Studierenden eigene Erfahrungen in der Erforschung von Unterricht sammeln konnten. Wie in Kapitel 6.1.1 dargelegt, sind Überzeugungen neben motivationalen Orientierungen, Selbstregulation und dem Professionswissen Teil der professionellen Kompetenz und insofern von Bedeutung für die Professionalisierung von Lehrkräften.

Fachwissen der Studierenden

Während des im Rahmen des Vorbereitungsseminars selbst in der Schülerrolle durchgeführten Workshops ‚Barcoding‘ erzielten die Studierenden einen signifikanten Wissenszuwachs bei hoher Effektstärke. Einerseits verwundert dies, da sie bereits auf akademisches Fachwissen zurückgreifen konnten und Ihnen zur Vorbereitung das Schülerskript zur Verfügung gestellt worden war. Andererseits muss in Betracht gezogen werden, dass die Studierenden sich im Biologiestudium mit sehr vielfältigen Inhalten auseinandersetzen und die molekulargenetischen Methoden dabei nur einen kleinen Bereich darstellen. Zudem handelt es sich bei dem Wissenstest vorwiegend um Anwendungsfragen, welche durch die Theorie zwar antizipiert werden können, durch die Praxis jedoch erst erfahrbar werden. Die Ergebnisse des Wissenstests zeigen den hohen Stellenwert der Vertiefung des spezifischen Fachwissens vor der Praxisphase mit den Schülern. Wie in Kapitel 6.1.1 dargestellt, ist dieses *Content Knowledge* Teil des Professionswissens, welches somit nachweislich gefördert wurde. Im Wissens-Nachtest am Ende des durch die Studierenden selbst durchgeführten Workshops wurden durchschnittlich 80 % der Fragen richtig beantwortet. Im Anschluss erfolgte eine Besprechung der Aufgaben inklusive Musterlösung. Daher wurde kein weiterer Nachtest am Ende des Berufsfeldpraktikums durchgeführt.

Wissen und Motivation der Schüler

Die von den Studierenden unterrichteten Schüler erzielten während der Workshops einen signifikanten Wissenserwerb. Dabei verfügten die Schüler am zweiten und

dritten Tag des Unterrichtshandelns der Studierenden über einen höheren Wissenszuwachs als am ersten Tag des Unterrichtshandelns. Die Kovarianzanalyse

Wie in Kapitel 6.1.1 dargelegt, beeinflusst die professionelle Kompetenz der Lehrperson die Schülerergebnisse wie fachliches Lernen und motivational-emotionale Entwicklungen. Die professionelle Kompetenz der Studierenden entwickelte sich also nachweislich positiv im Rahmen der wiederholten Vermittlung der identischen Inhalte.

Eine Auswirkung der Unterrichtstage auf die Gesamtskala der intrinsischen Motivation der Schüler besteht nicht. Hier zeigt die Subskala ‚wahrgenommene Kompetenz‘ zwar den signifikant höchsten Wert am zweiten Tag der Studierenden, die anderen Subskalen weisen jedoch ähnliche Werte auf. Insgesamt sind hier mit Einschränkung der Subskala ‚wahrgenommene Wahlfreiheit‘ durchweg hohe Werte zu verzeichnen.

Wie in Kapitel 5.1.5 dargelegt, gliedert sich das Professionswissen u. a. in inhaltliches Wissen (*Content Knowledge*), allgemeines pädagogisches Wissen (*Pedagogical Knowledge*) und fachdidaktisches Wissen (*Pedagogical Content Knowledge*) und stellt einen wichtigen Bereich der professionellen Kompetenz von Lehrkräften dar. Der steigende Wissenszuwachs der Schüler könnte sich durch eine Verbesserung des *Content Knowledge* erklären, denn aus den Wissenstests der Studierenden kann geschlossen werden, dass die Verfügbarkeit des Fachwissens zunächst noch unsicher ist. Dies zeigte auch die kriteriengeleitete Beobachtung des Unterrichtshandelns der Studierenden durch die Veranstaltungsleitung. Zu weiteren Einsichten in die Entwicklung der Wissensbereiche und den gesamten Prozess der Professionalisierung der angehenden Lehrkräfte führt die Analyse der Praktikumsberichte.

Analyse der Praktikumsberichte

Eigenes Unterrichten

Bei der Analyse der Praktikumsberichte wurde drei Fragestellungen nachgegangen, welche ineinander greifen. Zunächst wurde analysiert, welche Äußerungen zur Professionalisierung der Studierenden identifiziert werden können. Es konnten fünf Kategorien identifiziert werden, in denen die Studierenden ihr eigenes Unterrichten

beschreiben und kommentieren. Besonders häufig fanden sich Codes, die den Kategorien „Wahrnehmung der persönlichen Entwicklung“ und „Diagnose schulischer Variablen“ zugeordnet werden konnten. Die Studierenden äußerten sehr häufig, sich im Lauf ihrer Praktikumstage verbessert zu haben. In dieser persönlichen Einschätzung beschreiben die Studierenden steigende Sicherheit in den Abläufen im Workshop und in der Vermittlung der Inhalte sowie abnehmende Nervosität. Die Äußerungen, welche zur Schaffung dieser Kategorie geführt haben, zeugen von der subjektiven Wahrnehmung zunehmender Fähigkeiten. Eine Steigerung des Fähigkeitsselbstkonzeptes durch eine Praxisphase im Schülerlabor konnte Elsholz (2018) nur in Abhängigkeit von unterrichtlichen Vorerfahrungen nachweisen. Zudem diagnostizieren die Studierenden schulische Variablen der Schüler. Dabei beobachten die Studierenden z. B., wie motiviert und interessiert die Schüler sind, in welcher Art und Weise sie an den Tätigkeiten im Schülerlabor teilnehmen und ob sie einen Wissenszuwachs beobachten können. Hier finden sich Anknüpfungspunkte zu einer weiteren Untersuchung im MIND Center der Universität Würzburg: Die Entwicklung der professionellen Unterrichtswahrnehmung kann laut Treisch (2018) durch videoanalysegestützte Reflexionen unterstützt werden. So ist eine besonders intensive Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgeschehen möglich. Eine weitere Kategorie wurde für alle Äußerungen geschaffen, in denen die Wichtigkeit der Interaktion mit den Schülern betont wird. Die Studierenden berichten von Gelegenheiten, in den Phasen der Gruppenarbeiten individuell mit den Schülern in Kontakt zu treten. Zudem beschreiben die Studierenden, inwiefern es Ihnen in den Vortragssituationen gelang, mit den Schülern zu kommunizieren. In einer weiteren Kategorie konnten alle Äußerungen zu bewussten Veränderungen im eigenen Unterrichtsverhalten zusammengefasst werden. Die Studierenden modifizierten die Vermittlung der Inhalte z. B. durch veränderte Ausdrucksweise bei der Vorstellung der fachlichen Hintergründe, stärkere Fokussierung auf Wesentliches, eine andere Form der Zusammenarbeit mit dem Teampartner, eine andere Form der Demonstration der Geräte etc.. Einer fünften Kategorie wurden alle Äußerungen über die persönliche Zielsetzung zugeordnet: Häufig beschrieben die Studierenden, an den folgenden Tagen konkrete Ziele wie z. B. die Verbesserung der fachlichen Umsetzung, eine größere Beteiligung aller Schüler am Unterrichtsgespräch, reibungslosere zeitliche Abläufe etc. erreichen zu wollen.

Spezifika im Berufsfeldpraktikum

Zudem wurde analysiert, welche Spezifika die Studierenden für das Berufsfeldpraktikum im Schülerlabor berichten. Es konnten sechs Kategorien zu Äußerungen in diesem Bereich identifiziert werden. In der ersten Kategorie wurden alle Aussagen zusammengefasst, in denen sich die Studierenden zu den spezifischen Voraussetzungen der Schüler äußern. Sie berücksichtigen dabei v. a., ob sie einen Biologieleistungskurs oder – grundkurs unterrichten und inwiefern den Schülern die theoretischen Hintergründe z. B. durch eine Vorbereitung mit dem Schülerskript bekannt sind. Weitere spezielle Voraussetzungen können z. B. Berufskollegs mit deutlich älteren Schülern oder Biologiekurse besonders motivierter Lehrer sein. Als Spezifikum für das Unterrichten in Schülerlaboren ergibt sich, dass die Betreuer hier mit ihnen unbekanntem und durchaus unterschiedlichen Biologiekursen umgehen müssen. Die schulische Lehrkraft nimmt dabei eine bedeutende Rolle ein. Viele Codes können der Kategorie der Bedeutung des Kurslehrers zugeordnet werden. Die Studierenden nehmen deren Einfluss bereits durch die Vorbereitung auf den Workshop wahr. Sie beschreiben sowohl positive als auch negative Einflüsse durch die Vorbereitung im Unterricht, welche wiederum zu spezifischen Voraussetzungen der Schüler führt. Zudem wird das Verhalten der Lehrkraft im Schülerlabor durch die Studierenden bewusst und häufig wertend wahrgenommen und mit den Vorstellungen zu ihrer eigenen Lehrperson abgeglichen. Die große Bedeutung der begleitenden Biologielehrkraft wird auch durch die eigene Kategorie zum Feedback durch die Lehrer und die Schüler deutlich. Wenn Lehrer den Studierenden Rückmeldung zu ihrem Unterrichtshandeln geben, hat dies eine große Bedeutung für sie. Auch das Feedback durch Schüler wird als wichtiges Element genannt. Deutlich häufiger jedoch beziehen sich die Studierenden auf die gemeinsame Reflexion mit dem Tandempartner und dem Veranstaltungsleiter im Anschluss der Workshops. Ergänzend zur Selbsteinschätzung der Studierenden wurde ein kriteriengeleiteter Beobachtungsbogen als Basis für die Gespräche verwendet. Das Feedback wurde durchgängig als konstruktiv und hilfreich beschrieben, da sowohl positive als auch negative Aspekte thematisiert wurden. Hier handelt es sich um ein Spezifikum des Berufsfeldpraktikums, welches in der Schule nicht realisierbar wäre. Ein weiteres Spezifikum ist das Unterrichten im Team mit einem Kommilitonen. Dieser Kategorie können viele durchgängig positive Aussagen zugeordnet werden. Die Studierenden wechseln sich bei der Vermittlung der Inhalte

ab und in den Praxisphasen betreuen die beiden Studierenden jeweils die Hälfte der Schüler. Die Studierenden beschreiben die so erfahrene Entlastung und oft auch die gegenseitig unterstützende Atmosphäre als angenehm. Auch dieses Teamteaching stellt ein Spezifikum im Schülerlabor dar, was vergleichsweise in der Schule nicht umsetzbar ist bzw. nicht umgesetzt wird. Das überraschenderweise am seltensten genannte Spezifikum des Berufsfeldpraktikums im Schülerlabor ist das Unterrichten im Experimentieren. In den Aussagen, die dieser Kategorie zugeordnet werden, wird überwiegend die einzigartige Gelegenheit des praktischen Arbeitens mit Schülern betont. Auch dieser Aspekt ist in der Schule in diesem Umfang und insbesondere mit diesen Geräten nicht umsetzbar.

Analyse der Evaluationsergebnisse

In einer letzten Fragestellung wurde geprüft, inwiefern die Studierenden die Verknüpfung der subjektiven Beobachtung ihrer Praktikumstage mit den erhobenen Daten der Schüler umsetzen. Alle Äußerungen zur Analyse der Evaluationsergebnisse im Reflexionsteil der Praktikumsberichte konnten zwei Kategorien zugeordnet werden: Am häufigsten wurden Aussagen zu allgemein herausgefundenen Ergebnissen gemacht, deutlich seltener wurde die persönliche Diagnose der Studierenden über die Schüler mit den erhobenen Daten zu Wissen und Motivation in Beziehung gesetzt. Beide Kategorien bestätigen die Umsetzung des *Forschenden Lernens* durch die Studierenden. Wie in Kapitel 6.1.1 dargelegt, sollen Praxisphasen nach dem Konzept des *Forschenden Lernens* umgesetzt werden, um den Praxisbezug von Forschung und Lehre sowie den Wissenschaftsbezug der Praxis zu stärken.

In einem weiteren Schritt der Entwicklung des Schülerlabors zum Lehr-Lern-Labor wurde das Konzept des Berufsfeldpraktikums modifiziert. Das veränderte Konzept wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

6.2 Zweiter Schritt: Umsetzung des Berufsfeldpraktikums im Tandem mit dem *teutolab-Team*

6.2.1 Einleitung

Das Konzept, welches im ersten Schritt der Entwicklung des Schülerlabors zum Lehr-Lern-Labor entwickelt wurde, führte wie in Kapitel 6.1.5 diskutiert zu nachweislichem Erfolg in der Professionalisierung der Studierenden. Dennoch zeigte es sich, dass insbesondere der erste Tag des Unterrichtshandelns eine große Herausforderung für die Studierenden darstellte. Daher wurde im zweiten Schritt der Entwicklung als Tandempartner für die Studierenden anstelle eines Kommilitonen ein Mitarbeiter des *teutolab-Teams* eingesetzt. So unterrichteten nicht zwei Novizen gemeinsam, sondern die Studierenden konnten von der Kooperation mit einem erfahrenen Betreuer profitieren. Dabei wurde das in Kapitel 6.1.2 vorgestellte Konzept des Berufsfeldpraktikums grundsätzlich beibehalten.

6.2.2 Material

Das Berufsfeldpraktikum umfasste ebenso wie im ersten Schritt der Entwicklung ein Vorbereitungsseminar, Praxiserfahrung und eine Nachbereitungsphase. Weiterhin war die Lehrveranstaltung nach den Prinzipien des *Forschenden Lernens* konzipiert und die Studierenden führten eine gemeinsame Studie durch. Da die Umsetzung jedoch nun aus organisatorischen Gründen in allen drei Workshops (‚Barcoding‘, ‚Lambda‘ und ‚Tierarten‘) geschah, waren Modifikationen notwendig: Aufgrund der Vielfalt der Workshops wurden sie im Vorbereitungsseminar nicht mehr selbst von den Studierenden in der Rolle der Schüler durchgeführt, sondern die Praxisphase begann mit einer Hospitation in einem mit Schülern durchgeführten Workshop. So nahmen die Studierenden in Anlehnung an Scharfenberg (2016) (siehe Kapitel 6.1.1) eher die Rolle von Tutoren ein. Sie wurden hier bereits aufgefordert, bei Bedarf den Schülern zur Seite zu stehen. Im Vorbereitungsseminar wurde exemplarisch die Umsetzung eines Workshops besprochen. Dies geschah anhand der PowerPoint-Präsentation, wobei der Fokus auf den Theorieteil gelegt wurde. Er wurde den Studierenden übertragen, da dieser Bereich deutlicher schulrelevant als der Praxisteil ist. Auf den Folien wurden Referentennotizen zur fachlichen Unterstützung und zur Einhaltung von Qualitätsstandards vermerkt.

Zeitgleich erfolgte die Einführung des vierten Schritts in der Entwicklung des Schülerlabors zur Breitenförderung: Es wurde das Umfragetool PINGO zum Einstieg in die molekularbiologischen Methoden genutzt. Dies wurde im Einführungsseminar mit den Studierenden getestet und die Antwortmöglichkeiten besprochen. So wurde das Fachwissen in Orientierung am Wissenstest vertieft, da es sich dabei um eine Auswahl von zwölf Fragen daraus handelte. Weil die Workshops nun im Tandem mit einem Mitarbeiter des *teuolab*-Teams durchgeführt wurden, geschah die Reflexion im Anschluss an die Praktikumstage nun mit dieser Person. Auf eine weitere Supervision sowie Unterrichtsbeobachtung wurde verzichtet.

6.2.3 Methoden

6.2.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Der zweite Schritt in der Entwicklung wurde untersucht, indem die Akzeptanz im Nachtest erfasst und mit denjenigen Werten aus dem ersten Schritt verglichen wurden. Zudem wurden die Praktikumsberichte wiederum analysiert, um Einblicke in die Spezifika des Berufsfeldpraktikums und in die Professionalisierungsprozesse zu gewinnen. Abbildung 74 zeigt das Design dieser Teilstudie 7 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichprobe.

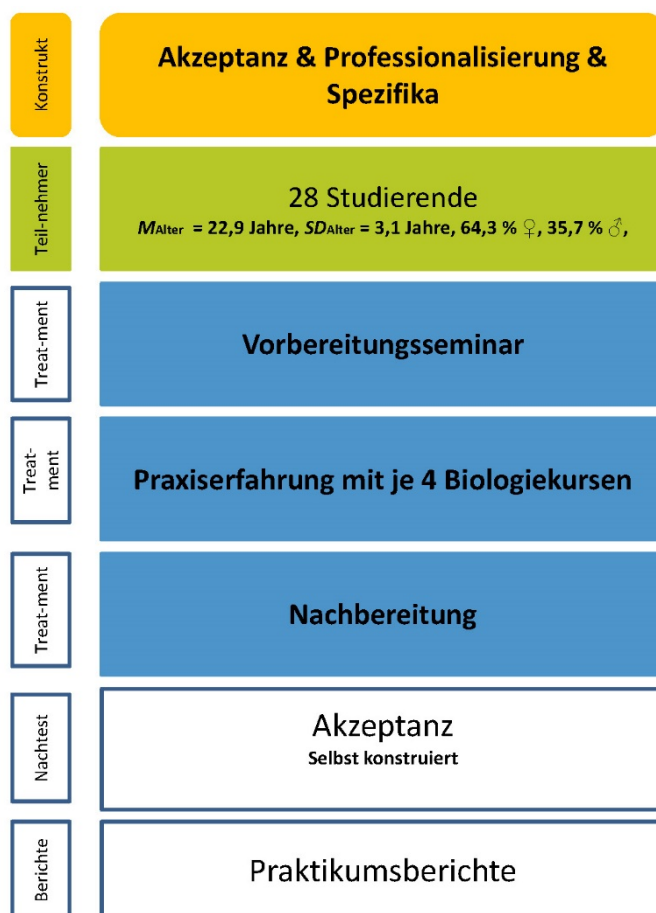


Abb. 74: Design der Teilstudie 7 zur Analyse der Wirkung des Lehr-Lern-Labors im zweiten Schritt der Entwicklung auf die Studierenden

6.2.3.2 Testinstrumente

Akzeptanz der Lehrveranstaltung durch die Studierenden

Die Akzeptanz der Lehrveranstaltung wurde mit dem gleichen selbst konstruierten Fragebogen wie im ersten Schritt erfasst. Die 17 separat betrachteten Items sind vollständig in Kapitel 6.1.3.2 in Tabelle 17 aufgeführt. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) eingesetzt.

Qualitative Inhaltsanalyse der Reflexion in den Praktikumsberichten

Die Praktikumsberichte wurden von den Studierenden unter den gleichen Vorgaben verfasst wie im ersten Schritt der Entwicklung (siehe Kapitel 6.1.3.2.). Es wurden die gleichen Kategorien verwendet (siehe Kapitel 6.1.4).

6.2.4 Ergebnisse

Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Items zur Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums zwischen dem ersten und dem zweiten Schritt der Entwicklung. Die Mittelwerte sind in Abbildung 75 dargestellt.

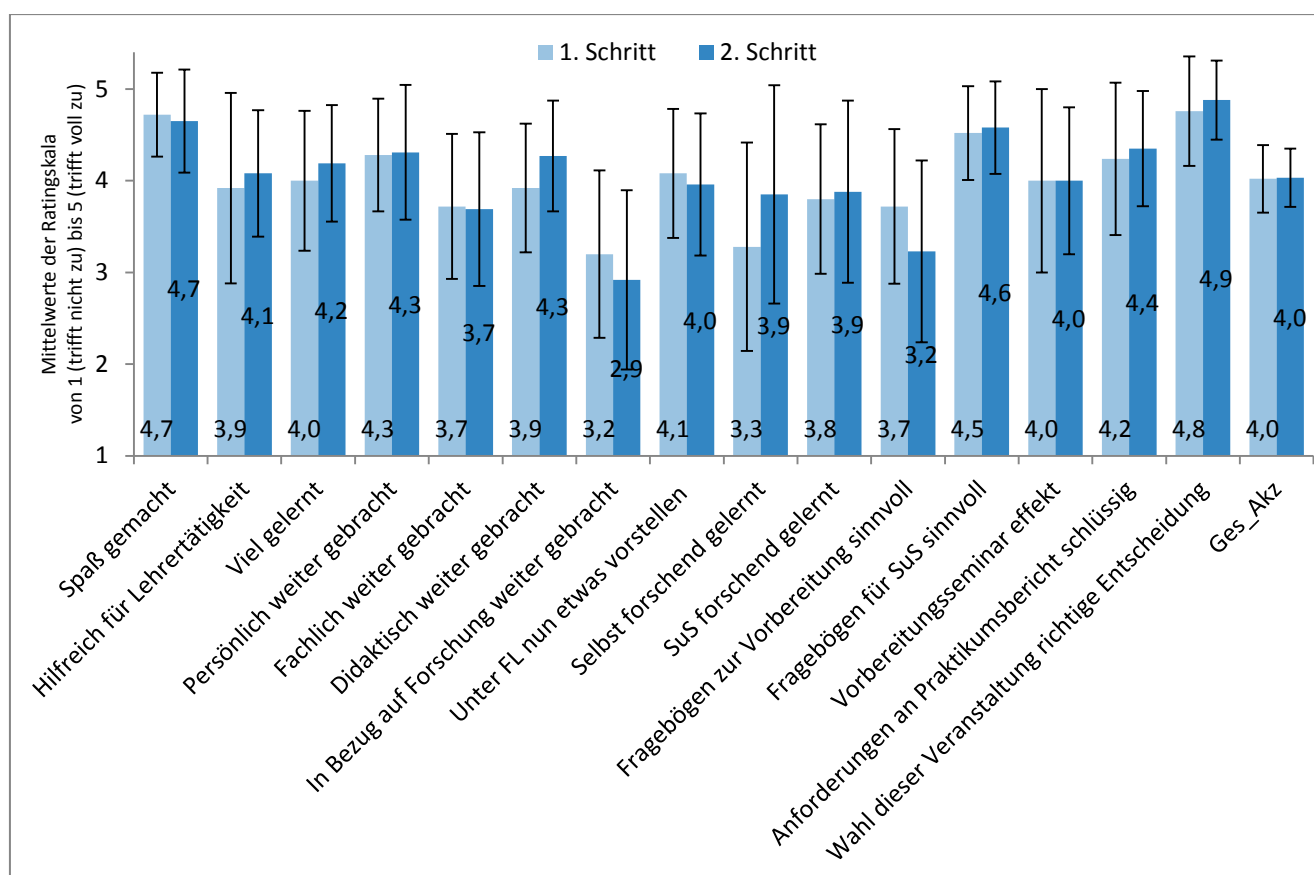


Abb. 75: Einfluss der Konzeptionierung des Berufsfeldpraktikums auf die Akzeptanz

Vergleich der Nennungen in den Kategorien

Der Vergleich der Fazits ist in Abbildung 76 dargestellt. Die Anzahl der Nennungen in den Kategorien ist oft ähnlich, teilweise auch sehr unterschiedlich und wird in Kapitel 7.5.4 diskutiert. Eine schließende Statistik wurde wegen der Grundlage qualitativer Daten für die ermittelten Werte nicht durchgeführt. Die Zuordnungen zu den Kategorien sollten zum besseren Verständnis der Spezifika der beiden Konzepte im ersten und zweiten Schritt des Berufsfeldpraktikums dienen.

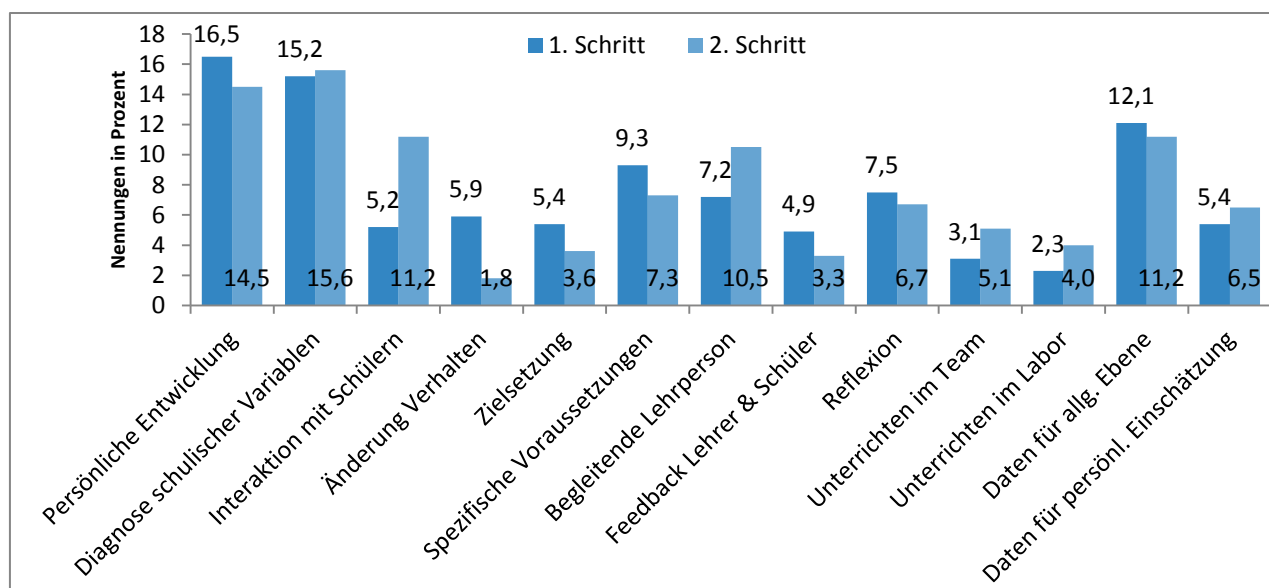


Abb. 76: Vergleich der Anzahl der Nennungen in den Kategorien zur Professionalisierung in Prozent

6.2.5 Diskussion

Die Ergebnisse des Fragebogens zur Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums zeigen, dass dies in der neuen Konzeption, in der die Studierenden gemeinsam mit einem Partner aus dem *teutolab*-Team unterrichten, ebenso positiv bewertet wird wie in der vorherigen Konzeption, in der die Studierenden gemeinsam mit einem Kommilitonen unterrichteten.

Zudem finden sich in den Reflexionsteilen der Praktikumsberichte Codes zu allen Kategorien, die im ersten Schritt gebildet wurden. Die Spezifika zur Professionalisierung im Schülerlabor werden also in der gleichen Breite abgebildet. Viele Kategorien unterscheiden sich in ihrem prozentualen Anteil kaum. Jedoch liegen auch deutliche Unterschiede in manchen Kategorien vor. So berichten die Studierenden des zweiten Schrittes deutlich öfter über die Wichtigkeit der Interaktionen mit den Schülern. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass das Umfragetool PINGO von den Studierenden eingesetzt wurde, um in das Gespräch mit den Schülern über die molekulargenetischen Hintergründe einzusteigen. Dadurch könnten sie für eine Reflexion über die Interaktion sensibilisiert worden sein. Zudem wurde die Bedeutung des Unterrichts im Team häufiger genannt. Es wurde als sehr hilfreich wahrgenommen, gemeinsam mit einem Mitarbeiter aus dem *teutolab*-Team zu unterrichten. Dies wurde als positive Unterstützung in einem angenehmen

Arbeitsklima empfunden. Auch die gemeinsame Reflexion, welche im zweiten Durchgang nicht mehr auf einer kriteriengeleiteten Beobachtung, sondern auf den gemeinsam im Workshop gemachten Erfahrungen basierte und deutlich kürzer gefasst wurde, wurde als sehr hilfreich beschrieben. Zudem wurden die Bedeutung der begleitenden Lehrperson und die Bedeutung des Unterrichts im Labor und im Experimentieren häufiger genannt. Die Berücksichtigung der spezifischen Voraussetzungen der Schüler, persönliche Zielsetzungen und bewusste Änderungen im Verhalten wurden seltener genannt. Modifikationen im Unterrichten waren zwar weiterhin in der neuen Konzeption möglich, jedoch bestanden hier klarere Vorgaben als in der ersten Konzeption, da für die verschiedenen Workshops Referentennotizen zur Orientierung in die PPT-Folien eingefügt worden waren. Es ist denkbar, dass sich die Studierenden dadurch eingeschränkt gefühlt haben, obwohl dies zur Unterstützung dienen sollte.

Es kann zusammengefasst werden, dass sich beide Konzepte des Berufsfeldpraktikums für die Studierenden gewinnbringend umsetzen lassen. Sie stellen ein Beispiel für die Entwicklung eines Schülerlabors zum Lehr-Lern-Labor dar. Das Konzept des ersten Schrittes der Entwicklung und erste Evaluationsergebnisse wurden als Beitrag von Schülerlaboren für die Lehrerbildung veröffentlicht (Röllke & Grotjohann, 2018c).

6.3 Zentrale Ergebnisse in Säule B

Aus den in Kapitel 6 dargestellten Entwicklungsschritten und Analysen in Säule B werden im Folgenden die zentralen Befunde zusammengefasst:

Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums durch die Studierenden

Beide Konzepte des Berufsfeldpraktikums wurden von den Studierenden gleich positiv bewertet. Sie hatten viel Freude daran, schätzen es hilfreich für die Lehrertätigkeit ein und stimmen zu, viel gelernt zu haben.

Epistemologische Überzeugungen der Studierenden

Die Studierenden verfügen über angemessene epistemologische Überzeugungen im naturwissenschaftlichen Bereich. In der Dimension der Sicherheit des Wissens

nehmen die Werte zudem im Lauf des Berufsfeldpraktikums signifikant zu. In der Gesamtskala liegen keine signifikanten Unterschiede vor.

Fachwissen der Studierenden

Die Ergebnisse des Wissenstests zeigen, dass die Studierenden im Vorbereitungsseminar ihr Fachwissen zu den molekularbiologischen Methoden steigern. Aus der Analyse der Praktikumsberichte kann eine weitere Steigerung während des Berufsfeldpraktikums erschlossen werden.

Wissen und Motivation der Schüler

Die von den Studierenden unterrichteten Schüler lernen am zweiten und dritten Tag des Unterrichtshandelns von Studierendentandems mehr dazu als am ersten Tag. Die intrinsische Motivation ist in der Gesamtskala unabhängig von den Unterrichtstagen der Studierenden. In der Subskala ‚wahrgenommenen Kompetenz‘ ist sie am zweiten Tag am höchsten.

Analyse der Praktikumsberichte

Äußerungen, die im Zusammenhang mit der Professionalisierung der Studierenden stehen, können in die Bereiche des eigenen Unterrichtens, der Spezifika im Schülerlabor und der Analyse der Evaluationsergebnisse untergliedert werden.

Eigenes Unterrichten

Die Studierenden berichten über eine persönliche Entwicklung während des Berufsfeldpraktikums. Sie diagnostizieren das Schülerverhalten detailliert und betonen die Wichtigkeit der Interaktion mit den Schülern. Die Studierenden modifizieren ihr Unterrichtsverhalten bei Bedarf bewusst und begründet und setzen sich persönliche Ziele.

Spezifika im Berufsfeldpraktikum

Im Schülerlabor sind sehr unterschiedliche spezifische Voraussetzungen der Schüler zu berücksichtigen und das Unterrichtshandeln ist entsprechend anzupassen. Dem begleitenden Fachlehrer wird eine große Bedeutung beigemessen. Zudem hat das Feedback durch Lehrer und durch Schüler einen deutlichen Stellenwert. Die gemeinsame Reflexion mit der Veranstaltungsleitung oder einem Mitarbeiter des

teutolab-Teams wird als sehr hilfreich empfunden. Das Unterrichten im Team wird in beiden Konzeptionen als positiv und unterstützend eingeschätzt.

Die hier dargelegten Spezifika beschreiben die Besonderheiten im Professionalsierungsprozess im Schülerlabor. In der Schule werden längerfristig die gleichen Kurse unterrichtet und Teamteaching dabei normalerweise nicht umgesetzt. Es ist nicht üblich, ganze Unterrichtssequenzen mit einer anderen Lehrperson durchzuführen und zu reflektieren. Zudem ist das praxisorientierte Unterrichten mit Experimenten in dem gleichen Umfang wie im Schülerlabor nicht möglich.

Analyse der Evaluationsergebnisse

Die Studierenden setzen das *Forschende Lernen* im Berufsfeldpraktikum um, indem sie eine Fragebogenerhebung zum Wissen und zur Motivation der Schüler durchführen und auswerten. Im Reflexionsteil ihrer Praktikumsberichte gleichen sie diese Daten mit ihren eigenen Wahrnehmungen ab und/oder beurteilen sie auf einer allgemeineren Ebene.

Außer diesem forschungsbasierten Vorgehen, in dem die Studierenden aktiv selbst forschen, wurden im Berufsfeldpraktikum zudem forschungsvermittelnde, forschungsorientierte und forschungsbegleitende Elemente umgesetzt (siehe Kapitel 6.1.1).

7 Teilstudien Säule C: Entwicklung von Angeboten für Begabtenförderung

7.1 Erster Schritt: Entwicklung der CeBiTec Schülerakademie

7.1.1 Einleitung und spezifischer theoretischer Hintergrund

Wie in Kapitel 2.3 dargelegt, wurden als dritte Säule (Säule C) eines umfassenden Schülerlaborkonzeptes am Beispiel des *teutolab*-biotechnologie Angebote für besonders naturwissenschaftlich begabte Schüler entwickelt. So sollen diejenigen Jugendlichen, welche sich vertieft mit einem biotechnologischen Thema beschäftigen möchten, gefördert werden.

Die einzelnen im Folgenden vorgestellten Projekte wurden in den meisten Fällen von Kooperationspartnern konzeptioniert. Die CeBiTec-Schülerakademie wurde vom Center for Biotechnology entwickelt und maßgeblich umgesetzt. Das *teutolab*-biotechnologie war durch die Umsetzung eines großen Anteils der Experimente beteiligt. Die *teutolab*-Akademie wurde als ‚Projektwoche Systembiologie‘ vom XLAB Göttingen in Kooperation mit der Joachim Herz Stiftung entwickelt und vom *teutolab*-biotechnologie modifiziert umgesetzt. Das Lab2Venture-Projekt wurde in einer Gemeinschaftsinitiative, welche aus der Deutschen Kinder- und Jugendstiftung (dkjs), dem Bundesverband der Schülerlabore e.V. (LeLa) und dem Theoprax-Zentrums am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) bestand, konzeptioniert. Das Erasmus-Projekt ‚Biotechnology in our life‘ wurde durch das *teutolab*-biotechnologie entwickelt.

Begabtenförderung

Angebote zur Anreicherung spezifischer Gebiete werden als *Enrichment* schon seit längerer Zeit als geeignetes Konzept in der Begabungs- und Begabtenförderung genannt. Sie werden als Alternative oder Ergänzung zur *Akzeleration*, also der Beschleunigung von Lernprozessen durch z. B. Überspringen einer Klasse eingesetzt (Schiever & Maker, 1991). Das *Enrichment* kann auf verschiedene Weise geschehen. So kann das Curriculum in der Tiefe, im Tempo oder im Inhalt modifiziert werden (Southern, Jones & Stanley, 1993). In Orientierung an Passow (1958) ist zudem beim *Enrichment* ein vierter Aspekt von besonderer Relevanz: Es sollten prozessbezogene Kompetenzen (*Process Skills*) vermittelt werden. Das Interesse

der Schüler sollte dabei grundsätzlich im Mittelpunkt stehen (Southern et al., 1993). Auf dieser Basis entwickelte Renzulli das *Schoolwide Enrichment Model* (SEM), nach dem zunächst alle Schüler die Möglichkeit erhalten, allgemeine erkundende Erfahrungen zu sammeln (*Type 1 Enrichment*) und in einem weiterführenden Schritt ein spezifisches Gruppentraining zur Förderung von Denk-, Selbstlern-, Forschungs- und Kommunikationsprozessen umgesetzt wird (*Type 2 Enrichment*). In der höchsten Ausprägung (*Type 3 Enrichment*) untersuchen besonders interessierte Schüler individuell oder in Kleingruppen lebensnahe Probleme. Bei diesem weiterhin aktuellen und weltweit populären Instruktionkonzept zur Förderung von Begabungen steht das Interesse der Schüler im Mittelpunkt und es ist grundsätzlich offen für alle Schüler. Es basiert auf dem Drei-Ringe-Modell (*Three-Ring-Conception*), nach dem sich Begabung definiert aus dem Zusammenspiel von überdurchschnittlichen Fähigkeiten (*Above-average Ability*), Engagement (*Task Commitment*) und Kreativität (*Creativity*). Hieraus resultieren außergewöhnliche Leistungen in spezifischen Bereichen (Renzulli, 1986). Diese Modell wurde durch Mönks (1992) um den Faktor der sozialen Umgebungen erweitert: Auf die Entwicklung der Persönlichkeitsmerkmale nehmen die Familie, die Peers und die Schule einen entscheidenden Einfluss. Nach diesem *Triadischen Interdependenzmodell* kann sich Begabung nur bei einem gelungenen Ineinandergreifen der beiden Dreiergruppen entfalten.

Nach Trautmann (2010, S. 59–60) sollen durch Enrichmentmaßnahmen positive Motivationsschübe geschaffen werden und nicht nur die bereits vorhandenen hoch ausgeprägten Fähigkeitsbereiche, sondern auch weniger ausgeprägte Kenntnisse gefördert werden. Zudem wird der Kontakt und Austausch innerhalb der Peer-Group leistungsstarker Jugendlicher als förderlich eingeschätzt (Rohrmann & Rohrmann, 2010, S. 195–196). Enrichmentmaßnahmen können sowohl schulisch als auch außerschulisch umgesetzt werden (Trautmann, 2010, S. 59–60). Es haben sich viele Angebote, die sich an Hochbegabte und/oder leistungsstarke Kinder und Jugendliche richten, abseits des öffentlichen Bildungssystems entwickelt (Rohrmann & Rohrmann, 2010, S. 195). So wurde z. B. das Projekt „Kolumbus Kids“ seit dem Jahr 2006 an der Universität Bielefeld zur adäquaten außerschulischen Förderung von begabten Schülern der Sekundarstufe I im Bereich Naturwissenschaften etabliert. Es konnte nachgewiesen werden, dass positive Emotionen wie Freude und Interesse bei den Schülern des Projekts stärker ausgeprägt sind als bei einer Vergleichsgruppe

(Wegner, Dück & Grotjohann, 2013). Die Umsetzung von Angeboten mit Schülern der Sekundarstufe II im Projekt „Kolumbus Youth“ zeigte positive Effekte im Bereich motivationaler Variablen (Wegner & Kalläne, 2013). Zur Intensivierung dieser von der Biologiedidaktik unterstützten Projekte wurde im Jahr 2018 das „Osthushenrich-Zentrum für Hochbegabungsforschung an der Fakultät für Biologie“ (OZHB) an der Universität Bielefeld geschaffen.

Schülerforschungszentren

Schülerlabore mit Angeboten für die Förderung von besonders naturwissenschaftlich interessierten Schülern außerhalb des Klassenverbandes werden als Schülerforschungszentren klassifiziert. „Schülerforschungszentren dienen (...) der individuellen Förderung der Schüler und bilden die andere große Säule neben den klassischen Schülerlaboren“ (Haupt & Hempelmann, 2015, S. 19). Hier wird engagierten Schülern der Zugang zur Ausstattung und zum Wissen von Experten ermöglicht (Haupt & Hempelmann, 2015). Schülerlabore an Universitäten bieten den Vorteil, dass hier wissenschaftliche Unterstützung inklusive der Nutzung einschlägiger Laborausstattung ermöglicht werden kann (Kratzer, 2013). In Schülerforschungszentren werden leistungsbereiten Schülern adäquate Angebote gemacht, in denen sie unabhängig vom Lehrplan ihre Interessen vertiefen können (Haupt et al., 2013). Dabei sollen individuelle Begabungen gezielt verbessert werden (Giese, 2013) und soziale Kompetenzen (*Soft Skills*) gefördert werden (Haupt & Hempelmann, 2015).

Schülerforschungszentren nehmen in der Nachwuchsförderung eine wichtige Rolle ein, indem sie Talente identifizieren und fördern und somit auch dem Fachkräftemangel in den MINT-Bereichen entgegen wirken (Giese, 2013). Die Notwendigkeit der gezielten Förderung naturwissenschaftlich begabter Schüler wurde u. a. durch die PISA-Studien gezeigt: Der prozentuale Anteil der Jugendlichen mit der höchsten Kompetenzstufe ist in Deutschland signifikant höher als im OECD-Durchschnitt (Rönnebeck et al., 2010). Es ist also ein großes Potential hochkompetenter Jugendlicher vorhanden. Gleichzeitig liegen besonders große Unterschiede in den Kompetenzniveaus von Schülern in den Naturwissenschaften vor (Rönnebeck et al., 2010). Laut Giese (2013) stoßen Schulen in der MINT-Ausbildung an ihre Kapazitätsgrenzen und benötigen Unterstützung durch außerschulische Lernorte. Enrichment-Angebote in Schülerlaboren können einen

wichtigen Baustein im Gesamtsystem zur Förderung von Begabten darstellen (Rohen, 2017).

Auf diesen Hintergründen basierend entwickelte das *teutolab*-biotechnology Angebote für naturwissenschaftlich begabte Schüler. So sollen deren Bedarfe an Enrichmentmaßnahmen gedeckt werden und der Nachwuchs in der Biotechnologie als fächerübergreifender MINT-Bereich gefördert werden. In Säule C zur Begabtenförderung werden fünf Entwicklungen mit unterschiedlicher didaktischer Konzeption vorgestellt. Nach Kratzer (2013) sind die Angebote in Schülerforschungszentren dadurch gekennzeichnet, dass Jugendliche ihre eigenen Ideen entwickeln und im Rahmen einer Forschungsarbeit ohne zeitliche Vorgaben umsetzen. Die Umsetzung dieses Kriteriums variiert zwischen den verschiedenen Konzeptionen und wird jeweils diskutiert.

Zielsetzung und Kooperationspartner

Mit der Zielsetzung, das Interesse begabter Schüler für die Biotechnologie zu wecken und so den Nachwuchs gezielt zu fördern, entwickelte das Centrum für Biotechnologie (CeBiTec) in Kooperation mit dem Schülerlabor die einwöchige CeBiTec-Schülerakademie „Synthetische Biologie/Biotechnologie“. Die jährliche Durchführung in den Sommerferien wurde von der Osthusenrich-Stiftung gefördert. Die Stiftung unterstützt Projekte zur Bildung und Erziehung von Kindern und Jugendlichen in Ostwestfalen-Lippe. Schülerakademien werden von verschiedenen Autoren als Beispiele für geeignete Enrichmentmaßnahmen für besonders begabte Schüler genannt (Trautmann, 2010, S. 60; Ziegler, 2008, S. 79). Der Namensgebung entsprechend wird hier akademisches Lernen, also Lernen an einer Hochschule, angestrebt. Es handelt sich um Angebote in den Schulferien, in denen extracurriculare Inhalte behandelt werden.

Die Teilnehmer wurden angeworben, indem alle Schulen mit gymnasialer Oberstufe durch die Bezirksregierung Detmold über das Angebot informiert wurden. Ergänzend wurde Lehrkräften, welche bereits das *teutolab*-biotechnology besucht hatten, ein Informationsflyer zugesandt. Um auf molekulargenetisches Vorwissen aufbauen zu können, wurden ausschließlich Oberstufenschüler zugelassen. Da die Zahl der Bewerbungen wie erwartet die maximale Teilnehmerzahl von 20 Schülern in jedem Jahr überschritt, wurde ein Auswahlverfahren angewendet. Es hatte zum Ziel,

besonders naturwissenschaftlich begabten Schülern die Teilnahme an der CeBiTec-Schülerakademie zu ermöglichen. Dabei sollte dem Drei-Ringe-Modell der Begabung (Renzulli, 1986) Rechnung getragen werden. Da hier außer den Fähigkeiten auch die Motivation und Kreativität eine wichtige Rolle einnehmen, erhielten die Schüler die Aufgabe, ein Motivationsschreiben zu verfassen. Zudem wurde geprüft, wie viele naturwissenschaftliche Fächer die Schüler im letzten Schuljahr belegt hatten. Ergänzend wurden die Zeugnissensuren in den naturwissenschaftlichen Fächern berücksichtigt, da von hohen Leistungen auf eine hohe Begabung zurückgeschlossen werden kann, denn Begabungen sind unumgängliche Vorbedingungen für Leistung (Stern, 1916). Zusätzlich verfassten die Biologielehrkräfte ein Empfehlungsschreiben.

7.1.2 Material

Das Konzept der CeBiTec-Schülerakademie thematisierte inhaltlich die Biotechnologie sowie die Synthetische Biologie. Letztere hat sich in jüngster Zeit als Spezialgebiet der Biotechnologie entwickelt. Hier werden biologische Systeme wesentlich verändert und gegebenenfalls mit chemisch synthetisierten Komponenten zu neuen Einheiten kombiniert (DFG, acatech & Leopoldina, 2009). In einem einwöchigen Programm lernten die Schüler fachliche Hintergründe und Anwendungsfelder dieser Disziplinen intensiv kennen. In dem Programm der CeBiTec-Schülerakademie waren Vorträge von Wissenschaftlern sowie Studierenden, verschiedene laborpraktische Versuchseinheiten sowie eine Exkursion zu einem biotechnologischen Unternehmen miteinander verflochten. Zudem wurden den Teilnehmern für die Biotechnologie relevante Studiengänge vorgestellt. In einem gemeinsamen Abendprogramm lernten die Jugendlichen Wissenschaftler aus dem Bereich Biotechnologie sowie Studierende des IGEM-Teams kennen. Dies formiert sich an der Universität Bielefeld alljährlich aus engagierten Studierenden der Biotechnologie, um an dem internationalen Wettbewerb *International Genetically Engineered Machine (IGEM) Competition* zur Synthetischen Biologie teilzunehmen. Die CeBiTec-Schülerakademie wurde mit obligatorischer gemeinsamer Übernachtung geplant, obwohl sie sich an Jugendliche aus der Region richtete. So sollte den Schülern die Möglichkeit gegeben werden, sich intensiv innerhalb der Peer-Group besonders naturwissenschaftlich Begabter kennenzulernen und

auszutauschen. In Tabelle 19 ist beispielhaft das Programm aus dem Jahr 2017 aufgeführt.

Tab. 19: Programm der CeBiTec-Schülerakademie „Synthetische Biologie/Biotechnologie“ 2017

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
9.00 – 10.15		Vortrag: Aktuelle Sequenzier-techniken	Vortrag: Industrielle Biotechnologie	Vortrag: Moderne Pflanzenzüchtung	Auswertung und Präsentation Diskussionsrunde zum Thema CRISPR/CAS
10.15 – 10.45		Vortrag: Der Umgang mit Big Data in den Lebenswissenschaften	Vortrag: Industrielle Produktion von Pharmazeutika	Vortrag: Biotechnologie mit Mikroalgen	
12.00 – 13.00	Registrierung & Eröffnung	Mittagspause	Mittagspause	Mittagspause	Verabschiedung und Übergabe von Zertifikaten
13.00 – 18.00	Einführung in die Schülerakademie	Experimente	Experimente	Exkursion zu einer Biotech-Firma	
18.00 – 19.00	Vorträge zur Synthetischen Biologie	Vorstellung des IGEM-Studentenwettbewerbs	Vorstellung des CLIB-Graduierten-Clusters	Vorstellung biotechnologie-relevanter Studiengänge	
ab 19.30	Gemeinsames Kennenlernen	Treffen mit dem IGEM-Team	Treffen mit Doktoranden der Biotechnologie	Abschlussfeier	
Gemeinsame Übernachtung im Kolpinghaus in Bielefeld					

Experimente

Es wurden bei jeder CeBiTec-Schülerakademie vier verschiedene Experimente abwechselnd in Kleingruppen durchgeführt.

Synthetische Biologie

Die Teilnehmer lernten einen Versuch zur Synthetischen Biologie kennen, indem sie eine Plasmidisolierung und Transformation bei *E. coli* durchführten. Die Isolierung eines Plasmids, in dem Rot-Fluoreszierendes Protein (RFP) als Reporter gen verwendet wurde, wurde unter Verwendung eines Plasmid Miniprep Kits durchgeführt. Es wurde die Transformationseffizienz von chemisch-kompetenten Zellen (Transformation durch Behandlung mit Calciumchlorid und Hitzeschock) und

von elektro-kompetenten Zellen (Transformation durch Elektroporation) verglichen. Die Schüler wurden bei diesem Experiment vom IGEM-Studierendenteam betreut.

Bioinformatik

Die Jugendlichen identifizierten Bakterienstämme unter Anleitung von Mitarbeitern der Technologieplattform Bioinformatik des CeBiTec. Dafür wurden ihnen Grundlagen der Bioinformatik vermittelt und Sequenzdatenbanken für DNA und für Proteine verwendet. Als exemplarisch durchgeführte Genvorhersage identifizierten sie proteinkodierende Gene bei Prokaryoten. Zudem führten sie eine Funktionsvorhersage unter Anwendung einer Datenbank für Proteinfamilien durch.

Analyse von Hautbakterien

In dem experimentellen Beitrag des *teutolab*-biotechnologie wurde in jedem Jahr ein Versuch zur Analyse von Hautbakterien umgesetzt. Es war das Ziel der Untersuchung, einen Einblick in die Vielfalt der Bakterien zu erhalten, welche die menschliche Haut besiedeln. Dafür wurden Hautbakterien der Schüler als Abklatschproben auf Nährmedien angezogen, DNA isoliert und 16S-rDNA amplifiziert. Nach erfolgreicher Amplifikation wurden die Sequenzen ermittelt und in einer Datenbank (National Center for Biotechnology Information) mittels BLAST-Analyse mit den hinterlegten Sequenzen abgeglichen.

Molekulargenetische Tierartendifferenzierung

Zwei Jahre lang wurden durch das Schülerlabor weitere Kontexte unter Anwendung von PCR und Gelelektrophorese umgesetzt. Zunächst wurde die molekulargenetische Tierartendifferenzierung durchgeführt. Die theoretischen Hintergründe wurden in Kapitel 5.1.2.1 bereits näher beschrieben. Der Versuch wurde bei der CeBiTec-Schülerakademie mit tierartspezifischen Primern durchgeführt. Anders als bei dem eintägigen Workshop war eine Restriktionsspaltung im Anschluss an die PCR nicht notwendig und die Amplifikate konnten direkt untersucht werden. Falls eine der durch die eingesetzten Primer definierten Tierarten in der untersuchten Wurstprobe enthalten war, entstanden im Gelbild Banden von spezifischer Größe. Es wurde auf Schwein, Rind, Pute und Pferd getestet. Der Versuchsablauf inklusive der Sequenzen der spezifischen Primer ist in der Zeitschrift ‚BU praktisch‘ dokumentiert (Röllke, Kamp et al., 2018).

Molekulargenetische Geschlechtsbestimmung bei Vögeln

Im folgenden Jahr wurde die Bestimmung des Geschlechts aus Vogelfedern durchgeführt. Dies ist für Züchter von Interesse, jedoch aufgrund äußerer Merkmale bei vielen Vogelarten nicht möglich. Durch eine molekulargenetische Analyse der Geschlechtschromosomen können die Unterschiede jedoch sichtbar gemacht werden: Männchen verfügen über zwei Z-Chromosomen und Weibchen über ein Z- und ein W-Chromosom. Letztere sind in einem spezifischen Bereich durch kleine zusätzliche Abschnitte verlängert. Nach einer DNA-Extraktion aus Zellen, welche den Federkielen anhaften, können diese Bereiche in einer PCR unter Verwendung geeigneter Primer vervielfältigt werden. Dadurch konnten mithilfe von Gelelektrophorese bei männlichen Vögeln gleich große PCR-Produkte gezeigt werden, bei weiblichen Vögeln entstanden zwei unterschiedlich große PCR-Produkte. Sie wurden mit Referenzproben von Männchen und Weibchen abgeglichen.

Identifizierung von Proteinen

Ab dem dritten Jahr der Durchführung der CeBiTec-Schülerakademie wurde eine der im Schülerlabor durchgeführten PCR-Anwendungen durch ein Angebot der Proteomics-Arbeitsgruppe des CeBiTec ersetzt. Hier wurden tryptisch verdaute Proteine aus einem *Xanthomonas campestris*-Stamm mithilfe des massenspektrometrischen Verfahrens MALDI-TOF identifiziert.

7.1.3 Methoden

7.1.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Im ersten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Begabtenförderung wurde die Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie untersucht. Abbildung 77 zeigt das Design dieser Teilstudie 8 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichprobe. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Der Fragebogen zur Akzeptanz (Schülerakademie-Akz) wurde am Ende der einwöchigen CeBiTec-Schülerakademie beantwortet.

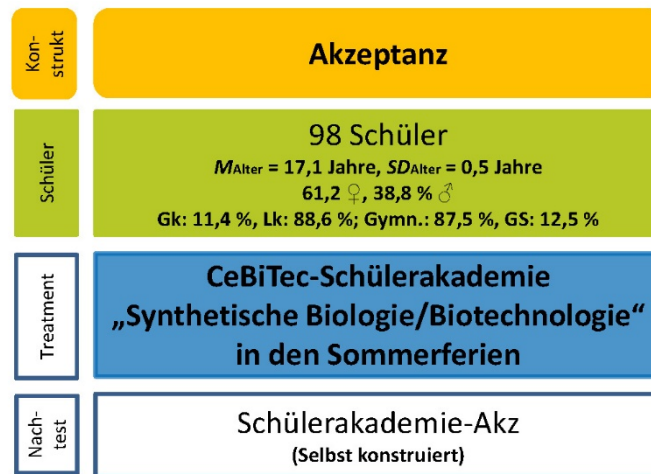


Abb. 77: Design der Teilstudie 8 zur Auswirkung der CeBiTec-Schülerakademien auf die Akzeptanz der Schüler

7.1.3.2 Testinstrumente

Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie

Der Fragebogen zur Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie wurde selbst konstruiert, um die affektive Wahrnehmung der Veranstaltung, die Einschätzung der Qualität und die mögliche Auswirkung auf die Schüler zu erfassen. Die Items wurden in Orientierung an diejenigen zur Akzeptanz der eintägigen Workshops formuliert, jedoch spezifisch auf die einwöchige Veranstaltung zugeschnitten. Sie sollten als Grundlage für möglicherweise notwendige Modifikationen und auch zur Rückmeldung an die Fördermittelgeber dienen. Es konnten keine gemeinsamen Faktoren der 16 Items identifiziert werden. Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug 0,585 und lag damit knapp unter der akzeptablen Grenze von 0,6, welche die Eignung einer Stichprobe für eine Faktorenanalyse markiert. Die Items wurden daher separat betrachtet und sie sind vollständig in Tabelle 20 aufgeführt. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) eingesetzt.

Tab. 20: Items des Fragebogens zur Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie (Schülerakademie-Akz, selbst konstruiert)

Kürzel	Beispielitem	Reliabilität ¹
Programm ausgewogen	Die Anteile von Vorträgen, Experimenten, Exkursionen und Abendveranstaltungen waren ausgewogen.	0,758
Vorträge interessant	Die Themen der Vorträge waren interessant.	
Vorträge verständlich	Die Vorträge waren gut verständlich.	
Experimente interessant	Die Experimente waren interessant.	
Anleitungen verständlich	Die Erklärungen & Versuchsanleitungen waren verständlich.	
Experimente selbstständig	Bei den Experimenten konnte ich selbstständig arbeiten.	
Exkursion interessant	Die Exkursion war interessant.	
Abende interessant	Die Abendveranstaltungen waren interessant.	
Abende Spaß	Die Abendveranstaltungen haben Spaß gemacht.	
Labor Spaß	Das Arbeiten im Labor hat Spaß gemacht.	
Spaß allgemein	Ich habe bei der CeBiTec-Schülerakademie Spaß gehabt.	
Lernzuwachs allgemein	Ich habe bei der Schülerakademie viel dazu gelernt.	
Schulische Vorteile	Die Erfahrungen bei der CeBiTec-Schülerakademie bringen mir schulische Vorteile.	
Einfluss Interesse	Die Erfahrungen bei der CeBiTec-Schülerakademie haben Einfluss auf mein Interesse an biologischen, biotechnologischen und chemischen Themen.	
Einfluss Studienwahl	Die Erfahrungen bei der CeBiTec-Schülerakademie haben Einfluss oder bestärken mich in meiner Studienwahl.	
Einfluss Berufswahl	Die Erfahrungen bei der CeBiTec-Schülerakademie haben Einfluss auf meine berufliche Zukunft.	

Anmerkungen:

¹ Cronbachs Alpha

Ergänzend zu den geschlossenen Fragen umfasste der Fragebogen zwei offene Fragen. Sie lauteten „Welches Fazit ziehst Du für Dich aus der Schülerakademie?“ und „Was könnte bei der Schülerakademie verbessert werden?“

7.1.4 Ergebnisse

Die Mittelwerte der Items zur Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie sind in Abbildung 78 dargestellt.

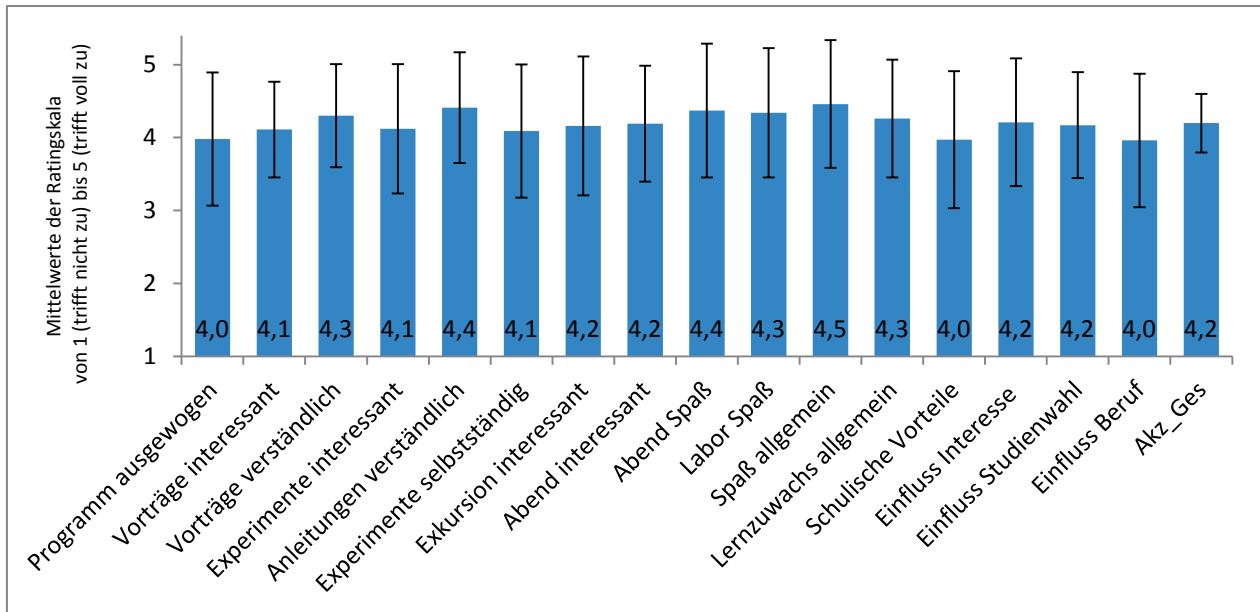


Abb. 78: Mittelwerte der Items zur Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie (N = 98)

Auswertung der offenen Frage zum Fazit der Schüler

Wie im Methodenteil in Kapitel 4.3 beschrieben und wie bereits im ersten Schritt der Entwicklung in Säule C umgesetzt (siehe Kapitel 5.1.4.1), wurden durch Orientierung am Datenmaterial inhaltliche Kategorien gebildet, um die qualitativen Daten auszuwerten. Die Frage „Welches Fazit ziehst Du für Dich aus der Schülerakademie wurde aufgefasst im Sinne von „Welche Kernaussage kannst Du zur Bedeutung der CeBiTec-Schülerakademie formulieren?“

Die bereits in den Fazits der Schüler zu den Praktikumstagen identifizierten sechs Kategorien fanden sich auch in den Fazits zur CeBiTec-Schülerakademie wieder. Dies war insofern zu erwarten, da sich die Kategorie mit engem Bezug zu den theoretischen Hintergründen darstellt und diese ebenso für die CeBiTec-Schülerakademie von Bedeutung sind. So fanden sich auch hier ebenso wie in Kapitel 5.1.4.1 Aussagen zum Spaß an der Veranstaltung, zum Interesse an den Inhalten und zur Studien- und Berufsorientierung. Da viele Schüler den Erwerb von Erfahrungen betonten, wurden die Aussagen zum Wissenserwerb um die Aussagen zum Erfahrungsschatz erweitert. Als neue Kategorie kam die Betonung des sozialen Austausches hinzu. Viele Aussagen konnten gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Von 98 Schülern formulierten 94 Schüler Fazits. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 87,5 % und ist somit

als nahezu perfekt einzustufen. In Tabelle 21 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 21: Kategorien der Fazits der Schüler zur CeBiTec-Schülerakademie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent- satz
1 Mot	Bedeutung für die Motivation	Alle Äußerungen zu Freude/ Vergnügen/positiven Gefühlen	„Es hat mir sehr viel Spaß gemacht.“ „Es war eine tolle Woche.“	17/9,8 %
2 Int	Bedeutung für das Interesse	Alle Äußerungen zum Lerngegenstand/Interesse	„Die Veranstaltung war sehr interessant.“	21/12,1 %
3 Wiss	Bedeutung für den Wissenszuwachs/ Erfahrungsschatz	Alle Äußerungen zum Wissenserwerb/ Kennenlernen neuer Bereiche	„Die Schülerakademie war eine einmalige Erfahrung, bei der ich viel Neues lernen konnte.“	40/23,1 %
4 Zuk	Bedeutung für die Studien- und Berufsorientierung	Alle Äußerungen zu beruflicher Zukunft und Studieninteresse, inkl. Entscheidungen gegen den MINT-Bereich	„Sehr hilfreich für die Berufswahl/Studium, ...“	36/20,8 %
5 Urt	Allgemeine persönliche Beurteilung der CeBiTec- Schülerakademie	Alle Äußerungen zur persönlichen Beurteilung der CeBiTec-Schülerakademie, Feedback zu Qualität	„Es war die richtige Entscheidung, mich zu bewerben.“ „Insgesamt war es gut organisiert...“	37/21,4 %
6 Lab	Bedeutung der Laborarbeit	Alle Äußerungen, welche die Bedeutung der Laborarbeit betonen	„Interessante Experimente durchgeführt, ...“	2/1,2 %
7 Soz	Sozialer Austausch	Alle Äußerungen, welche die sozialen Kontakte betonen	„...habe tolle Leute kennengelernt...“	20/11,6 %

Auswertung der offenen Frage zu den Verbesserungsvorschlägen der Schüler

Bei der Analyse der Antworten auf die Frage „Was könnte bei der CeBiTec-Schülerakademie verbessert werden?“ konnten anhand des Datenmaterials vier Kategorien identifiziert werden. Diese thematisieren die didaktische Konzeption und Umsetzung der Experimente, die didaktische Konzeption und Umsetzung der Vorträge, die organisatorische Konzeption und Umsetzung und die Rahmenbedingungen. Viele Äußerungen können gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Von 98 Schülern formulierten 88 Schüler die Frage

nach den Verbesserungsvorschlägen. Davon nannten 3 Schüler, dass es explizit keine Vorschläge gebe, so dass in der Summe 13,3 % keine Vorschläge äußerten. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 67 % und ist somit als beachtlich einzustufen. In Tabelle 22 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 22: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für die CeBiTec-Schülerakademie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozentsatz
0 Kein	Explizit kein Verbesserungsvorschlag	Alle Äußerungen, in denen explizit geäußert wird, dass es keinen Vorschlag gibt.	„So wie sie ist, ist die Schülerakademie interessant und spannend, weshalb mir keine Verbesserungsvorschläge einfallen.“	3/3,2 %
1 Exp	Didaktische Konzeption und Umsetzung der Experimente	Alle Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Experimente	„Experimente, deren Herangehensweisen selbstständiger erarbeitet werden müssen.“	7/7,4 %
2 Vor	Didaktische Konzeption und Umsetzung der Vorträge	Alle Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Vorträge	„Die Vorträge sollten an manchen Stellen tiefergehender/ detaillierter sein.“	14/14,7 %
3 Pro	Organisatorische Konzeption und Umsetzung: Organisatorische Abläufe	Alle Äußerungen zur Programmgestaltung und zu organisatorischen Abläufen inkl. Pausenstrukturen	„Anteil an Vorträgen ein wenig reduzieren, länger und öfter im Labor arbeiten.“	52/54,7 %
4 Rah	Rahmenbedingungen	Alle Äußerungen zu Unterkunft, Verpflegung, Teilnahmebedingungen, Ausstattung etc.	„Ein breiteres vegetarisches Essensangebot...“ „Übernachtung auf freiwilliger Basis.“	18/19 %
5 Son	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		1/1 %

7.1.5 Diskussion

Die CeBiTec-Schülerakademie wurde durchgängig von den Teilnehmern sehr positiv beurteilt. Alle geschlossenen Fragen wiesen Mittelwerte von mindestens vier (trifft ziemlich zu) auf. Die Daten bestätigen, dass es gelungen ist, ein ausgewogenes Programm mit interessanten Vorträgen, Experimenten, Exkursionen und

Abendveranstaltungen umzusetzen. Dabei wurden die Inhalte gut verständlich vermittelt. Besonders hohe Zustimmung erhielten die Items zum Spaß der Schüler insgesamt, an den Abendveranstaltungen und bei den Experimenten. Sie stimmten zu, sehr viel gelernt zu haben und sahen auch schulische Vorteile. Zudem hat die CeBiTec-Schülerakademie einen Einfluss auf ihr Interesse, ihre Studienwahl und ihre berufliche Zukunft.

Diese Beurteilung wird durch die qualitativen Daten unterstützt. In einem Fünftel der Fazits wurde die Bedeutung für die Studien- und Berufsorientierung betont. Viele Teilnehmer äußerten, die CeBiTec-Schülerakademie bewusst für die Überprüfung ihrer Studienpläne genutzt zu haben. Dies ist ein wichtiger Aspekt, denn die Berufswahl stellt für (Hoch-)Begabte eine besondere Herausforderung dar, da ihnen besonders viele Möglichkeiten offen stehen (Rohrmann & Rohrmann, 2010, S. 242). Ein weiteres Fünftel der Nennungen bezog sich auf den großen Wissens- und Erfahrungserwerb. Die Biotechnologie findet sich zwar im Lehrplan als mögliches Anwendungsgebiet für abiturrelevante molekulargenetische Verfahren wieder, wird jedoch in der Schule nicht vertieft behandelt. So bestehen schulische Bezüge, die in dieser Enrichmentmaßnahme sowohl in der Tiefe als auch in der Breite umgesetzt werden können. Letztlich finden sich bei der CeBiTec-Schülerakademie alle in Kapitel 7.1.1 dargestellten Formen des Enrichments nach Southern et al. (1993) wieder: Das Curriculum wird außer in der Tiefe und im Inhalt auch im Tempo modifiziert, denn in dem einwöchigen Programm werden die Inhalte sehr komprimiert vermittelt. Dies wurde auch durch die Antworten zu den Verbesserungsvorschlägen deutlich, in denen teilweise geäußert wurde, dass das Programm am ersten Tag der Veranstaltung besonders anstrengend war und zudem die Länge der einzelnen Tage mit Programmpunkten bis in den Abend hinein den Jugendlichen viel abverlangte. Dennoch hatten die Teilnehmer bei den Abendveranstaltungen viel Spaß und fanden sie sehr interessant.

Dass die gesamte CeBiTec-Schülerakademie eine hohe Bedeutung für die Motivation und das Interesse der Jugendlichen hatte, wird außer durch die hohen Werte bei den entsprechenden geschlossenen Fragen auch durch die zahlreichen Äußerungen in den Fazits in diesen Bereichen bestätigt: Den beiden Kategorien Bedeutung für die Motivation und Bedeutung für das Interesse konnte ein Fünftel aller Antworten zugeordnet werden. Zudem äußerte ein weiteres Fünftel persönliche

positive Beurteilungen der CeBiTec-Schülerakademie, welche nicht exakt den bereits genannten Bereichen zuzuordnen waren, jedoch in ihrer Kernaussage zustimmend waren.

Bemerkenswert sind die häufigen Nennungen zur positiven Wahrnehmung des sozialen Austausches. Etwa ein Zehntel der Aussagen konnte dieser neu geschaffenen Kategorie zugeordnet werden. Bei den eintägigen Workshops war sie noch nicht identifizierbar. Jedoch verwundert diese Beurteilung des Ferienangebotes nicht: Wie in Kapitel 7.1.1 dargestellt, greifen nach dem *Triadischen Interdependenzmodell* bei der Entwicklung von Begabung die Einflussfaktoren Schule, Familie und Peers ineinander (Mönks, 2001). An der CeBiTec-Schülerakademie nahmen ausschließlich naturwissenschaftlich begabte Jugendliche teil und verbrachten somit in einer Gruppe gleichgesinnter Peers eine Ferienwoche in Auseinandersetzung mit ihren gemeinsamen Interessensgegenständen. Das gegenseitige Kennenlernen wurde durch die obligatorische Übernachtung in einem Jugendgästehaus unterstützt. Im normalen Schulalltag lernen die Jugendlichen dagegen gemeinsam mit Mitschülern mit gemischteren Begabungen. Der Kontakt und Austausch zwischen begabten Jugendlichen wird jedoch als förderlich eingeschätzt (Rohrmann & Rohrmann, 2010, S. 195–196). Ergänzend ist zu bemerken, dass die Äußerungen in dieser Kategorie häufig auch die bei der CeBiTec-Schülerakademie aktiven Wissenschaftler und Studierenden mit einbezogen. Die Jugendlichen hatten eine Woche lang mit dieser Gruppe intensiven Kontakt und nutzten diesen offensichtlich gern, evtl. auch als mögliches Vorbild (*Role Model*) für ihr späteres Leben.

Es fällt auf, dass es kaum Nennungen in der Kategorie zur Laborarbeit gibt. Diese hatte also keine hervorgehobene Bedeutung bei den Fazits der Teilnehmer. Letztlich verwundert dies nicht, denn der zeitliche Umfang umfasste nur zwei Nachmittage im Programm.

Bei den Verbesserungsvorschlägen wurde die Hälfte aller Vorschläge zur Gestaltung des Programms geäußert. Diese waren jedoch sehr heterogen, es konnte keine klare Tendenz ausgemacht werden, was sicher geändert werden sollte. Vorschläge, den Anteil der Laborarbeit zu erhöhen, waren enthalten. Zudem wünschten sich manche Teilnehmer z. B. etwas mehr Freizeit oder andere Pausenstrukturen. Letztlich wurde das Programm über die untersuchten fünf Jahre hinweg beibehalten, da in den Fazits

und zu der geschlossenen Frage nach der Ausgewogenheit des Programms auch viel Zustimmung geäußert wurde. Auch aus den Vorschlägen zu den Änderungen von Rahmenbedingungen und zur didaktischen Konzeption der Vorträge ließen sich keine sicher gewinnbringend umzusetzenden Änderungen ableiten.

Es kann zusammengefasst werden, dass es mit der CeBiTec-Schülerakademie gelungen ist, ein sehr positiv bewertetes Angebot für begabte Jugendliche zu schaffen. Das Programm wurde als Best-Practice-Beispiel für eine Enrichmentmaßnahme im Jahreshaft des Arbeitskreises für Begabtenförderung (ABB) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht (Arnold, Grotjohann, Pühler, Röllke & Selbitschka, 2017). Die Fortführung der Veranstaltung ist gesichert, da die Osthusenrich-Stiftung die Förderung für drei weitere Jahre bei leicht veränderter Konzeption übernimmt. Dabei steht die eigenständige Forschung der Schüler in einem Citizen Science-Projekt im Bereich der Bioinformatik und Genomforschung im Mittelpunkt. Die erste Durchführung wurde bereits sehr positiv bewertet.

7.2 Zweiter Schritt: Entwicklung der *teutolab*-Akademie

7.2.1 Einleitung und theoretischer Hintergrund

Im zweiten Schritt in Säule C zur Begabtenförderung wurde eine weitere einwöchige Akademie als Ferienangebot entwickelt. In der *teutolab*-Akademie lag der Schwerpunkt auf der Systembiologie, einer zukunftsweisenden Forschungsdisziplin der Lebenswissenschaften, deren Spezifika zunächst vorgestellt werden.

Systembiologie

Bei der Systembiologie handelt es sich um eine Schlüsseltechnologie, welche beispielhaft für die MINT-Fächer steht. Hier soll innovativer und kompetenter wissenschaftlicher Nachwuchs ausgebildet werden, der gelernt hat, interdisziplinär zu denken (Wanka, 2015). „Systembiologie ist definiert als quantitative Analyse der dynamischen Interaktionen zwischen den Komponenten eines biologischen Systems mit dem Ziel, das Verhalten des Systems als Ganzes zu verstehen und Vorhersagen zu ermöglichen. Dazu werden mathematische Konzepte auf biologische Systeme angewendet. Dabei findet ein iterativer Prozess statt zwischen Laborexperiment und Modellierung im Computer“ (Miczka, S. 6). Experimentelle Methoden gehen also mit

mathematischen Modellierungen Hand in Hand (Kremling, 2012, S. 3). Systembiologische Modelle ermöglichen Vorhersagen über das Verhalten von Systemen unter bis dahin noch nicht beobachteten Bedingungen, so dass Kosten und Zeit gespart werden können (Körner & Schöbel, 2010, S. 15). Dabei kann es sich um dynamische Interaktionen zwischen Zellen, Organismen, Viren oder infizierten Wirten handeln (Klipp, Liebermeister, Wierling & Kowald, 2016). Es gibt verschiedene Bereiche, in denen die Systembiologie angewendet wird. So kann das Wissen über systematische Abläufe und mögliche Auswirkungen z. B. Entwicklungszeiten von Medikamenten verkürzen oder auch biotechnologische Produktionswege verschiedener Stoffe optimiert werden (Wiechert, 2004, S. 7).

Lernen mit Modellen

Die Systembiologie ist eine interdisziplinäre Forschungsrichtung, in der v. a. die Bereiche Biologie und Mathematik mit der Zielsetzung einer Modellbildung verknüpft werden. Modelle sind in beiden Fächern von deutlicher Relevanz: Eine weit gefasste Definition versteht in der biologischen Perspektive unter Modellen jedes Analogon eines natürlichen Systems struktureller oder funktionaler Art. Dabei bilden Modelle reale Systeme ab oder repräsentieren sie (Halbach, 1977). In der Biologie werden sie vorwiegend als Lehrmittel bzw. zur Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse eingesetzt. Im Rahmen von Forschungsprozessen dienen sie zudem auch zur Klärung von Systembeziehungen (Upmeyer zu Belzen, 2016). Upmeyer zu Belzen (2016) betont, dass Modelle nicht nur als Medium zur Vermittlung von Fachwissen geeignet sind, sondern auch als Mittel zum Erwerb von Kompetenzen im Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung.

Es wird zwischen verschiedenen Modelltypen unterschieden: Strukturmodelle veranschaulichen morphologische oder anatomische Merkmale, Funktionsmodelle verdeutlichen das Prinzip von Vorgängen (Killermann et al., 2016, S. 170). Modelle können auch als computergestützte Medien eingesetzt werden: Dabei können Computersimulationen zu den Funktionsmodellen gezählt werden (Killermann et al., 2016, S. 170). Nach Killermann et al. (2016, S. 188–189) sind Simulationen definiert als die Nachbildungen von Systemen durch andere Systeme. Die Simulationen bieten gegenüber dem praktischen Experimentieren die Vorteile, dass sie beliebig wiederholbar sind und ohne großen Aufwand Variablen verändert und Parameter überprüft werden können. Anknüpfend an die Spezifika der Systembiologie bieten sie

also auch die Möglichkeit von Einblicken in Prozesse, welche aufgrund ihrer Komplexität experimentell schwer zugänglich sind. Außer geschlossenen Simulationsprogrammen können auch Modellbildungssysteme genutzt werden. Sie ermöglichen in der Regel durch die Verknüpfung grafischer Elemente den selbstständigen Aufbau von Modellen und die daran anschließende Simulation. Die Umsetzung von Formeln und Gleichungen übernimmt das Programm im Hintergrund (Killermann et al., 2016, S. 188–189).

Die Verwendung von Computersimulationen setzt voraus, dass sich die Prozesse algorithmisieren lassen (Killermann et al., 2016, S. 188–189). Aus mathematischer Perspektive geschieht Modellierung niemals als Selbstzweck, sondern immer mit dem Ziel der Simulation (Bungartz, Zimmer, Buchholz & Pflüger, 2009, S. 11). Durch die Anwendung der Mathematik als universelle Modellierungssprache wird dieses Fach mit der Biologie verbunden.

Obwohl fächerverbindender Unterricht immer wieder gefordert wird, wird er insbesondere in den Sekundarstufen I und II kaum umgesetzt (Duncker & Popp, 1998). Dies ist sowohl organisatorisch als auch fachlich begründet: Lehrkräfte sind Experten für meist nur zwei Fächer und die inhaltlichen Vorgaben sowie der Stundenplan müssen berücksichtigt werden (Duncker & Popp, 1998). Huber (1998) fordert jedoch explizit fächerübergreifendem Unterricht in der gymnasialen Oberstufe, da er ganzheitliches Lernen, problemorientiertes Lernen und reflexives Lernen in besonderem Maße fördert. So soll die Studierfähigkeit unterstützt werden. Im Kernlehrplan Biologie für die Sekundarstufe II für Gymnasien und Gesamtschulen in NRW (MSW NRW, 2014, S. 29) wird die Entwicklung theoretischer Modelle, mathematischer Modellierungen und die Simulationen biologischer sowie biotechnischer Prozesse gefordert.

Die Anwendung mathematischer Kenntnisse auf biologische Prozesse ist auch im Mathematikunterricht relevant: Im Inhaltsfeld ‚Funktionen und Analysis‘ sollen Schüler Exponentialfunktionen zur Beschreibung von Wachstums- und Zerfallsvorgängen verwenden und mit der Modellierung begrenzten Wachstums vergleichen (MSW NRW, 2014, S. 32) Im Kompetenzbereich ‚Modellieren‘ wird „(...) der Prozess der Strukturierung von Sachsituationen, der Beschreibung außermathematischer Realität durch mathematische Begriffe und Zusammenhänge (Mathematisierung) sowie der Nutzung mathematischer Zusammenhänge zur

Lösung realer Probleme, der anschließenden Interpretation des Ergebnisses und der Validierung des Modells“ umgesetzt (MSW NRW, 2014, S. 16). Ein weiterer Kompetenzbereich ist die Nutzung digitaler Werkzeuge, welche u. a. das Experimentieren und Simulieren unterstützen (MSW NRW, 2014, S. 17).

In der Systembiologie werden die didaktischen Ansprüche an die beiden Fächer miteinander verknüpft. Sie bietet somit einen authentischen Kontext für fächerübergreifenden Unterricht in einem zukunftssträchtigen Forschungsfeld.

Zielsetzung und Kooperationspartner

In der systembiologischen Forschung zählt Deutschland zu den Spitzenreitern (Projektträger Jülich, 2008). Die Forschung und Entwicklung wird vom BMBF unterstützt. In der Förderung des Nachwuchses ist auch die Joachim Herz Stiftung aktiv: Sie entwickelte in Kooperation mit dem Schülerlabor X-Lab Göttingen eine Projektwoche zur Systembiologie für interessierte Jugendliche. Schülerlabore, welche die Inhalte mit Jugendlichen aus ihrer Region umsetzen möchten, erhalten durch die Bereitstellung von Schülerskripten und von Materialien zur Umsetzung der mathematischen Modellierung Unterstützung (Joachim Herz Stiftung, 2016). Zudem werden finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt. An diesem Programm nehmen seit dem Schuljahr 2016/2017 jeweils vier Schülerlabore (XLAB Göttingen, BioS Braunschweig, Gläsernes Labor Berlin, *teutolab*-biotechnologie Bielefeld) teil. Es richtet sich an Oberstufenschüler mit besonderem Interesse an Biologie und/oder Mathematik. Im *teutolab*-biotechnologie wurde es im ersten Jahr im Rahmen einer schulischen Projektwoche mit einem Biologie-Leistungskurs getestet. In den beiden Folgejahren wurde es als einwöchiges Angebot zur Begabtenförderung in den Herbstferien als *teutolab*-Akademie Systembiologie umgesetzt. Die Teilnehmer wurden über die Bezirksregierung Detmold und dem Schülerlabor bekannte Lehrkräfte angeworben. Zudem erhielten alle Schüler, welche mit ihren Biologiekursen einen Workshop im *teutolab*-biotechnologie durchführten, im Vorfeld Informationen über die mögliche Vertiefung ihrer Interessen in den Schulferien. Ebenso wie bei der CeBiTec-Schülerakademie wurde bei der *teutolab*-Akademie Systembiologie ein Bewerbungsverfahren eingerichtet, bei dem die Zensuren in den naturwissenschaftlichen Fächern sowie ein Motivationsschreiben berücksichtigt werden sollten. Es konnte jedoch in beiden Jahren allen interessierten Jugendlichen die Teilnahme ermöglicht werden.

7.2.2 Material

In der Projektwoche Systembiologie wurde die Zuckerverarbeitung des Modellorganismus *E. coli* untersucht. Es wurde der Frage nachgegangen, wie sich Stoffflüsse und Bakterienwachstum unter Bereitstellung verschiedener Zucker verändern. Die experimentell gewonnenen Daten wurden zur Modellierung der biologischen Vorgänge genutzt. Unter Berücksichtigung des Einflusses verschiedener Parameter wurden die Prozesse des Bakterienwachstums und der Zuckerverwertung simuliert. Dies geschah auf der Basis der Genregulation durch das *Lac*-Operon. Dieses Modell erklärt die substratabhängige Bereitstellung von Enzymen zur Spaltung von Lactose in Glucose und Galactose. In dem Operon sind drei proteincodierende Gene als Transkriptionseinheit zusammengefasst, deren Genexpression von einem Promotor reguliert wird. Bei Abwesenheit von Lactose bindet der *Lac*-Repressor an das Operon und hemmt es dadurch, bei Anwesenheit des aus Lactose gebildeten Isomers Allolactose wird der Repressor inaktiviert und das Operon dadurch aktiviert. Ergänzend zu dieser negativen Kontrolle erfolgt eine positive Kontrolle durch das cAMP-Rezeptorprotein (CRP). Bei niedrigem Glucosespiegel steigt die Konzentration von zyklischem AMP (cAMP) und es bindet am allosterischen Zentrum von CRP. Dieses wiederum bindet in einem spezifischen Bereich des Promotors, wodurch aufgrund einer Konformationsänderung der DNA und besseren Bindungsmöglichkeiten der Polymerase die Transkriptionsrate erhöht wird (Campbell et al., 2016, S. 469–472).

Für die *teutolab*-Akademie Systembiologie wurde ein Programm erstellt, in dem Experimente mit *E. coli* zum Wachstum, zur Enzymaktivität und zur Promotoraktivität in Abhängigkeit von den vorhandenen Zuckern durchgeführt wurden und die Daten zur Modellierung genutzt wurden. Zudem wurden in einem wissenschaftlichen Vortrag systembiologische Forschungsprojekte vorgestellt und es wurde eine Fermentationsanlage in der Universität besichtigt. In Tabelle 23 ist beispielhaft das Programm aus dem Jahr 2018 aufgeführt.

Tab. 23: Programm der *teutolab*-Akademie Systembiologie 2018

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
9.00 – 10.00	Begrüßung und Kennenlernen	Vorbesprechung der Versuche	Vortrag: Forschung im Bereich der Systembiologie	Besichtigung einer Fermentationsanlage	Führung durch das CeBiTec
10.00 – 12.00	Vortrag: Einführung in die Systembiologie	Versuche zum Wachstum von <i>E. coli</i> und zum Nachweis von Beta-Galactosidase	Versuche zur Promotoraktivität	Modellierung der Versuchsergebnisse	Präsentation und Diskussion der Ergebnisse
12.00 – 13.00	Mittagspause	Mittagspause	Mittagspause	Mittagspause	Verabschiedung und Übergabe von Zertifikaten
13.00 – 15.00	Theorie zum lac-Operon	Versuche zum Wachstum von <i>E. coli</i> und zur Enzymkinetik von Beta-Galactosidase	Auswertung der Versuche zum Wachstum von <i>E. coli</i> und zur Enzymkinetik	Finale Auswertung aller Ergebnisse und Vorbereitung der Präsentation	
15.00 – 16.30	Theorie zur mathematischen Modellierung				
16.30 – 17.00	Ansetzen von <i>E. coli</i> -Vorkulturen				

Experimente

Wachstumsversuch

Zunächst wurden Übernachtskulturen von *E. coli* auf vier verschiedene Ansätze von LB-Medien überführt: Das Wachstum wurde unter Zusatz von Lactose, Glucose, keinem Zucker und von beiden Zuckern im Medium getestet. Über vier Stunden hinweg wurden durch wiederholte photometrische Messung bei OD₆₀₀ im Abstand von 20 Minuten Daten zur Zelldichte im Medium erhoben. Die Werte wurden als Wachstumskurven grafisch dargestellt und anhand der Daten wurde unter Verwendung geeigneter mathematischer Formeln die Zeitspanne des exponentiellen Wachstums, die Wachstumsrate und die Generationszeit bestimmt.

Qualitativer Enzymversuch

Die Enzymaktivität von β -Galactosidase wurde qualitativ durch Zugabe von o-Nitrophenyl- β -D-galactopyranosid (oNPG) als Substrat nachgewiesen. *E. coli*-Zellen,

die bei An- oder Abwesenheit von Lactose und oder Glukose kultiviert wurden, wurden mit dem Lactose-Analogen versetzt. Kultivierungsansätze mit aktivem Enzym konnten durch einen Farbumschlag (Spaltung von oNPG in Galaktose und gelbes Nitrophenol) identifiziert werden.

Quantitativer Enzymversuch

Mithilfe eines quantitativen Enzymversuches wurden Daten zur Enzymkinetik generiert. Hier wurde die *E. coli*-Kultur unter Zusatz von Lactose verwendet, da hier Beta-Galactosidase gebildet wurde. Es wurde die Zugabe von 10 verschiedenen Konzentrationen von oNPG (0 mM bis 10 mM) über fünf Minuten hinweg nach einer, zwei, drei, vier und fünf Minuten getestet. Nach der Berechnung der Umsatzgeschwindigkeiten bei den verschiedenen Konzentrationen wurden diese gegen die verschiedenen oNPG-Konzentrationen aufgetragen. Es ergab sich eine Sättigungskurve, anhand derer die Enzymparameter V_{\max} und somit auch die Michaelis-Menten-Konstante K_m ($K_m = V_{\max}/2$) abgeschätzt werden konnte. Eine doppeltreziproke Darstellung derselben Werte im Lineweaver-Burk-Diagramm erlaubte die genaue Berechnung von K_m und V_{\max} . Die Ergebnisse wurden mit den in der Literatur angegebenen Werten abgeglichen.

Versuch zur Promotoraktivität

Unter Verwendung eines Expressionsplasmides, in welchem das Reporterogen *gfp*, welches Grün-Fluoreszierendes Protein (GFP) kodiert, unter Kontrolle des *lac*-Promotors steht, wurde ein Test zur Promotoraktivität des *lac*-Operons durchgeführt. *E. coli*-Zellen, die das Expressionsplasmid tragen, wurden in Gegenwart des Lactose-Analogons IPTG (als Induktormolekül für den *lac*-Operon-Promotor) kultiviert. *E. coli*-Zellen mit aktivem *lac*-Promotor fluoreszierten grün.

Modellierung und Simulation

Die Aufnahme und Umsetzung von Lactose wurde abschließend mit der Software CellDesigner modelliert und simuliert. In diesem Programm stehen festgelegte Symbole für biologische Objekte zur Verfügung, welche für die Darstellung der Zusammenhänge und somit zur Modellierung verwendet wurde. Die Simulation erfolgte mithilfe von hinterlegten Formeln, welche die Stöchiometrie der beteiligten Metabolite berücksichtigen. Die Ergebnisse wurden als Graphen dargestellt, welche

die Konzentrationen in Abhängigkeit von der Zeit zeigten. Verschiedene Möglichkeiten konnten unter Veränderung der Parameter visualisiert werden.

7.2.3 Methoden

7.2.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Im zweiten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Begabtenförderung wurde die Akzeptanz der *teutolab*-Akademie Systembiologie untersucht. Abbildung 79 zeigt das Design dieser Teilstudie 9 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichprobe. Zudem wird der Anteil der Schulformen und Leistungs- und Grundkurse aufgeführt. Der Fragebogen zur Akzeptanz (*teutolab*-Akademie-Akz) wurde am Ende der einwöchigen Veranstaltung beantwortet.

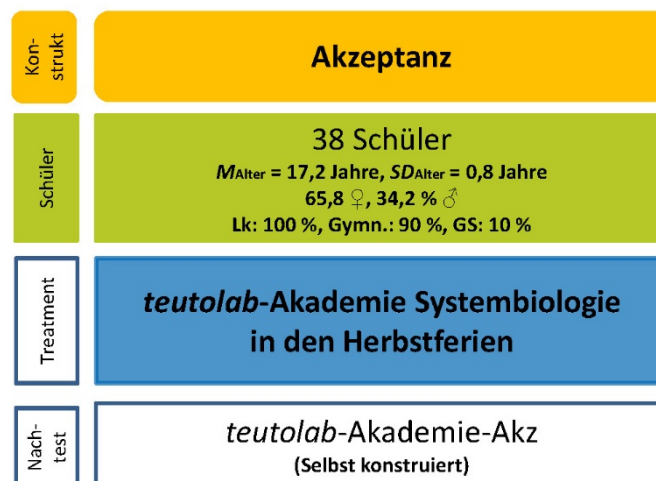


Abb. 79: Design der Teilstudie 9 zur Auswirkung der *teutolab*-Akademie Systembiologie auf die Akzeptanz der Schüler

7.2.3.2 Testinstrumente

Akzeptanz der *teutolab*-Akademie Systembiologie

Für die Erfassung der Akzeptanz der *teutolab*-Akademie Systembiologie wurde der für die CeBiTec-Schülerakademie (siehe Kapitel 7.1.3.1) verwendete Fragebogen leicht modifiziert. Zwei unpassende Fragen zu Abendveranstaltungen wurden nicht verwendet und zwei Fragen wurden weiter ausdifferenziert: Es wurde separat danach gefragt, ob die Erklärungen der biologischen und der mathematischen Hintergründe verständlich waren und die Ausgewogenheit des Programms wurde einmal in Bezug auf das Verhältnis von Biologie und Mathematik und einmal bezüglich Theorie und

Praxis erfragt. Die Reliabilität war für den Vergleich von Gruppen angemessen (Cronbachs Alpha = 0,791).

7.2.4 Ergebnisse

Die Mittelwerte der Items zur Akzeptanz der *teutolab*-Akademie Systembiologie sind in Abbildung 80 dargestellt.

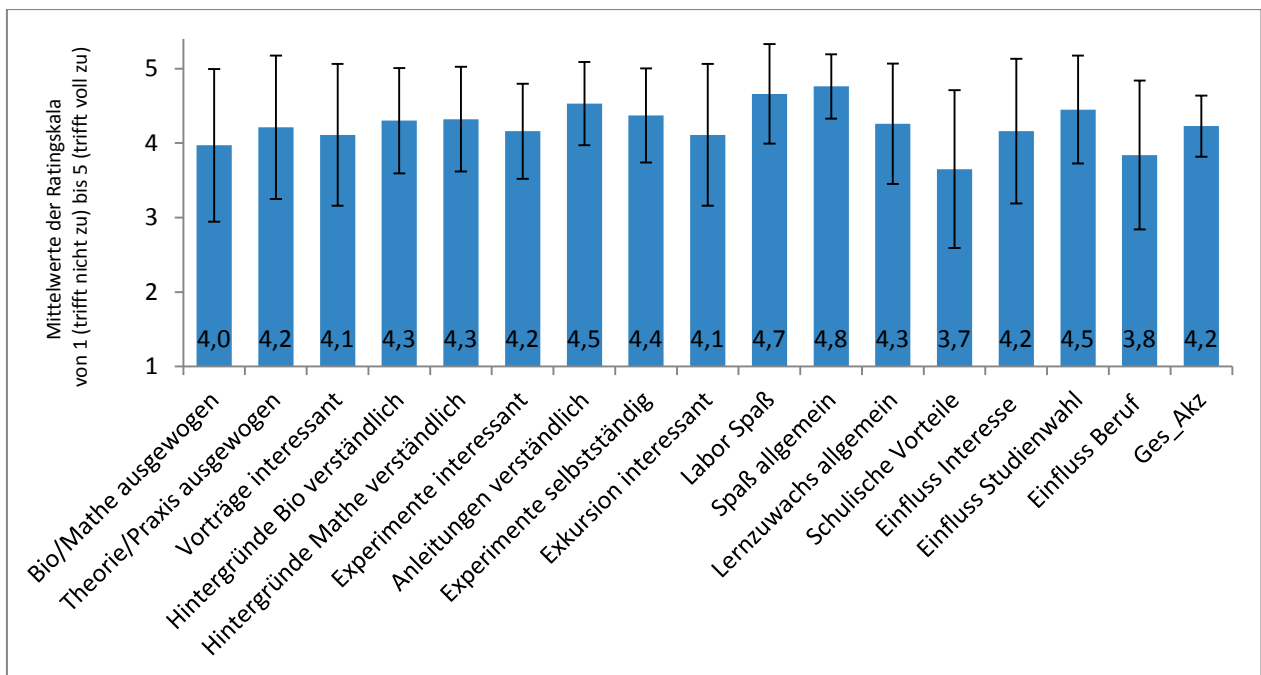


Abb. 80: Mittelwerte zur Akzeptanz der *teutolab*-Akademie Systembiologie (N = 38)

Auswertung der offenen Frage zum Fazit der Schüler

Analog zu den in Kapitel 7.1.4 dargestellten Ergebnissen zur CeBiTec-Schülerakademie konnten bei den Antworten auf die Frage „Welches Fazit ziehst Du für Dich aus der *teutolab*-Akademie Systembiologie?“ annähernd die gleichen Kategorien identifiziert werden und mehrere Aussagen gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Aussagen zum sozialen Austausch finden sich bei dieser Veranstaltung jedoch nicht. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 67,8 % und ist somit als beachtlich einzustufen. Von 38 Schülern formulierten 35 Schüler Fazits. In Tabelle 24 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 24: Kategorien der Fazits der Schüler zur *teutolab*-Akademie Systembiologie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozentsatz
1 Mot	Bedeutung für die Motivation	Alle Äußerungen zu Freude/ Vergnügen/positiven Gefühlen	„Es hat mir wirklich Spaß gemacht.“	6/10,7 %
2 Int	Bedeutung für das Interesse	Alle Äußerungen zum Lerngegenstand/Interesse	„Es war eine interessante und spannende Woche.“	9/16,1 %
3 Wiss	Bedeutung für den Wissenszuwachs/ Erfahrungsschatz	Alle Äußerungen zum Wissenserwerb/ Kennenlernen neuer Bereiche	„Außerdem haben sich die Teilbereiche der Schulinhalt zusammengefügt.“	5/8,9 %
4 Zuk	Bedeutung für die Studien- und Berufsorientierung	Alle Äußerungen zu beruflicher Zukunft und Studieninteresse, inkl. Entscheidungen gegen den MINT-Bereich	„Ich konnte meine Studienwahl besser präzisieren.“	18/32,1 %
5 Urt	Allgemeine persönliche Beurteilung der <i>teutolab</i> -Akademie	Alle Äußerungen zur persönlichen Beurteilung der <i>teutolab</i> -Akademie, Feedback zu Qualität	„Die Teilnahme hat sich für mich gelohnt.“	9/16,1 %
6 Lab	Bedeutung der Laborarbeit	Alle Äußerungen, welche die Bedeutung der Laborarbeit betonen	„Ich habe Einblicke in die Arbeitsverfahren im Labor gekriegt und gezeigt bekommen, wie eine sinnvolle Auswertung mit technischen Mitteln möglich ist.“	9/16,1 %

Auswertung der offenen Frage zu den Verbesserungsvorschlägen der Schüler

Bei der Analyse der Antworten auf die Frage „Was könnte bei der *teutolab*-Akademie Systembiologie verbessert werden?“ konnten die bereits aus Kapitel 7.1.4 bekannten Kategorien identifiziert werden und viele Äußerungen gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 76,7 % und ist somit als beachtlich einzustufen. Von 38 Schülern beantworteten 32 Schüler die Frage nach den Verbesserungsvorschlägen, so dass 15,8 % keine Vorschläge äußerten. In Tabelle 25 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 25: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für die *teutolab*-Akademie Systembiologie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent- satz
1 Exp	Didaktische Konzeption und Umsetzung der Experimente	Alle Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Experimente	„Noch mehr selbst Versuche entwickeln.“	7/7,4 %
2 Vor	Didaktische Konzeption und Umsetzung der Vorträge	Alle Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Vorträge	„Die Vorträge sollten dem Wissensstand der Schüler angepasst werden.“	14/14,7 %
3 Pro	Organisatorische Konzeption und Umsetzung: Organisatorische Abläufe	Alle Äußerungen zur Programmgestaltung und zu organisatorischen Abläufen inkl. Pausenstrukturen	„Man hätte sich am Anfang etwas besser kennenlernen können.“	52/54,7 %
4 Rah	Rahmenbedingungen	Alle Äußerungen zu (fehlender) Unterkunft, Verpflegung, Teilnahmebedingungen, Ausstattung etc.	„Eine gemeinsame Unterkunft wäre vielleicht eine gute Idee.“	18/19 %
5 Son	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		1/1 %

7.2.5 Diskussion

Die *teutolab*-Akademie Systembiologie wurde von den Teilnehmern sehr positiv beurteilt. Außer den beiden Fragen zu den schulischen Vorteilen und dem Einfluss auf das spätere Berufsleben wiesen alle geschlossenen Fragen Mittelwerte von mindestens vier (trifft ziemlich zu) auf. Die Daten zeigen, dass eine weitere einwöchige Veranstaltung in den Schulferien für besonders begabte Jugendliche gut angenommen wurde. Im Vergleich zur CeBiTec-Schülerakademie stand hier stärker die laborpraktische Arbeit und die mathematische Modellierung im Mittelpunkt. Ergänzend wurden auch zwei Vorträge gehört und eine Besichtigung eines Labors in der Universität Bielefeld durchgeführt. Das Programm wurde als ausgewogen sowohl in Bezug auf das Verhältnis von Theorie und Praxis als auch auf das Verhältnis von Biologie und Mathematik beurteilt. Die Jugendlichen fanden die Vorträge, Experimente und Exkursionen interessant. Die Anleitungen zu den Experimenten und die Vermittlung der biologischen und mathematischen Hintergründe wurden als besonders gut verständlich eingeschätzt. In der gesamten Woche und auch speziell

im Labor hatten die Schüler sehr viel Spaß. Sie stimmten zu, viel gelernt zu haben, sahen aber nicht so große schulische Vorteile wie die Schüler bei der CeBiTec-Schülerakademie. Zudem hat die *teutolab*-Akademie einen großen Einfluss auf das Interesse und die geplante Studienwahl der Teilnehmer. Dies ist erfreulich, da im Bereich der Systembiologie als zukunftssträchtiger Forschungszweig Nachwuchskräfte benötigt werden. Der Einfluss auf die berufliche Zukunft wird etwas niedriger bewertet. Dies kann daran liegen, dass die Ausübung eines Berufes zeitlich noch sehr weit entfernt für die Schüler liegt und diese Vorstellung noch recht abstrakt ist.

Die Beurteilung wird durch die qualitativen Daten unterstützt. In einem Drittel der Fazits wurde die Bedeutung für die Studien- und Berufsorientierung betont. Ebenso wie bei der CeBiTec-Schülerakademie äußerten viele Teilnehmer, die *teutolab*-Akademie bewusst für die Überprüfung ihrer Studienwünsche genutzt zu haben. Die besondere Bedeutung der Berufsentscheidung für begabte Jugendliche wurde bereits in Kapitel 7.1.1 dargelegt und bestätigte sich hier nochmals.

Nur knapp ein Zehntel der Teilnehmer maßen in ihren Fazits dem Wissens- oder Erfahrungszuwachs eine Bedeutung bei, obwohl die geschlossene Frage zum Lernzuwachs hoch bewertet wurde. Es ist möglich, dass dieser ihnen nicht so wichtig erschien, da die Schüler nicht so hoch ausgeprägte schulische Vorteile sehen wie bei der CeBiTec-Schülerakademie. Einerseits verwundert dies, da die Inhalte der *teutolab*-Akademie einen deutlichen Bezug zum Lehrplan der Biologie und der Mathematik in der Oberstufe haben. Wie in Kapitel 7.1.1 dargestellt, werden in beiden Fächern Modellierungen als Arbeitsweisen oder Kompetenzbereiche genannt. Die Bestimmung von Wachstumsraten bei Bakterien wird sowohl im Curriculum der Biologie und als auch der Mathematik als Beispiel genannt. Die Funktion des *lac*-Operons ist von zentraler Bedeutung in der Biologie und dessen laborpraktische Analyse hat insofern einen direkten Bezug. Es ist denkbar, dass die Teilnehmer sich hier im schulischen Vergleich zu ihren Mitschülern nicht so sehr im Vorteil sahen, da die theoretischen Inhalte dort obligatorisch behandelt werden. Bei dieser Enrichmentmaßnahme bestehen noch intensivere schulische Bezüge als bei der CeBiTec-Schülerakademie. Die Inhalte werden bei beiden Veranstaltungen in besonderer Breite und in besonderer Tiefe behandelt. Das Tempo kann bei der *teutolab*-Akademie als geringer eingeschätzt werden, da es hier keine

Abendveranstaltungen gab. Zudem wurden auch keine Verbesserungsvorschläge zu einem entzerrteren Programm geäußert.

Ebenso wie bei der CeBiTec-Schülerakademie wurde durch die Fazits bestätigt, dass die *teutolab*-Akademie eine hohe Bedeutung für die Motivation und das Interesse der Jugendlichen hatte. In diesen beiden Kategorien kann ein knappes Drittel der Fazits vereint werden. Außerdem bestätigt sich dies durch die sehr hohen Werte bei den entsprechenden geschlossenen Fragen. Weitere 16 % äußerten allgemeine positive Beurteilungen. Im Vergleich zur CeBiTec-Schülerakademie hat die Laborarbeit einen größeren Stellenwert: Dieser Kategorie konnten 16 % zugeordnet werden. Das war zu erwarten, da der gesamte Fokus dieser Veranstaltung verstärkt auf dem Experimentieren lag. Zum sozialen Austausch gab es keine Nennung in den Fazits. Dies spiegelt wieder, dass es bei der *teutolab*-Akademie ohne Abendprogramm und ohne gemeinsame Übernachtung nicht so gut gelingt, die sozialen Kontakte zu fördern. Weitere Unterstützung erhält diese Begründung dadurch, dass in den Verbesserungsvorschlägen teilweise eine gemeinsame Übernachtung gewünscht wird. Ebenso wie bei der CeBiTec-Schülerakademie wurde die Hälfte aller Verbesserungsvorschläge zur Gestaltung des Programms geäußert. Auch hier fand sich der Wunsch nach stärkerem sozialem Austausch wieder, indem bewusste Programmpunkte zum gemeinsamen Kennenlernen und auch längere Pausen für gemeinsame Gespräche geäußert wurden.

Als Konsequenz daraus ist es geplant, bei weiteren *teutolab*-Akademien den sozialen Austausch stärker zu fördern und eine gemeinsame Unterkunft und ein angemessenes Abendprogramm anzubieten. Dies dürfte auch aus organisatorischen Gründen für diejenigen Schüler vorteilhaft sein, die einen längeren Anfahrtsweg haben. Die Fortführung der Veranstaltung unter diesen veränderten Bedingungen ist bereits gesichert, da die Joachim Herz Stiftung eine weitere Förderung in Aussicht gestellt hat. Das Konzept wurde als Beispiel zur Begabtenförderung auf der 13. Jahrestagung von Lernort Labor e.V. vorgestellt (Röllke & Grotjohann, 2018b). Es ist gewünscht, dass auch weitere Schülerlabore eine fächerübergreifende Projektwoche in ihr Angebot aufnehmen. Im *teutolab*-biotechnologie wird derzeit zudem aus dem Programm ein eintägiger Experimentierkurs zur Enzymkinetik extrahiert. Er soll demnächst mit Biologiekursen zur Breitenförderung umgesetzt werden. Dabei wird

die einmalige Chance, die Fächer Mathematik und Biologie über die Modellierung zu verbinden, ebenso wie bei der *teutolab-Akademie* Systembiologie genutzt.

7.3 Dritter Schritt: Entwicklung des Lab2Venture-Projektes

7.3.1 Einleitung und theoretischer Hintergrund

Im dritten Schritt in der Entwicklung der Säule C zur Begabtenförderung wurde ein Angebot in einer Sonderform des Projektlernens entwickelt. Hier wurde die TheoPrax-Methode umgesetzt, in der die Teilnehmer reale Fragestellungen von Unternehmen bearbeiten. Die schuljahresbegleitende Durchführung im Schülerlabor als Lab2Venture-Projekt wird nach einer Einführung in das Projektlernen und die TheoPrax-Methode vorgestellt.

Projektlernen

Projektlernen hat eine lange Tradition und geht auf Ideen von pädagogischen Klassikern wie Jean-Jaques Rousseau (1712-1778), Heinrich Pestalozzi (1746-1827) und Friedrich Fröbel (1782-1852) zurück. Als Unterrichtsmethode wurde das Lernen in Projekten bereits in der Reformpädagogik (1895-1933) umgesetzt und erfährt seit den 1970er Jahren wieder verstärkte Beachtung (Frey, 2007, S. 29–32). Das Projektlernen wird als offene, schülerzentrierte Unterrichtsform betrachtet, welche zur Entwicklung von Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz führen soll (Killermann et al., 2016, S. 213–216). Dennoch hat diese Methode einen geringen Anteil am Gesamtunterricht in der Biologie (Killermann et al., 2016, S. 217). Als mögliche Gründe werden hier, ebenso wie bei dem in Kapitel 7.2.1 dargestellten fächerübergreifenden Unterricht, organisatorische Schwierigkeiten genannt. Zudem erfordert Projektlernen einen hohen Zeitaufwand (Killermann et al., 2016, S. 217).

Die für den Biologieunterricht geltenden Voraussetzungen für eine sinnvolle Umsetzung von Projekten orientieren sich an Dewey (Berck & Graf, 2018, S. 287). Er legte vier Kriterien für ein bildendes und erzieherisch wertvolles Projekt fest:

- Das Projekt muss das Interesse der Schüler finden, d.h. es muss auf deren Interesse und Erfahrungen eingehen.
- Das Projekt muss etwas Wertvolles im Leben selbst darstellen, d. h. es muss auch vom Standpunkt der Erwachsenen aus wichtig und nützlich sein.

- Das Projekt muss komplex angelegt sein, d.h. es darf sich nicht mit bloßer Handfertigkeit begnügen, es muss auch geistiges Wissen vermitteln.
- Das Projekt muss Kontinuität besitzen, d.h. es muss eine gewisse Zeit andauern und auf natürliche Weise ins nächste Thema übergehen, so dass sich der Erfahrungshorizont der Schüler fortschreitend erweitert.

(Dewey, 1933, S. 291, nach Apel & Knoll, 2001, S. 30–38). Nach Gudjons (2015) ergeben sich spezifische Merkmale für das Projektlernen. Es hat stets einen Situationsbezug und weist gesellschaftliche Praxisrelevanz auf. Unter Orientierung an den Interessen der Beteiligten wird die Erstellung eines Produktes angestrebt. Dies geschieht selbstverantwortlich und selbstorganisiert bei zielgerichteter Projektplanung. Soziales Lernen wird ermöglicht. Zudem wird beim Projektlernen interdisziplinär gearbeitet und es werden viele Sinne einbezogen.

Der konkrete Ablauf in der Umsetzung von Projekten wurde bereits 1935 von Kilpatrick (1935) beschrieben und im heutigen Verständnis von Projektlernen u. a. durch Frey (2007) beibehalten. So werden folgende Phasen durchlaufen:

- In der Projektinitiative werden Vorschläge eingebracht.
- In der Projektskizze erfolgt die Auseinandersetzung mit den gemachten Anregungen und Angeboten.
- Im Projektplan wird das Vorhaben ausgearbeitet.
- In der Projektdurchführung geschehen eine verstärkte Aktivität und die Verwirklichung des Vorhabens.
- Die Projektbeendigung kann in einem bewussten Abschluss, durch Rückkopplung zur Projektinitiative oder durch Auslaufenlassen bestehen.

(Frey, 2007, S. 14–15).

Diese fünf Abschnitte sollen allerdings nicht zwingend Schritt für Schritt durchlaufen werden, um eine flexible Gestaltung des Projektes zu ermöglichen (Apel & Knoll, 2001, S. 54).

Trautmann (2010, S. 60) weist darauf hin, dass die Projektmethode Elemente des *Enrichments* beinhaltet. Hier werden, wie in Kapitel 7.1.1 dargestellt, spezielle Inhalte in besonderer Tiefe behandelt und die prozessbezogenen Kompetenzen werden geschult.

TheoPrax-Methode

Die TheoPrax-Methode wurde als Reaktion auf stetig sinkende Studierendenzahlen im chemischen Bereich und einem sich dadurch abzeichnenden Nachwuchsmangel am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) entwickelt (Eyerer & Krause, 2008, S. 11). Durch die stärkere Praxisorientierung in einer spezifischen Projektmethode sollte der frontale Vorlesungscharakter im Studium durchbrochen werden, da er zu tragem Wissen und letztlich zu Demotivation und hohen Studienabbrecherquoten führt (Eyerer & Krause, 2008, S. 32). Dabei war die Zielsetzung neu, die Teilnehmer durch ein Projekt in einem Angebots-Auftragsverhältnis auch im unternehmerischen Handeln zu schulen (Eyerer & Krause, 2008, S. 32). Dieses Ziel verfügt jedoch über eine hohe gesellschaftliche Relevanz, da unternehmerische Kompetenzen nicht nur bei Selbstständigen (*Entrepreneure*) benötigt werden. Auch im Berufsleben werden *Intrapreneure*, also unternehmerisch handelnde Mitarbeiter, gewünscht (Eyerer & Krause, 2008, S. 127). Dies soll erreicht werden, indem Studierende oder Schüler an authentischen Fragestellungen von Unternehmen oder auch Hochschulen arbeiten.

Die zentrale Zielsetzung der TheoPrax-Methode ist die Förderung der Motivation zum Lernen und zum Verändern. Als weitere Ziele nennen die Autoren u. a. die Förderung des Interesses an Technik und eine Unterstützung bei der Berufswahl, eine Verzahnung von Schulen und Hochschulen mit Unternehmen sowie eine Integration des Know-How-Potenzials, die Förderung unternehmerischen Handelns. Fachliche und überfachliche Kompetenzen gleichzeitig stärken (Eyerer & Krause, 2008, S. 130). Die TheoPrax-Methode soll zur Ausbildung fachlicher Kompetenzen, Personal-, Sozial-, Methoden- und Lernkompetenzen führen (Eyerer & Krause, 2008, S. 68–70). Durch die direkte Anwendung von Wissen in der Praxis werden nachweislich Schlüsselqualifikationen wie Problemlösefähigkeit, Teamfähigkeit, selbstständiges Arbeiten etc. gefördert (Eyerer & Krause, 2008, S. 138).

Nicht nur die beteiligten Schüler sollen Nutzen aus der TheoPrax-Methodik ziehen, sondern alle mit dem Projekt verbundenen Personengruppen (*Stakeholder*). Als Vorteil für Wirtschaftspartner und Hochschulen ergibt sich eine Nachwuchsförderung im MINT-Bereich, da die Projektbearbeitung bei den Teilnehmern auch zur Unterstützung bei der Studien- und Berufswahl dienen kann. Die beteiligten Unternehmen profitieren, indem die Projektgruppen Fragestellungen bearbeiten,

welche aus Mangel an zeitnahe und sicherer Effizienz zurückgestellt wurden. Zudem kann der Austausch mit den externen Arbeitsgruppen zu neuen Ideen führen und Betriebsblindheit entgegen wirken. Für die Schulen ergibt sich der Vorteil, dass sie durch die Verzahnung mit Unternehmen in konkreten Aufgabenfeldern stärker in die gesellschaftliche Gemeinschaft eingebunden werden.

Zielsetzung und Kooperationspartner

Um Jugendlichen die Möglichkeit zu bieten, in Schülerlaboren stärker mit Wirtschaft und Forschung in echten Kooperationen zusammen zu arbeiten, wurde das Modellvorhaben *Lab2Venture - Unternehmergeist in Schülerlaboren* entwickelt. Hier wurde unter Verwendung der Ausstattung von Schülerlaboren Projektarbeit nach der TheoPrax-Methode umgesetzt. Durch das neue Konzept sollte dem Fachkräftemangel im MINT-Bereich und den geringen Gründungstendenzen in Deutschland entgegen gewirkt werden (Lab2Venture, 2012). Zudem sollten Schülerlabore ihr Know-how zu unternehmerischem Denken und Handeln sowie dessen Vermittlung an Jugendliche stärken.

Es entstand als Gemeinschaftsinitiative der Deutschen Kinder- und Jugendstiftung (dkjs), des Bundesverbandes der Schülerlabore e.V. (LeLa) und des TheoPrax-Zentrums am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) und wurde durch das Bundeswirtschaftsministerium gefördert. Das Lab2Venture-Projekt wurde in zwei Förderjahren in bis zu zehn teilnehmenden Schülerlaboren in Deutschland durchgeführt. Dabei waren auch Lehrkräfte involviert, indem sie mit den Schülerlaboren die Projektarbeit abstimmten und eine schulische Anrechnung für die Schüler ermöglichen. Im Rahmen des Projektes lernten sie zudem, wirtschaftliche Aspekte von Projektarbeit auf Schulprojekte anzuwenden. Da die Projekte schuljahresbegleitend in enger Kooperation mit den Schulen umgesetzt werden sollten, wurde hier kein individuelles Bewerbungsverfahren umgesetzt. Stattdessen wurden Lehrkräfte über das Projekt und die mögliche Teilnahme besonders interessierter Schüler informiert. Aufgrund der Orientierung des *teutolab*-biotechnologie an fachlichen Inhalten der gymnasialen Oberstufe richtete sich das Angebot an Schüler der Einführungsphase und der Qualifikationsphase. Die Information über das Projekt in ihrer Schule sowie die Auswahl der Jugendlichen wurde durch die Lehrer ohne weitere Vorgaben durchgeführt. Das Angebot wurde als außerschulische Enrichmentmaßnahme in zwei Förderjahren jeweils mit drei bis vier

Schülergruppen umgesetzt. Um die Terminfindungen sowie die Anreise während des Schuljahres zu erleichtern, setzten sich die Gruppen jeweils aus drei bis vier Schülern aus einer Schule zusammen. Die Lehrkräfte unterstützten die organisatorischen Abläufe, indem sie die Schüler in Absprache mit der Schulleitung teilweise vorübergehend vom Unterricht freistellten.

7.3.2 Material

Das Lab2Venture-Projekt war geprägt durch die Zusammenarbeit vieler beteiligter Gruppen. Die Konzeptionierung der Zusammenarbeit der *Stakeholder* im Lab2Venture-Projekt ist in Abbildung 81 dargestellt. Das Schülerlabor stand im Zentrum und akquirierte sowohl Auftraggeber mit Projektthemen als auch interessierte Schüler. Es organisierte die Absprachen mit den Schulen und übernahm die Betreuung im Labor. Die Lab2-Venture-Kooperationspartner TheoPrax und die dkjs qualifizierten die Betreuer des Schülerlabors und schlossen Projektverträge mit den Auftraggebern.

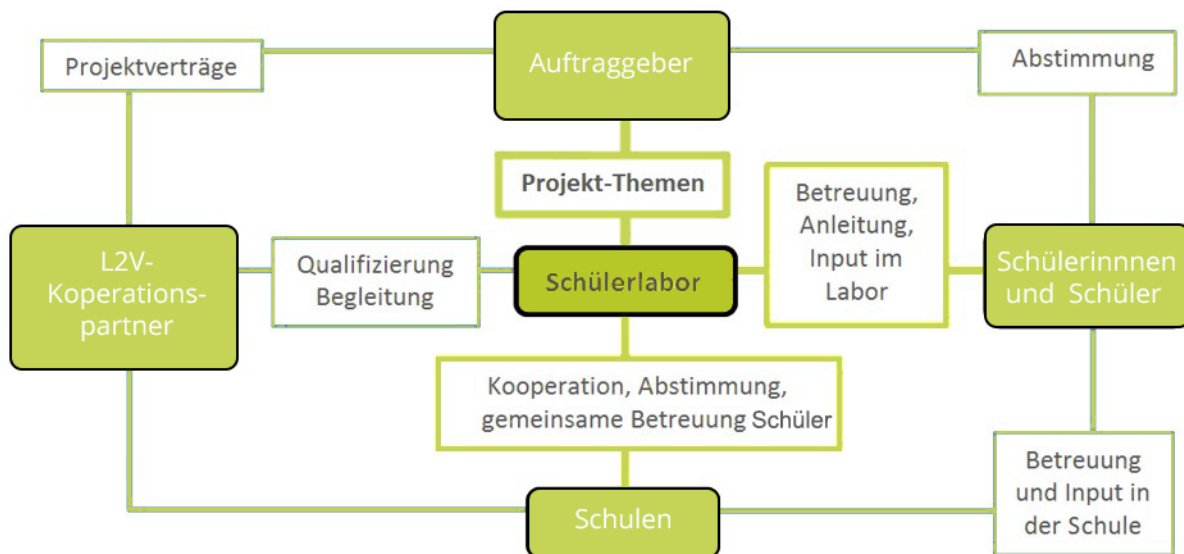


Abb. 81: Konzeptionierung der Zusammenarbeit der Stakeholder im Lab2Venture-Projekt
Quelle: Lab2Venture-Infoblatt für Unternehmenspartner

Die Durchführung jedes TheoPrax-Projektes gliedert sich in die Start- und Definitionsphase, Planungs-, Umsetzungs- und Abschlussphase (Eyerer & Krause, 2008, S. 185–202). Diese Differenzierung stimmt mit den Komponenten nach Frey überein (siehe Kapitel 7.3.1). Dabei entfällt jedoch das Einbringen von Vorschlägen,

da die Fragestellungen bei der TheoPrax-Methode, von den Unternehmenspartnern eingebracht werden.

In der Start- und Definitionsphase akquirierte das *teutolab*-biotechnologie zunächst Projektthemen von Unternehmen und Hochschulpartnern sowie auch die teilnehmenden Schüler und deren Lehrkräfte. Bei einer Kick-off-Veranstaltung präsentierten die Kooperationspartner ihre Fragestellungen. Die Jugendlichen ordneten sich ihren Wunschthemen zu und die Projektgruppen führten erste orientierende Gespräche mit ihren Auftraggebern. Zudem erhielten die Schüler in dieser Phase eine Einführung in das Projektmanagement.

In der Planungsphase hinterfragten die Schüler, basierend auf zwischenzeitlichen Grobrecherchen zu ihren Themenbereichen, die Aufgabenstellungen der Projektpartner pointierter. Im gemeinsamen Gespräch wurden Anregungen eingebracht und die technischen Möglichkeiten diskutiert. Nach der Konkretisierung der Fragestellungen wurde der Zielplan formuliert. Zudem wurde der zeitliche und organisatorische Ablauf des Projektes skizziert: Im Projektstrukturplan wurde aufgeführt, welche inhaltlichen Arbeiten im Projekt zu erfüllen sind. Durch die Aufteilung in Arbeitspakete wurde eine sinnvolle Gliederung erzielt und auf dieser Basis der Zeitplan erstellt. Hier wurde die Dauer der Arbeitspakete kalkuliert. Bei Zielerreichung wichtiger Arbeitspakete wurden Meilensteine gesetzt. Der Zielplan, der Strukturplan und der Zeitplan wurden als Hauptbestandteile für ein schriftliches Angebot, welches die Projektgruppen jeweils für ihre Auftraggeber verfassten, verwendet. So wurde formal das Angebots-Auftrags-Verhältnis hergestellt. In der Planungsphase wurden zudem Recherchearbeiten durchgeführt und die Versuche geplant.

In der Umsetzungsphase wurden die Arbeitspakete aktiv umgesetzt. Die Projektgruppen nutzten die individuelle fachliche Betreuung und die technische Ausstattung des Schülerlabors sowie weiterer Arbeitsgruppen der Universität Bielefeld vorwiegend nachmittags und an Wochenenden zur Durchführung und Auswertung der Experimente. Die Prozesse sowie die Zwischenergebnisse wurden protokolliert und allen Teammitgliedern zugänglich gemacht. Ein Teammitglied erhielt die Aufgabe, den Soll- und Ist-Zustand des Projektes abzugleichen und bei Bedarf Termine zur Besprechung von Diskrepanzen und Planung geeigneter Gegenmaßnahmen festzulegen.

In der Abschlussphase am Ende der TheoPrax-Projekte verfassten die Projektgruppen für die Auftraggeber einen Abschlussbericht, in dem die fachlichen Hintergründe, die Entwicklung und Durchführung der Experimente und die Ergebnisse erläutert wurden. Diese Phase wurde zum Ende des Schuljahres durch eine gemeinsame Abschlusspräsentation mit den Auftraggebern, Betreuern, Lehrkräften sowie der Leiterin des TheoPrax-Zentrums abgeschlossen.

Experimente

Da die Projektgruppen bei der experimentellen Umsetzung vom Schülerlabor unterstützt wurden, werden die Inhalte im Folgenden kurz skizziert.

Biofilme

Mehrere Projektgruppen beschäftigten sich mit der Problematik von Biofilmen. Diese mikrobiellen Lebensgemeinschaften entstehen an Grenzflächen mit einer wässrigen Phase und schützen sich gegen feindliche Umweltbedingungen durch eine gemeinsame extrazelluläre Matrix.

Eine Arbeitsgruppe der Universität Bielefeld vermittelte den Auftrag einer Brauerei, nach einer Möglichkeit zu suchen, wie aus ihren Rohrleitungen Biofilme lebensmittelgerecht entfernt werden können. Zwei Schülergruppen teilten diese Fragestellung auf, indem sich die eine Gruppe stärker auf die Untersuchung von der Wirkung von Naturstoffen spezialisierte und die andere Gruppe auf Enzyme, Vitamine und Detergenzien. Es wurden Biofilme etabliert, mit den zu testenden Proben versetzt und über die Messung der optischen Dichte nach Anfärbung mit Kristallviolett auf den möglichen Abbau der Zellen zurückgeschlossen.

Ein Lebensmittellabor vermittelte die grundlegende Fragestellung, aus welchen Bakterien sich die Lebensgemeinschaften von Biofilmen zusammensetzten. Dafür führte eine Schülergruppe eine 16S rDNA Analyse durch.

Unterscheidung von Naturformen und Hybriden bei Orchideen

Ein Orchideenzüchter erteilte den Auftrag, nach einem molekulargenetischen Verfahren zur Unterscheidung von Naturformen und Hybriden bei Orchideen zu suchen. Eine Projektgruppe untersuchte die Eignung der ITS-Region des

Kerngenoms sowie des Chalconsynthase-Gens durch Amplifikation mit geeigneten Primern.

Mikrokontaminationen

Eine Arbeitsgruppe der Universität Bielefeld vermittelte die Fragestellung, auf welche Weise Mikrokontaminationen wie z. B. Hormonderivate aus Abwässern auf biologischem Wege entfernt werden können. Eine Schülergruppe testete die Wirkung von Baumpilzextrakt auf Kontrazeptiva, indem sie stellvertretend das Diammoniumsalz ABTS behandelten, welches bei Oxidation einen gelben Farbumschlag zeigt.

Mikrobielle Reiniger

Eine Produktionsfirma für biologische Reiniger stellte den Auftrag, einen Weg zur Identifikation der Mikroorganismen zu finden, welche ihre Produkte kontaminieren. Eine Schülergruppe kultivierte sie auf Nährmedien und untersuchte die gewachsenen Stämme mithilfe einer 16S rDNA Analyse.

Biologischer Ligninabbau

Ein Lebensmittellabor interessierte sich für die biologische Zusammensetzung von Insektendärmen, da diese häufig ligninabbauende Bakterien enthalten. Mithilfe dieser Bakterien sollte der Rohstoff Lignin in größerem Maßstab verwertet werden. Eine Schülergruppe untersuchte daher die Exkremete von vier Insektenarten, welche für ihre Fähigkeit zum Verdau verholzter Pflanzenteile bekannt sind. Bakterien aus dem Darminhalt des Afrikanischer Rosenkäfers (*Mecynorrhina oberthuri*), des Wandelnden Blattes (*Phyllium westwoodii*), der Totenkopf Schabe (*Blaberus craniifer*) und der Steppengrille (*Gryllus assimilis*) wurden auf Nährmedien kultiviert und die gewachsenen Stämme mithilfe einer 16S rDNA Analyse identifiziert.

7.3.3 Methoden

7.3.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Im dritten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Begabtenförderung wurde die Akzeptanz des zweiten Durchgangs des Lab2Venture-Projektes mit geschlossenen Fragen untersucht. Abbildung 82 zeigt das Design dieser Teilstudie 10 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichprobe. Da zwei

Drittel der Schüler eine Kollegschule ohne ein Leistungskurssystem besuchten, wird die Kursart nicht angegeben. Der Fragebogen zur Akzeptanz (L2V-Akz) wurde am Ende der Abschlussveranstaltung des schuljahresbegleitenden Lab2Venture-Projektes beantwortet. Der erste Durchgang des Lab2Venture-Projektes wurde mithilfe von leitfadengestützten Interviews mit den Schülern, Betreuern und Lehrern analysiert. Die Ergebnisse sind detailliert in der Masterarbeit der Autorin dokumentiert (Röllke, 2015). In der vorliegenden Arbeit werden die Fazits für die Auswertung verwendet.

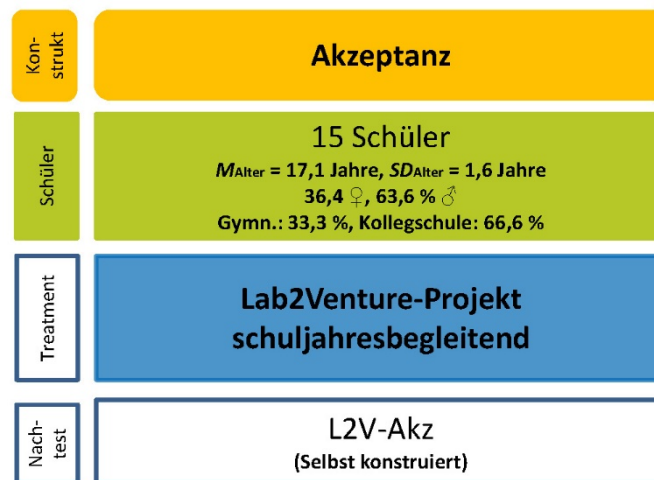


Abb. 82: Design der Teilstudie 10 zur Auswirkung des Lab2Venture-Projektes auf die Akzeptanz der Schüler

7.3.3.2 Testinstrumente

Akzeptanz des Lab2Venture-Projektes

Bei dem selbst konstruierten Fragebogen zur Akzeptanz des Lab2Venture-Projektes konnten keine gemeinsamen Faktoren der 13 Items identifiziert werden. Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug 0,381 und lag damit unter der akzeptablen Grenze von 0,6, welche die Eignung einer Stichprobe für eine Faktorenanalyse markiert. Die Items wurden daher separat betrachtet und sie sind vollständig in Tabelle 26 aufgeführt. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) eingesetzt.

Tab. 26: Items des Fragebogens zur Akzeptanz des Lab2Venure-Projektes (L2V-Akz, selbst konstruiert)

Kürzel	Item	Reliabilität ¹
Labor Spaß	Das Arbeiten im Labor hat Spaß gemacht.	0,942
Spaß allgemein	Das L2V-Projekt hat mir Spaß gemacht.	
Lernzuwachs allgemein	Im L2V-Projekt habe ich viel dazu gelernt.	
Schulische Vorteile	Die Erfahrungen vom L2V-Projekt bringen mir schulische Vorteile.	
Einfluss Interesse	Die Erfahrungen vom L2V-Projekt haben Einfluss auf mein Interesse an biologischen, biotechnologischen und chemischen Themen.	
Einfluss Berufswahl	Die Erfahrungen vom L2V-Projekt haben Einfluss auf meine berufliche Zukunft.	
Selbst geforscht	Im L2V-Projekt habe ich selbst geforscht.	
Über Forschung gelernt	Im L2V-Projekt habe ich etwas über Forschung gelernt.	
Kommunikation erfolgreich	Im L2V-Projekt war die Kommunikation erfolgreich.	
Teamzeit angenehm	Im L2V-Projekt habe ich auch angenehme Freizeit mit dem Team verbracht.	
Projektgruppe erfolgreich	Ich denke, meine Projektgruppe hat erfolgreich ihre Aufgaben gelöst.	
Zeitraum angemessen	Der Zeitraum, in dem wir am L2V-Projekt gearbeitet haben, war angemessen.	
Zeitaufwand angemessen	Der Zeitaufwand, den ich in das L2V-Projekt investiert habe, war angemessen.	

7.3.4 Ergebnisse

Die Mittelwerte der Items zur Akzeptanz des Lab2Venture-Projektes sind in Abbildung 83 dargestellt.

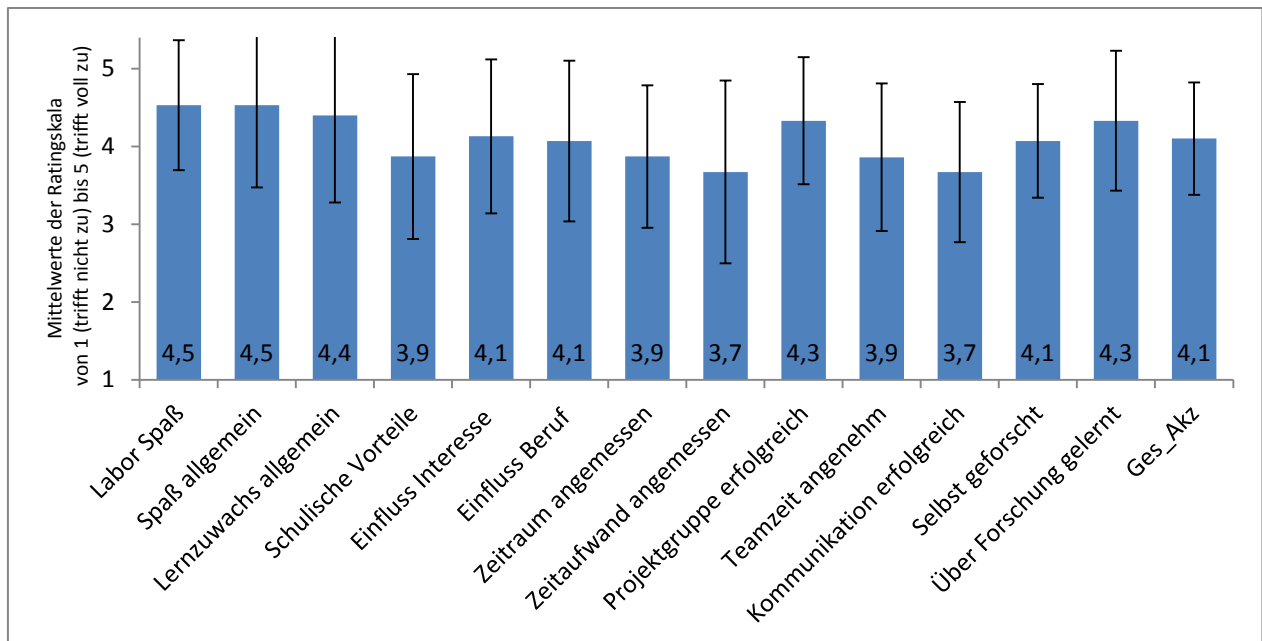


Abb. 83: Mittelwerte zur Akzeptanz des Lab2Venture-Projektes (N = 15)

Auswertung der offenen Frage zum Fazit der Schüler

Analog zu den in Kapitel 7.2.4 dargestellten Ergebnissen konnten bei den Antworten auf die Frage „Welches Fazit ziehst Du für Dich aus dem Lab2Venture-Projekt?“ die gleichen Kategorien identifiziert werden und mehrere Aussagen gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 85,2 % und ist somit als nahezu perfekt einzustufen. Alle 30 Teilnehmer der beiden Durchgänge formulierten Fazits. In Tabelle 27 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 27: Kategorien der Fazits der Schüler zum Lab2Venture-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozentsatz
1 Mot	Bedeutung für die Motivation	Alle Äußerungen zu Freude/ Vergnügen/positiven Gefühlen	„Ich fand es total gut, es hat mir sehr viel Spaß gemacht, hier mitzumachen.“	9/17 %
2 Int	Bedeutung für das Interesse	Alle Äußerungen zum Lerngegenstand/Interesse	„Ich denke, es war eine sehr interessante Möglichkeit, zu forschen und zu machen, was man in der Schule nicht machen	8/15,1 %

			kann, aber was sehr interessant ist.“	
3 Wiss	Bedeutung für den Wissenszuwachs/ Erfahrungsschatz	Alle Äußerungen zum Wissenserwerb/ Kennenlernen neuer Bereiche	„...man hat viel Praktisches gelernt, auch Theoretisches.“ „Habe total viel Neues gelernt.“	9/17 %
4 Zuk	Bedeutung für die Studien- und Berufsorientierung	Alle Äußerungen zu beruflicher Zukunft und Studieninteresse, inkl. Entscheidungen gegen den MINT-Bereich	„Es hat sich für mich bestätigt, wirklich diesen Bereich anzustreben.“ „...ich fand es auch sehr spannend aber arbeiten möchte ich in dem Bereich nicht.“	6/11,3 %
5 Urt	Allgemeine persönliche Beurteilung des Lab2Venture-Projektes	Alle Äußerungen zur persönlichen Beurteilung des Lab2Venture-Projektes, Feedback zu Qualität	„Es war es auf jeden Fall wert, die Zeit dafür aufzuwenden.“ „Es war ja ein tolles Projekt, auch wenn jetzt eigentlich nichts bei rauskam.“	11/20,7 %
6 Lab	Bedeutung der Laborarbeit und der Projektarbeit	Alle Äußerungen, welche die Bedeutung der Laborarbeit hervorheben oder auch der Projektarbeit oder beides hervorheben.	„Es war eine super Erfahrung, etwas Praktisches zu machen.“ „Ich habe gelernt, wie man im Team im Labor arbeitet und wie man für ein Unternehmen arbeitet und wir hatten das Ziel, etwas zu erreichen und damit umzugehen. Auch mit Problemen umzugehen.““	8/15,1 %
8 Son	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		2/3,8 %

Auswertung der offenen Frage zu den Verbesserungsvorschlägen der Schüler

Bei der Analyse der Antworten auf die Frage „Was könnte beim Lab2Venture-Projekt verbessert werden?“ konnten grundsätzlich die aus Kapitel 5.1.4.1, 7.1.4 und 7.2.4 bekannten Kategorien identifiziert werden und viele Äußerungen gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Da in diesem Projekt keine Vorträge gehört wurden, ergab sich zu diesem Bereich keine Kategorie. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 57,1 % und ist somit als moderat einzustufen. Von 30 Schülern beantworteten 18 Schüler die Frage nach den Verbesserungsvorschlägen, so dass in der Summe 40 % keine Vorschläge äußerten. In Tabelle 28 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 28: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für das Lab2Venture-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozentsatz
0 Kein	Explizit kein Verbesserungsvorschlag	Alle Äußerungen, in denen explizit geäußert wird, dass es keinen Vorschlag gibt.	„War zu bewältigen, eigentlich keine Probleme.“	6/ 33,3%
1 Exp	Didaktische Konzeption und Umsetzung der Experimente	Alle Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Experimente	„Das selbstständige Arbeiten und die personenbezogene Unterstützung.“	1/ 5,6 %
3 Pro	Organisatorische Konzeption und Umsetzung: Organisatorische Abläufe	Alle Äußerungen zur Programmgestaltung und zu organisatorischen Abläufen inkl. Pausenstrukturen	„Etwas besser organisieren.“	4/ 22,2 %
4 Rah	Rahmenbedingungen	Alle Äußerungen zu Teilnahmebedingungen, Ausstattung etc.	„Extra Lernleistung vergeben.“	1/ 5,6 %
5 Son	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		6/33,3 %

7.3.5 Diskussion

Die im Lab2Venture-Projekt erhobenen Daten zeigen, dass diese schuljahresbegleitende Veranstaltung in der TheoPrax-Methode gut angenommen wurde. Die meisten geschlossenen Fragen wiesen Mittelwerte von über vier (trifft ziemlich zu) auf. Dieses Angebot für naturwissenschaftlich begabte Schüler war durch die langfristige Projektarbeit geprägt. Die geschlossenen Fragen unterschieden sich daher im Vergleich zu den Ferienakademien deutlich. Dennoch kann zunächst in Übereinstimmung mit der CeBiTec-Schülerakademie und mit der *teutolab*-Akademie festgestellt werden, dass die Schüler auch hier in dem gesamten Projekt und auch speziell im Labor sehr viel Spaß hatten. Zudem stimmten sie hier ebenso zu, viel gelernt zu haben. Sie sahen ähnlich große schulische Vorteile wie die Schüler bei der CeBiTec-Schülerakademie. Zudem hat das Lab2Venture-Projekt einen großen Einfluss auf das Interesse und die berufliche Zukunft der Schüler. Dieses Ziel war explizit vom Fördermittelgeber, dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, angestrebt worden, um unternehmerisch denkenden naturwissenschaftlich begabten Nachwuchs zu fördern. Das spätere Berufsleben war

in der Veranstaltung durch die Projektarbeit im Angebot-Auftragsverhältnis verdeutlicht worden und es ist denkbar, dass daher die Werte höher waren als bei der *teutolab*-Akademie Systembiologie.

Für die Beurteilung der Konzeptionierung des Lab2Venture-Projektes wurden neue Fragen formuliert. Die Schüler stimmten deutlich zu, dass die Projektarbeit erfolgreich abgeschlossen wurde. Die Werte zu den Items nach dem angemessenen Zeitraum und Zeitaufwand lagen etwas unter ‚trifft ziemlich zu‘. Der Zeitraum umfasste kein vollständiges Schuljahr, sondern startete vor den Weihnachtsferien und endete vor den Sommerferien. Die Schüler empfanden die Zeit, die sie mit ihrem Team verbrachten, als angenehm. Die Kommunikation wurde dabei als relativ erfolgreich bewertet. Die Schüler stimmten deutlich zu, in den Projekten selbst geforscht und viel über Forschung gelernt zu haben.

Die Beurteilung wird durch die qualitativen Daten unterstützt. Diese wurden in beiden im *teutolab*-biotechnologie durchgeführten Durchgängen des Lab2Venture-Projektes erhoben. Im ersten Durchgang wurden keine Fragebögen eingesetzt. Ebenso wie bei den beiden Ferienakademien wurde durch die Fazits bestätigt, dass das Lab2Venture-Projekt eine hohe Bedeutung für die Motivation und das Interesse der Jugendlichen hatte. In diesen beiden Kategorien kann ein gutes Drittel der Fazits vereint werden. Ein weiteres Fünftel äußerte allgemeine positive Beurteilungen. Die 17 % der Fazits, welche der Kategorie der Wissenszuwachs/Erfahrungsschatz zugeordnet werden konnten, unterstreichen die hohe Zustimmung zu der Aussage, viel gelernt zu haben. Ebenso wie bei der *teutolab*-Akademie hatte die Laborarbeit einen deutlichen Stellenwert: Dieser Kategorie konnten 15 % der Fazits zugeordnet werden. Dies war zu erwarten, da ein Großteil des Projektes die Umsetzung der Experimente einnahm. Eine weitere Parallele zur *teutolab*-Akademie besteht in der Abwesenheit der Kategorie zum sozialen Austausch. Es ist denkbar, dass dieser nicht explizit genannt wurde, da in den Gruppen des Lab2Venture-Projektes Schüler miteinander arbeiteten, die sich bereits kannten. Die Gruppenmitglieder fanden sich jeweils aus einer Schule zusammen. Auch im Abgleich mit dem Mittelwert von 3,9 auf die geschlossene Frage zur angenehmen Teamzeit bleibt die Einschätzung ambivalent. Die Frage zur erfolgreichen Kommunikation könnte die Einschätzung zum sozialen Austausch ergänzend klären. Auch hier ist der Mittelwert von 3,7 nicht außerordentlich hoch. Ein Verbesserungsvorschlag, man hätte sich zu Anfang besser

kennen lernen sollen, unterstützt die Einschätzung, dass dieser Aspekt bei einem folgenden Durchgang stärker bedacht werden könnte.

Die leitfadengestützten Interviews, welche im Rahmen der Masterarbeit der Autorin (Röllke, 2015) durchgeführt wurden, geben weitere Einsicht in die Spezifika des Lab2Venture-Projektes. Es wurde gezeigt, dass die TheoPrax-Methode in Anlehnung an die Projektmethode nach Frey in den vier Phasen Definitionsphase, Planungsphase, Umsetzungsphase und Abschlussphase umgesetzt werden konnte. Die Planungs- und Umsetzungsphase empfanden die Schüler sehr positiv. Die Definitionsphase wurde im ersten Durchgang als irritierend empfunden, da die Schüler zunächst die besondere Form des Projektlernens in einem Angebots-Auftragsverhältnis kennenlernen mussten und sie sich zudem in die Fragestellungen der Auftraggeber einfinden mussten. Die Abschlussphase wurde als belastend empfunden, da hier unter Termindruck der Abschlussbericht verfasst werden und die Vorträge vorbereitet werden mussten. Sowohl die Schüler als auch die Lehrer und die Betreuer im Labor stimmten dem Konzept klar zu. Es wurde deutlich, dass den Lehrern als Bindeglied zwischen Schule und Schülerlabor eine besondere Rolle zukam, die bereits bei dem Auswahlverfahren für die Teilnehmer begann. Zudem erwirkten sie vorübergehende Freistellungen vom Unterricht und suchten nach Möglichkeiten für eine schulische Anerkennung der Leistungen der Schüler. Hier wurden die in NRW möglichen besonderen Lernleistungen oder auch Facharbeiten diskutiert. Die konkrete Entscheidung ist abhängig von der Jahrgangsstufe der Schüler und der jeweiligen Schule. Diese gewünschten Rahmenbedingungen wurden im zweiten Durchgang nach Möglichkeit berücksichtigt. Im Vergleich mit schulischer Projektarbeit stellt die TheoPrax-Methode eine besondere Herausforderung für die Schüler dar, da hier die unternehmerischen Aspekte hinzukommen. In einer unveröffentlichten Evaluation zeigte Euler (n.d.), dass insbesondere ältere Schüler von der Methode profitieren. Diese Voraussetzung ist im *teutolab*-biotechnologie grundsätzlich gegeben, da hier aufgrund des notwendigen Vorwissens Oberstufenschüler experimentieren.

Zum Abschluss des zweiten Durchgangs des Lab2Venture-Projektes wurde ein Wegweiser zur Projektarbeit erstellt, zu dem auch das *teutolab*-biotechnologie ein Best-Practice-Beispiel beitrug (Panhorst, 2016). Die Umsetzung des Konzeptes wurde für andere Schülerlabore in einem Zeitschriftenbeitrag (Panhorst, Röllke &

Grotjohann, 2014) und als Best-Practice-Beispiel für die Begabtenförderung (Röllke & Grotjohann, 2016) publik gemacht. Obwohl das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie derzeit keine Lab2Venture-Projekte fördert, wird Projektarbeit nach der TheoPrax-Methode weiterhin im *teutolab*-biotechnologie umgesetzt. Einzelne aus drei bis fünf Schülern bestehende Projektgruppen bearbeiten in jedem Schuljahr auf diese Weise weiterhin spezifische Fragestellungen von Unternehmen. Als Fördermittelgeber konnte das bereits in Kapitel 2.4 vorgestellte Netzwerk Zukunft durch Innovation (zdi) gewonnen werden, indem das Projekt als Berufs- und Studienorientierungsmaßnahme anerkannt wird.

7.4 Vierter Schritt: Entwicklung des Erasmus-Projektes

7.4.1 Einleitung und theoretischer Hintergrund

Im vierten Schritt in der Entwicklung der Säule C zur Begabtenförderung wurde ein weiteres schuljahresbegleitendes Angebot in einer Sonderform des Projektlernens entwickelt. Unter Beteiligung von sechs Schulen aus verschiedenen europäischen Ländern arbeiteten international zusammengesetzte Schülergruppen an dem Thema „Biotechnology in our life“. Da sich die Organisationsform am Gruppenpuzzleprinzip orientierte, wird diese Methode zunächst vorgestellt.

Das Gruppenpuzzleprinzip

Die Lernmethode des Gruppenpuzzles wurde in den 1970er Jahren mit dem Ziel entwickelt, Segregation und Konkurrenzdenken zwischen Schülern abzubauen. Stattdessen sollten sich die Schüler gegenseitig als wertvolle Ressourcen und nicht als Mitbewerber anerkennen (Aronson, 1978). Die Unterrichtsinhalte werden wie bei einem Puzzle (*Jigsaw Puzzle*) von der Lehrkraft in Teilbereiche zerlegt und die Verantwortung für die Wissensvermittlung auf Schülerexperten in ihrem Bereich übertragen (Schmiemann, 2012). Die Methode des Gruppenpuzzles ist nach Killermann et al. (2016, S. 203) gut geeignet, um Schüler ein neues Thema selbst erarbeiten zu lassen. Dabei wird eine besondere Organisationsform der Gruppenarbeit umgesetzt: Hier wird innerhalb von Stammgruppen von den einzelnen Gruppenmitgliedern jeweils ein Teil des Hauptthemas erarbeitet. Nach einer Vertiefung der Teilinhalte in Expertengruppen vermitteln die Experten ihre

Spezialgebiete in ihren Stammgruppen (Schmiemann, 2012). Dies geschieht nach Wildhirt (2016) u. a. unter Verwendung von Arbeitsaufträgen und Materialien zur Selbstkontrolle. Wildhirt (2016) gliedert die Umsetzung in fünf Schritte: Zunächst führt die Lehrkraft in das neue Thema ein und formuliert die Zielsetzungen. Nach der Gruppenbildung werden die Teilthemen mit den entsprechenden Arbeitsmaterialien zugeteilt und die Lernenden eignen sich meist in Einzelarbeit die Inhalte an. Im Anschluss finden sich die Schüler in Expertengruppen zusammen und entwickeln dort Aufgaben zur Vermittlung des Wissens an ihre Mitschüler. In dieser Phase soll das Wissen vertieft und mögliche Unterschiede zwischen den Experten sollen ausgeglichen werden (Schmiemann, 2012). In den Stammgruppen werden die von den Expertengruppen entwickelten Materialien umgesetzt und alle Schüler erlernen alle Teilinhalte. In einem letzten Schritt geschieht eine gemeinsam Auswertung mit allen Gruppen im Plenum.

Beim Gruppenpuzzle werden die Themen weitgehend selbstständig erarbeitet. Die Lehrkraft tritt in den Hintergrund, bereitet jedoch Material vor und gibt Ratschläge (Berck & Graf, 2018, S. 283–285). Gruppenpuzzles werden u. a. als geeignete Methode zur Förderung selbstorganisierten Lernens (SOL) vorgeschlagen (Herold & Landherr, 2003, S. 78–79). Dabei wird sowohl individuelles als auch kooperatives Lernen umgesetzt und der Aufbau von fachlichen und überfachlichen Kompetenzen gefördert. Nach Herold und Landherr (2003, S. 5) erhalten die Schüler beim SOL einmalig zu Beginn einer Themeneinheit einen Arbeitsauftrag und organisieren im Folgenden die Lernprozesse selbst. Zu den möglichen Organisationsformen für kooperatives Lernen werden alle Variationen von Gruppenarbeiten, wie auch das Gruppenpuzzle, gezählt (Berck & Graf, 2018, S. 283–285). Durch die Übertragung von Verantwortung auf jeden einzelnen Schüler wird beim Gruppenpuzzle deren aktive Teilnahme gewährleistet, da eine Abhängigkeit auf der Ebene der zu bewältigenden Aufgaben und auf personeller Ebene besteht (Clarke, 1999). Das Zusammenkommen verschiedener Stärken, Erfahrungen, Interessen, Perspektiven, etc. der Mitglieder trägt zur Lösung der an die Gruppe herangetragenen Probleme bei. Da das Zusammenarbeiten von Experten in heterogenen Arbeitsgruppen (*Cross-Role Teams*) auch in der Arbeitswelt immer stärker an Bedeutung gewinnt, handelt es sich um eine sehr lebensnahe Lernform (Clarke, 1999). Hier werden, ebenso wie auch bei weiteren Formen des kooperativen Lernens, die Kommunikationsfähigkeit und die Problemlösefähigkeit geschult (Berck & Graf, 2018). Zudem konstatieren

Berck und Graf (2018) u. a. eine Verbesserung des Lernens und des Interesses am Fach Biologie. Einen höheren Zuwachs im deklarativen Wissen beim Gruppenpuzzle im Vergleich zu herkömmlichen Unterrichtsmethoden konnten z. B. Jürgen-Lohmann, Borsch und Giesen (2002) nachweisen.

Nach Renkl (2010) bestehen inzwischen verschiedene Varianten des Gruppenpuzzles. Dabei wird stets das Grundprinzip des Lernens durch Lehren umgesetzt. Für das neu entwickelte Projekt zur Begabtenförderung im Schülerlabor wurde diese Methode als grundsätzliche Organisationsform verwendet. Da hier über einen längeren Zeitraum selbst gewählte Inhalte zum Thema „Biotechnology in our life“ bearbeitet wurden, wurden jedoch keine obligatorisch zu verwendenden Arbeitsmaterialien erstellt. Das Ziel der Bearbeitung ging über die Vermittlung des Wissens an die Stammgruppen hinaus: Hier sollte die Öffentlichkeit durch eine Posterausstellung und eine Informationsbroschüre über verschiedenen Themenbereiche der Biotechnologie informiert werden. Diese Erstellung von Produkten im Laufe des Bearbeitungszeitraumes und die selbst gewählten Fragestellungen verdeutlichen als Charakteristika von Projekten, dass hier eine Sonderform des Projektlernens umgesetzt wurde.

Zielsetzung und Kooperationspartner

Wie in Kapitel 2.4 dargelegt, ist die Biotechnologie als interdisziplinärer Forschungs- und Industriezweig zur Förderung von Schülern im MINT-Bereich gut geeignet. Das *teutolab*-biotechnologie verfolgt das Ziel, diese Inhalte einerseits vielen Schülern im Sinne einer Breitenförderung zugänglich zu machen, andererseits aber auch den naturwissenschaftlich begabten Nachwuchs zu fördern. Ergänzend zu den bereits in den Kapiteln 7.1 bis 7.3 dargestellten regionalen Angeboten sollte die Biotechnologie auch international interessierten Schülern zugänglich gemacht werden. Eine Zusammenarbeit in der Bildung ist angezeigt, da auch in den Bereichen Forschung, Entwicklung und Produktion internationale Kooperationen umgesetzt werden. Durch die Zusammenarbeit mit verschiedenen Schulen unter Teilnahme der MINT-Lehrkräfte und ausgewählter Jugendlicher wurde ein Multiplikatoreffekt angestrebt. Über das Projekt hinaus sollten weitere Mitschüler sowie die Öffentlichkeit profitieren, indem die erarbeiteten Inhalte diesen erweiterten Zielgruppen zugänglich gemacht wurden. Dabei wurden die verschiedenen Einstellungen zu biotechnologischen Anwendungen in den verschiedenen EU-Ländern bewusst aufgegriffen und

diskutiert. So ist z. B. die Akzeptanz von Gentechnik sehr unterschiedlich. Dies ist auch durch unterschiedliche gesetzliche Regelungen repräsentiert.

Für das Projekt konnten Kooperationsschulen in Xativa (Spanien), Verona (Italien), Pärnu (Estland), Haarlem (Niederlande), St. Neots (Großbritannien) und Bielefeld (Deutschland) gefunden werden. Das Konzept wurde durch das Erasmus-Programm der Europäischen Kommission für allgemeine und berufliche Bildung, Jugend und Sport, gefördert. Es wurde somit als Erasmus-Projekt über drei Schuljahre hinweg umgesetzt. Von jeder teilnehmenden Schule sollten pro Schuljahr jeweils vier Schüler von den Lehrkräften für die aktive Teilnahme ausgewählt werden. Zwei Schulen ließen jedoch die teilweise Teilnahme von sich abwechselnden Schülern zu. Für das Auswahlverfahren wurden keine zentralen Vorgaben formuliert. Pro Schule nahmen zwei Lehrkräfte an den gemeinsamen Treffen teil.

7.4.2 Material

Im Erasmus-Projekt „Biotechnology in our life“ erhielten die Schüler einerseits durch Vorträge Einblicke in Aspekte der Biotechnologie und führten gemeinsam Experimente und Exkursionen durch, andererseits bearbeiteten sie Teilgebiete in der Methodik des Gruppenpuzzles. Dafür wurde ein schuljahresbegleitendes Programm erstellt, welches drei Jahre lang analog umgesetzt wurde (siehe Abb. 84).

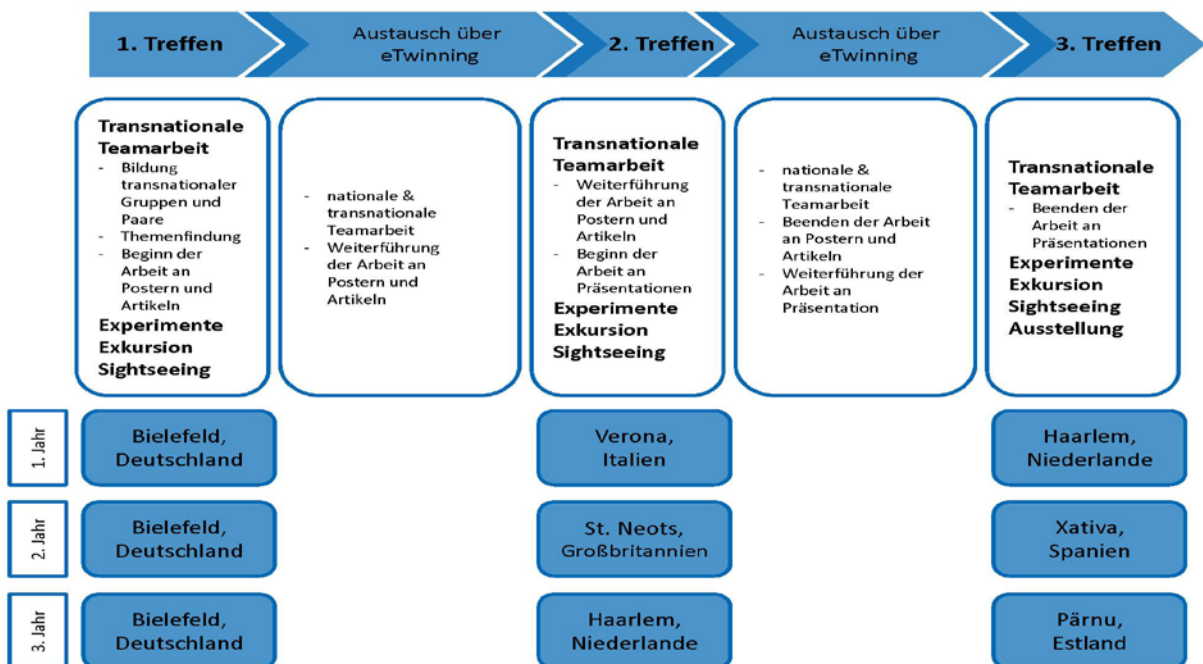


Abb. 84: Schuljahresprogramm des Erasmus-Projekts ‚Biotechnology in our life‘

Das *teutolab*-biotechnologie koordinierte das Gesamtprojekt und gestaltete in jedem Schuljahr die Kick-off-Week im CeBiTec der Universität Bielefeld. Pro Schuljahr fanden drei Treffen für jeweils sechs Tage mit den beteiligten Schülern, Lehrern und der Projektkoordinatorin statt. In einem Zeitraum von drei Jahren fand in jedem der beteiligten Länder einmal ein Treffen statt und die Schule gestaltete als Gastgeber das entsprechende Programm (Ausnahme: Die Niederlande waren zweimal Gastgeber). Dabei waren die Gruppenarbeiten an biotechnologischen Fragestellungen obligatorisch.

Beim ersten Treffen pro Schuljahr in der Kick-off-Week hörten die Schüler Einführungsvorträge zu verschiedenen Gebiete der Biotechnologie, besichtigten ein biotechnologisches Unternehmen in der Region und führten einen eintägigen Workshop im Schülerlabor durch. Zudem wurden Sie in Ihre für das Schuljahr bevorstehenden Aufgaben eingeführt. Dafür wurde zunächst den vier Schülern einer Schule als Stammgruppen jeweils eines von vier Teilthemen der Biotechnologie zugeteilt. Somit waren die Expertengruppen international zusammengesetzt. Abbildung 85 verdeutlicht die Organisationsform dieses internationalen Gruppenpuzzles.

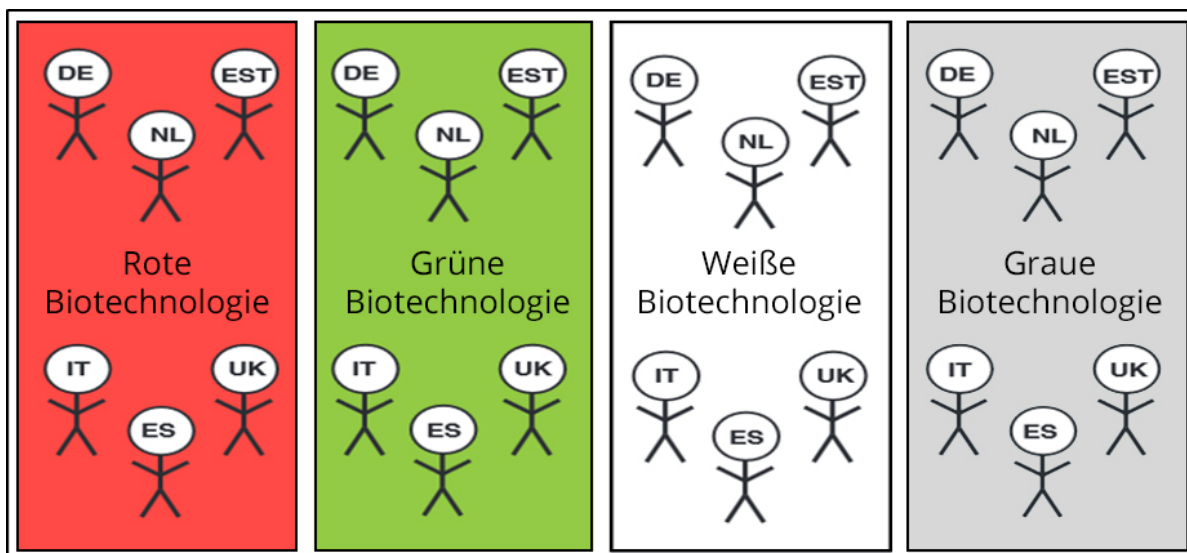


Abb. 85: Schematische Darstellung des Prinzips des internationalen Gruppenpuzzles zur Bearbeitung von Teilbereichen der Biotechnologie

Bei den Teilthemen handelte es sich um spezifisch abgrenzbare Bereiche der Biotechnologie. Diesen verschiedenen Schwerpunkten werden verschiedene Farben zugeordnet: So beschäftigt sich die Grüne Biotechnologie mit der Veränderung von

Pflanzen, um deren Eigenschaften zu verbessern oder auch neue Eigenschaften zu übertragen. In der Roten Biotechnologie werden alle den medizinischen Bereich berührenden Anwendungen von der Diagnostik bis zur Therapie behandelt. Der Einsatz biotechnologischer Anwendungen in industriellen Prozessen wird in der Weißen Biotechnologie zusammengefasst. In der Grauen Biotechnologie finden sich wiederum alle Anwendungsbereiche zur biologischen Umweltsanierung wie beispielsweise der Abwasserreinigung wieder (Pilz, 2010). Innerhalb der Expertengruppen wurden nochmals Zweiergruppen gebildet, welche einer konkreten Fragestellung in ihrem Bereich nachgehen sollten. Die Schüler erhielten die Aufgabe, zu diesem Thema zu recherchieren und ihre Ergebnisse in Form von Postern und Beiträgen für eine Broschüre zur Biotechnologie zusammenzufassen. Zwischen den Treffen sollten sie über das von der EU zu diesen Zwecken entwickelte Internetportal eTwinning ihre Materialien und Erkenntnisse austauschen.

Beim zweiten Treffen arbeiteten die Schüler in den Expertenteams weiter an ihren Themen. Zudem hörten sie Vorträge und führten Experimente und Exkursionen durch, um sich fachlich weiter fortzubilden.

Das dritte Treffen stellte den jährlichen Abschluss dar. Hier wurden im Rahmen einer öffentlichen Ausstellung die Poster präsentiert. Diese behandelten z. B. die Themen ‚Östrogene im Trinkwasser‘ (Graue/weiße Biotechnologie), ‚Stammzellen‘ (Rote Biotechnologie), ‚Biogas‘ (Weiße Biotechnologie) und ‚Golden Rice‘ (Grüne Biotechnologie). Zudem wurden über die Teilgebiete der Biotechnologie Vorträge durch die Expertengruppen gehalten sowie die Broschüren verteilt. Eine Diskussion zu ethischen Aspekten der Biotechnologie rundete das Programm ab.

Experimente

In der Kick-off-Week wurde im *teutolab*-biotechnologie jedes Jahr ein anderer der 5.1.1 und 5.1.2 dargestellten Workshops durchgeführt (1. Jahr: ‚Molecular Genetic Differentiation of Animal Species in Meat‘, 2. Jahr: ‚Trailing the Lambda Phage‘, 3. Jahr: ‚Barcoding of orchids‘) umgesetzt.

Bei den folgenden Treffen in den verschiedenen europäischen Städten wurden in unterschiedlichen Institutionen verschiedene Experimente durchgeführt. Dies waren im ersten Jahr in Verona eine Bakterientransformation und ein bioinformatischer Kurs zur Proteinvorhersage und in Haarlem ein Versuch zur alkoholischen Gärung mit

Hefe. Im zweiten Jahr wurde in St. Neots eine Genotypisierung eines humanen Gens und eine Qualitätsanalyse von Wasser durchgeführt, in Xativa wurde DNA mit Haushaltsmitteln isoliert und es wurde ein bioinformatischer Kurs zur phylogenetischen Analyse von Pflanzenviren durchgeführt. Im dritten Jahr wurde in Haarlem Stärkeplastik aus Kartoffeln hergestellt und in Pärnu ein DNA-Fingerprinting und eine DNA-Isolierung aus Bananen durchgeführt.

7.4.3 Methoden

7.4.3.1 Studiendesign und Stichprobe

Im vierten Schritt der Entwicklung von Angeboten zur Begabtenförderung wurde wiederum die Akzeptanz der neu entwickelten Veranstaltung untersucht. Abbildung 86 zeigt das Design dieser Teilstudie 11 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichprobe. Die Schul- und Kursformen werden wegen der heterogenen europäischen Schulsysteme nicht angegeben. Es wurden zu zwei Messzeitpunkten zwei verschiedene Fragebögen zur Akzeptanz eingesetzt: Zunächst wurde die Akzeptanz der Kick-off-Week am Ende der Woche des ersten gemeinsamen Treffens, welche in jedem Jahr im CeBiTec in Bielefeld durchgeführt wurde, erfragt (Erasmus Kick-off-Akz). Zudem wurde beim abschließenden Treffen ein Fragebogen zur Akzeptanz (Erasmus Projekt-Akz) des gesamten schuljahresbegleitenden Erasmus-Projektes beantwortet.

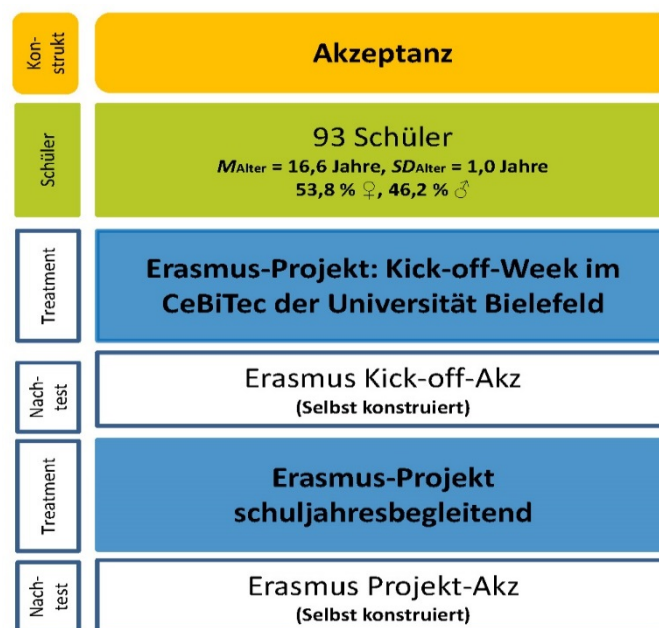


Abb. 86: Design der Teilstudie 11 zur Auswirkung des Erasmus-Projektes auf die Akzeptanz der Schüler

7.4.3.2 Testinstrumente

Akzeptanz des Erasmus-Projektes

Zunächst wurde die Akzeptanz der Kick-off-Week in Bielefeld erfasst. Diese Woche wurde in jedem der drei Schuljahre des Erasmus-Projektes analog durch das *teutolab*-biotechnologie im CeBiTec an der Universität Bielefeld organisiert. In Orientierung am Fragebogen zur CeBiTec-Schülerakademie wurden die meisten Items ins Englische übersetzt und drei Fragen zu den für die Schüler während des Schuljahres zu erfüllenden Aufgaben ergänzt. Es konnten keine gemeinsamen Faktoren der 14 Items identifiziert werden. Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug zwar 0,666 und lag damit leicht überhalb der akzeptablen Grenze von 0,6, jedoch wurden mehr als 25 Iterationen benötigt und die Extraktion daher abgebrochen. Die Items wurden daher separat betrachtet und sind vollständig in Tabelle 29 aufgeführt. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) eingesetzt.

Tab. 29: Items des Fragebogens zur Akzeptanz der Kick-off-Week des Erasmus-Projektes (Erasmus Kick-off-Akz, selbst konstruiert)

Kürzel	Item	Reliabilität ¹
Programm ausgewogen	The programme was well-balanced.	0,781
Vorträge interessant	The themes of the lectures were interesting.	
Vorträge verständlich	The lectures were understandable.	
Experimente interessant	The practical day at the lab was interesting.	
Anleitungen verständlich	The instructions were understandable.	
Experimente selbstständig	I could work autonomous/independent at the experiments.	
Exkursion interessant	The excursion to e. g. the brewery was interesting.	
Labor Spaß	The work in the lab was fun.	
Spaß allgemein	I felt fun at the Kick-off Week .	
Lernzuwachs allgemein	I learned something new at Kick-off week.	
Gastfamilien positiv	I liked to stay in a guest family.	
Aufgabe verstanden	I understand the task of my Erasmus group well.	
Auf Aufgabe vorbereitet	The Kick-off Week prepared me well for the tasks of my Erasmus group.	
Erfolg erwartet	I think, my Erasmus group will succeed in the tasks.	

Bei dem letzten Treffen in einem Schuljahr wurde das Erasmus-Projekt jeweils abschließend beurteilt. Es konnten keine gemeinsamen Faktoren der 18 Items des selbst konstruierten Fragebogens identifiziert werden. Der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert betrug 0,572 und lag damit unter der akzeptablen Grenze von 0,6, welche die Eignung einer Stichprobe für eine Faktorenanalyse markiert. Es wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) eingesetzt. Die Items sind vollständig in Tabelle 30 aufgeführt.

Tab. 30: Items des Fragebogens zur Akzeptanz des Erasmus-Projektes (Erasmus Projekt-Akz, selbst konstruiert)

Kürzel	Item	Reliabilität ¹
Programm ausgewogen	The programme of the complete project was well-balanced.	0,764
Spaß allgemein	I felt fun at the work in the Erasmus-project .	
Lernzuwachs allgemein	I learned something new in the Erasmus-project .	
Einfluss Interesse	The experiences in the Erasmus-project have influence on my interest in biological, biotechnological and chemical themes.	
Schulische Vorteile	The experiences in the Erasmus-project will bring benefit at school for me.	
Einfluss Berufswahl	The experiences in the Erasmus-project do influence my job orientation.	
Projektgruppe_erfolgreich	I think, my Erasmus group did succeed in the tasks.	
Kommunikation_erfolgreich	In the Erasmus-project, the participants had successful communication.	
Teamzeit angenehm	In the Erasmus-project, I spent some nice leisure time with other students.	
Teamfähigkeit verbessert	In the Erasmus-project, I improved my teamwork skills.	
Fremdsprachen verbessert	I improved my skills in foreign languages in the Erasmus-project.	
Freundschaften geschlossen	I made friends with participants from other nations at the Erasmus-project.	
Nationalitäten kennengelernt	In the Erasmus-project, I learned something new about other nationalities.	
Nationale Unterschiede	There are national differences in the attitudes towards biotechnology.	

7.4.4 Ergebnisse

Kick-off-Week

Die Mittelwerte der Items zur Akzeptanz der Kick-off-Week des Erasmus-Projektes sind in Abbildung 87 dargestellt.

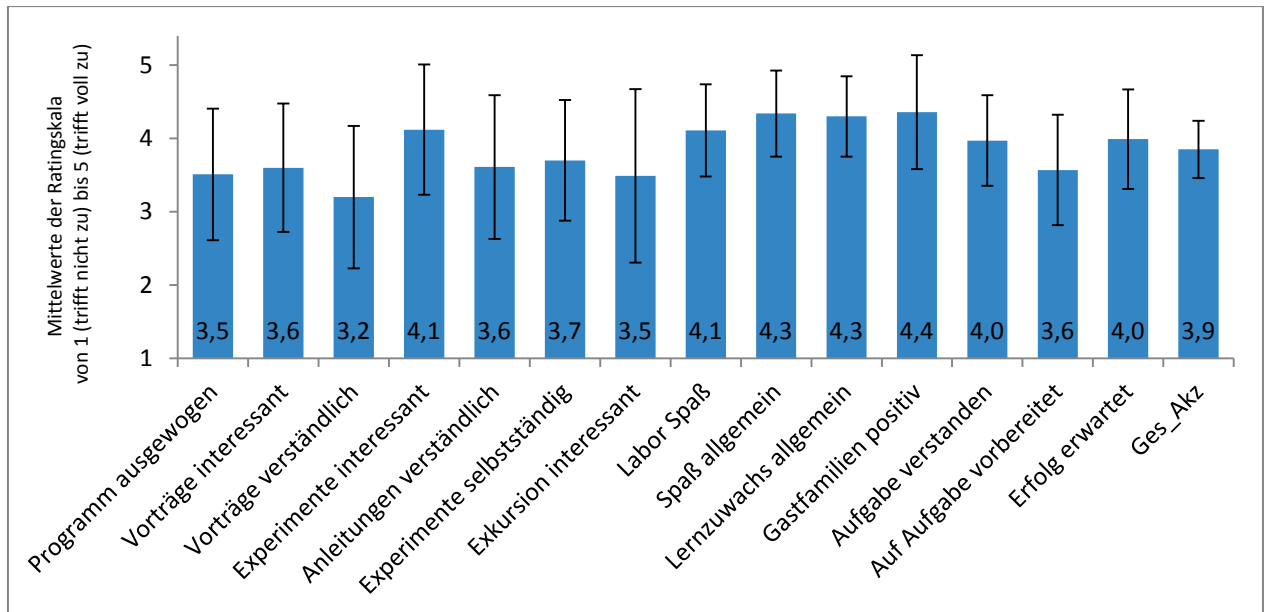


Abb. 87: Mittelwerte zur Akzeptanz der Kick-off-Week des Erasmus-Projektes ($N = 93$)

Erasmus-Projekt gesamt

Die Mittelwerte der Items zur Akzeptanz des gesamten Erasmus-Projektes sind in Abbildung 88 dargestellt.

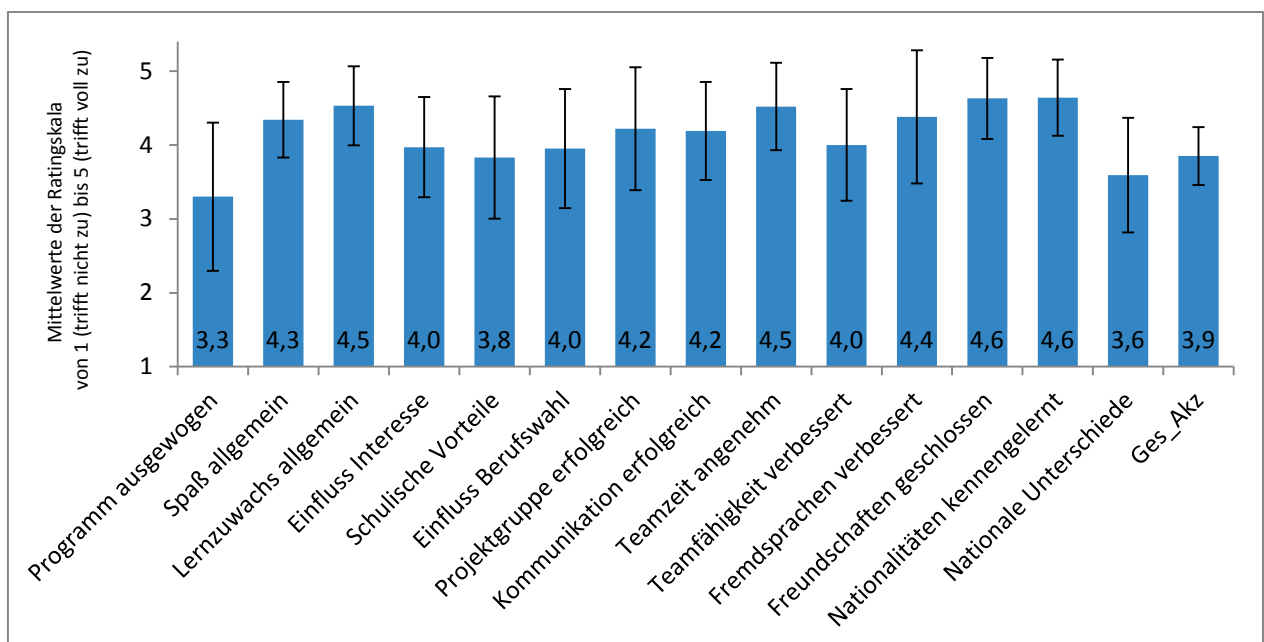


Abb. 88: Mittelwerte zur Akzeptanz des gesamten Erasmus-Projektes ($N = 93$)

Auswertung der offenen Frage zum Fazit der Schüler

Analog zu den in Kapitel 7.1.4, 7.2.4 und 7.3.4 dargestellten Ergebnissen konnten bei den Antworten auf die Frage „Welches Fazit ziehst Du für Dich aus dem Erasmus-Projekt?“ annähernd die gleichen Kategorien identifiziert werden und mehrere Aussagen gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Eine Bedeutung für die Studienwahl wurde jedoch nie geäußert. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 79,4 % und ist somit als beachtlich einzustufen. 60 Schüler formulierten Fazits. In Tabelle 31 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 31: Kategorien der Fazits der Schüler zum Erasmus-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent- satz
1 Mot	Bedeutung für die Motivation	Alle Äußerungen zu Freude/ Vergnügen/positiven Gefühlen	„A really great experience which I'll remember for my whole life.“ “Amazing!”	33/36,3 %
2 Int	Bedeutung für das Interesse	Alle Äußerungen zum Lerngegenstand/Interesse	„Interesting and unique“	4/4,4 %
3 Wiss	Bedeutung für den Wissenszuwachs	Alle Äußerungen zum Wissenserwerb	„I learnt something that I can't learn at school.“	13/14,3 %
5 Urt	Allgemeine persönliche Beurteilung des Erasmus-Projekts	Alle Äußerungen zur persönlichen Beurteilung der Veranstaltung, Feedback zu Qualität	„It worked very well and the people participating were well-prepared and brought interesting topics (lectures, experiments...)“	19/20,9 %
6 Lab	Bedeutung der Laborarbeit	Alle Äußerungen, welche die Bedeutung der durchgeführten Laborarbeit hervorheben	„...and brought interesting topics (lectures, experiments)“	1/1,1 %
7 Soz	Sozialer Austausch	Alle Äußerungen, welche die sozialen Kontakte betonen	„Found new friends and learn a lot of different countries.“	17/18,7 %
8 Son	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		4/4,4 %

Auswertung der offenen Frage zu den Verbesserungsvorschlägen der Schüler

Bei der Analyse der Antworten auf die Frage „Was könnte beim Erasmus-Projekt verbessert werden?“ konnten die bereits aus Kapitel 7.1.4, 7.2.4 und 7.3.4 bekannten Kategorien identifiziert werden und viele Äußerungen gleichberechtigt mehreren Kategorien zugeordnet werden. Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Experimente wurden jedoch nicht genannt. Die Intercoderreliabilität der beiden unabhängigen Codierer betrug 62 % und ist somit als beachtlich einzustufen. 56 Schüler beantworteten die Frage nach den Verbesserungsvorschlägen, so dass in der Summe 39,8 % keine Vorschläge äußerten. In Tabelle 32 sind die Kategorien mit Beispielen sowie die Häufigkeiten der Nennungen aufgeführt.

Tab. 32: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für das Erasmus-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen

Kürzel	Inhalt	Anwendung der Kategorie	Beispiel	Nennungen gesamt/ Prozent- satz
0 Kein	Explizit kein Verbesserungsvorschlag	Alle Äußerungen, in denen explizit geäußert wird, dass es keinen Vorschlag gibt.	„I think everything is fine.“	2/3,6 %
2 Vor	Didaktische Konzeption und Umsetzung der Vorträge	Alle Äußerungen zur didaktischen Konzeption und Umsetzung der Vorträge	„There were some boring lectures, more basic and not that specific lectures that are hard to understand.“	8/14,3 %
3 Pro	Organisatorische Konzeption und Umsetzung: Organisatorische Abläufe	Alle Äußerungen zur Programmgestaltung und zu organisatorischen Abläufen inkl. Pausenstrukturen	„The group work, it was not so well organized.“ “Not so much lectures and more practice work.“	28/50%
4 Rah	Rahmenbedingungen	Alle Äußerungen zu Unterkunft, Verpflegung, Teilnahmebedingungen, Ausstattung etc.	„Better communication in some arrangements.“ “The system of choosing the host of each student can be improved.“	15/26,8 %
5 Son	Sonstiges	Alle Äußerungen, die keiner Kategorie zugeordnet werden konnten		3/5,4 %

7.4.5 Diskussion

Die quantitative Analyse der Erasmus-Projektes unterteilt sich in die Befragung zur Kick-off-week, welche stets durch das *teutolab*-biotechnologie im CeBiTec in der Universität Bielefeld durchgeführt wurde, und in die Befragung zum gesamten Projekt.

Kick-off-Week

Bei der Kick-off-Week fällt zunächst die niedrige Zustimmung zur Ausgewogenheit des Programms auf. Vergleichbar mit den Akademien in den Schulferien wurden hier wissenschaftliche Vorträge zu biotechnologischen Themen, eine Exkursion und ein Praktikumstag im Schülerlabor angeboten. Zudem wurden die Gruppen und die Aufgaben zu den verschiedenen Bereichen der Biotechnologie aufgeteilt. Die Fragen zu den Vorträgen zeigen, dass diese nur teils verständlich für die Schüler waren. Auch die Anleitungen im Labor wiesen im Vergleich zu den Werten aus den anderen Veranstaltungen ungewöhnlich niedrige Werte auf. Es handelte sich um die ins Englische übersetzten Anleitungen der eintägigen Workshops, welche bereits als sehr gut verständlich beurteilt worden waren. Es ist möglich, dass bei den Bereichen, bei denen die Sprache eine bedeutende Rolle hat, die Englischkenntnisse der Schüler das Verständnis reduzierten. Schwierigkeiten beim Verstehen der Inhalte könnten sich auch negativ auf die Wahrnehmung der Ausgewogenheit des Programms ausgewirkt haben. Die Vorträge und die Exkursion wurden auch nicht sehr hoch bewertet (teils bis ziemlich interessant), was wiederum mit einem begrenzten inhaltlichen Verständnis erklärt werden könnte.

Die Schüler hatten in der Kick-off-Week jedoch sehr viel Spaß. Eine besondere Bedeutung hatten die Gastfamilien, in denen die Schüler sich sehr wohl fühlten. Diese Form der gemeinsamen Unterkunft wird bei einem internationalen Austausch häufig umgesetzt und unterstützt das Kennenlernen der anderen Nationalitäten. Die Teilnehmer lernten in der Kick-off-Week sehr viel dazu und verstanden auch die bevorstehenden Aufgaben gut. Sie stimmten nur bedingt zu, auf die Aufgaben gut vorbereitet zu sein, erwarteten jedoch durchaus Erfolg.

Erasmus-Projekt insgesamt

Die Daten zum gesamten Erasmus-Projekt zeigten wieder nur eine teilweise Zustimmung zur Ausgewogenheit des Programms des gesamten Erasmus-Projektes. Zur Erklärung können die Verbesserungsvorschläge herangezogen werden. Hier finden sich in der Kategorie zur organisatorischen Konzeption und Umsetzung Vorschläge für mehr praktisches Arbeiten und weniger Vorträge. In der Kategorie der didaktischen Umsetzung der Vorträge findet sich der Hinweis, dass die Vorträge als schwer verständlich, zu spezifisch und daher langweilig beschrieben wurden. Daraus lässt sich resümieren, dass insbesondere bei einem zu antizipierenden Sprachverständnisproblem die Anteile an praktischen Arbeiten von besonderer Bedeutung sind und das passende Niveau bei den Vorträgen relativ schwer zu erreichen ist. Es kommt hinzu, dass das Vorwissen der Schüler ebenso heterogen wie deren nationale Herkunft ist. Eine Abfrage des Vorwissens zu den molekularbiologischen Methoden ergab, dass Dreiviertel der Schüler diese zuvor gar nicht oder nur marginal im Unterricht behandelt hatten.

In Analogie zur Kick-off-Week empfanden die Schüler trotz möglicher inhaltlicher Probleme beim gesamten Erasmus-Projekt sehr viel Spaß. Die Teamarbeit wurde als angenehm empfunden und es wurde sehr stark zugestimmt, dass Freundschaften geschlossen wurden, andere Nationalitäten kennengelernt wurden und die Fremdsprachenkenntnisse verbessert wurden. Zudem ist eine sehr erfolgreiche Kommunikation gelungen. Dies ist besonders bemerkenswert, da zwischen den insgesamt drei Treffen pro Schuljahr ein Austausch über eine Internetplattform notwendig war, um die räumliche Distanz zu überbrücken. Letztlich beurteilten die Schüler auch ihren Projekterfolg sehr positiv. Zudem lernten sie sehr viel während des gesamten Erasmus-Projektes, obwohl die schulischen Vorteile nicht allzu hoch bewertet wurden. Der Einfluss auf das Interesse und die berufliche Zukunft war ebenso hoch ausgeprägt wie bei den bereits beschriebenen Projekten.

Die Beurteilung wird durch die qualitativen Daten unterstützt. 40 % aller Fazits konnten den Kategorien zur besonderen Bedeutung für die Motivation und für das Interesse zugeordnet werden, ein weiteres Fünftel äußerte sich allgemein positiv in seiner persönlichen Beurteilung. Die hohe Bedeutung des Erasmus-Projektes für diese Bereiche wird hier nochmals unterstrichen. Zudem ist der soziale Aspekt mit etwa einem Fünftel der Fazits stark vertreten. Die Laborarbeit hat in den Fazits

annähernd keine Bedeutung. Dies könnte sich dadurch erklären, dass der Anteil der Laborarbeit als gering wahrgenommen wurde, denn als Verbesserungsvorschläge wurden mehr laborpraktische Anteile genannt.

Insgesamt wird deutlich, dass im Erasmus-Projekt der soziale Austausch im Mittelpunkt stand. Das war bei einem internationalen Projekt auch zu erwarten und ist grundsätzlich das Ziel von internationalen Austauschen. Es sollten die verschiedenen Einstellungen zur Biotechnologie in den verschiedenen Ländern kennengelernt werden. Dabei wurde zwar festgestellt, dass es nur teilweise nationale Unterschiede gibt. Aufgrund der positiven Beurteilung kann zurückgeschlossen werden, dass die Organisationsform des Gruppenpuzzles sich bei dieser Projektarbeit gut bewährt hat und die Idee internationaler Gruppenzusammensetzungen in den Expertengruppen sehr förderlich bei internationalen Projekten ist.

Das Erasmus-Projekt kann unter Beteiligung des *teutolab*-biotechnologie aufgrund der Förderrichtlinien als EU-Projekt nicht weiter unterstützt werden. Die beteiligten Schulen führen jedoch ihre Kooperationen fort und werden dabei weiterhin die fachliche und laborpraktische Unterstützung des Schülerlabors erhalten.

7.5 Abschließende Analyse der Entwicklungen in Säule C

7.5.1 Einleitung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden verschiedene Konzepte zur Begabtenförderung sowie deren Evaluation in Bezug auf die Akzeptanz der Veranstaltungen vorgestellt. Dabei wurden so weit wie möglich ähnliche Items verwendet, jedoch auch spezifische Items zur Beurteilung der Besonderheiten formuliert. Im letzten Schritt der Entwicklungssäule C sollen die Neuentwicklungen für Begabte untereinander und auch mit den Angeboten zur Breitenförderung verglichen werden, um deren Spezifika besser verstehen zu können. Im Sinne einer summativen Evaluation soll dabei geklärt werden, inwiefern sie sich in der Akzeptanz, im Interesse und im Bereich des Lernens unterscheiden. Da die Inhalte zwischen den Veranstaltungen stark variierten, wurde hier nicht auf den Wissenserwerb fokussiert, sondern auf Schlüsselkompetenzen. Wie in den theoretischen Hintergründen der einzelnen Schritte zur Begabtenförderung dargestellt, ist die Förderung prozessbezogener Kompetenzen ein wichtiger Aspekt

beim Enrichment. Beim selbstorganisierten Lernen werden fachliche und auch überfachliche Kompetenzen gefördert. Diese Kompetenzen werden inhaltlich vergleichbar zu dem Begriff „Schlüsselqualifikationen“ verwendet. Dieser Begriff wird häufig, aber nicht einheitlich benutzt. Unter dem Begriff der Schlüsselqualifikationen werden intellektuelle Fähigkeiten, interindividuelle Fähigkeiten wie z. B. Urteilsfähigkeit und Kreativität, erlernbare Kenntnisse wie z. B. Fremdsprachen, Persönlichkeitsmerkmale wie z. B. Verantwortungsgefühl, Arbeitstugenden wie z. B. Zuverlässigkeit und soziale Fähigkeiten subsumiert (Reinmann & Mandl, 2006). Sie werden im Studium und im Beruf gefordert und es handelt sich nach Reinmann und Mandl (2006, S. 644) um „dekontextualisiertes, entspezialisiertes, funktional-autonomes Wissen und Können.“

7.5.2 Methoden

7.5.2.1 Studiendesign und Stichprobe

Die Akzeptanz, die Schlüsselkompetenzen und das Interesse wurden anhand verschiedener Stichproben verglichen. Die Akzeptanz aller Projekte zur Begabtenförderung in Säule C wurde mit der Akzeptanz der Workshops zur Breitenförderung in Säule A verglichen. Die Schlüsselkompetenzen wurden zwischen Teilnehmern des Erasmus-Projektes, der *teutolab*-Akademie Systembiologie, des Lab2Venture-Projektes und einer weiteren Stichprobe aus Säule A verglichen. In Bezug auf das Interesse wurde ein Vergleich zwischen Teilnehmern der CeBiTec-Schülerakademie, des Lab2Venture-Projektes und der *teutolab*-Akademie Systembiologie mit einer anderen Stichprobe aus Säule A durchgeführt. Abbildung 89 zeigt das Design dieser abschließenden Teilstudie 12 sowie die Geschlechterzusammensetzung und den Altersdurchschnitt der Stichproben. Der Anteil der Schulformen und von Leistungs- und Grundkurse wird wegen der großen Anzahl Schüler, welche diesen Systemen nicht zuzuordnen sind, nicht aufgeführt. Die Fragebögen wurden jeweils am Ende der Veranstaltungen beantwortet.

Konstrukt	Akzeptanz	Schlüsselkompetenzen	Interesse
Schüler	859 Schüler $M_{\text{Alter}} = 17,2$ Jahre $SD_{\text{Alter}} = 1,3$ Jahre 60,2 % ♀, 39,8 % ♂	321 Schüler $M_{\text{Alter}} = 16,9$ Jahre $SD_{\text{Alter}} = 0,9$ Jahre 60,6 % ♀, 39,4 % ♂	324 Schüler $M_{\text{Alter}} = 16,9$ Jahre $SD_{\text{Alter}} = 0,8$ Jahre 63,9 % ♀, 36,1 % ♂
Treatment	Tages-Workshop oder Schülerakademie oder <i>teutolab</i> -Akademie oder Lab2Venture-Projekt oder Erasmus-Projekt	Tages-Workshop oder <i>teutolab</i> -Akademie oder Lab2Venture-Projekt oder Erasmus-Projekt	Tages-Workshop oder Schülerakademie oder <i>teutolab</i> -Akademie oder Lab2Venture-Projekt
Nachtest	<i>teuto</i> -Akz Selbst konstruiert	<i>teuto</i> -S-Komp Selbst konstruiert	SIS (Linnenbrink-Garcia et al., 2009)

Abb. 89: Design der Teilstudie 12 zum Vergleich der Angebote zur Begabtenförderung mit den Angeboten zur Breitenförderung in Bezug auf die Akzeptanz, den Erwerb von Schlüsselkompetenzen und das Interesse der Schüler

7.5.2.2 Testinstrumente

Akzeptanz

Für den Vergleich der Akzeptanz wurde der in Kapitel 5.1.3.2 vorgestellte Fragebogen für die eintägigen Workshops verwendet. Hier luden die zwölf Items auf drei Faktoren, welche inhaltlich eine affektive Komponente (Sub_Akz_Aff), eine effektive Komponente (Sub_Akz_Eff) und eine Qualitätskomponente (Sub_Akz_Qu) beschrieben. Diesen Komponenten wurden inhaltlich gleiche Fragen zu den Veranstaltungen in Säule C zugeordnet, sofern sie verwendet wurden. Dadurch konnte die drei Komponenten vergleichbar gemacht werden. Tabelle 33 gibt eine Übersicht, welche Items für die Bildung der Subskalen jeweils wurden.

Um zu erfassen, inwiefern die Teilnehmer der Angebote zur Begabtenförderung sich in ihren Studienwünschen von den Teilnehmer an den Angeboten zur Breitenförderung unterscheiden, notierten die Schüler ergänzend jeweils drei mögliche Studienwünsche. Sie wurden den Kategorien ‚Medizin etc.‘, ‚Biologie etc.‘, ‚Naturwissenschaften außer Biologie‘ und ‚Sonstiges‘ zugeordnet.

Tab. 33: Übersicht über die Items der Subskalen und deren Verwendung

Kürzel	Item	Tagesworkshops	Schülerakademie	teutolab-Akademie	L2V-Projekt	Erasmus-Projekt
Akz_Aff_1	Ich habe beim ... viel Spaß gehabt.	X	X	X	X	X
Akz_Aff_2	Die Themen/Vorträge ... waren interessant.	X	X	X		X ₃
Akz_Aff_3	Die Experimente waren interessant.	X	X	X		X ₃
Akz_Aff_4	Das Arbeiten im Labor hat Spaß gemacht.	X	X	X	X	X ₃
Akz_Eff_1	Ich habe beim ... viel dazu gelernt.	X	X	X	X	X
Akz_Eff_2	Die Erfahrungen vom ... haben Einfluss auf mein Interesse an biologischen, biotechnologischen und chem. Themen.	X	X	X	X	X
Akz_Eff_3	Die Erfahrungen vom ... bringen mir schulische Vorteile.	X	X	X	X	X
Akz_Eff_4	Die Erfahrungen vom ... haben Einfluss auf meine berufliche Zukunft.	X	X	X	X	X
Akz_Qu_1	Der PowerPoint-Vortrag und die Erklärungen waren gut verständlich.	X	X ₁	X		X ₃
Akz_Qu_2	Bei den Experimenten konnte ich selbstständig arbeiten.	X	X	X		X ₃
Akz_Qu_3	Die Erklärungen & Versuchsanleitungen waren verständlich.	X	X	X		X ₃
Akz_Qu_4	Das Programm war ausgewogen		X	X ₂	X	X
Reliabilität ₄						
Sub_Akz_Aff	0,749					
Sub_Akz_Eff	0,774					
Sub_Akz_Qu	0,631					
Ges_Akz	0,792					

1: Mittelwert der Items „Die Erklärungen der biologischen Hintergründe waren verständlich“ und „Die Erklärungen der mathematischen Hintergründe waren verständlich“ verwendet.

2: Mittelwert der Items „Der Zeitraum, in dem wir am L2V-Projekt gearbeitet haben, war angemessen.“ und „Der Zeitaufwand, den ich für das L2V-Projekt investiert habe, war angemessen.“

3: Es wurden die bei der Kick-off-Week erhobenen Daten eingesetzt.

4: Cronbachs Alpha

Schlüsselkompetenzen

Für die Erfassung der Schlüsselkompetenzen wurde ein Fragebogen in Anlehnung an Krawetzke, Engeln und Euler (n.d.) selbst konstruiert. In einer unveröffentlichten

Studie zur Wirksamkeit der TheoPrax-Methode verglichen sie verschiedene Formen der Projektarbeit u. a. in Bezug auf die erlernten Fähigkeiten im Bereich der Schlüsselkompetenzen. Sie formulierten 13 Items, werteten jedoch nur insgesamt sieben Items aus, welche auf drei Faktoren luden. Bei einem Einsatz der Fragen im Anschluss an eintägige Workshops im *teutolab*-biotechnologie ergab sich ein KMO-Wert von 0,866, die Untergrenze zur Eignung der Stichprobe wurde also deutlich überschritten. Die Faktorenanalyse zeigte drei Faktoren auf: In der Komponente des Problemlösens (Sub_Komp_PL) sind die Fähigkeiten zusammengefasst, welche zum Lösen von Problemen beitragen wie z. B. Konflikte lösen, Probleme erkennen etc. In der Subskala der Zielorientierung (Sub_Komp_Ziel) sind diejenigen Items vereint, welche auf konstruktives und fokussiertes Arbeiten abzielen. Die Subskala zum selbstständigen Arbeiten (Sub_Komp_Selbst) bildet die Items zu eigenverantwortlichem Arbeiten ab. Die verwendeten Items und die rotierten Faktorladungen sind in Tabelle 34 aufgeführt. Alle 13 Items wiesen Faktorladungen von $> 0,40$ auf und wurden somit vollständig für die Auswertung verwendet. Zur Beantwortung der Items wurde eine fünfstufige Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft voll zu“ (5) verwendet.

Tab. 34: Items und Subskalen des Fragebogens zu den Schlüsselkompetenzen (selbst konstruiert)

Kürzel	Item	Rotierte Faktorladung ¹		
		Komp_PL	Komp_Ziel	Komp_Selbst
Komp_PL_1	...Probleme zu erkennen.	0,639		
Komp_PL_2	...zu konzipieren und zu entwickeln.	0,453		
Komp_PL_3	...mit anderen zu verhandeln.	0,416		
Komp_PL_4	...Probleme aus verschiedenen Sichtweisen zu betrachten.	0,544		
Komp_PL_5	...Probleme zu lösen.	0,698		
Komp_PL_6	...Konflikte zu lösen.	0,720		
Komp_Ziel_1	...zu organisieren/ zu koordinieren/ zu planen.		0,504	
Komp_Ziel_2	... mich auf das Wesentliche zu konzentrieren.		0,525	
Komp_Ziel_3	...im Team zu arbeiten.		0,599	
Komp_Ziel_4	...zielorientiertes Arbeiten.		0,629	

Komp_Selbst_1	...selbstständig zu arbeiten.			0,539
Komp_Selbst_2	...eigene Entscheidungen zu treffen.			0,648
Komp_Selbst_3	...Ergebnisse darzustellen und zu präsentieren.			0,431
Reliabilität²				
Sub_Komp_PL		0,819		
Sub_Komp_Ziel			0,702	
Sub_Komp_Selbst				0,672
Ges_Komp	0,867			

Anmerkungen:

¹ Extraktionsmethode: Hauptachsen-Faktorenanalyse

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

² Cronbachs Alpha

Interesse

Für die Erhebung des individuellen und situationalen Interesses wurde das gleiche Testinstrument verwendet wie im ersten Schritt der Entwicklung in Säule A (siehe Kapitel 5.1.3). Die Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) waren für den Vergleich von Gruppen angemessen (Ges_Int_I: 0,830, Sub_Int_T: 0,712; Sub_Int_F: 0,842, Sub_Int_V: 0,872; Ges_Sit_Int: 0,913).

7.5.3 Ergebnisse

7.5.3.1 Akzeptanz

In der affektiven Komponente (Sub_Akz_Aff), der effektiven Komponente (Sub_Akz_Eff), der Qualitätskomponente (Sub_Akz_Qu) sowie in der Gesamtskala der Akzeptanz lagen zwischen den verschiedenen Veranstaltungen signifikante Unterschiede vor (Sub_Akz_Aff: $F(4;854) = 8,398$, $p < 0,000$, $\eta_p^2 = 0,038$; Sub_Akz_Eff: $F(4;854) = 86,592$, $p < 0,000$, $\eta_p^2 = 0,289$; Sub_Akz_Qu $F(4;854) = 31,693$, $p < 0,000$, $\eta_p^2 = 0,16$; $F(4;854) = 21,689$, $p < 0,000$, $\eta_p^2 = 0,092$). Die Effektstärken sind in der affektiven Komponente klein bis mittel, in der effektiven Komponente groß, in der Qualitätskomponente mittel bis groß und in der Gesamtskala mittel. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 90 dargestellt. Da laut Levene-Test keine Varianzhomogenität angenommen werden konnte, wurde zur Post-Hoc-Analyse der Games-Howell-Test durchgeführt (siehe Kapitel 4.2.2.1). In

der affektiven Komponente wiesen die CeBiTec-Schülerakademie und die *teutolab*-Akademie höchst signifikant höhere Werte auf als die Tagespraktika und das Erasmus-Projekt. In der effektiven Komponente lagen keine Unterschiede zwischen den Angeboten zur Begabtenförderung vor, jedoch wiesen die Workshops zur Breitenförderung höchst signifikant niedrigere Werte auf. In der Qualitätskomponente wies das Erasmus-Projekt höchst signifikant niedrigere Werte auf als die CeBiTec-Schülerakademie, die *teutolab*-Akademie und die Tagesworkshops. In der Gesamtskala verfügten die CeBiTec-Schülerakademie und die *teutolab*-Akademie über signifikant höhere Werte als die Tageskurse und als das Erasmus-Projekt (siehe Anhang 33).

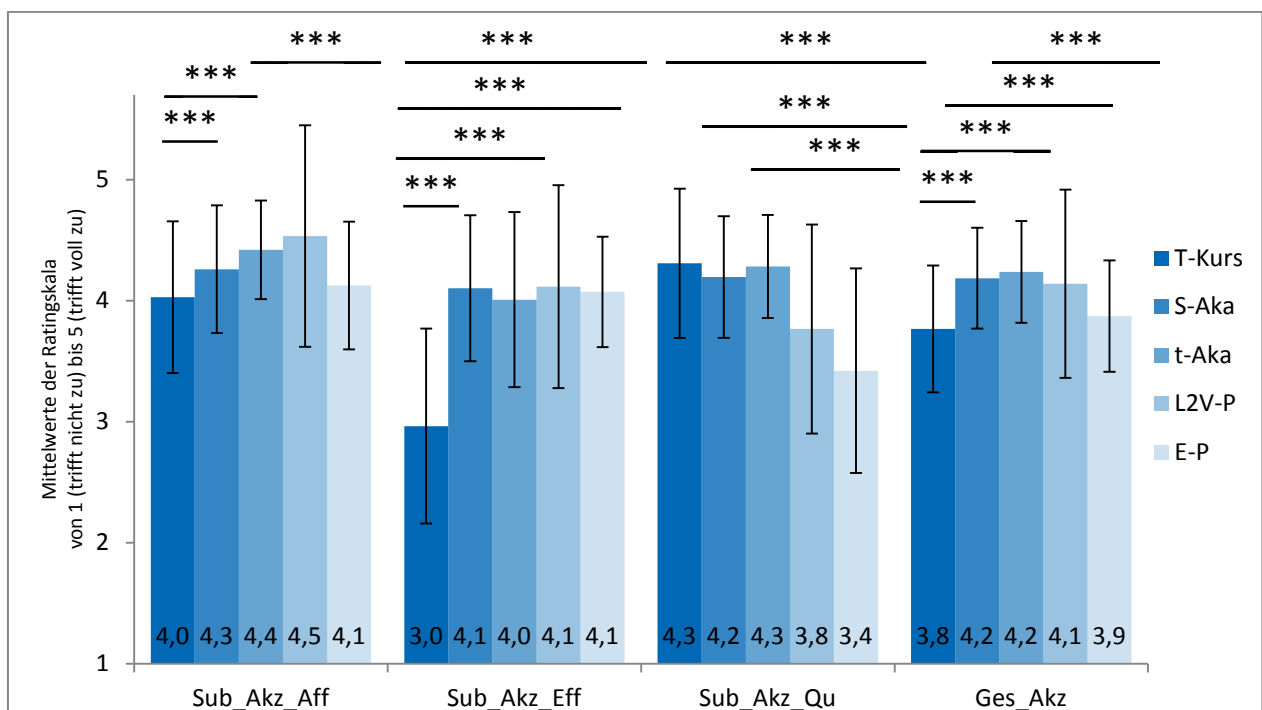


Abb. 90: Affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie Gesamtskala der Akzeptanz der Tageskurse (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der *teutolab*-Akademie (t-Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P) (T-Kurs: $n = 644$, S-Aka: $n = 98$, t-Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$, E-P: $n = 64$)

Vergleich der Fazits

Der Vergleich der Fazits ist in Abbildung 91 dargestellt. Die Anzahl der Nennungen in den Kategorien ist teilweise sehr unterschiedlich in den verschiedenen Veranstaltungen und wird in Kapitel 7.5.4 diskutiert.

Eine schließende Statistik wurde wegen der Grundlage qualitativen Daten für die ermittelten Werte nicht durchgeführt. Die Zuordnungen zu den Kategorien sollten zum besseren Verständnis der Spezifika der Veranstaltungen dienen.

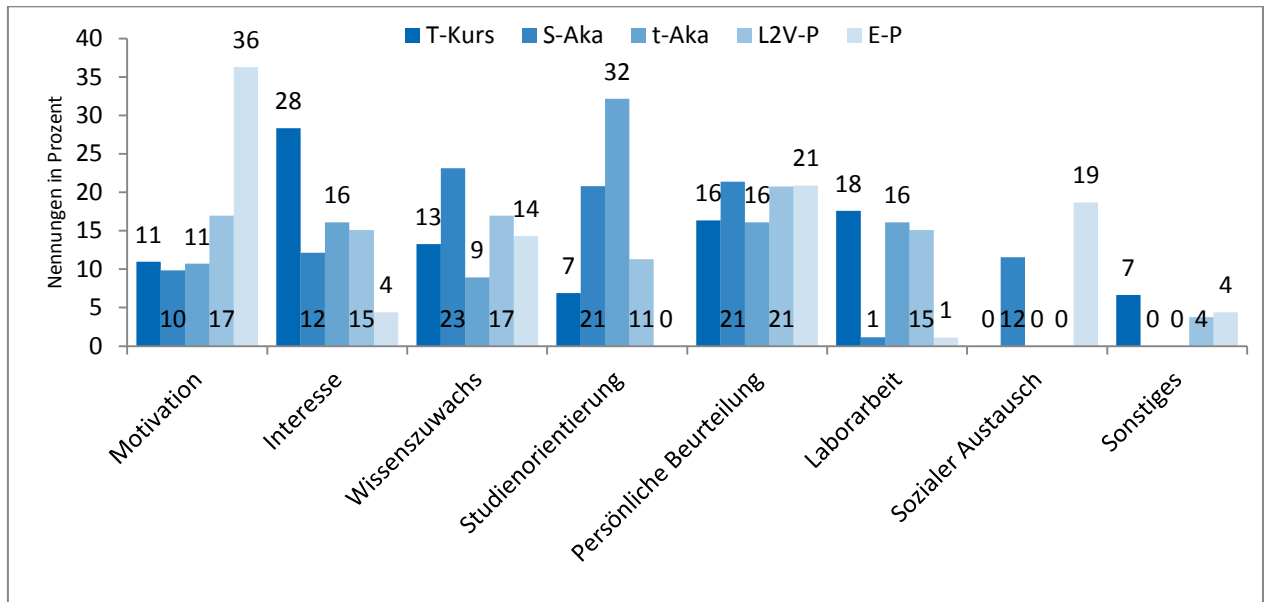


Abb. 91: Vergleich der Fazits der Tageskurse (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der *teutolab*-Akademie (t-Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P) (T-Kurs: $n = 205$, t-Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$, E-P: $n = 63$)

Vergleich der Studienwünsche

Der prozentuale Vergleich der geäußerten Studienwünsche ist in Abbildung 92 dargestellt.

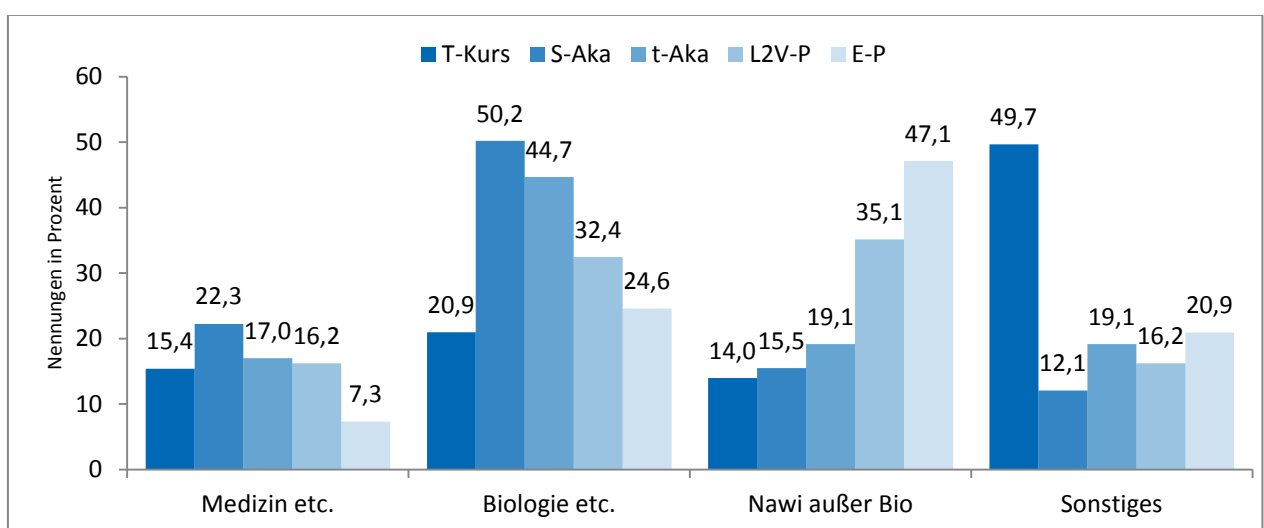


Abb. 92: Vergleich der Studienwünsche der Schüler in den Tageskursen (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der *teutolab*-Akademie (t-Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P) (T-Kurs: $n = 205$, t-Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$, E-P: $n = 63$)

7.5.3.2 Schlüsselkompetenzen

In der Subskala der Zielorientierung (Sub_Komp_Ziel) lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Veranstaltungen vor (Sub_Komp_Ziel: $F(3;317) = 1,945$, $p = 0,122$, $\eta_p^2 = 0,018$). In den Subskalen der Problemlösekompetenzen (Sub_Komp_PL), des selbstständigen Arbeitens (Sub_Komp_Selbst) und in der Gesamtskala der Schlüsselkompetenzen (Ges_Komp) lagen signifikante bis höchst signifikante Unterschiede zwischen den Veranstaltungen vor (Sub_Komp_PL: $F(3;317) = 5,981$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,054$; Sub_Komp_Selbst: $F(3;317) = 18,281$, $p < 0,000$, $\eta_p^2 = 0,147$; Ges_Komp: $F(3;317) = 9,23$, $p < 0,000$, $\eta_p^2 = 0,080$). Die Effektstärken sind in der Problemlösekomponente klein bis mittel, in der Komponente des selbstständigen Arbeitens mittel bis groß und in der Gesamtskala mittel. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 93 dargestellt. Da laut Levene-Test zwar Varianzgleichheit angenommen werden konnte, die Stichprobengrößen jedoch sehr unterschiedlich waren, wurde zur Post-Hoc-Analyse der Hochberg's GT2-Test verwendet (siehe Kapitel 4.2.2.1). Die Tageskurse weisen in der Problemlösekomponente gegenüber dem Lab2Venture-Projekt signifikant geringere Werte auf, gegenüber dem Erasmus-Projekt sind die Werte sehr signifikant geringer. In der Komponente des selbstständigen Arbeitens weisen die Tageskurse gegenüber allen anderen Veranstaltungen höchst signifikant geringere Werte auf. In der Gesamtskala sind die Werte der Tageskurse ebenfalls gegenüber allen anderen Veranstaltungen geringer. Hier sind die Unterschiede signifikant bis höchst signifikant (siehe Anhang 34).

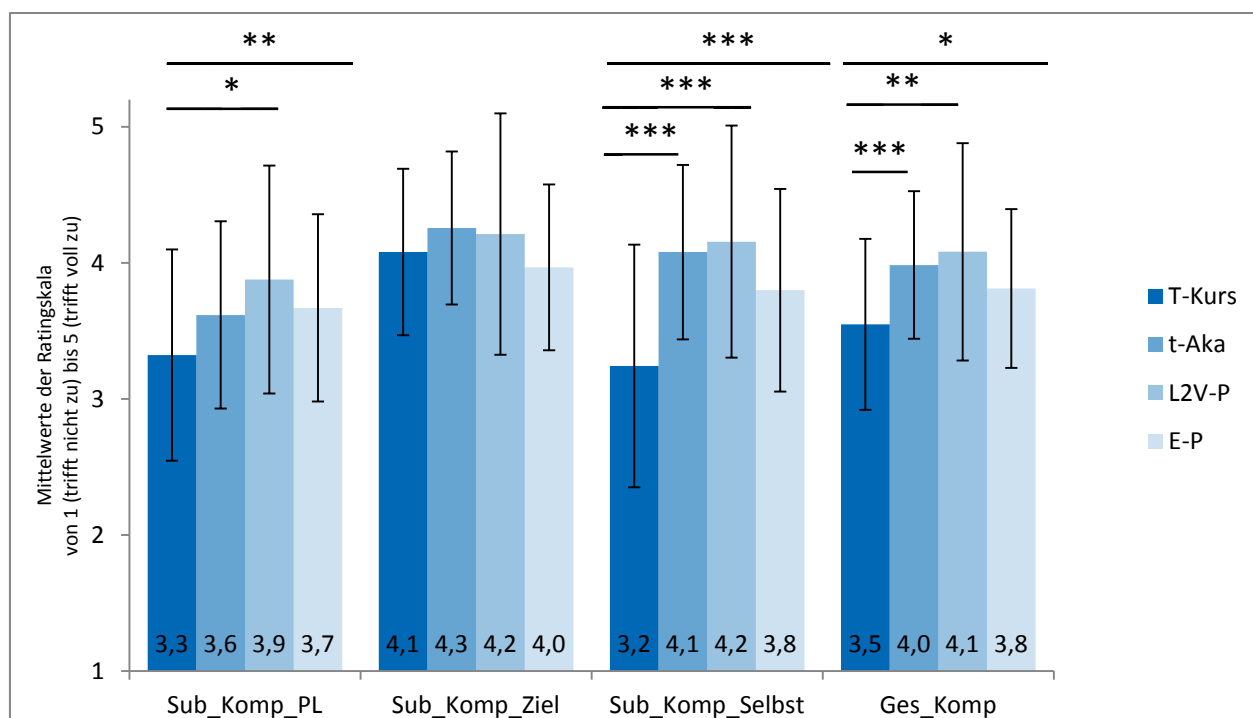


Abb. 93: Komponenten des Problemlösens, der Zielorientierung und des selbstständigen Arbeitens sowie Gesamtskala der Schlüsselkompetenzen der Tageskurse (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der teutolab-Akademie (t-Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P)
(T-Kurs: $n = 205$, t-Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$, E-P: $n = 63$)

7.5.3.3 Interesse

Im individuellen Interesse (Ges_Int_I) und in der *Maintained-Feeling*-Komponente (Sub_Int_F) und der *Maintained-Value*-Komponente (Sub_Int_V) sowie in der Gesamtskala des situationalen Interesse (Ges_Sit_Int) lagen höchst signifikante Unterschiede zwischen den Veranstaltungen vor (Ges_Int_I: $F(3;320) = 37,253$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,259$; Sub_Int_F: $F(3;320) = 15,806$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,129$; Sub_Int_V: $F(3;320) = 42,609$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,285$; Ges_Sit_Int: $F(3;320) = 37,253$, $p < 0,0001$, $\eta_p^2 = 0,259$). Die Effekte sind groß. Die Verteilung der Mittelwerte ist in Abbildung 94 dargestellt. Da laut Levene-Test keine Varianzhomogenität angenommen werden konnte, wurde zur Post-Hoc-Analyse der Games-Howell-Test verwendet (siehe Kapitel 4.2.2.1). Die signifikant niedrigeren Werte liegen jeweils bei den Tageskursen im Vergleich zu den anderen drei Veranstaltungen (CeBiTec-Schülerakademie, teutolab-Akademie und Lab2Venture-Projekt) vor. In der *Maintained-Feeling*-Komponente liegen zudem bei der teutolab-Akademie gegenüber der CeBiTec-Schülerakademie niedrige Werte vor (siehe Anhang 35). In der Subskala des ausgelösten (*triggered*) Interesses (Sub_Int_T) liegt

eine Tendenz vor, die im Gesamtvergleich jedoch nicht signifikant ist (Sub_Int_T: $F(3;320) = 2,414, p = 0,067$).

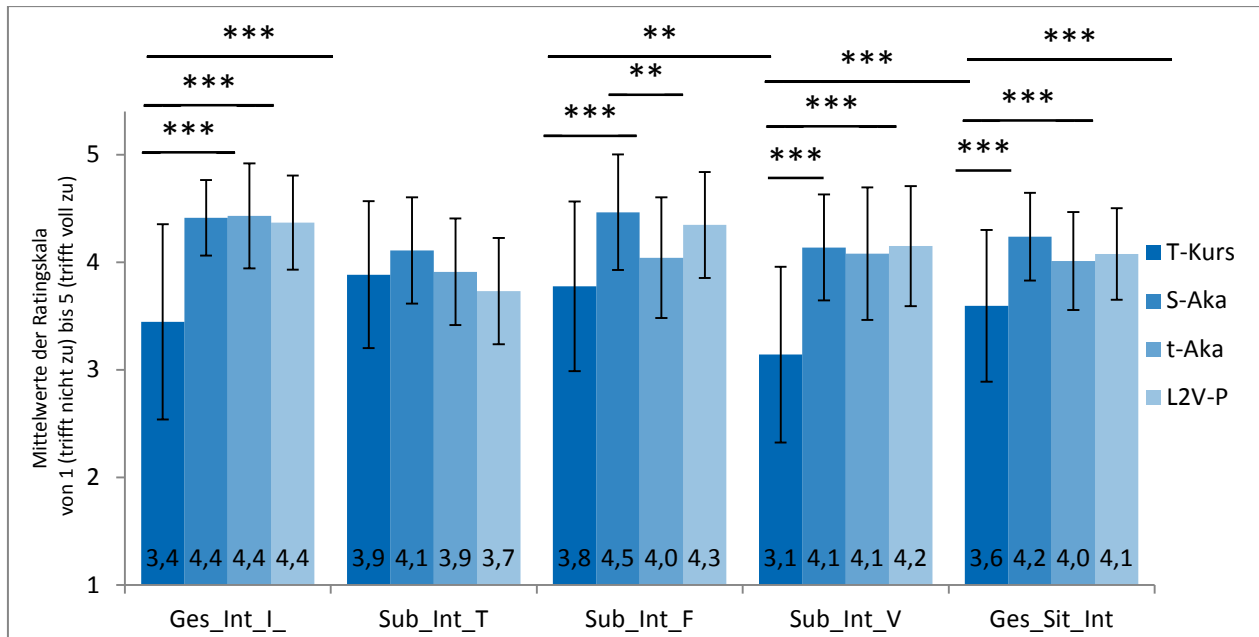


Abb. 94: Individuelles Interesse und Subskalen sowie Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) bei den Tageskursen (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der *teutolab*-Akademie (*t*-Aka) und dem Lab2Venture-Projekt (L2V-P) (T-Kurs: $n = 214$, S-Aka: $n = 57$, *t*-Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$)

7.5.4 Diskussion

Akzeptanz

Die verschiedenen Veranstaltungen unterschieden sich in allen drei Subskalen der Akzeptanz. Ein besonders eindeutiger Befund liegt in der Einschätzung der Effektivität vor. Die Teilnehmer der Angebote zur Begabtenförderung weisen hier höchst signifikant höhere Werte auf als die Teilnehmer der Tagesworkshops. Zwischen den Veranstaltungen zur Begabtenförderung liegen keine Unterschiede vor. In dieser Subskala wurde der Einfluss auf das Interesse, schulische Vorteile, den Lernzuwachs und die berufliche Zukunft abgefragt. Wie in den Kapiteln 7.1.4, 7.2.4, 7.3.4 und 7.4.4 dargelegt, nutzten die Schüler die Angebote in Säule C, um ihre Studienpläne und beruflichen Perspektiven zu überprüfen. Zudem berichteten sie einen deutlichen Einfluss auf ihr Interesse an naturwissenschaftlichen Themen. Der Lernzuwachs war groß, die schulischen Vorteile nicht ganz so stark ausgeprägt. Wie in Kapitel 5.1.5 dargestellt, konnte bei den eintägigen Workshops in Bezug auf die Studien- und Berufsorientierung keine große Einflussnahme erwartet werden und die

Gesamtskala wurde durchschnittlich mit „stimme teils teils zu“ beantwortet. Hier ist die separate Betrachtung der verschiedenen Schülergruppen wichtig. Bei den Tageskursen wiesen Leistungskursschüler signifikant höhere Werte auf als die Grundkursschüler und Schüler mit Biologienoten des unteren Terzils wiesen die niedrigsten Werte auf. Die besonders gut benoteten Schüler, welche an Angeboten zur Begabtenförderung teilnehmen, sind vorwiegend sehr gute Leistungskursschüler und stellen insofern eine stark vorselektierte Stichprobe dar.

In der Subskala zur Qualität der Angebote unterschieden sich die Werte zwischen den Angeboten zur Breiten- und zur Begabtenförderung nicht grundsätzlich. Hier wiesen die beiden schuljahresbegleitenden Angebote in Säule C niedrigere Werte auf. Die Unterschiede sind beim Erasmus-Projekt signifikant. Wie in Kapitel 7.4.5 diskutiert, könnte dies evtl. u. a. auf ein eingeschränktes Sprachverständnis der internationalen Schülerschaft zurückzuführen sein. Bei den relativ niedrigen Werten im Lab2Venture-Projekt ist zu beachten, dass in diesem Fall in dieser Subskala ausschließlich die Ausgewogenheit des Programms erfragt wurde. Es ist denkbar, dass diese Frage in Bezug auf die längerfristigen Angebote zu sehr auf feste Veranstaltungselemente hinweist, welche in einer Projektarbeit nicht eindeutig angeboten werden. Ergänzend schränkt die besonders kleine Stichprobe von nur 15 Schülern die Aussagekraft ein. Der Unterschied ist auch nicht statistisch signifikant.

In der affektiven Komponente weist das Lab2Venture-Projekt besonders hohe Werte auf, die wiederum nicht zu statistisch signifikanten Unterschieden führen. In den eintägigen Kursen zur Breitenförderung ist die affektive Komponente signifikant niedriger ausgeprägt als bei den beiden Akademien in den Schulferien. Trotz der vorselektierten Leistungskursschüler in den Angeboten zur Begabtenförderung waren basierend auf den in Kapitel 5.1.4.1 dargestellten Ergebnissen kaum Unterschiede zu erwarten, denn hier wiesen die beiden Kursarten die gleichen Werte auf und die Werte in Abhängigkeit von den Zeugnis- und Biologiezensuren unterschieden sich lediglich zwischen dem obersten und untersten Terzil signifikant. Zudem wiesen die Tageskurse in dieser Subskala auch bereits hohe Werte auf. Andererseits verwundert es nicht, dass Schüler, welche sich bewusst für eine Akademie in den Schulferien entschieden haben, in ihrer Freizeit noch mehr Spaß empfinden als die Teilnehmer einer Exkursion im Rahmen einer Schulveranstaltung.

Das Erasmus-Projekt wies in der affektiven Komponente zwar etwas niedrigere Werte auf, diese sind jedoch nicht signifikant.

Es lässt sich zusammenfassen, dass alle Angebote zur Breiten- und zur Begabtenförderung eine sehr hohe Akzeptanz erfahren und sich lediglich die effektive Komponente zwischen den Angeboten in Säule A und C sehr deutlich unterscheidet.

Die Auswertung der Studienwünsche unterstreicht diesen Befund: Die Teilnehmer der Angebote zur Begabtenförderung äußern nur in einem geringen Anteil Studienwünsche, die nicht dem medizinischen, biologischen oder weiteren naturwissenschaftlichen Bereich zuzuordnen sind. Bei den Teilnehmern der Angebote zur Begabtenförderung sind dagegen die Hälfte der Wünsche dem nicht-naturwissenschaftlichen Bereich zuzuordnen. Obwohl hier ein deutlicher Unterschied vorliegt, ist es gleichzeitig bemerkenswert, dass immerhin ein Fünftel der Teilnehmer der Tageskurse ein Studium im biologischen Bereich anstrebt. Grundsätzlich belegen die geäußerten Studienwünsche die intensive Nutzung der Angebote zur Begabtenförderung zur Überprüfung von Studienplänen im MINT-Bereich. Gleichzeitig zeigen sie das Potential auf, was bereits die eintägigen Workshops bieten. Wie in Kapitel 2.4 dargestellt, werden sie durch zdi gefördert und es ist so möglich, eine große Zahl von potentiell MINT-interessierten Schülern zu erreichen.

Die Angebote zur Begabtenförderung weisen jeweils inhaltliche und organisatorische Spezifika auf, die durch die qualitativen Daten deutlich kenntlich gemacht werden.

- Die Tageskurse wurden vorwiegend als interessant wahrgenommen und die Laborarbeit hat eine hohe Bedeutung.
- Bei der CeBiTec-Schülerakademie steht der Wissenszuwachs bzw. der Erwerb von Erfahrungen mit einer großen Bedeutung für die Berufs- und Studienorientierung im Mittelpunkt. Auch dem sozialen Austausch wird viel Bedeutung beigemessen.
- Bei der *teutolab*-Akademie hat ebenfalls die Berufs- und Studienorientierung eine besonders große Bedeutung. Die Laborarbeit hat dabei einen hohen Stellenwert.
- Beim Lab2Venture-Projekt sind alle Bereiche relativ ausgewogen repräsentiert.

- Beim Erasmus-Projekt haben die Motivation und der soziale Austausch eine ausgesprochen große Bedeutung.

Schlüsselkompetenzen

Es wurden die Schlüsselkompetenzen der Tageskurse, der *teutolab*-Akademie, des Lab2Venture-Projektes und des Erasmus-Projektes in den drei Skalen Problemlösekompetenz, Zielorientierung und selbstständiges Arbeiten untersucht. Bei allen Angeboten stimmten die Teilnehmer deutlich zu, zielorientiertes Arbeiten erlernt zu haben. Hier gab es keine Unterschiede zwischen den Veranstaltungen. Zudem hat sie mit besonders hohen Werten einen zentralen Stellenwert. In der Wahrnehmung des selbstständigen Arbeitens weisen die Tageskurse signifikant niedrigere Werte auf als die Angebote zur Begabtenförderung. Hier wird nur teils teils zugestimmt, selbstständiges Arbeiten erlernt zu haben. Bei der *teutolab*-Akademie und dem Lab2Venture-Projekt liegen sie dagegen besonders hoch. In der Skala zur Problemlösekompetenz nahmen die Schüler bei den Tageskursen wiederum nur teilweise wahr, in diesem Bereich gefördert worden zu sein. Bei den Angeboten in Säule C sind die Werte dagegen grundsätzlich höher. Diese Unterschiede sind beim Lab2Venture-Projekt und beim Erasmus-Projekt signifikant.

Unter Berücksichtigung der Spezifika der Angebote verwundern die Unterschiede und Gemeinsamkeiten nicht: Beim Experimentieren im *teutolab*-biotechnologie handelt es sich um praktische Tätigkeiten, bei denen die Abfolge mehrerer Arbeitsschritte zu einem Ergebnis und damit zum Ziel führt. Die laborpraktischen Komponenten haben bei den Tageskursen, der *teutolab*-Akademie und beim Lab2Venture-Projekt einen ausgeprägten Anteil. Beim Erasmus-Projekt ist dieser zwar geringer, hier dürfen die Schüler jedoch die Zielsetzung ihres Auftrags, ein Produkt in Form eines Posters und Zeitschriftenbeitrags zu erstellen, ebenfalls nicht aus den Augen verlieren.

In der Subskala des selbstständigen Arbeitens sind diejenigen Items gebündelt, in denen eigenverantwortliches Arbeiten inklusive Ergebnisdarstellung erfragt wird. Bei den Tageskursen setzen die Schüler die Versuche zwar selbst praktisch um, dies ist jedoch nur nach Vorgaben möglich und eine Darstellung der eigenen Ergebnisse ist aus organisatorischen Gründen nicht inbegriffen. In diesem Bereich unterscheiden sich die Angebote für die Begabtenförderung im Vergleich zu den Tageskursen

deutlich. Hier wurden die Ergebnisse stets zum Abschluss der Veranstaltung präsentiert. Zudem mussten auch häufig eigene Entscheidungen getroffen werden. In der Subskala des Problemlösens sind technische und soziale Komponenten vereint. Außer der Umsetzung notwendiger organisatorischer Abläufe finden sich hier die praktische Entwicklung und verschiedene Aspekte zu erfolgreichen Interaktionen wieder. Hier bieten Angebote, welche länger als einen Tag andauern, vielfältigere Ansatzpunkte. Diese sind bei den verschiedenen Projekten durchaus unterschiedlich ausgeprägt. So sind im Lab2Venture-Projekt durch die TheoPrax-Methode bedingt besonders deutlich Problemlösekompetenzen notwendig, was sich auch in den hohen Werten widerspiegelt. Beim Erasmus-Projekt müssen die Schüler über einen längeren Zeitraum innerhalb ihrer Gruppe ein gemeinsames Ergebnis erzielen. Bei der *teutolab*-Akademie Systembiologie sind experimentell und bei der Modellierung Probleme gelöst worden.

Interesse

Das individuelle Interesse der Teilnehmer in Säule C ist signifikant höher als das der Teilnehmer in Säule A. Hier handelt es sich um unterschiedliche Voraussetzungen der Schüler, die zu erwarten waren. Wie in Kapitel 7.1.1 dargelegt, steht bei der Begabtenförderung das Interesse der Schüler im Mittelpunkt. Diejenigen Schüler, die zusätzlich zum regulären Unterricht freiwillig an einer Enrichmentmaßnahme teilnehmen, weisen ein besonderes Interesse auf. Außerdem wird der Einfluss der hochselektiven Stichprobe wiederum durch die in Kapitel 5.4.4 dargestellten Ergebnisse belegt: Leistungskursschüler verfügen über ein höheres Interesse an naturwissenschaftlichen Themen als Grundkursschüler und zudem ist das individuelle Interesse je höher, desto besser die Zeugnis- und Biologiezensuren sind.

Da das individuelle Interesse die Wahrnehmung des situationalen Interesses beeinflusst (siehe Kapitel 3.2.8), sind auch hier Unterschiede zu erwarten. Daher ist es besonders bemerkenswert, dass das ausgelöste Interesse sich zwischen den Tageskursen und den Angeboten zur Begabtenförderung nicht unterscheidet. Es gelingt also, bei den deutlich geringer individuell interessierten Schülern ein erstes Interesse in der Situation zu erzeugen. In der Gefühlskomponente des gehaltenen Interesses setzt sich dieser Befund nicht fort. Hier weisen die Teilnehmer der Tageskurse signifikant niedrigere Werte auf als die der CeBiTec-Schülerakademie und des Lab2Venture-Projektes. Die Teilnehmer der *teutolab*-Akademie weisen

zudem signifikant niedrigere Werte auf als die der CeBiTec-Schülerakademie. In der Wertkomponente des gehaltenen Interesses findet sich das gleiche Bild wie beim individuellen Interesse: Die Teilnehmer der Tageskurse weisen signifikant niedrigere Werte auf als die der Angebote zur Begabtenförderung. Diese unterschieden sich untereinander wiederum nicht signifikant.

Die Ergebnisse zum Interesse stellen sich theoriekonform dar, denn wie in Kapitel 3.2.8 dargestellt, ist das ausgelöste Interesse leichter zu beeinflussen als das gehaltene Interesse. Es wird deutlich, dass die Wertkomponente deutlich enger mit dem individuellen Interesse korreliert als die Gefühlskomponente. Insgesamt ist es gelungen, bei Schülern mit niedrigerem Interesse im Rahmen der Breitenförderung ein Interesse auszulösen und bei Schülern mit höherem Interesse zudem auch eine besonders hohe Zustimmung zu den Items der Gefühlskomponente zu bewirken. Theoriemäßig sollte dabei auch die Wertkomponente des gehaltenen Interesses beeinflusst worden sein, wobei zu berücksichtigen ist, dass dies der stabilste Anteil des situationalen Interesses ist. Gleichzeitig erfolgt über eine hohe Wertschätzung eines Gegenstandes des situationalen Interesses die Integration des situationalen Interesses in das individuelle Interesse. Es ist daher von besonderer Bedeutung, hier positiv einzuwirken, damit Schüler auch langfristig ihr Interesse an den Naturwissenschaften erhalten oder steigern und so eine berufliche Zukunft im MINT-Bereich anstreben. Wie in Kapitel 7.1.1 dargestellt, hat die Förderung von besonders begabten und interessierten Jugendlichen in Schülerforschungszentren zum Ziel, dem Nachwuchskräftemangel entgegen zu wirken. Inwiefern sich das *teutolab*-biotechnologie durch die Schaffung von Angeboten zur Begabtenförderung zu einem Schülerforschungszentrum entwickelt hat, bleibt zu diskutieren. Einerseits können die entwickelten Angebote keiner anderen Kategorie von Schülerlaboren zugeordnet werden und sie zielen, wie für Schülerforschungszentren gefordert, eindeutig auf die Förderung naturwissenschaftlich interessierter Schüler ab. Sie erfüllen jedoch nicht das Kriterium des freien und offenen Forschens. Dies ist letztlich der Thematik des *teutolab*-biotetechnologie geschuldet, welche sich mit Inhalten beschäftigt, in denen freies Experimentieren zu keinem Erkenntnisgewinn führen würde.

7.6 Zentrale Ergebnisse in Säule C

Aus den in Kapitel 7 dargestellten Entwicklungsschritten und Analysen in Säule C werden im Folgenden die zentralen Befunde zusammengefasst:

Akzeptanz

Die verschiedenen Angebote zur Begabtenförderung werden sehr positiv bewertet. Im Vergleich zu den Tageskursen weisen sie in der Subskala ‚Effektivität‘ besonders hohe Werte auf. Hier werden begabte Schüler in ihren Interessen und Studien- und Berufsplänen bestärkt und sie erwerben weiteres Wissen. Der hohe Anteil an Studienwünschen im MINT-Bereich unterstützt diesen Befund. Die Qualität der Veranstaltungen und die affektive Komponente der Akzeptanz werden dabei grundsätzlich sehr positiv eingeschätzt.

Die Spezifika der unterschiedlichen Konzepte der vier entwickelten Veranstaltungen werden durch die qualitativen Daten verdeutlicht: Den beiden Akademien in den Schulferien wird eine besonders hohe Bedeutung für die Berufs- und Studienorientierung beigemessen. Dabei steht ergänzend bei der CeBiTec-Schülerakademie der Wissen- und Erfahrungszuwachs im Fokus, bei der *teutolab*-Akademie ist dagegen die Laborarbeit von größerer Bedeutung. Der zentrale Aspekt des internationalen Erasmus-Projektes war der soziale Austausch. Beim Lab2Venture-Projekt waren die Anteile an verschiedenen Kategorien recht ausgewogen.

Schlüsselkompetenzen

Die Schlüsselkompetenzen wurden in drei Subskalen erfasst. Sowohl die Zielorientierung, das selbstständige Arbeiten als auch Problemlösekompetenzen wurden in den Angeboten zur Begabtenförderung deutlich gefördert. Bei den Tageskursen waren die Werte zum zielorientierten Arbeiten ebenso hoch ausgeprägt. Es kann rückgeschlossen werden, dass die Schlüsselkompetenz der Zielorientierung durch praktisches Experimentieren gefördert wird.

Interesse

Die Teilnehmer der Angebote für die Begabtenförderung verfügten wie erwartet über ein deutlich höheres Interesse als die Teilnehmer der Angebote zur Breitenförderung.

Die Werte im gehaltenen Interesse waren in der Wertkomponente ebenso verteilt. In der Gefühlskomponente lagen besonders hohe Werte bei zwei der drei Veranstaltungen vor. Das gehaltene Interesse wird also im Vergleich zu den Tageskursen stärker gefördert. Gleichzeitig ist das ausgelöste Interesse bei den Angeboten zur Breitenförderung nicht geringer als bei den Angeboten zur Begabtenförderung. Somit werden in beiden Säulen der Entwicklung von Angeboten die realistischen Ziele erreicht, dass bei einer weniger interessierten Schülerschaft ein Interesse in der Situation ausgelöst wird und dass bei den stärker interessierten Schülern das Interesse in der Situation auch gehalten wird, was letztlich zu einer Überführung in ein individuelles Interesse führt.

8 Fazit und Ausblick

Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, war es das Ziel der vorliegenden Arbeit, die theoriegeleitete Entwicklung und Evaluation von Lernangeboten im Schülerlabor darzustellen, um zu klären, wie ein Angebot aus verschiedenen Experimentiereinheiten entwickelt werden kann, das gleichermaßen den Wissenserwerb, das Interesse und die Motivation fördert, wie diese Experimentiereinheiten optimiert werden können, wie Projekte entwickelt werden können, die besonders interessierte Schüler fördern, und wie ein Lehr-Lern-Labor entwickelt werden kann. Als Forschungsrahmen wurde der Design Based Research-Ansatz gewählt, da hier die Neuentwicklung im Mittelpunkt der Betrachtungen steht und dabei das Ziel verfolgt wird, sowohl innovative Lernumgebungen hervorzubringen als auch die dabei gewonnenen Kenntnisse zu nutzen.

So wurden neue Workshops entwickelt, die nicht nur im Schülerlabor *teutolab-biotechnologie* umgesetzt werden können, sondern deren spezifische Kontexte auch für die Umsetzung im Unterricht aufbereitet und veröffentlicht wurden (Röllke & Grotjohann, 2015a; Röllke, Kamp et al., 2018). Eine Erweiterung des Kursangebotes für andere Jahrgangsstufen ist angestrebt. So sollen Schüler über mehrere Schuljahre hinweg das Schülerlabor besuchen und langfristig durch selbstständigeres Experimentieren und eine Vertiefung der Interessen profitieren. Der Workshop ‚Die mitochondriale Eva – Entdecke Deine Urmutter‘ wurde bereits mehrfach umgesetzt und auch publiziert (Röllke, Schrader & Grotjohann, 2018). Die molekulargenetische Stammbaumanalyse bietet durch die Verknüpfung der Inhaltsfelder Genetik und Evolution großes Potential, doch auch Angebote für jüngere Schüler (Schnupperkurs zur DNA-Extraktion), fächerübergreifende Workshops (Verbindung von Biologie und Mathematik in der Systembiologie) und Experimentieren an Stationen zur Funktion von Mikroorganismen in Lebensmitteln sollen umgesetzt werden. Ergänzend soll weiter verfolgt werden, wie sich die Kontexte in Unterrichtseinheiten praktisch in der Schule umsetzen lassen. Auch hier liegen bereits erste Erfahrungen vor.

Die Schule soll nicht nur von der Neuentwicklung selbst profitieren, sondern auch von den Erkenntnissen, die aus der Erforschung der Auswirkungen der schrittweisen Fortentwicklung gewonnen werden. So wurde in der vorliegenden Arbeit belegt, dass Schülerlaborbesuche adäquat in den Unterricht eingebunden werden sollten. Die

Bereitstellung eines Schülerskriptes wird fast vollständig von allen Lehrkräften angenommen und führt zu höherem Vorwissen und zu höheren Werten in der Subskala ‚Interesse/Vergnügen‘ in der intrinsischen Motivation. Die durch ein Arbeitsblatt unterstützte Nachbereitung führt zu einem besseren Wissensbehalt. Aus der Überarbeitung des Vermittlungskonzeptes kann für die Schule vor allen Dingen der praktische Nutzen der auf der Homepage des *teutolab*-biotechnologie zur Verfügung stehenden neuen Abbildungen der molekulargenetischen Methoden gezogen werden. Besondere Möglichkeiten auch für die Schule bietet die Nutzung eines Life Feedback Systems, um mit allen Schülern gemeinsam über fachliche Inhalte in Interaktion zu treten. Die Nutzung einer anonym in Gruppenarbeit zu beantwortenden Umfrage, um sich über den Wissensstand der Schüler zu informieren, führte im Schülerlabor zu einem deutlich höheren Wissenszuwachs, höherer intrinsischer Motivation und höherem situationalen Interesse. Im Unterricht könnten entsprechende Tools auch mit dem Handy bearbeitet werden.

Es wurde gezeigt, dass im Schülerlabor forschend, autonomieförderlich und konstruktivistisch mit einer weitestgehenden Übereinstimmung von Anforderungen und Fähigkeiten gelernt wird. Einschränkungen liegen in der Wahlfreiheit und Selbststeuerung sowie in der Beteiligung an der Versuchsplanung vor. Im *teutolab*-biotechnologie wird nach Möglichkeiten gesucht, trotz notwendiger Versuchsabläufe in diesen Bereichen Veränderungen zu erreichen. So könnten wiederholte Schülerlaborbesuche zu einer größeren Expertise im Experimentieren und im Umgang mit den Laborgeräten führen und somit letztlich zu selbstgesteuerterem Arbeiten führen. Es ist auch denkbar, die besonders interessierten Schüler spezifisch im Rahmen einer Sonderveranstaltung vorzubereiten und auch im Schülerlabor entsprechend zu differenzieren. Erfahrungen liegen bereits mit der Durchführung der Praxisanteile der in NRW als einjährige Grundkurse durchführbaren ‚Projektkurse‘ vor. Zusammenfassend ist es wünschenswert, Konzepte, welche die Angebote zur Breitenförderung intensivieren, zu entwickeln, um einen Übergang von der Breiten- zur Begabtenförderung zu erzielen. Derzeit stehen die Angebote zur Begabtenförderung nur für eine begrenzte Anzahl von Schülern zur Verfügung. Durch die Einrichtung von zwei Ferienakademien ist es jedoch gelungen, der Nachfrage der Schüler zu entsprechen. Aufgrund der Durchführung in den Ferien bzw. des hohen Zeitaufwandes während des Schuljahres setzen sie aber ein besonders hohes Interesse der Teilnehmer voraus.

Die Fortführung der in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Angebote ist, wie in den Kapiteln 7.1.5, 7.2.5, 7.3.5 und 7.4.5 beschrieben, geplant. Als Enrichmentmaßnahmen für besonders begabte Jugendliche leisten sie einen Beitrag, von dem auch die Schule durch die adäquate Förderung ihrer Schüler profitiert.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich als eine der ersten, wie auch die Arbeiten von Elsholz (2018) und Treisch (2018), mit den spezifischen Wirkweisen von Lehr-Lern-Laboren. Es konnte empirisch bestätigt werden, dass eine Praxisphase im Schülerlabor zur Professionalisierung von Lehramtsstudierenden beiträgt. Im Schülerlabor kann *Forschendes Lernen* in doppeltem Sinn gut umgesetzt werden: Die Studierenden beforschen die Effekte ihres Unterrichtshandelns durch eine gemeinsame Studie und sie unterrichten Schüler im *Forschenden Lernen*. Die außerschulischen Lernorte bieten die Möglichkeiten für eine intensive Betreuung der Studierenden. Hier können Teamteaching, umfassende Reflexionen mit dem Betreuer und der Umgang mit täglich unterschiedlichen Schülern gut umgesetzt werden. In der Ausbildung von Lehramtsstudierenden ist das Berufsfeldpraktikum in NRW im Bachelorstudium auch an außerschulischen Lernorten möglich und wird z. B. von der Universität Bielefeld explizit erwünscht. Die Tests zum biologischen Fachwissen der Studierenden haben die Notwendigkeit der inhaltlichen Vorbereitung bestätigt. Eine noch intensivere Auseinandersetzung mit molekularbiologischen Experimenten und deren Hintergründen, auch für den Schulunterricht, ist zwar im zeitlichen Rahmen des Berufsfeldpraktikums nicht möglich, wird jedoch seit jüngster Zeit in einer weiteren Lehrveranstaltung angeboten.

Es war das Ziel dieser Arbeit, ein umfassendes Gesamtkonzept eines Schülerlabores mit theoriegeleitet entwickelten Angeboten zur Breitenförderung und zur Begabtenförderung von Schülern und zur Ausbildung von Lehramtsstudierenden vollständig vorzustellen. Der Design Based Research-Ansatz bietet dafür einen geeigneten praxisorientierten Forschungsansatz. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen verschiedene Bereiche auf, die Potential zur näheren Betrachtung bieten.

➤ **Literaturverzeichnis**

- Aepkers, M. (2002). Forschendes Lernen. Einem Begriff auf der Spur. In M. Aepkers & M. Bönsch (Hrsg.), *Entdeckendes, forschendes und genetisches Lernen* (S. 69–87). Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren.
- Anderson, M. L. (2003). Embodied Cognition. A field guide. *Artificial Intelligence*, 149(1), 91–130.
- Anderson, T. & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research. *Educational Researcher*, 41(1), 16–25.
- Apel, H. J. & Knoll, M. (2001). *Aus Projekten lernen. Grundlegung und Anregungen*. München: Oldenbourg.
- Arnold, W., Grotjohann, N., Pühler, A., Röllke, K. & Selbitschka, W. (2017). Die CeBiTec Schülerakademie "Synthetische Biologie/Biotechnologie" - Begabtenförderung in einem zukunftssträchtigen Forschungsfeld. *ABB-Information Jahresheft 2017*, 8–15.
- Aronson, E. (1978). *The Jigsaw classroom*. Beverly Hills, CA: Sage Publications.
- Arzi, H. J. (2003). Enhancing Science Education Through Laboratory Environments: More Than Walls, Benches and Widgets. In B. J. Fraser (Ed.), *International handbook of science education* (pp. 595–608). Dordrecht, NL: Kluwer.
- Aufenanger, S. & Bastian, J. (2017). Einführung: Tableteinsatz in Schule und Unterricht - wo stehen wir? In J. Bastian & S. Aufenanger (Hrsg.), *Tablets in Schule und Unterricht. Forschungsmethoden und -perspektiven zum Einsatz digitaler Medien* (S. 1–14). Wiesbaden: Springer VS.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
- Basten, M., Greiff, S., Marsch, S., Meyer, A., Urhahne, D. & Wilde, M. (2015). Kurzsкала zur Messung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale (Kurz-PgK) im Biologieunterricht. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 14, 43–57.
- Baumert, J., Bos, W. & Lehmann, R. (Hrsg.). (2000). *TIMSS/III Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band 1 Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- BDA (Hrsg.). (2014). *MINT - Gesamtwirtschaftliche Bedeutung und regionale Unterschiede. Zusammenfassung und Bewertung des MINT-Frühjahrsreport 2014*.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2018). *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag.
- Biotium. (2018). *Product Information. GelRed™ Nucleic Acid Gel Stain*. Zugriff am 17.10.2018. Verfügbar unter <https://biotium.com/wp-content/uploads/2015/02/PI-41002-41003.pdf>
- Bos, W. (1989). Reliabilität und Validität in der Inhaltsanalyse. Ein Beispiel zur Kategorienoptimierung in der Analyse chinesischer Textbücher für den muttersprachlichen Unterricht von Auslandschinesen. In W. Bos & C. Tarnai (Hrsg.), *Angewandte Inhaltsanalyse in empirischer Pädagogik und Psychologie* (S. 61–72). Münster: Waxmann.
- Brandt, A. (2005). *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors*. Göttingen: Cuvillier Verlag.

- Brown, J. S., Collin, A. & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32–42.
- Brown, T. A. & Jarosch, B. (2007). *Genome und Gene. Lehrbuch der molekularen Genetik*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bühl, A. (2014). *SPSS 22. Einführung in die moderne Datenanalyse*. Hallbergmoos: Pearson.
- Bundesassistentenkonferenz (Hrsg.). (2009). *Forschendes Lernen - wissenschaftliches Prüfen. Ergebnisse der Arbeit des Ausschusses für Hochschuldidaktik*. Bielefeld: Universitäts-Verlag Webler.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (2005). Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch. Zugriff am 17.10.2018. Verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/lfgb/LFGB.pdf>
- Bungartz, H.-J., Zimmer, S., Buchholz, M. & Pflüger, D. (2009). *Modellbildung und Simulation. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Springer.
- Burkhardt, H. & Schoenfeld, A. H. (2003). Improving Educational Research: Toward a More Useful, More Influential, and Better-Funded Enterprise. *Educational Researcher*, 32(9), 3–14.
- Buse, M. (2017). *Bilinguale englische experimentelle Lehr- Lernarrangements im Fach Biologie: Konzeption, Durchführung und Evaluation der kognitiven und affektiven Wirksamkeit*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. et al. (2016). *Campbell Biologie*. Hallbergmoos: Pearson.
- CBOL Plant Working Group. (2009). A DNA barcode for land plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(31), 12794–12797.
- Chase, M. W., Cowan, R. S., Hollingsworth, P. M., van den Berg, C., Madriñán, S., Petersen, G. et al. (2007). A proposal for a standardised protocol to barcode all land plants. *Taxon*, 56(2), 295–299.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools. A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218.
- Cites. (2012). *Appendices I, II and III. valid from 25 September 2012*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter <https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>
- Clarke, J. (1999). Pieces of the puzzle: The jigsaw method. In S. Sharan (Ed.), *Handbook of cooperative learning methods* (pp. 34–50). Westport: Praeger.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing, and Mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453–494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I. & Harrison, D. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary science students. *Contemporary Educational Psychology*, 29(2), 186–204.
- Csikszentmihalyi, M. (1985). *Das Flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi, M. & Schiefele, U. (1993). Die Qualität des Erlebens und der Prozeß des Lernens. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, 207–221.

- Dähnhardt, D., Haupt, O. & Pawek, C. (2009). Neugier wecken, Kompetenzen fördern: Wie Schülerlabore arbeiten. In D. Dähnhardt, O. J. Haupt & C. Pawek (Hrsg.), *Kursbuch 2010. Schülerlabore in Deutschland* (S. 12–29). Marburg: Tectum Verlag.
- Damerau, K. (2012). *Molekulare und Zell-Biologie im Schülerlabor - Fachliche Optimierung und Evaluation der Wirksamkeit im BeLL Bio (Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie)*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.
- DeCharms, R. (1968). *Personal causation. The internal affective determinants of behaviour*. New York, NY: Academic Press Inc.
- Dechert, U. (2012). Gelelektrophoresen. In M. Jansohn & S. Rothhämel (Hrsg.), *Gentechnische Methoden. Eine Sammlung von Arbeitsanleitungen für das molekularbiologische Labor* (S. 37–93). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2018a). *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter <http://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2018b). *The Learning Climate Questionnaire (LCQ)*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter <http://selfdeterminationtheory.org/pas-learning-climate/>
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.
- Deutsches PISA-Konsortium. (2000). *Schülerleistungen im internationalen Vergleich. Eine neue Rahmenkonzeption für die Erfassung von Wissen und Fähigkeiten*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- DFG, acatech & Leopoldina. (2009). *Synthetische Biologie. Stellungnahme/Statement*. Weinheim: Wiley-VCH-Verlag.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin: Springer.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003a). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003b). Learning in Science. From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. In B. J. Fraser (Ed.), *International handbook of science education* (pp. 3–25). Dordrecht, NL: Kluwer.
- Duncker, L. & Popp, W. (1998). Formen fächerübergreifenden Unterrichts auf der Sekundarstufe - eine Einleitung. In L. Duncker (Hrsg.), *Fächerübergreifender Unterricht in der Sekundarstufe I und II. Prinzipien, Perspektiven, Beispiele* (S. 7–17). Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt.
- Edelson, D. C. (1997). Realising Authentic Science Learning through the Adaptation of Scientific Practice. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 317–332). Dordrecht: Kluwer.
- Edelson, D. C. (2001). Learning-for-use. A framework for the design of technology-supported inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 355–385.

- Edelson, D. C., Gordin, D. N. & Pea, R. D. (1999). Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning Through Technology and Curriculum Design. *Journal of the Learning Sciences*, 8(3-4), 391–450.
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2017). *Statistik und Forschungsmethoden. Mit Online-Materialien*. Weinheim: Beltz.
- Elsholz, M. (2018). *Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität - Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase. Dissertation*. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Endruweit, G. (Hrsg.). (2014). *Wörterbuch der Soziologie*. Konstanz: UVK-Verlag.
- Engelbrecht, V. & Grotjohann, N. (2016). Eine Prophezeiung wird wahr: Der Stern von Madagaskar und sein Bestäuber. *Praxis der Naturwissenschaften Biologie*, 65(8), 10–16.
- Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*. Berlin: Logos Verlag.
- Engeln, K. & Euler, M. (2004). Forschen statt Pauken. Aktives Lernen im Schülerlabor. *Physik Journal*, 3(11), 45–48.
- Engels, J. W. (2009). Restriktionsanalyse. In F. Lottspeich & J. W. Engels (Hrsg.), *Bioanalytik* (S. 563–700). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Euler, M. (n.d.). *Möglichkeiten der Projektarbeit mit Ernstcharakter. Zusammenfassende Bewertung eines Vergleichs zwischen TheoPrax- und Schulprojekten sowie Schülerlaboren*.
- Euler, M. (2001). Lernen durch Experimentieren. In U. Ringelband, M. Prenzel & M. Euler (Hrsg.), *Lernort Labor. Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung und Wirtschaft; Bericht über einen Workshop in Kiel im Februar 2001* (IPN-Materialien, S. 13–42). Kiel: IPN.
- Euler, M. (2009a). Schülerlabore in Deutschland. Zum Mehrwert authentischer Lernorte in Forschung und Entwicklung. *Praxis der Naturwissenschaften / Physik in der Schule*, 58(4), 5–9.
- Euler, M. (2009b). Schülerlabore: Lernen, forschen und kreative Potenziale entfalten. In D. Dähnhardt, O. J. Haupt & C. Pawek (Hrsg.), *Kursbuch 2010. Schülerlabore in Deutschland* (S. 32–41). Marburg: Tectum Verlag.
- Euler, M. (2010). Schülerlabore: Lernen durch Forschen und Entwickeln. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 799–818). Berlin: Springer.
- Euler, M. & Weißnigk, S. (2011). Schülerlabore und die Förderung kreativer Potenziale. Lernen durch Forschen und Entwickeln. *PLUS LUCIS*, (1-2), 32–38.
- Europäisches Parlament. (2002). Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit. Zugriff am 17.10.2018. Verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R0178:20080325:de:PDF>
- Eyerer, P. & Krause, D. (2008). *Schülerprojekte managen. TheoPrax-Methodik in Aus- und Weiterbildung*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Fallik, O., Rosenfeld, S. & Eylon, B.-S. (2013). School and out-of-school science. A model for bridging the gap. *Studies in Science Education*, 49(1), 69–91.

- Favre, P. & Metzger, S. (2010). Ausserschulische Lernorte nutzen. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1. - 9. Schuljahr* (S. 165–180). Bern, CH: Haupt.
- Fichten, W. (2010). Forschendes Lernen in der Lehrerbildung. In U. Eberhardt (Hrsg.), *Neue Impulse in der Hochschuldidaktik. Sprach- und Literaturwissenschaften* (S. 127–182). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Field, A. (2011). *Discovering statistics using SPSS*. Los Angeles, CA: SAGE.
- Frey, K. (2007). *Die Projektmethode. Der Weg zum bildenden Tun*. Weinheim: Beltz.
- Fried, S., Elsholz, M. & Trefzger, T. (2015). Professionalisierung durch Praxisbezug im Lehr-Lern-Labor. Die Anwendung physikdidaktischer Kompetenzen im Lehr-Lern-Labor. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt oder Voraussetzung im naturwissenschaftlichen Unterricht* (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Bd. 35, S. 492–494). Kiel: IPN.
- Früh, W. (2017). *Inhaltsanalyse. Theorie und Praxis*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft. Verfügbar unter <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838547350>
- GE Healthcare. (2006). *ExoSAP-IT PCR Clean-up Kit. Data File 18-1150-14 AB*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/geus78210?lang=de®ion=DE>
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867–888.
- Giese, D. (2013). Strategische Perspektiven der Nachwuchs- und Talentförderung in Deutschland. In Industrie- und Handelskammer Darmstadt & Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V. (Hrsg.), *Aufbau von regionalen Schülerforschungszentren. Berichte und Praxisempfehlungen* (S. 23–25). Stuttgart: Klett MINT.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebung*. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Glowinski, I. & Bayrhuber, H. (2011). Student labs on a university campus as a type of out-of-school learning environment: Assessing the potential to promote students' interest in science. *International Journal of Environmental & Science Education*, 6(4), 371–392.
- Görg, A. (2009). Elektrophoretische Verfahren. In F. Lottspeich & J. W. Engels (Hrsg.), *Bioanalytik* (S. 235–268). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Gräber, W. & Nentwig, P. (2002). Scientific Literacy. Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 7–20). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Greeno, J. G. (1989). Situations, Mental Models, and Generative Knowledge. In D. Klahr (Hrsg.), *Complex information processing. The impact of Herbert A. Simon* (S. 285–318). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Greßler, A., Zimmermann, S., Weislogel, K., Pfeiffer, M., Fingerhut, M., Klauer, G. et al. (2017). Virtuelle Mikroskopie - Eine Zukunftsperspektive für den Biologieunterricht in der Schule? *Journal für Didaktik der Naturwissenschaften und der Mathematik*, 2017(1), 20–34.
- Griffin, J. & Symington, D. (1997). Moving from task-oriented to learning-oriented strategies on school excursions to museums. *Science Education*, 81(6), 763–779.

- Guderian, P. (2006). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Guderian, P., Priemer, B. & Schön, L.-H. (2006). In den Unterricht eingebundene Schülerlaborbesuche und deren Einfluss auf das aktuelle Interesse an Physik. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 5(2), 142–149.
- Gudjons, H. (2015). *Handlungsorientiert lehren und lernen. Schüleraktivierung - Selbsttätigkeit - Projektarbeit*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Halbach, U. (1977). Modelle in der Biologie. In G. Schäfer & Trommer, G., Wenk, K. (Hrsg.), *Denken in Modellen* (S. 64–85). Braunschweig: Westermann.
- Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science. A review of research*. Glasgow, GB: Scottish Council for Research in Education.
- Haupt, O. J. (2015). Der Stand der Bewegung! In LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. (Hrsg.), *Schülerlabor-Atlas 2015. Schülerlabore im deutschsprachigen Raum* (S. 34–59). Stuttgart: Klett MINT.
- Haupt, O. J., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S., Zehren, W. et al. (2013). Schülerlabor - Begriffsschärfung und Kategorisierung. *MNU*, 66(6), 324–330.
- Haupt, O. J. & Hempelmann, R. (2015). Eine Typensache! In LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. (Hrsg.), *Schülerlabor-Atlas 2015. Schülerlabore im deutschsprachigen Raum* (S. 14–21). Stuttgart: Klett MINT.
- Healey, M. & Jenkins, A. (2009). *Developing undergraduate research and inquiry*. York: Higher Education Academy.
- Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L. & deWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings. Biological Sciences*, 270(1512), 313–321.
- Heckhausen, J. & Heckhausen, H. (2009). Motivation und Handeln. Einführung und Überblick. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 1–9). Heidelberg: Springer.
- Herold, M. & Landherr, B. (2003). *SOL - Selbstorganisiertes Lernen. Ein systemischer Ansatz für den Unterricht*. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren.
- Hidi, S. & Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111–127.
- Hilu, K. W. & Liang, H. (1997). The matK Gene. Sequence Variation And Application in Plant Systematics. *American Journal of Botany*, 84(6), 830–839.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85–142.
- Hof, S. & Mayer, J. (2008). Förderung von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen durch Forschendes Lernen. Ein Vergleich zwischen direkter Instruktion und Guided-Scientific-Inquiry. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 69–84.
- Hofer, B. K. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and transfer. *Educational Psychology Review*, 13(4), 353–383.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.

- Hofstein, A. & Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 105–107.
- Hollingsworth, P. M., Graham, S. W. & Little, D. P. (2011). Choosing and using a plant DNA barcode. *PloS One*, 6(5), e19254.
- Holstermann, N. & Bögeholz, S. (2007). Interessen von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 71–86.
- Huber, L. (1998). Fächerübergreifender Unterricht - auch auf der Sekundarstufe II? In L. Duncker (Hrsg.), *Fächerübergreifender Unterricht in der Sekundarstufe I und II. Prinzipien, Perspektiven, Beispiele* (S. 18–33). Bad Heilbrunn/Obb.: Klinkhardt.
- Huwer, J. (2015). *Nachhaltigkeit + Chemie im Schülerlabor. Forschendes Experimentieren im Kontext einer naturwissenschaftlich-technischen Umweltbildung*. Dissertation. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Irwin, D. M., Kocher, T. D. & Wilson, A. C. (1991). Evolution of the Cytochrome b Gene of Mammals. *Journal of Molecular Evolution*, 32, 128–144.
- Itzek-Greulich, H. (2014). *Einbindung des Lernorts Schülerlabor in den naturwissenschaftlichen Unterricht. Empirische Untersuchung zu kognitiven und motivationalen Wirkungen eines naturwissenschaftlichen Lehr-Lernarrangements*. Dissertation. Eberhard Karls Universität Tübingen.
- Itzek-Greulich, H., Flunger, B., Vollmer, C., Nagengast, B., Rehm, M. & Trautwein, U. (2015). Effects of a science center outreach lab on school students' achievement – Are student lab visits needed when they teach what students can learn at school? *Learning and Instruction*, 38, 43–52.
- Itzek-Greulich, H., Flunger, B., Vollmer, C., Nagengast, B., Rehm, M. & Trautwein, U. (2017). Effectiveness of lab-work learning environments in and out of school. A cluster randomized study. *Contemporary Educational Psychology*, 48, 98–115.
- Itzek-Greulich, H. & Vollmer, C. (2017). Emotional and motivational outcomes of lab work in the secondary intermediate track. The contribution of a science center outreach lab. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(1), 3–28.
- Jansen, M., Scherer, R. & Schroeders, U. (2015). Students' self-concept and self-efficacy in the sciences: Differential relations to antecedents and educational outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 41, 13–24.
- Joachim Herz Stiftung. (2016). Projektwochen Systembiologie. *LeLamagazin*, (15), 18–19.
- Jürgen-Lohmann, J., Borsch, F. & Giesen, H. (2002). Kooperativer Unterricht in unterschiedlichen schulischen Lernumgebungen. *Unterrichtswissenschaft*, 30(4), 367–384.
- Jurk, M. (2009). Isolierung und Reinigung von Nucleinsäuren. In F. Lottspeich & J. W. Engels (Hrsg.), *Bioanalytik* (S. 633–651). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kew Botanic Gardens. (2012). *Phase 2 Protocols*. Zugriff am 01.07.2012. Verfügbar unter http://apps.kew.org/wcsp/namedetail.do?name_id=57591
- Killermann, W., Hiering, P. & Starosta, B. (2016). *Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik*. Augsburg: Auer.

- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klein, P., Kuhn, J. & Müller, A. (2017). Experimente mit Smartphone und Tablet-PC: Analyse leistungsbezogener Antwortsicherheiten im Physikstudium. In J. Bastian & S. Aufenanger (Hrsg.), *Tablets in Schule und Unterricht. Forschungsmethoden und -perspektiven zum Einsatz digitaler Medien* (S. 327–354). Wiesbaden: Springer VS.
- Klipp, E., Liebermeister, W., Wierling, C. & Kowald, A. (2016). *Systems biology. A textbook*. Weinheim: Wiley-Verlag. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=11189944>
- KMK. (2004a). Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie - Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F vom 05.02.2004. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Biologie.pdf
- KMK. (2004b). Standards für die Lehrerbildung. Bericht der Arbeitsgruppe. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards_Lehrerbildung-Bericht_der_AG.pdf
- Knippers, R. (2006). *Molekulare Genetik*. Stuttgart: Thieme.
- Knippers, R. (2015). Gene in Mitochondrien und Chloroplasten. In A. Nordheim & R. Knippers (Hrsg.), *Molekulare Genetik* (S. 422–442). Stuttgart: Thieme.
- Knippers, R. (2017). *Eine kurze Geschichte der Genetik*. Berlin: Springer.
- Knogler, M., Harackiewicz, J. M., Gegenfurtner, A. & Lewalter, D. (2015). How situational is situational interest? Investigating the longitudinal structure of situational interest. *Contemporary Educational Psychology*, 43, 39–50.
- Kocher, T. D., Thomas, W. K., Meyer, A., Edwards, S. V., Pääbo, S., Villablanca, F. X. et al. (1989). Dynamics of mitochondrial DNA evolution in animals: Amplification and sequencing with conserved primers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 86, 6196–6200.
- Kölller, O., Schnabel, K. U. & Baumert, J. (2000). Der Einfluß der Leistungsstärke von Schulen auf das fachspezifische Selbstkonzept der Begabung und das Interesse. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 32(2), 70–80.
- Körner, M.-C. & Schöbel, A. (Hrsg.). (2010). *Gene, Graphen, Organismen. Modellierungs- und Analysemethoden in der Systembiologie*. Herzogenrath: Shaker.
- Krapp, A. (1992). Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 38(5), 747–770.
- Krapp, A. (1993). Die Psychologie der Lernmotivation. Perspektiven der Forschung und Probleme ihrer pädagogischen Rezeption. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 187–206.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie, Erziehung, Unterricht*, 44, 185–201.
- Krapp, A. (1999). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45(3), 387–406.

- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, 383–409.
- Krapp, A. (2004). An Educational-Psychological Theory of Interest and Its Relation to SDT. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 405–427). Rochester, NY: University of Rochester Press.
- Krapp, A. (2006). Interesse. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 280–290). Weinheim: Beltz PVU.
- Krapp, A., Geyer, C. & Lewalter, D. (2014). Motivation und Emotion. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Mit Online-Materialien* (S. 193–222). Weinheim: Beltz.
- Krapp, A., Hidi, S. & Renninger, K. A. (1992). Interest, Learning and Development. In K. A. Renninger, S. Hidi, A. Krapp & A. Renninger (Eds.), *The Role of interest in Learning and Development* (pp. 3–25). Hoboken: Taylor and Francis.
- Kratzer, A. (2013). Kategorisierung der Schülerlabore. In dieser Ausgabe: Das Schülerforschungszentrum. *LeLamagazin*, 6–7.
- Krawetzke, T., Engeln, K. & Euler, M. (n.d.). *Vergleichende Evaluation zwischen Schulprojekten und TheoPrax-Projekten*.
- Kremling, A. (2012). *Kompendium Systembiologie. Mathematische Modellierung und Modellanalyse*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-8607-1>
- Kress, W. J. & Erickson, D. L. (2007). A two-locus global DNA barcode for land plants. The coding *rbcl* gene complements the non-coding *trnH-psbA* spacer region. *PLoS one*, 2(6), e508.
- Kress, W. J., Wurdack, K. J., Zimmer, E. A., Weigt, L. A. & Janzen, D. H. (2005). Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(23), 8369–8374.
- Krombass, A. & Harms, U. (2006). Ein computergestütztes Informationssystem zur Biodiversität als motivierende und lernförderliche Ergänzung der Exponate eines Naturkundemuseums. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 7–22.
- Krüger, D. (2003). Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung – Ein Forschungsrahmen für die Biologiedidaktik. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 2, 7–24.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim: Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. (2017). Datenanalyse in der Mixed-Methods-Forschung. *KZfSS Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 69(S2), 157–183.
- Kunter, M., Kleickmann, T., Klusmann, U. & Richter, D. (2011). Die Entwicklung professioneller Kompetenz von Lehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 55–68). Münster: Waxmann.
- Lab2Venture. (2012). *Lab2Venture bringt Unternehmergeist in Schülerlabore*.
- Lahaye, R., van der Bank, M., Bogarin, D., Warner, J., Pupulin, F., Gigot, G. et al. (2008). DNA barcoding the floras of biodiversity hotspots. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(8), 2923–2928.

- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Lave, J. (1991). Situating learning in Communities of Practice. In L. B. Resnick (Ed.), *Perspectives on socially shared cognition* (pp. 63–82). Washington, DC: American Psychological Association.
- Lee, H.-S. & Butler, N. (2003). Making authentic science accessible to students. *International Journal of Science Education*, 25(8), 923–948.
- Lehnert, H.-J. & Köhler, K. (2012). Welche Lernorte eignen sich für den Biologieunterricht? In U. Spörhase-Eichmann (Hrsg.), *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 175–189). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz.
- Linnenbrink-Garcia, L., Durik, A. M., Conley, A. M., Barron, K. E., Tauer, J. M., Karabenick, S. A. et al. (2010). Measuring Situational Interest in Academic Domains. *Educational and Psychological Measurement*, 70(4), 647–671.
- Löhrmann, S. & Schulze, S. (2013). *Entwicklungsstand und Qualität der Lehrerausbildung. Bericht an den Landtag 2013*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter https://www.google.com/search?client=firefox-b&ei=lnk0XMprgauzAe35vsgJ&q=entwicklungsstand+und+qualit%C3%A4t+der+lehrrausbildung+bericht+an+den+landtag+2013&oq=entwicklungsstand+und+qualit%C3%A4t+der+lehrrau&gs_l=psy-ab.1.0.0i22i30.178175.188915.190739...2.0.0.140.2520.42j1...2.0...1.gws-wiz.....0j0i71j0i67j0i131j35i39j0i22i10i30j33i22i29i30.7r08ZZpP7iY
- Macherey-Nagel. (2017). *Genomic DNA from tissue. NucleoSpin® Tissue XS. User manual*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter https://www.mn-net.com/Portals/8/attachments/Redakteure_Bio/Protocols/Genomic%20DNA/UM_gDNATissueXS.pdf
- Marsch, S., Basten, M., Greiff, S., Meyer, A., Urhahne, D. & Wilde, M. (2015). Kurzsкала zur Messung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale (Kurz-PgK) im Biologieunterricht. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 14, 43–57.
- Mayer, J. (2016). Erkenntnisse mit naturwissenschaftlichen Methoden gewinnen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 56–61). Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. *Unterricht Biologie*, 30(317), 4–12.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Miczka, G. Erkenntnisfortschritt und Innovation durch Systembiologie (S. 6–9).
- Miles, M. B., Huberman, A. M. & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis. A methods sourcebook* (Edition 3). Los Angeles: SAGE.
- Mitchell, M. (1993). Situational Interest. Its Multifaceted Structure in the Secondary School Mathematics Classroom. *Journal of Educational Psychology*, 85(3), 424–436.
- Mokhonko, S., Nickolaus, R. & Windaus, A. (2014). Förderung von Mädchen in Naturwissenschaften: Schülerlabore und ihre Effekte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 143–159.

- Mönks, F. J. (1992). Ein interaktionales Modell der Hochbegabung. In E. A. Hany & H. Drewelow (Hrsg.), *Begabung und Hochbegabung. Theoretische Konzepte - empirische Befunde - praktische Konsequenzen* (S. 17–22). Bern: Huber.
- Mönks, F. J. (2001). Begabungsforschung und Begabtenförderung. *Journal für Begabtenförderung*, (1), 7–15.
- MSJK (Hrsg.). (2004). *Praxisphasen in der Lehrerausbildung. Empfehlungen und Materialien für die Umsetzung und Weiterentwicklung, erarbeitet von Dr. Ursula Boelhauve, Dr. Reinhold Frigge, Dr. Annegret Hilligus, Hans-Joachim von Olberg*. Düsseldorf. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter https://www.uni-due.de/~qpb000/pfl/ius/empf_msjk_0704.pdf
- MSW NRW. (2007). *Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern in Nordrhein-Westfalen. Empfehlungen der Expertenkommission zur Ersten Phase*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter http://www.gdsu.de/docs/baumert_nrw_040607.pdf
- MSW NRW. (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen - Biologie*, MSW NRW. Schriftenreihe Schule in NRW. Zugriff am 14.12.2017. Verfügbar unter https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/bi/GOST_Biologie_Endfassung.pdf
- Nagl, M., Bargstädt, H.-J., Hoffmann, M. & Müller, N. (Hrsg.). (2009). *Zukunft Ingenieurwissenschaften - Zukunft Deutschland. Beiträge einer 4ING-Fachkonferenz und der ersten Gemeinsamen Plenarversammlung der 4ING-Fakultätentage am 14. und 15.07.2008 an der RWTH Aachen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik. Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Berlin: Springer Spektrum.
- Niegemann, H. (2011). Interaktivität in Online-Anwendungen. In P. Klimsa & L. Issing (Hrsg.), *Online-Lernen. Planung, Realisation, Anwendung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen online* (S. 125–137). München: De Gruyter.
- Niemiec, C. P. & Ryan, R. M. (2009). Autonomy, competence, and relatedness in the classroom. Applying self-determination theory to educational practice. *Theory and Research in Education*, 7(2), 133–144.
- Nussbaum, J. & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11(3), 183–200.
- OECD (Hrsg.). (2001). *PISA 2000: Zusammenfassung zentraler Befunde*. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- OECD (Hrsg.). (2005). *A Framework for Biotechnology Statistics*. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter <http://www.oecd.org/sti/inno/34935605.pdf>
- Orion, N. (1993). A Model for the Development and Implementation of Field Trips as an Integral Part of the Science Curriculum. *School Science and Mathematics*, 93(6), 325–331.
- Orion, N. & Hofstein, A. (1994). Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1097–1119.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations. A dual coding approach*. New York, NY: Oxford University Press.

- Paivio, A. & Csapo, K. (1973). Picture Superiority in Free Recall: Imagery or Dual Coding? *Cognitive Psychology*, 5, 176–206.
- Panhorst, M., Röllke, K. & Grotjohann, N. (2014). Lab2Venture – Projektarbeit am teutolab-biotechnologie. *LeLamagazin*, 2014(8), 14–15.
- Panhorst, M. (2016). Best Practice Beitrag. Projektthema: Biologische Reiniger. In S. Apel, O. Haupt, D. Krause & M. Parrisius (Hrsg.), *Von der Idee zur Innovation. Wegweiser zur Projektarbeit in Schülerlaboren und Schulen mit Partnern aus der Wirtschaft* (S. 69).
- Passow, A. H. (1958). Enrichment of Education for the Gifted. In N. B. Henry (Hrsg.), *Education for the gifted. Fifty-seventh Yearbook of the National Society for the Study of Education, part I* (S. 193–221). Chicago: University of Chicago Press.
- Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interesselördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P. & Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36–48.
- Peters, U. (2014). Naturwissenschaftlich-technische Umweltbildung - Ein Überblick. In P. Bellendorf, A. Bittner, V. Exner, F. Gruber, U. Peters, T. Pyhel et al. (Hrsg.), *Nachhaltigkeit gestalten. Trends und Entwicklungen in der Umweltkommunikation* (S. 289–298). München: oekom.
- Peters, U. (2015). Naturwissenschaftlich-technische Umweltbildung in Schülerlaboren: Inventarisierung - Qualitätssicherung - Dissemination. *LeLamagazin*, (11), 6–7.
- Pfenning, U., Renn, O. & Mack, U. (2002). *Zur Zukunft technischer und naturwissenschaftlicher Berufe. Strategien gegen den Nachwuchsmangel*. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg.
- Pilz, G. (2010). *Biotechnologie. Anwendung, Branchenentwicklung, Investitionschancen*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1524/9783486704716>
- Plasa, T. (2013). *Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren* (Bd. 1). Berlin: Logos Verlag.
- Prenzel, M. (1988). *Die Wirkungsweise von Interesse. Ein pädagogisch-psychologisches Erklärungsmodell* (Bd. 13). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Priemer, B. & Lewalter, D. (2009). Schülerlaborbesuche - eine Bereicherung für den naturwissenschaftlichen Unterricht? *Praxis der Naturwissenschaften / Physik in der Schule*, 58(4), 10–14.
- Projektträger Jülich (Hrsg.). (2008). *Systembiologie. Ergebnisse, Fortschritte und Innovationen aus der BMBF-Förderung*.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2006). *Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik*. Heidelberg: Springer.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2008). *Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik*. Heidelberg: Springer.
- Ratnasingham, S. & Hebert, P. D. N. (2007). Barcoding Bold. The Barcode of Life Data System. *Molecular Ecology Notes*, 3–10.

- Reeve, J. (2004). Self-Determination Theory Applied to Educational Settings. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 183–203). Rochester, NY: University of Rochester Press.
- Reeve, J., Nix, G. & Hamm, D. (2003). Testing models of the experience of self-determination in intrinsic motivation and the conundrum of choice. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 375–392.
- Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaften*, 33(1), 52–69.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (S. 613–658). Weinheim: Beltz PVU.
- Renkl, A. (2010). Lernen durch Lehren. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 445–449). Weinheim: Beltz.
- Rennie, L. J. (2014). Learning Science Outside of School. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 120–144). New York, NY: Routledge.
- Renzulli, J. S. (1986). The three-ring conception of giftedness: a developmental model for creative productivity. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Hrsg.), *Conceptions of giftedness* (S. 53–93). Cambridge: Cambridge University Press.
- Resnick, L. B. (Ed.). (1989). *Knowing, learning, and instruction. Essays in honor of Robert Glaser*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM. Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47(2), 57–66.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept. Test und Trends N. F. Band 2* (S. 261–279). Göttingen: Hogrefe.
- Ringelband, U., Prenzel, M. & Euler, M. (Hrsg.). (2001). *Lernort Labor. Initiativen zur naturwissenschaftlichen Bildung zwischen Schule, Forschung und Wirtschaft; Bericht über einen Workshop in Kiel im Februar 2001* (IPN-Materialien). Kiel: IPN.
- Rio Bartulos, C., Tappe, H. & Rothhämel, S. (2012). Isolierung von DNA. In M. Jansohn & S. Rothhämel (Hrsg.), *Gentechnische Methoden. Eine Sammlung von Arbeitsanleitungen für das molekularbiologische Labor* (S. 96–134). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Rodenhauser, A. (2016). *Bilinguale biologische Schülerlaborkurse - Konzeption und Durchführung sowie Evaluation der kognitiven und affektiven Wirksamkeit*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.
- Rodenhauser, A. & Preisfeld, A. (2018). Intrinsic motivation in bilingual courses on molecular biology and bionics in an out-of-school laboratory. In N. Gericke & M. Grace (Hrsg.), *Challenges in biology education research. A selection of papers presented at the XIth conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB), Karlstad, 5-9 September 2016* (S. 120–134). Karlstad, Sweden: University printing office.
- Rogoff, B. (1991). *Apprenticeship in thinking. Cognitive development in social context*. New York: Oxford University Press.

- Rohen, C. (2017). Hochbegabung im Kontext von Schülerlaboren. *LeLamagazin*, (19), 11–12.
- Rohrmann, S. & Rohrmann, T. (2010). *Hochbegabte Kinder und Jugendliche. Diagnostik - Förderung - Beratung*. München: Reinhardt.
- Röllke, F. (2008). *Orchideen. Das neue Standardwerk mit über 200 beliebten Orchideen im Porträt*. München: Gräfe und Unzer.
- Röllke, K. (2015). *Durchführung und Evaluation des außerschulischen Angebotes Lab2Venture-Projekt für naturwissenschaftlich begabte Jugendliche im Schülerlabor teutolab-biotechnologie*. Masterarbeit. Universität Bielefeld.
- Röllke, K. & Grotjohann, N. (2015a). DNA-Barcoding. Anwendung einer neuen Technologie zur Erfassung der Biodiversität. *Praxis der Naturwissenschaften Biologie*, 64(3), 12–21.
- Röllke, K. & Grotjohann, N. (2015b). Praktikumstag im teutolab-biotechnologie für alle ein Gewinn! Ein Vergleich von Grund- und Leistungskursen. *LeLamagazin*, 12(12), 13–15.
- Röllke, K. & Grotjohann, N. (2016). Begabungs- und Begabtenförderung beim Lab2Venture-Projekt im teutolab-biotechnologie. *ABB-Information Jahreshaft 2016*, 2016, 8–18.
- Röllke, K. & Grotjohann, N. (2018a). Artenvielfalt erkennen - Barcoding von Orchideen. In LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. (Hrsg.), *MINT-Nachhaltigkeitsbildung in Schülerlaboren* (S. 44–47). Dänischenhagen: LernortLabor, Bundesverband der Schülerlabore.
- Röllke, K. & Grotjohann, N. (2018b). *Förderung besonders interessierter Schülerinnen und Schüler im teutolab-biotechnologie durch die Projektwoche Systembiologie*. 13. LeLa Jahrestagung in Kiel.
- Röllke, K. & Grotjohann, N. (2018c). Forschende Praxisphase angehender Lehrkräfte im Schülerlabor. Konzeptionierung und Evaluation. In M. Rothland & I. Biederbeck (Hrsg.), *Praxisphasen in der Lehrerbildung im Fokus der Bildungsforschung* (S. 131–142). Münster: Waxmann.
- Röllke, K., Kamp, P. & Grotjohann, N. (2018). Was steckt wirklich in der Wurst? Molekulargenetische Tierartendifferenzierung im Schülerlabor. *BU praktisch*, 1(1), 1–22.
- Röllke, K., Schrader, E. & Grotjohann, N. (2018). Die mitochondriale Eva – Entdecke deine Urmutter. *LeLamagazin*, 2018(20), 11–13.
- Rönnebeck, S., Schöps, K., Prenzel, M., Mildner, D. & Hochweber, J. (2010). Naturwissenschaftliche Kompetenz von PISA 2006 bis PISA 2009. In E. Klieme, C. Artelt, J. Hartig, N. Jude, O. Köller, M. Prenzel et al. (Hrsg.), *PISA 2009 - Bilanz nach einem Jahrzehnt. Zusammenfassung* (S. 177–198). Münster.
- Rössler, P. (2017). *Inhaltsanalyse* (Bd. 2671). Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft.
- Runge, K. (2013). *Schülerbesuche im DLR_School_Lab. Der Einfluss einer schulischen Vorbereitungsphase auf Wissenserwerb und Interesse*. Masterarbeit. Universität Bremen.
- Runge, K., Stiefs, D. & Schecker, H. (2013). Wirkungen schulischer Vorbereitung auf den Besuch des DLR_School_Lab. *LeLamagazin*, (7), 3–5.
- Ruppert, W. (2012). Welches Interesse haben Schüler an biologischen Themen? In U. Spörhase-Eichmann (Hrsg.), *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 94–111). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2004). Overview of Self-Determination Theory: An Organismic Dialectical Perspective. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 3–33). Rochester, NY: University of Rochester Press.

- Saccone, C., Giorgi, C. de, Gissi, C., Pesole, G. & Reyes, A. (1999). Evolutionary genomics in Metazoa: the mitochondrial DNA as a model system. *Gene*, 238(1), 195–209.
- Scharfenberg, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor. Empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse*. Dissertation. Universität Bayreuth.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2011). A New Two-Step Approach for Hands-On Teaching of Gene Technology. Effects on Students' Activities During Experimentation in an Outreach Gene Technology Lab. *Research in Science Education*, 41(4), 505–523.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2013a). Instructional Efficiency of Tutoring in an Outreach Gene Technology Laboratory. *Research in Science Education*, 43(3), 1267–1288.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2013b). Teaching Gene Technology in an Outreach Lab. Students' Assigned Cognitive Load Clusters and the Clusters' Relationships to Learner Characteristics, Laboratory Variables, and Cognitive Achievement. *Research in Science Education*, 43(1), 141–161.
- Scharfenberg, F.-J. & Bogner, F. X. (2016). A New Role Change Approach in Pre-service Teacher Education for Developing Pedagogical Content Knowledge in the Context of a Student Outreach Lab. *Research in Science Education*, 46(5), 743–766.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X. & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology laboratory with educational focus. Results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35(1), 28–39.
- Schiefele, U. (2001). The Role of Interest in Motivation and Learning. In J. M. Collis & S. Messick (Eds.), *Intelligence and personality. Bridging the gap in theory and measurement* (pp. 163–193). Mahwah, N.J: L. Erlbaum.
- Schiefele, U. (2008). Lernmotivation und Interesse. In W. Schneider, M. Hasselhorn & J. Bengel (Hrsg.), *Handbuch der pädagogischen Psychologie* (S. 38–49). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. & Köller, O. (2010). Intrinsische und extrinsische Motivation. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 336–344). Weinheim: Beltz.
- Schiefele, U. & Streblow, L. (2005). Intrinsische Motivation - Theorien und Befunde. In R. Vollmeyer & J. C. Brunstein (Hrsg.), *Motivationspsychologie und ihre Anwendung* (S. 39–58). Stuttgart: Kohlhammer.
- Schiefele, U. & Streblow, L. (2006). Motivation aktivieren. In H. Mandl (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 232–247). Göttingen: Hogrefe.
- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S., Schöps, K., Neumann, K., Schmidtner, S., Parchmann, I. et al. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2015 - Ergebnisse des internationalen Vergleichs mit einem modifizierten Testansatz. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 133–176). Münster: Waxmann.
- Schiever, S. W. & Maker, C. J. (1991). Enrichment and Acceleration: An Overview and New Directions. In N. Colangelo & G. A. Davis (Eds.), *Handbook of gifted education* (pp. 99–110). Boston, MA: Allyn and Bacon.

- Schmidt, H. & Rothhämel, S. (2012). Polymerase-Kettenreaktion (PCR). In M. Jansohn & S. Rothhämel (Hrsg.), *Gentechnische Methoden. Eine Sammlung von Arbeitsanleitungen für das molekularbiologische Labor* (S. 135–171). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schmiemann, P. (2012). Gruppenpuzzle. In U. Spörhase-Eichmann & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 186–189). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Schnotz, W. (2011). *Pädagogische Psychologie kompakt*. Weinheim: Beltz.
- Schröder, H. (1976). *Leistungsmessung und Schülerbeurteilung* (2. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Schulz-Zander, R. & Tulodziecki, G. (2011). Pädagogische Grundlagen für das Online-Lernen. In P. Klimsa & L. Issing (Hrsg.), *Online-Lernen. Planung, Realisation, Anwendung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen online* (S. 35–46). München: De Gruyter.
- Schwarzer, S. & Itzek-Greulich, H. (2015). Möglichkeiten und Wirkungen von Schülerlaboren. Vor- und Nachbereitung zur Vernetzung mit dem Schulunterricht. *Unterricht Chemie*, 147(147), 8–13.
- Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2013). *Forschungsmethoden und Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Solis BioDyne. (2018). *5x HOT FIREPol Blend Master Mix Ready to Load. Data Sheet*. Zugriff am 17.10.2018. Verfügbar unter https://www.sbd.ee/EN/products/blend_mm_ready_to_lo/blend_mm_rtl_7_5
- Southern, W. T., Jones, E. D. & Stanley, J. C. (1993). Acceleration and Enrichment: The Context and Development of Program Options. In K. A. Heller, F. J. Mönks & A. H. Passow (Eds.), *International handbook of research and development of giftedness and talent* (pp. 387–411). Oxford: Pergamon.
- Spörhase-Eichmann, U. (Hrsg.). (2012). *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Steffensky, M. & Parchmann, I. (2007). The project CHEMOL: Science education for children - Teacher education for students! *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 120–129.
- Steiner, G. (2006). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch* (S. 137–202). Weinheim: Beltz PVU.
- Stern, W. (1916). Psychologische Begabungsforschung und Begabungsdiagnose. In P. Petersen (Hrsg.), *Der Aufstieg der Begabten* (S. 105–120). Leipzig & Berlin: Teubner.
- Stiensmeier-Pelster, J. & Rheinberg, F. (Hrsg.). (2003). *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept. Test und Trends N. F. Band 2*. Göttingen: Hogrefe.
- Stoeckle, M. (2003). Taxonomy, DNA, and the Bar Code of Life. *BioScience*, 53(9), 2–3.
- Stoeckle, M., Janzen, D., Hallwachs, W., Hanken, J. & Baker, J. (2003). Taxonomy, DNA, and the Barcode of Life - Draft Conference Report.
- Streller, M. (2016). *The educational effects of pre and post-work in out-of-school laboratories*. Dissertation. Technische Universität Dresden.
- Stüber, E. J. (2007). *Drei kommerzielle Testkits zur Tierartenidentifikation in Fleischerzeugnissen im Vergleich*. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Su, Y.-L. & Reeve, J. (2011). A Meta-analysis of the Effectiveness of Intervention Programs Designed to Support Autonomy. *Educational Psychology Review*, 23(1), 159–188.

- Sunal, D. W., Sunal, C. S., Sundberg, C. & Wright, E. L. (2008). The importance of laboratory work and technology in science teaching. In D. W. Sunal, E. Wright & C. Sundberg (Hrsg.), *The impact of the laboratory and technology on learning and teaching science K-16* (S. 1–28). Charlotte, N.C.: IAP/Information Age Pub.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht. Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51–69. Verfügbar unter ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2004/3.Tesch_Duit_051-070.pdf
- Thermo Scientific. (2012a). *GeneRuler 1 kb Plus DNA Ladder. Product Information*.
- Thermo Scientific. (2012b). *GeneRuler Low Range DNA Ladder. Product Information*.
- Thermo Scientific. (2014). *Fast Digest TaqI. Product Information*.
- Tobin, K. (1990). Research on Science Laboratory Activities: In Pursuit of Better Questions and Answers to Improve Learning. *School Science and Mathematics*, 90(5), 403–418.
- Trautmann, T. (2010). *Einführung in die Hochbegabtenpädagogik* (Bd. 53). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Treisch, F. (2018). *Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar*. Dissertation. Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Tsai, Y.-M., Kunter, M., Lüdtke, O., Trautwein, U. & Ryan, R. M. (2008). What makes lessons interesting? The role of situational and individual factors in three school subjects. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 460–472.
- Upmeyer zu Belzen, A. (2016). Unterrichten mit Modellen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 325–334). Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Urhahne, D. & Hopf, M. (2004). Epistemologische Überzeugungen in den Naturwissenschaften und ihre Zusammenhänge mit Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 71–87.
- Urhahne, D., Marsch, S., Wilde, M. & Krüger, D. (2011). Die Messung konstruktivistischer Unterrichtsmerkmale auf der Grundlage von Schülerurteilen. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 58(2), 116–127.
- Völker, M. & Trefzger, T. (2010). Lehr-Lern-Labore zur Stärkung der universitären Lehramtsausbildung. In Rita Wodzinski (Hrsg.), *PhysDid B - Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Völker, M. & Trefzger, T. (2011). Ergebnisse einer explorativen empirischen Untersuchung zum Lehr-Lern-Labor im Lehramtsstudium. In *PhyDid B- Didaktik der Physik - Beiträge der DGP-Frühjahrstagung*.
- Voss, T., Kunina-Habenicht, O., Hoehne, V. & Kunter, M. (2015). Stichwort Pädagogisches Wissen von Lehrkräften. Empirische Zugänge und Befunde. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 18(2), 187–223.

- Wagner, U. (2012). Medienaneignung von Heranwachsenden. In E. Rösch, K. Demmler, E. Jäcklein-Kreis & T. Albers-Heinemann (Hrsg.), *Medienpädagogik Praxis Handbuch. Grundlagen, Anregungen und Konzepte für aktive Medienarbeit* (S. 10–18). München: kopaed.
- Wanka, J. (2015). Grußwort in der Schülers Ausgabe Systembiologie.de.Scholae. *Systembiologie.de.*, 4.
- Wegner, C., Dück, A. & Grotjohann, N. (2013). Emotion und Interesse als Grundlage für nachhaltiges Lernen begabter Schüler? - Eine empirische Studie in der sechsten Jahrgangsstufe von Gymnasien. *Journal für Didaktik der Biowissenschaften*, 4, 44–56.
- Wegner, C. & Kalläne, W. (2013). Erfassung motivationaler Konstrukte in der Sekundarstufe II - Welche Auswirkungen hat die Motivation auf SchülerInnen und LehrerInnen in Projektphasen? *ABB-Information Jahreshaft 2013*, 2013, 46–58.
- Weißnigk, S. (2013). *Kooperatives Arbeiten an industrienahen außerschulischen Lernorten*. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Weyland, U. (2012). *Expertise zu den Praxisphasen in der Lehrerbildung in den Bundesländern*. Hamburg: Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66(5), 297–333.
- Wiechert, W. (2004). *Systembiologie. Eine interdisziplinäre Herausforderung*. Paderborn: Schöningh.
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.
- Wildhirt, S. (2016). Das Gruppenpuzzle. In J. Wiechmann & S. Wildhirt (Hrsg.), *Zwölf Unterrichtsmethoden. Vielfalt für die Praxis* (S. 52–64). Weinheim: Beltz.
- Wildt, J. (2009). Forschendes Lernen. Lernen im "Format" der Forschung. *Journal Hochschuldidaktik*, 20(2), 4–7.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31–42). Berlin: Springer Spektrum.
- Wissenschaftsrat. (2001). Empfehlungen zur künftigen Struktur der Lehrerbildung. Zugriff am 04.01.2019. Verfügbar unter <https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/5065-01.pdf>
- Wuttke, H.-D. (2011). Informationstechnische Grundlagen des Online-Lernens. In P. Klimsa & L. Issing (Hrsg.), *Online-Lernen. Planung, Realisation, Anwendung und Evaluation von Lehr- und Lernprozessen online* (S. 47–59). München: De Gruyter.
- Zehner, R., Zimmermann, S. & Mebs, D. (1998). RFLP and sequence analysis of the cytochrome b gene of selected animals and man: methodology and forensic application. *International Journal of Legal Medicine*, 111, 323–327.
- Zehren, W. (2009). *Forschendes Experimentieren im Schülerlabor*. Dissertation. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Zehren, W., Neber, H. & Hempelmann, R. (2013). Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. Kognitive und motivationale Effekte. *MNU*, 66(7), 416–423.
- Ziegler, A. (2008). *Hochbegabung*. München: Reinhardt.
- Zimmerman, B. J. (1990). Self-regulated learning and academic achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25(1), 3–17.
- Zöfel, P. (2002). *Statistik verstehen*. München: Addison-Wesley.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Konzeption der exemplarischen Entwicklung des Schülerlabors <i>teutolab</i> -biotechnologie sowie Darstellung der untersuchten Konstrukte	12
Abb. 2: Rahmenmodell zur Strukturierung der pädagogisch bedeutsamen Komponenten der Lernmotivation (nach Krapp, 1993)	29
Abb. 3: Übersicht über das Kontinuum der Qualität motivierten Verhaltens (nach Deci & Ryan, 1993)	31
Abb. 4: Rahmenmodell der Interessensgenese (nach Krapp, 1998)	37
Abb. 5: Dreifaktorenmodell des situationalen Interesses (SI, nach Linnenbrink-Garcia et al., 2010) ...	40
Abb. 6: Modell des <i>Flow</i> -Zustandes (nach Csikszentmihalyi, 1985)	41
Abb. 7: Zusammenführung der relevanten Konstrukte in Orientierung am Rahmenmodell pädagogisch bedeutsamer Komponenten der Lernmotivation (Krapp, 1993)	51
Abb. 8: Übersicht über die Entwicklungssäulen und deren Inhalte	64
Abb. 9: Vier zu einer Insel zusammengefasste Gruppentische mit den bereitgestellten Utensilien im <i>teutolab</i> -biotechnologie	69
Abb. 10: Theoretisch zu erwartende DNA-Fragmente für Schwein, Rind, Pute und Pferd innerhalb des 688 kb großen amplifizierten Abschnitts des <i>cytB</i> -Gens	76
Abb. 11: Die vier untersuchten Orchideenarten <i>Angraecum sesquipedale</i> , <i>Vanilla planifolia</i> , <i>Cattleya forbesii</i> und <i>Dactylorhiza purpurella</i> mit ihren <i>matk</i> -Barcodes Quelle: <i>teutolab</i> -biotechnologie	81
Abb. 12: Design der Teilstudie 1 zur Auswirkung der verschiedenen Workshops auf Akzeptanz, Motivation, Interesse und Wissenserwerb der Schüler	86
Abb. 13: Einfluss des Geschlechts auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (Weiblich: $n = 383$, männlich: $n = 251$)	92
Abb. 14: Einfluss der Kurswahl auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (Grundkurs: $n = 126$, Leistungskurs: $n = 511$)	93
Abb. 15: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Workshops (1. Terzil: $n = 101$, 2. Terzil: $n = 99$, 3. Terzil: $n = 95$)	94
Abb. 16: Einfluss der Biologiezensur auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (1. Terzil: $n = 98$, 2. Terzil: $n = 95$, 3. Terzil: $n = 118$) ...	95
Abb. 17: Einfluss des Themas auf die affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie die Gesamtskala der Akzeptanz der Workshops (Barcoding: $n = 103$, Lambda: $n = 264$, Tierarten: $n = 275$)	95
Abb. 18: Einfluss des Geschlechts auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (weiblich: $n = 380$, männlich: $n = 193$)	99
Abb. 19: Einfluss der Kurswahl auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (Grundkurs: $n = 192$, Leistungskurs: $n = 403$)	99
Abb. 20: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (1. Terzil: $n = 88$, 2. Terzil: $n = 61$, 3. Terzil: $n = 65$)	100
Abb. 21: Einfluss der Biologiezensur auf das Wissen im Vor- und Nachtest und den Wissenszuwachs in Prozent (1. Terzil: $n = 60$, 2. Terzil: $n = 72$, 3. Terzil: $n = 89$)	100

Abb. 22: Einfluss des Themas der Workshops auf den Wissenszuwachs (Diff_WNnachWVor) in Prozent in Abhängigkeit vom Vortest (Summe WVor) und vom Nachtest (Summe WNach) (Barcoding: $n = 361$, Lambda: $n = 105$, Tierarten: $n = 192$)	101
Abb. 23: Vergleich des Wissens der Schüler im Vortest (SummeWVor) und im Nachtest (Summe WNach) ($N = 595$).....	102
Abb. 24: Einfluss des Geschlechts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (weiblich: $n = 380$, männlich: $n = 193$).....	102
Abb. 25: Einfluss der Kurswahl auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (Grundkurs: $n = 192$, Leistungskurs: $n = 403$)	103
Abb. 26: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (1. Terzil: $n = 88$, 2. Terzil: $n = 61$, 3. Terzil: $n = 65$)	104
Abb. 27: Einfluss der Biologiezensur auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (1. Terzil: $n = 60$, 2. Terzil: $n = 72$, 3. Terzil: $n = 89$)	105
Abb. 28: Einfluss des Themas der Workshops auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (Barcoding: $n = 361$, Lambda: $n = 105$, Tierarten: $n = 129$)	106
Abb. 29: Individuelles Interesse und Einfluss des Geschlechts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (weiblich: $n = 87$, männlich: $n = 57$).....	107
Abb. 30: Individuelles Interesse und Einfluss des Themas der Workshops auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (Lambda: $n = 80$, Tierarten: $n = 69$).....	108
Abb. 31: Design der Teilstudie 2 zum Einfluss neuer Arbeitsmaterialien auf den Wissenserwerb der Schüler.....	120
Abb. 32: Einfluss der Vermittlungskonzepte ‚Alte Abbildung, Standard‘ und ‚Neue Abbildungen, Projekt‘ auf das Wissen im Vortest, im Nachtest und in der Differenz in Prozent (‚Alte Abbildung, Standard‘: $n = 577$, ‚Neue Abbildungen, Projekt‘: $n = 574$).....	121
Abb. 33 Einfluss der Vermittlungskonzepte ‚Alte Abbildung, Standard‘ und ‚Neue Abbildungen, Projekt‘ auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (‚Alte Abbildung, Standard‘: $n = 577$, ‚Neue Abbildungen, Projekt‘: $n = 574$)	122
Abb. 34 Design der Teilstudie 3 zum Einfluss der Einbindung in den Unterricht durch die Vorbereitung mit einem Schülerskript und die Nachbereitung durch Arbeitsblätter auf die Motivation, den Wissenserwerb und den Wissensbehalt der Schüler	128
Abb. 35: Einfluss der Gruppen ‚Skript gemeinsam besprochen‘, ‚Skript allein durchgelesen‘ und ‚Skript nicht bekannt‘ auf das Wissen im Vortest, Nachtest und in der Differenz in Prozent (‚Skript gemeinsam besprochen‘: $n = 199$, ‚Skript allein durchgelesen‘: $n = 223$, ‚Skript nicht bekannt‘: $n = 67$).....	130
Abb. 36: Einfluss der Gruppen ‚Skript gemeinsam besprochen‘, ‚Skript allein durchgelesen‘ und ‚Skript nicht bekannt‘ auf die Subskalen sowie im Gesamtwert der Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM,	

Wilde et al., 2009) (,Skript gemeinsam besprochen': $n = 199$, ,Skript allein durchgelesen': $n = 223$, ,Skript nicht bekannt': $n = 67$)	130
Abb. 37: Wissen im zeitlichen Vergleich von Vor- und Nach- zu Follow-up-Test ($N = 318$)	131
Abb. 38: Einfluss des Geschlechts auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (weiblich: $n = 197$, männlich: $n = 119$)	132
Abb. 39: Einfluss der Kurswahl auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (Grundkurs: $n = 112$, Leistungskurs: $n = 203$)	132
Abb. 40: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (1. Terzil: $n = 95$, 2. Terzil: $n = 101$, 3. Terzil: $n = 77$)	133
Abb. 41: Einfluss der Biologiezensur auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (1. Terzil: $n = 55$, 2. Terzil: $n = 135$, 3. Terzil: $n = 107$)	133
Abb. 42: Einfluss der Vorbereitung durch ein Schülerskript auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (,Skript gemeinsam besprochen': $n = 107$, ,Skript allein durchgelesen': $n = 128$, ,Skript nicht bekannt': $n = 56$)	134
Abb. 43: Einfluss des Einsatzes von Arbeitsblättern (AB) auf die Wissensabnahme von Nach- zu Follow-up-Test in Prozent (Keine AB: $n = 131$, AB: $n = 187$)	134
Abb. 44: Anzeige eines exemplarischen Ergebnisses einer PINGO-Umfrage	139
Abb. 45: Design der Teilstudie 4 zur Auswirkung des Einsatzes neuer Medien auf Motivation, Interesse und Wissenserwerb der Schüler	140
Abb. 46: Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf das Wissen im Nächst, Follow-up-Test und in der Differenz in Prozent (keine Tablets: $n = 267$, Tablets: $n = 112$)	142
Abb. 47: Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf die Subskalen sowie den Gesamtwert der intrinsischen Motivation (IMI, Deci & Ryan, 2018a) (keine Tablets: $n = 428$, Tablets: $n = 241$)	143
Abb. 48: Individuelles Interesse und Einfluss des Einsatzes neuer Medien auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (keine Tablets: $n = 222$, Tablets: $n = 232$)	144
Abb. 49: Individuelles Interesse und Einfluss der Kurswahl auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (Grundkurs: $n = 55$, Leistungskurs: $n = 399$)	145
Abb. 50: Individuelles Interesse und Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Subskalen sowie den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (1. Terzil: $n = 69$, 2. Terzil: $n = 70$, 3. Terzil: $n = 63$)	146
Abb. 51: Individuelles Interesse und Einfluss der Biologiezensur auf den Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) (1. Terzil: $n = 77$, 2. Terzil: $n = 66$, 3. Terzil: $n = 73$)	146
Abb. 52: Design der abschließenden Teilstudie 5 zur Wahrnehmung von gemäßigt konstruktivistischen Prozessmerkmalen, autonomieförderlichem Lernklima und Merkmalen <i>Forschenden Lernens</i> sowie des <i>Flow</i> -Erlebens in den Workshops	153
Abb. 53: Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Wilde et al., 2015) (weiblich: $n = 125$, männlich: $n = 74$)	159

Abb. 54: Einfluss der Zeugnisdurchschnitt auf die Wahrnehmung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Wilde et al., 2015) (1. Terzil: $n = 66$, 2. Terzil: $n = 56$, 3. Terzil: $n = 51$).....	160
Abb. 55: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Prozessmerkmale des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Wilde et al., 2015) (1. Terzil: $n = 56$, 2. Terzil: $n = 65$, 3. Terzil: $n = 63$)	161
Abb. 56: Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum <i>Forschenden Lernen</i> (weiblich: $n = 288$, männlich: $n = 239$)	162
Abb. 57: Einfluss der Kurswahl auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum <i>Forschenden Lernen</i> (Grundkurs: $n = 111$, Leistungskurs: $n = 398$)	162
Abb. 58: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum <i>Forschenden Lernen</i> (1. Terzil: $n = 179$, 2. Terzil: $n = 140$, 3. Terzil: $n = 144$).....	163
Abb. 59: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Subskalen sowie der Gesamtskala zum <i>Forschenden Lernen</i> (1. Terzil: $n = 147$, 2. Terzil: $n = 140$, 3. Terzil: $n = 197$)	164
Abb. 60: Mittelwerte der Items des Learning Climate Questionnaire (LCQ, Deci & Ryan, 2018b) ($N = 388$).....	165
Abb. 61: Einfluss des Geschlechts auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) (weiblich: $n = 127$, männlich: $n = 90$)	166
Abb. 62: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das Flow-Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) (1. Terzil: $n = 76$, 2. Terzil: $n = 58$, 3. Terzil: $n = 62$)	167
Abb. 63: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung der Passung der Fähigkeiten und das <i>Flow</i> -Erleben (FKS, Rheinberg et al., 2003) (1. Terzil: $n = 66$, 2. Terzil: $n = 59$, 3. Terzil: $n = 83$).....	168
Abb. 64: Rahmenmodell der Determinanten und Konsequenzen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften nach Voss et al. (2015)	177
Abb. 65: Modell zur Gestaltung forschungsnaher Lehre (<i>Research Teaching Nexus</i>) nach Healey und Jenkins (2009)	179
Abb. 66: Konzeption der Lehrveranstaltung Berufsfeldpraktikum ‚Forschendes Lehren und Lernen im <i>teutolab</i> -biotechnologie‘.....	181
Abb. 67: Design der Teilstudie 6 zur Analyse der Wirkung des Lehr-Lern-Labors im ersten Schritt der Entwicklung auf Schüler und Studierende.....	183
Abb. 68: Mittelwerte der Items zur Akzeptanz des Berufsfeldpraktikums ($N = 28$).....	187
Abb. 69: Einfluss des Berufsfeldpraktikums auf die Subskalen und die Gesamtskala der epistemologischen Überzeugungen der Studierenden (Urhahne & Hopf, 2004).....	187
Abb. 70: Wissen der Studierenden im Vortest und im Nachtest des Vorbereitungsseminars	188
Abb. 71: Vergleich des Wissens der von den Studierenden unterrichteten Schüler im Vortest und im Nachtest ($N = 627$)	188
Abb. 72: Einfluss des ersten, zweiten und dritten Tages des Unterrichtens der Studierenden auf das Wissen im Vortest, im Nachtest und den Wissenszuwachs der Schüler in Prozent (1. Tag: $n = 223$, 2. Tag: $n = 210$, 3. Tag: $n = 194$).....	189

Abb. 73: Einfluss des ersten, zweiten und dritten Tages des Unterrichtens auf die Subskalen und die Gesamtskala der intrinsischen Motivation (KIM, Wilde et al., 2009) (1. Tag: $n = 223$, 2. Tag: $n = 210$, 3. Tag: $n = 194$)	190
Abb. 74: Design der Teilstudie 7 zur Analyse der Wirkung des Lehr-Lern-Labors im zweiten Schritt der Entwicklung auf die Studierenden	201
Abb. 75: Einfluss der Konzeptionierung des Berufsfeldpraktikums auf die Akzeptanz.....	202
Abb. 76: Vergleich der Anzahl der Nennungen in den Kategorien zur Professionalisierung in Prozent	203
Abb. 77: Design der Teilstudie 8 zur Auswirkung der CeBiTec-Schülerakademien auf die Akzeptanz der Schüler	215
Abb. 78: Mittelwerte der Items zur Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie ($N = 98$)	217
Abb. 79: Design der Teilstudie 9 zur Auswirkung der <i>teutolab</i> -Akademie Systembiologie auf die Akzeptanz der Schüler	229
Abb. 80: Mittelwerte zur Akzeptanz der <i>teutolab</i> -Akademie Systembiologie ($N = 38$).....	230
Abb. 81: Konzeptionierung der Zusammenarbeit der Stakeholder im Lab2Venture-Projekt	239
Abb. 82: Design der Teilstudie 10 zur Auswirkung des Lab2Venture-Projektes auf die Akzeptanz der Schüler.....	243
Abb. 83: Mittelwerte zur Akzeptanz des Lab2Venture-Projektes ($N = 15$).....	245
Abb. 84: Schuljahresprogramm des Erasmus-Projekts ‚Biotechnology in our life‘	253
Abb. 85: Schematische Darstellung des Prinzips des internationalen Gruppenpuzzles zur Bearbeitung von Teilbereichen der Biotechnologie	254
Abb. 86: Design der Teilstudie 11 zur Auswirkung des Erasmus-Projektes auf die Akzeptanz der Schüler.....	256
Abb. 87: Mittelwerte zur Akzeptanz der Kick-off-Week des Erasmus-Projektes ($N = 93$)	259
Abb. 88: Mittelwerte zur Akzeptanz des gesamten Erasmus-Projektes ($N = 93$)	259
Abb. 89: Design der Teilstudie 12 zum Vergleich der Angebote zur Begabtenförderung mit den Angeboten zur Breitenförderung in Bezug auf die Akzeptanz, den Erwerb von Schlüsselkompetenzen und das Interesse der Schüler.....	266
Abb. 90: Affektive, effektive und Qualitätskomponente sowie Gesamtskala der Akzeptanz der Tageskurse (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der <i>teutolab</i> -Akademie (<i>t</i> -Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P)	270
Abb. 91: Vergleich der Fazits der Tageskurse (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der <i>teutolab</i> -Akademie (<i>t</i> -Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P) (T-Kurs: $n = 205$, <i>t</i> -Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$, E-P: $n = 63$).....	271
Abb. 92: Vergleich der Studienwünsche der Schüler in den Tageskursen (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der <i>teutolab</i> -Akademie (<i>t</i> -Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P) (T-Kurs: $n = 205$, <i>t</i> -Aka: $n = 38$, L2V-P: $n = 15$, E-P: $n = 63$)	271
Abb. 93: Komponenten des Problemlösens, der Zielorientierung und des selbstständigen Arbeitens sowie Gesamtskala der Schlüsselkompetenzen der Tageskurse (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der <i>teutolab</i> -Akademie (<i>t</i> -Aka), des Lab2Venture-Projektes (L2V-P) und des Erasmus-Projektes (E-P)	273

Abb. 94: Individuelles Interesse und Subskalen sowie Gesamtwert des situationalen Interesses (SIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010) bei den Tageskursen (T-Kurs), der CeBiTec-Schülerakademie (S-Aka), der *teutolab*-Akademie (*t*-Aka) und dem Lab2Venture-Projekt (L2V-P) 274

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht über die Zielsetzungen von Schülerlaboren nach Haupt et al. (2013)	7
Tab. 2: Dissertationen im Bereich der Schülerlaborforschung: Übersicht über Autoren, Fachbereiche und zentrale Fragestellungen	9
Tab. 3: Strukturierungsgrade von Experimenten (nach Sunal et al., 2008)	22
Tab. 4: Items und Subskalen des Fragebogens zur Akzeptanz der Workshops (selbst konstruiert) ...	88
Tab. 5: Items des Wissenstests zum Workshop ‚Barcoding‘	89
Tab. 6: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009).....	91
Tab. 7: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems des Situational Interest Scale und des Individual Interest Scale (SIS, IIS, Linnenbrink-Garcia et al., 2010)	92
Tab. 8: Kategorien der Fazits der Schüler zu den Workshops mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen	96
Tab. 9: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für die Workshops mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen.....	98
Tab. 10: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems des Intrinsic Motivation Inventory (Deci & Ryan, 2018a).....	141
Tab. 11: Praktische Umsetzung der Bedingungen autonomieförderlichen Verhaltens in Orientierung an Su und Reeve (2011)	152
Tab. 12: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems der Kurzskala des gemäßigten Konstruktivismus (Kurz-PgK, Marsch et al., 2015)	154
Tab. 13: Items und Subskalen des Fragebogens zum <i>Forschenden Lernen</i>	155
Tab. 14: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems des Learning Climate Questionnaire (LCQ, Deci & Ryan, 2018b).....	157
Tab. 15: Subskalen, Reliabilitäten und Items der <i>Flow</i> -Kurzskala (FKS), (Rheinberg et al., 2003) ...	158
Tab. 16: Items und Reliabilität des Fragebogens zur Akzeptanz der Lehrveranstaltung (selbst konstruiert).....	184
Tab. 17: Subskalen, Reliabilitäten und Beispielitems der Skala zu den epistemologischen Überzeugungen (EPÜ, Urhahne & Hopf, 2004)	185
Tab. 18: Kategorien der Aussagen der Studierenden zum eigenen Unterrichten, den Spezifika im Berufsfeldpraktikum und zum Abgleich der Evaluationsergebnisse im Reflexionsteil der Praktikumsberichte mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen	191
Tab. 19: Programm der CeBiTec-Schülerakademie „Synthetische Biologie/Biotechnologie“ 2017 ...	212
Tab. 20: Items des Fragebogens zur Akzeptanz der CeBiTec-Schülerakademie (Schülerakademie-Akz, selbst konstruiert)	216
Tab. 21: Kategorien der Fazits der Schüler zur CeBiTec-Schülerakademie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen.....	218
Tab. 22: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für die CeBiTec-Schülerakademie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen	219
Tab. 23: Programm der <i>teutolab</i> -Akademie Systembiologie 2018.....	227

Tab. 24: Kategorien der Fazits der Schüler zur <i>teutolab</i> -Akademie Systembiologie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen.....	231
Tab. 25: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für die <i>teutolab</i> -Akademie Systembiologie mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen	232
Tab. 26: Items des Fragebogens zur Akzeptanz des Lab2Venure-Projektes (L2V-Akz, selbst konstruiert).....	244
Tab. 27: Kategorien der Fazits der Schüler zum Lab2Venture-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen.....	245
Tab. 28: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für das Lab2Venture-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen	247
Tab. 29: Items des Fragebogens zur Akzeptanz der Kick-off-Week des Erasmus-Projektes (Erasmus Kick-off-Akz, selbst konstruiert)	257
Tab. 30: Items des Fragebogens zur Akzeptanz des Erasmus-Projektes (Erasmus Projekt-Akz, selbst konstruiert).....	258
Tab. 31: Kategorien der Fazits der Schüler zum Erasmus-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen	260
Tab. 32: Kategorien der Verbesserungsvorschläge der Schüler für das Erasmus-Projekt mit Beispielen und Häufigkeiten der Nennungen.....	261
Tab. 33: Übersicht über die Items der Subskalen und deren Verwendung	267
Tab. 34: Items und Subskalen des Fragebogens zu den Schlüsselkompetenzen (selbst konstruiert).....	268

Erklärung

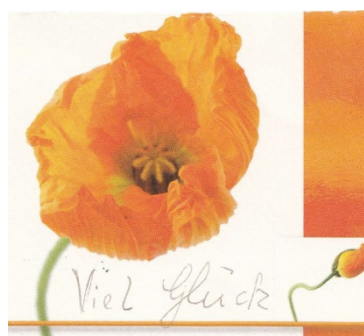
Ich habe die vorliegende Dissertation selbstständig angefertigt, keine Textabschnitte von Dritten oder eigener Prüfungsarbeiten ohne Kennzeichnung übernommen und alle von mir benutzten Hilfsmittel und Quellen in meiner Arbeit angegeben.

Bielefeld, im Januar 2019

Kerstin Röllke

Vielen Dank...

- ... an Prof. Dr. Walter Arnold für die Idee, ein *teutolab*-biotechnologie zu gründen.
- ... an Prof. Dr. Alfred Pühler für adäquate Räume und einen festen Platz im CeBiTec.
- ... an Prof. Dr. Norbert Grotjohann, der die Biologiedidaktik mit dem *teutolab*-biotechnologie verknüpft und das Projekt so engagiert leitet.
- ... an die aktuellen Kollegen des *teutolab*-Teams. Mit Dr. Maren Panhorst, Katharina Kummer und Nils-Christian Lübke und nun auch Annkathrin Wenzel steht ein tolles Team zusammen. Schön, dass bereits die erste ehemalige Studierende aus dem Berufsfeldpraktikum dabei ist.
- ... an die ehemaligen Kollegen Maria Bellanco, Dr. Paul Kamp und Stephanie Weick für Ihre Ideen und konstruktive Umsetzung.
- ... an die Kolleginnen aus der Biologiedidaktik für eine tolle Arbeitsatmosphäre. Dr. Daniela Sellmann-Risse danke ich besonders für ihre Unterstützung.
- ... an die studentischen Hilfskräfte, ganz besonders Anna-Lena Maak und Gamze-Azize Kaymak, für ihren zuverlässigen und tatkräftigen Einsatz
- ... an die vielen Studierenden, die im Berufsfeldpraktikum oder auch bei ihren Abschlussarbeiten konstruktive Ideen ins Schülerlabor eingebracht haben.
- ... an meine Freunde und an meine Familie für die Geduld mit meinem Zeitmangel und dass ihr mir jederzeit helfen würdet, wenn es darauf ankommt. Carola, Timo und Kevin durften es auch...
- ... an meinen Mann Frank, für den das gleiche gilt wie für Freunde und Familie, nur sehr viel stärker.
- ... an alle, die mir „Viel Glück“ gewünscht haben und daran geglaubt haben, dass ich das alles schon hinkriege ☺



Anhang

Inhaltsverzeichnis

Anhang 1	Schülerskript zum Workshop ‚Molekulargenetische Tierartendifferenzierung‘	1
Anhang 2	Schülerskript zum Workshop ‚Barcoding von Orchideen‘	10
Anhang 3	Kreuztabellen Teilstudie 1 ‚Neue Workshops‘ Stichprobe Akzeptanz 637 TN.....	17
Anhang 4	Kreuztabellen Teilstudie 1 ‚Neue Workshops‘ Stichprobe Wissen & Motivation 595 TN.	18
Anhang 5	Kreuztabellen Teilstudie 1 ‚Neue Workshops‘ Stichprobe Interesse 149 TN.....	19
Anhang 6	Wissenstest für die Workshops ‚Tierarten‘ und ‚Lambda‘	20
Anhang 7	Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009)	22
Anhang 8	Situational Interest Scale (SIS) und individuelles Interesse (Linnenbrink-Garcia et. al, 2013)	23
Anhang 9	Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Akzeptanz.....	24
Anhang 10	Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Akzeptanz.....	25
Anhang 11	Post-hoc-Test: Einfluss des Themas auf das Wissen.....	26
Anhang 12	Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Motivation	27
Anhang 13	Post-hoc-Test: Einfluss des Themas auf die Motivation	28
Anhang 14	PowerPoint-Präsentation zum Workshop ‚Barcoding von Orchideen‘	29
Anhang 15	Kreuztabellen Teilstudie 2 ‚Neues Konzept‘ Stichprobe Wissen & Motivation 1151 TN...	45
Anhang 16	Set Arbeitsblätter zum Workshop ‚Barcoding von Orchideen‘	46
Anhang 17	Kreuztabellen Teilstudie 3 ‚Skriptvorbereitung‘ Stichprobe Wissen & Motivation 489 TN	49
Anhang 18	Kreuztabellen Teilstudie 3 ‚Arbeitsblätter‘ Stichprobe Wissen 332 TN	50
Anhang 19	Kreuztabellen Teilstudie 4 ‚Tablets‘ Stichprobe Wissen 379 TN.....	51
Anhang 20	Kreuztabellen Teilstudie 4 ‚Tablets‘ Stichprobe Motivation 669 TN	52
Anhang 21	Kreuztabellen Teilstudie 4 ‚Tablets‘ Stichprobe Interesse 305 TN.....	53
Anhang 22	Intrinsic Motivation Inventory (IMI, Deci & Ryan, 2018)	54
Anhang 23	Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Interesse.....	55
Anhang 24	Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf das Interesse.....	56
Anhang 25	Kurzskala zur Messung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale (Kurz-PgK, Basten et al., 2015)	57
Anhang 26	Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale	58

Anhang 27 Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitt auf die Wahrnehmung Forschenden Lernens	59
Anhang 28 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung Forschenden Lernens..	60
Anhang 29 Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Flow-Erleben	61
Anhang 30 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf das Flow-Erleben	62
Anhang 31 Kreuztabellen Teilstudie 6 ‚Berufsfeldpraktikum‘ Stichprobe Schüler Wissen und Motivation 627 TN	63
Anhang 32 Post-hoc-Test: Einfluss des ersten, zweiten und dritten Tages des Unterrichtens der Studierenden auf das Wissen der Schüler	64
Anhang 33 Post-hoc-Test: Akzeptanz bei den Tageskursen, der CeBiTec-Schülerakademie, der <i>teutolab</i> -Akademie, dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt	65
Anhang 34 Post-hoc-Test: Wahrnehmung der Förderung von Schlüsselkompetenzen bei den Tageskursen, der <i>teutolab</i> -Akademie, dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt	67
Anhang 35 Post-hoc-Test: Individuelles Interesse und Wahrnehmung des situationalen Interesses bei den Tageskursen, der CeBiTec-Schülerakademie, der <i>teutolab</i> -Akademie und dem Lab2Venture-Projekt	69

Projekt-Tag

Molekulargenetische Tierartendifferenzierung

Was steckt wirklich in
unserer Wurst?



Quelle: Titelbild http://www.concord.com/user/zshurke/wurst_1206.jpg

Hinweise zum organisatorischen Ablauf des Praktikumsstages:

Der Praktikumsstag beginnt um 9.00 Uhr und endet nachmittags. Von ca. 12.00 Uhr bis 13.00 Uhr findet eine einstündige Mittagspause statt. Am Vormittag ist keine umfassende Zwischenpause vorgesehen, daher empfiehlt sich ein gutes Frühstück ☺

Der Kursraum befindet sich im Erdgeschoss des CeBITec (Center for Biotechnology), Gebäudeteil G der Universität Bielefeld, Raum 04-118, Tel. 0521 – 106-8711.

Eine detaillierte Anfahrtskizze befindet sich auf unserer Homepage unter <http://www.uni-bielefeld.de/teutolab/fachbereich/entz/biotechnologie/entz/aimr/amt/amt.html>

Hinweise zu den Arbeitsmaterialien des teutolab-biotechnologie:

Dieses **Schülerkript** dient der Vorbereitung auf den Praktikumsstag im teutolab-biotechnologie. Die theoretischen Inhalte sollten bekannt sein, damit im Schülerlabor auf das Basiswissen aufgebaut werden kann. Die Informationen zum Thema „Molekulargenetische Tierartendifferenzierung“ und über die Versuchsabläufe sollen helfen, die Experimente besser zu verstehen und umzusetzen.

Auf unserer **Homepage** werden unter dem Menüpunkt „Arbeitsmaterial“ weiterführende Informationen zu den Praktikumsstagen angeboten (<http://www.uni-bielefeld.de/teutolab/fachbereich/entz/biotechnologie/abg/biotech.html>).

Sie sind herzlich eingeladen, sich hier ganz nach Ihren Interessen durchzuklicken.

Die **Fotos der Gele** werden im Anschluss an den Praktikumsstag auf einen CeBITec-Senyer hochgeladen. Dabei wird das Datum des Praktikumsstages im Format TTMMJJ eingetragen. So lautet z.B. für den 09.10.18 die URL <https://www.cebitec.uni-bielefeld.de/podkay/091018>.

Die Fotos sind dort nur für einige Tage zum Herunterladen verfügbar.

Zur **Nachbereitung des Praktikumsstages** wurden **Arbeitsblätter** entwickelt. Bei Interesse fordern Sie diese bitte unter teutolab-biotechnologie@uni-bielefeld.de an.

Inhaltsverzeichnis Schülerkript

Dieses Skript ist ausschließlich für die Zwecke des teutolab-biotechnologie gedacht und ist nicht zur Veröffentlichung freigegeben.

1. Analyse von Fleisch in Lebensmitteln	3
2. Untersuchung geeigneter DNA	4
3. Theorie Polymerase-Kettenreaktion	5-6
4. Theorie Restriktionsanalyse	7
5. Theorie Gelelektrophorese	8-9
6. Amplified Restriction Fragment Length Polymorphism (aRFLP)	10
7. Praxis Isolierung der DNA aus den Fleischproben	11
8. Praxis PCR mit allgemeinen <i>cytB</i> -Primern (aRFLP)	12
9. Praxis Restriktionsdigestion der amplifizierten DNA (aRFLP)	13
10. Praxis Gelelektrophorese	14
11. Auswertung	15
12. Abkürzungen und Sachverzeichnis	16-17

1. Analyse von Fleisch in Lebensmitteln

Aus ethischen, religiösen oder gesundheitlichen Gründen verzichten viele Menschen auf den Verzehr von Fleisch bestimmter Tierarten. Laut Lebensmittelkennzeichnungsverordnung müssen auf einer Verpackung wichtige Verbraucherinformationen wie die Bezeichnung des Produktes, die Füllmenge, das Mindesthaltbarkeitsdatum, das Zutatenverzeichnis u.v.m. angegeben werden. Durch eine umfassende Gesetzgebung unter Beteiligung europäischer und deutscher Richtlinien sollen die Bürger so vor Gesundheitsrisiken und Betrug geschützt werden.

Häufige Lebensmittelskandale zeigen allerdings:

Nicht immer ist drin, was drauf steht..

Im Frühjahr 2013 löste die Verwendung von nicht deklariertem Pferdefleisch anstelle von Rindfleisch in Fertigprodukten wie Lasagne und Hackfleischsaucen einen Lebensmittelskandal aus (siehe Abb. 1).



Abb.1: Fleischhaltiges Fertiggericht

Außer der Empörung über den Betrug und der Gefahr von Gesundheitsrisiken stellt sich in der öffentlichen Diskussion auch die Frage, wie es möglich ist, sogar geringe Mengen von Verunreinigungen mit nicht auf der Verpackung deklarierten Tierarten nachzuweisen.

Ein wichtiges Gebiet in der Lebensmittelüberwachung ist die Tierartendifferenzierung in verarbeiteten Nahrungsmitteln mit molekularbiologischen Methoden. Traditionell wurde die Identifizierung mit Methoden durchgeführt, die auf der phänotypischen und biochemischen Charakterisierung von Eigenschaften beruhen.

Durch die Entwicklungen in der modernen Biotechnologie lassen sich Typisierungen durchführen, die auf dem Genotyp des zu untersuchenden Materials beruhen.

3

2. Untersuchung geeigneter DNA

Mitochondrien (siehe Abb. 2) sind Zellorganellen mit eigener DNA, die für die Zellatmung (=Energiebereitstellung) verantwortlich sind. Die Tierartendifferenzierung erfolgt durch Untersuchung spezieller Abschnitte der mitochondrialen DNA tierischer Zellen. Je nach Energiebedarf der Zelle können bis zu 4000 Mitochondrien pro Zelle vorliegen.

Die Zellatmung ist ein Stoffwechselvorgang durch den Zucker, aber auch Fette und Proteine, mithilfe von Sauerstoff in universelle Energieäquivalente in Form von ATP (=Adenosintriphosphat) umgewandelt werden. Dieser komplexe chemische Prozess wird grob in die drei Stoffwechselwege Glykolyse, Citratzyklus und Atmungskette unterteilt. Während die Glykolyse im Cytoplasma lokalisiert ist, sind der Citratzyklus und die Atmungskette auf die Mitochondrien beschränkt. Einige Proteine, die an der Schaffung von Energieäquivalenten in den Mitochondrien beteiligt sind, werden von der mitochondrialen DNA kodiert. Ein an der Atmungskette beteiligtes Protein ist u.a. das Cytochrom B (CytB).

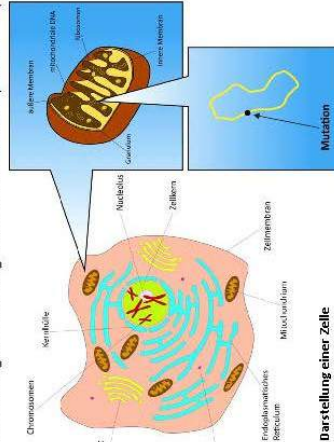


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Zelle und eines Mitochondriums

Das zugehörige Gen (CytB) befindet sich auf der ringförmigen mitochondrialen DNA, die innerhalb des Mitochondriums in mehreren Kopien vorliegt. Diese DNA ist nicht an der im Zellkern stattfindenden Meiose beteiligt, daher unterbleibt der Austausch von mütterlichen und väterlichen Erbinformationen. Aus diesem Grund bleibt die mitochondriale DNA höher konserviert und die Unterschiede bei den Tierarten sind nur über die evolutionäre Mutationsrate festgelegt.

Das CytB-Gen enthält sowohl hochkonservierte als auch variable Sequenzbereiche und kommt bei allen Tierarten vor. Ein weiterer entscheidender Vorteil bei der Verwendung dieses Gens ist, dass es bereits in mehreren Kopien in der Zelle vorliegt, da jede Zelle eine große Anzahl von Mitochondrien und jedes Mitochondrium die ringförmige DNA in mehreren Kopien enthält.

4

3. Theorie Polymerase-Kettenreaktion (PCR)

Wofür langweilige Autofahrten doch gut sein können: Dunkelheit, Wochenende, eintönige Strecken, der amerikanische Chemiker Kary Mullis verdankt dieser Situation seinen Nobelpreis in Chemie (1993). Denn dort, am Steuer seines Wagens an einem Aprilwochenende im Jahr 1983, erfindet er nach eigener Aussage das Prinzip der Polymerase-Kettenreaktion (PCR).

Kaum eine Erfindung hat die biologische Wissenschaft so sehr verändert wie die PCR. Mit ihrer Hilfe lassen sich winzige Mengen an DNA in kürzester Zeit so stark vervielfältigen, dass sie ohne Probleme nachzuweisen, zu untersuchen und weiterzuverwenden sind. Längst hat nicht mehr nur die Forensik (z.B. Genetischer Fingerabdruck, Vaterschaftstest und andere) und die Lebensmittelindustrie (z.B. Bakterien- und Virennachweise) dieses Potenzial erkannt, sondern auch die Medizin (z.B. molekulare Untersuchung von Blutkonserven, Geweben, usw.) - und immer neue Anwendungen kommen hinzu.

Das Prinzip der PCR beruht auf der exponentiellen Vermehrung eines spezifischen DNA-Abschnittes durch enzymatische Vervielfältigung. So werden erst 2 Fragmente, dann 4, dann 8, 16, 32, 64 usw. erzeugt (siehe Abb. 3). Erst mit dem Einsatz einer Maschine, die verschiedene Temperaturbedingungen in Abhängigkeit von der Zeit einstellen kann (Thermocycler), ist es möglich die gewünschte DNA-Synthese automatisch ablaufen zu lassen.

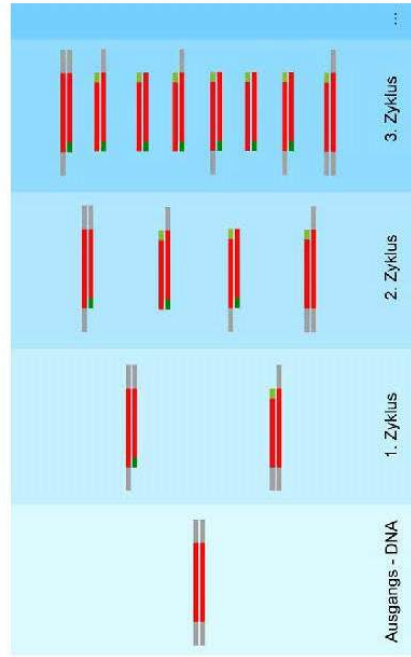


Abb. 3: Vervielfältigung der gewünschten DNA

Bei der PCR wird – ähnlich wie bei der Replikation - DNA vervielfältigt (= amplifiziert). Es wird jedoch nicht die gesamte DNA, sondern ein bestimmter, für die gegebene Fragestellung sinnvoller DNA-Abschnitt amplifiziert.

Die doppelsträngige DNA wird zunächst durch Hitze (94 °C) in ihre Einzelstränge aufgetrennt (Denaturierung). Im zweiten Schritt (Hybridisierung) bindet je ein geeigneter Primer spezifisch vor dem zu vervielfältigenden DNA-Abschnitt eines DNA-Einzelstranges. Es wird also bei einer PCR für die beiden Doppelstränge immer ein Primerpaar benötigt. Die Hybridisierung geschieht bei Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C. Die exakte Temperatur ist von der konkreten Basenzusammensetzung der Primer abhängig. Sie bilden den gewünschten Startpunkt für die Neusynthese von komplementären Strängen (Polymerisation). Die Polymerisation findet bei ca. 72°C statt und wird von der hitzestabilen Taq-Polymerase katalysiert. Sie stammt aus dem in heißen Quellen lebenden Bakterium *Thermus aquaticus*. Als Bausteine für die neuen DNA-Stränge werden Nucleotide aller vier Basen benötigt. Nachdem der entsprechende DNA-Abschnitt neu synthetisiert wurde, werden die Doppelstränge erneut getrennt und der nächste Zyklus beginnt (siehe Abb. 4).

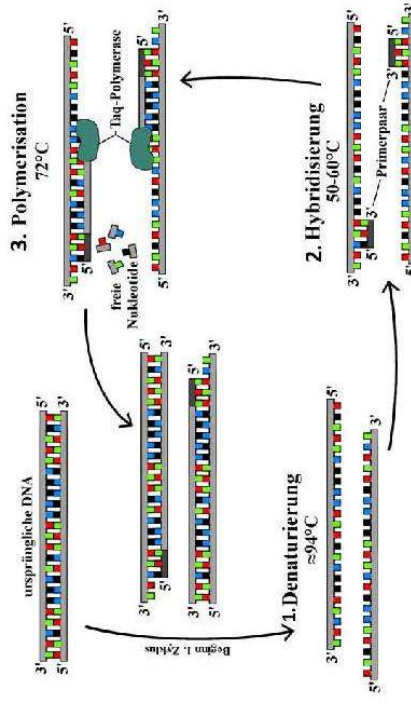


Abb. 4: Die drei Schritte des PCR-Zyklus

1. Auftrennen der Doppelhelix in zwei Einzelsträngen (Denaturierung, 94 °C)
2. Anlagerung der Primermoleküle (Hybridisierung, 50– 60 °C)
3. Synthese eines DNA-Doppelstranges (Polymerisation, 72 °C)

Die Schritte werden ca. 30x wiederholt.

4. Theorie Restriktionsanalyse

Zur Analyse der DNA können bestimmte Restriktionsenzyme verwendet werden. Diese Enzyme erkennen eine bestimmte Basenabfolge und schneiden innerhalb dieser Sequenz. Je nach Erkennungssequenz werden unterschiedliche Restriktionsenzyme eingesetzt. Für die hier durchgeführte Tierartendifferenzierung wird das Restriktionsenzym *Tsp5091* verwendet. Dies stammt aus dem Bakterium *Thermus spec.* Es erkennt die Sequenz AATT (siehe Abb. 5).

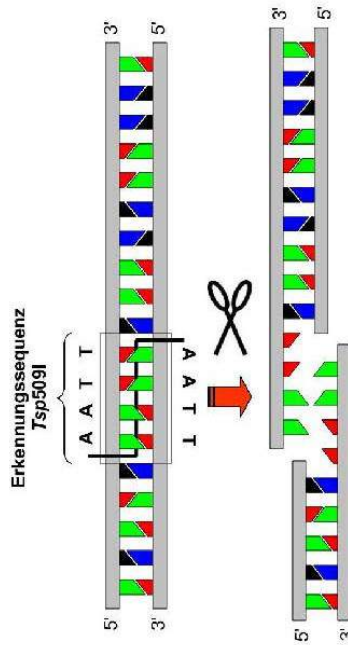


Abb. 5: Schematische Darstellung der Restriktionsspaltung mit dem Restriktionsenzym *Tsp5091* mit der Erkennungssequenz AATT

Die so entstehenden, spezifischen DNA-Fragmente können zur Analyse herangezogen werden. Auf diese Weise können kleine Unterschiede in der Basenabfolge der DNA zwischen den Tierarten sichtbar gemacht werden.

Durch Zugabe von *Tsp5091* zu den vervielfältigten DNA-Proben wird die zu untersuchende DNA aus den Fleisch- und Wurstproben an den Erkennungssequenzen geschnitten. Zur Identifizierung der Tierarten in den Wurstproben werden die Bandenmuster der Fleischproben als Referenzen verwendet und mit den Banden der Wurstproben verglichen.

Enzyme (somit auch Restriktionsenzyme) benötigen optimale Reaktionsbedingungen. Dazu gehören eine ausreichende Menge an Substrat (in diesem Fall DNA), die geeignete Inkubationstemperatur und -zeit sowie ein geeigneter (Reaktions-)puffer. Ein Puffer ist eine Lösung, die die geeigneten Reaktionsbedingungen wie pH-Wert und Ionenkonzentration einstellt.

5. Theorie Gelelektrophorese

Eine Gelelektrophorese trennt Gemische aus gleich geladenen, hochmolekularen Stoffen in einem elektrischen Feld nach ihrer relativen Größe auf. Aufgrund des geringeren Widerstandes kleinerer Moleküle wandern diese schneller als große.

An einem Ende der Gelschicht sind kleine, rechteckige Vertiefungen, die Taschen. Diese werden durch Zähne eines Kammes geformt, der vor dem Gießen des Agarose-Gels angebracht wird.

Agarose ist die Reinform eines gewundenen Polysaccharides und wird aus Algen gewonnen. Im Puffer gelöst und erwärmt, ist sie klar und flüssig. Erkalte sie, wird sie trübe und geleeartig fest. Die Polysaccharide bilden dann ein Netzwerk, durch das die DNA während der Elektrophorese wandert. Nach dem Erstarren des Gels wird Puffer in die Elektrophoresekammer eingefüllt und das Gel mit Puffer übersättigt. Der Puffer stellt den Kontakt zwischen den Elektroden auf beiden Seiten des Gels her. Die Ionen in der Lösung leiten den elektrischen Strom. Außerdem bewahrt die Lösung das Gel vor dem Austrocknen.

Vor dem Auftragen werden die DNA-Proben mit einem farbigen Ladepuffer gemischt. Dieser enthält Glycerin und bewirkt dadurch eine Dichteerhöhung der Probe. Die DNA sammelt sich so auf dem Boden der Taschen. Der Farbanteil im Puffer dient uns als visuelle Kontrolle beim Auftragen in die Taschen (siehe Abb. 6).

Durch Anschließen an eine Gleichspannungsquelle wird ein elektrisches Feld aufgebaut. Die Phosphatgruppen geben der DNA eine negative Ladung, so dass sie vom Minus zum Pluspol wandert (von der Kathode zur Anode). Die Farbleuchten des Ladepuffers wandern mit der farblosen DNA und geben uns so einen Hinweis auf die Trennstrecke der Elektrophorese. Wenn die Farbfront das Ende des Gels erreicht hat, kann die Elektrophorese beendet werden.

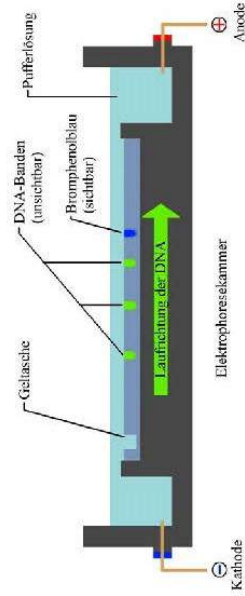


Abb. 6: Schema der Gelelektrophorese

Die DNA-Fragmente sind farblos und im Gel nicht sichtbar. Daher muss die DNA mit geeigneten (Fluoreszenz-)Farbstoffen angefärbt werden. Die übliche Methode ist die Anfärbung des Gels nach der beendeten Gelelektrophorese in einem Farbstoffbad. Alternative Möglichkeiten sind das Einbringen des Farbstoffes direkt in das Gel oder die Anfärbung der DNA mit dem Ladepuffer.

Der klassische, am häufigsten verwendete Farbstoff ist das giftige Ethidiumbromid. Mittlerweile sind auch Ersatzstoffe verfügbar, wie z.B. GelRed[™] oder SYBR Green. Ethidiumbromid und andere DNA-Farbstoffe lagern sich zwischen den Nucleotiden der DNA ein (interkalieren) und leuchten bei Anregung durch UV-Licht. Dieses Leuchten der Farbstoffmoleküle, welches die Lage der DNA-Banden anzeigt, wird in einer UV-Beleuchtungsapparatur (Transilluminator) fotografiert (siehe Abb. 7).

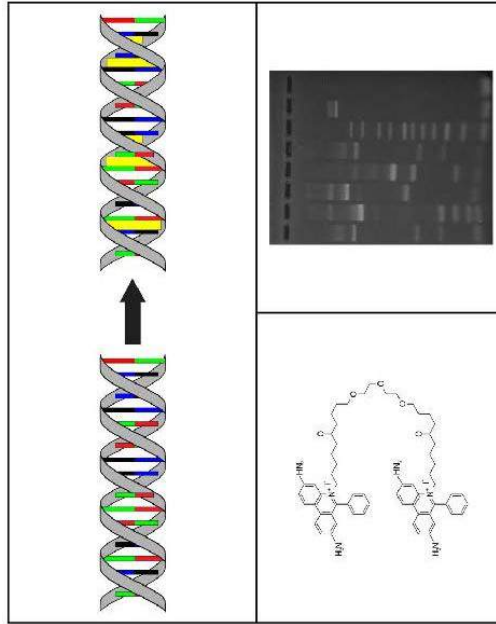


Abb. 7: DNA-Färbung mit GelRed[™] und DNA-Bandenmuster

Oben: Schemazeichnung, GelRed[™] interkaliert zwischen die Basenpaare der DNA
 Unten links: Strukturformel von GelRed[™]
 Unten rechts: Angefärbte DNA-Fragmente im Agarosegel

6. Amplified Restriction Fragment Length Polymorphism (arFLP) - Restriktionsanalyse von amplifizierter DNA

Für die Vervielfältigung von DNA werden Primer in hochkonservierten Regionen des *cytB*-Gens (vgl. Kapitel 2) gewählt. Diese universellen Primer vervielfältigen den gleichen Teil des Gens bei allen Tierarten und es entsteht ein PCR-Produkt mit derselben Länge. Unterschiede zwischen den Tierarten müssen in einem nachfolgenden Schritt analysiert werden. Dies geschieht in diesem Fall durch Restriktionsspaltung (siehe Kapitel 4). Durch Änderungen in der Basenabfolge der DNA durch Mutationen können Erkennungssequenzen von Restriktionsenzymen im *cytB*-Gen bei verschiedenen Tierarten entstehen oder wegfallen. So erhält man durch eine Restriktionsspaltung unterschiedlich viele DNA-Fragmente mit unterschiedlicher Länge. Diese können mittels Gelelektrophorese aufgetrennt und sichtbar gemacht werden (siehe Kapitel 5). Anhand der Menge und der Größe der DNA-Fragmente kann eindeutig auf die entsprechende Tierart geschlossen werden (siehe Abb. 8).

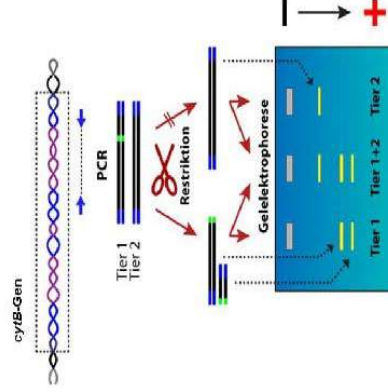


Abb. 8:

arFLP-Analyse: Der markierte Bereich umfasst das *cytB*-Gen im mitochondrialen Genom. Innerhalb des Gens gibt es hochkonservierte Bereiche (blau), an die die universellen Primer binden. Andere Bereiche sind leichter variabel (violett). In diesen Regionen können durch Mutationen Erkennungssequenzen für Restriktionsenzyme wegfallen oder hinzukommen. Daher führt eine Restriktionsspaltung nach der PCR bei verschiedenen Tierarten zu unterschiedlichen DNA-Fragmenten. Sie können mittels Gelelektrophorese aufgetrennt werden.

Ziel des Praktikumsstages:

Es soll mit der arFLP-Analyse untersucht werden, welche Fleischarten in verschiedenen Wurstproben enthalten sind.

7. Praxis

Isolierung der DNA aus den Fleischproben

Bevor man die DNA mit Hilfe der PCR gezielt vervielfältigen kann, muss die DNA aus den Zellen isoliert werden. Dafür werden die Zellen mit Lysepuffer versetzt und auf 98 °C erhitzt. Der Lysepuffer enthält Salze und Detergentien*. Durch den stark alkalischen pH-Wert, das Detergens und die hohe Temperatur werden die Zellen aufgebrochen, wodurch die gewünschte DNA frei wird. Wichtig ist, dass alle Reaktionsgefäße beschriftet werden, bevor mit dem Arbeiten begonnen wird (**Gruppennummer + S** = Schwein, **R** = Rind, **P** = Pute, **F** = Pferd oder **W** = Wurstprobe).

Schritt	Tätigkeit: DNA-Isolierung
1.	Es werden pro Gruppe 5 sterile 200 µl-Reaktionsgefäße beschriftet. In jedes Gefäß wird 100 µl Lysepuffer pipettiert.
2.	Je Tierart wird der entsprechende Probennehmer bis zum Anschlag in die Fleischprobe gestochen. Der Inhalt der Hohlmael wird durch Drücken des oberen Knopfes am Probennehmer direkt in den Puffer des jeweiligen Reaktionsgefäßes abgegeben.
3.	Inkubation der Proben im Thermocycler: 2 min bei 20 °C, 8 min bei 98 °C, danach 8 °C.
4.	Die Probe wird kurz mit dem Vortex geschüttelt und 1 min zentrifugiert. Danach darf die Probe nicht mehr geschüttelt werden!
5.	Die Lösung wird 1:10 verdünnt, d. h. in einem neuen Reaktionsgefäß werden 18 µl Wasser vorgelegt und anschließend 2 µl Überstand (aus dem oberen Drittel der Probe) hinzugegeben. Diese Verdünnungen enthalten nun die DNA, die für die nachfolgende PCR verwendet werden.

Nr. des Ansatzes	Wasser	Probe	Proben-volumen
1 (S)	18 µl	DNA aus Schweinefleisch	2 µl DNA-S
2 (R)	18 µl	DNA aus Rindfleisch	2 µl DNA-R
3 (P)	18 µl	DNA aus Puterfleisch	2 µl DNA-P
4 (F)	18 µl	DNA aus Pferdefleisch	2 µl DNA-F
5 (W)	18 µl	DNA aus Wurstprobe	2 µl DNA-W

* Detergentien: Zellmembran-auflösende Substanzen, die beispielsweise auch in Waschpulver enthalten sind.

8. Praxis

PCR mit universellen cytb-Primern

Für die PCR wird die DNA aus der 1:10 Verdünnung eingesetzt (Kapitel 7, Schritt 5). Bei der cytb-Amplifikation werden zwei Primer verwendet, die an Sequenzen im cytb-Gen binden, welche in allen Tierarten vorhanden sind. Der DNA-Bereich zwischen den Primern wird vervielfältigt und es entsteht ein PCR-Produkt mit einer Länge von ca. 690 Basenpaaren.

Für die PCR wird zusätzlich ein sechstes 200 µl-Gefäß für die Negativ-Kontrolle (N) benötigt. Eine Negativ-Kontrolle wird immer durchgeführt, um das Analyseergebnis abzusichern. Bei eventueller Verunreinigung der PCR-Materialien mit Fremd-DNA zeigt diese Kontrolle falsche-positive Ergebnisse an. In dieses Gefäß werden alle Bestandteile außer der DNA hinzu gegeben.

Schritt	Tätigkeit: PCR-Ansatz																														
1.	Für die PCR-Reaktionen werden 6 sterile 200 µl-Reaktionsgefäße mit Gruppennummer + S, R, P, F, W oder N beschriftet.																														
2.	Vorbereiten der Proben für die PCR: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Nr. des Ansatzes</th> <th>Steriles Wasser</th> <th>Master-Mix</th> <th>Primer-Mix</th> <th>DNA-Probe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 (S)</td> <td>12 µl</td> <td>4 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl DNA vom Schwein</td> </tr> <tr> <td>2 (R)</td> <td>12 µl</td> <td>4 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl DNA vom Rind</td> </tr> <tr> <td>3 (P)</td> <td>12 µl</td> <td>4 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl DNA von der Pute</td> </tr> <tr> <td>4 (F)</td> <td>12 µl</td> <td>4 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl DNA vom Pferd</td> </tr> <tr> <td>5 (W)</td> <td>14 µl</td> <td>4 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl DNA der Wurstprobe</td> </tr> </tbody> </table> <p>Für jede Probe eine neue Pipettenspitze verwenden! Vermischung der Lösungen durch Auf- und Abpipettieren. Der grüne Mastermix (MM) enthält bereits sämtliche für eine PCR benötigten Bestandteile: Polymerase, Nukleoside, PCR-Puffer und Primer-Mix in den jeweils richtigen Konzentrationen.</p>	Nr. des Ansatzes	Steriles Wasser	Master-Mix	Primer-Mix	DNA-Probe	1 (S)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA vom Schwein	2 (R)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA vom Rind	3 (P)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA von der Pute	4 (F)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA vom Pferd	5 (W)	14 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA der Wurstprobe
Nr. des Ansatzes	Steriles Wasser	Master-Mix	Primer-Mix	DNA-Probe																											
1 (S)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA vom Schwein																											
2 (R)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA vom Rind																											
3 (P)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA von der Pute																											
4 (F)	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA vom Pferd																											
5 (W)	14 µl	4 µl	2 µl	2 µl DNA der Wurstprobe																											
3.	Die Proben durchlaufen nun die Temperatur-Zyklen im Thermocycler (ca. 1,5 Stunden).																														

9. Praxis

Restriktionsspaltung der amplifizierten DNA

Da alle Fleischproben die Bindungsstellen für den *cytB*-Primer enthalten, sollten auch alle DNA-haltigen Proben ein PCR-Produkt gleicher Länge liefern. Eine tierartspezifische Unterscheidung ist also mit den bisher durchgeführten Versuchsschritten nicht möglich. Die Unterschiede dieser vielfältigen DNA-Abschnitte liegen in der spezifischen Sequenz. Diese Unterschiede entstehen durch Mutationen im Laufe der Evolution bei den verschiedenen Tierarten. Eine Sequenzierung ist sehr aufwändig. Das Schneiden der DNA-Stränge an spezifischen Schnittstellen mit einem geeignetem Restriktionsenzym (hier: *Tsp509I*) führt hier ebenfalls zu einem Ergebnis und geht schneller. Die unterschiedlichen Fragmentlängen, die durch das Schneiden entstehen, lassen durch einen Vergleich mit bekannten Proben (ähnlich wie beim „Genetischen Fingerabdruck“) einen Rückschluss auf die Tierart zu.

Schritt	Tätigkeit: Restriktions-spaltung																																				
1.	Für die DNA-Spaltung werden 5 sterile 200 µl-Reaktionsgefäße beschriftet (Gruppennummer + S, R, P, F oder W). Wiederum hat jeder Ansatz ein Gesamtvolumen von 20 µl.																																				
2.	Vorbereiten der Proben für die Restriktions-spaltung:																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr. des Ansatzes</th> <th>Probe</th> <th>H₂O</th> <th>PCR-Ansatz</th> <th>Restriktions-puffer</th> <th>Restriktions-enzym</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 (S)</td> <td>PCR von Schwein</td> <td>6 µl</td> <td>10 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl</td> </tr> <tr> <td>2 (R)</td> <td>PCR von Rind</td> <td>6 µl</td> <td>10 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl</td> </tr> <tr> <td>3 (P)</td> <td>PCR von Pute</td> <td>6 µl</td> <td>10 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl</td> </tr> <tr> <td>4 (F)</td> <td>PCR von Pferd</td> <td>6 µl</td> <td>10 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl</td> </tr> <tr> <td>5 (W)</td> <td>PCR von Wurst</td> <td>6 µl</td> <td>10 µl</td> <td>2 µl</td> <td>2 µl</td> </tr> </tbody> </table> <p>Für jede Probe eine neue Pipettenspitze verwenden! Vermischung der Lösungen durch Auf- und Abpipettieren.</p>	Nr. des Ansatzes	Probe	H ₂ O	PCR-Ansatz	Restriktions-puffer	Restriktions-enzym	1 (S)	PCR von Schwein	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl	2 (R)	PCR von Rind	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl	3 (P)	PCR von Pute	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl	4 (F)	PCR von Pferd	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl	5 (W)	PCR von Wurst	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl
Nr. des Ansatzes	Probe	H ₂ O	PCR-Ansatz	Restriktions-puffer	Restriktions-enzym																																
1 (S)	PCR von Schwein	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl																																
2 (R)	PCR von Rind	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl																																
3 (P)	PCR von Pute	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl																																
4 (F)	PCR von Pferd	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl																																
5 (W)	PCR von Wurst	6 µl	10 µl	2 µl	2 µl																																
3.	Die Proben werden 10 min bei 65 °C im Thermocycler inkubiert und anschließend bei 8 °C gelagert.																																				

8. Praxis Gelelektrophorese

Die bei der Restriktionsspaltung entstandenen Fragmente unterschiedlicher Länge befinden sich in der gleichen Probe und sind so nicht identifizierbar. Die Fragmente müssen daher nach der Länge aufgetrennt und sichtbar gemacht werden.

Schritt	Tätigkeit: Gelelektrophorese																																													
1.	Agarose zubereiten: Zunächst wird die Agarose im Elektrophorese-Puffer aufgekocht, bis eine klare Flüssigkeit entsteht. Diese Aufgabe übernimmt die Kursleitung.																																													
2.	Gel gießen: Der Taschenkamm wird in die Gelkammer eingesetzt. Dann gießt man die warme Agarose-Lösung in das Gelbett der Kammer. Sobald das Gel fest ist, wird es mit Puffer überschichtet. Danach wird vorsichtig der Kamm herausgezogen.																																													
3.	Vorbereiten der Proben für die Gelelektrophorese:																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr. in der Mikrotiterplatte</th> <th>Lade-puffer</th> <th>Aufzutragende Probe</th> <th>Probe-volumen</th> <th>Gesamt-volumen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 (S)</td> <td>2 µl</td> <td>Schwein-Restriktionsprodukt</td> <td>13 µl</td> <td>15 µl</td> </tr> <tr> <td>2 (R)</td> <td>2 µl</td> <td>Rind-Restriktionsprodukt</td> <td>13 µl</td> <td>15 µl</td> </tr> <tr> <td>3 (P)</td> <td>2 µl</td> <td>Pute-Restriktionsprodukt</td> <td>13 µl</td> <td>15 µl</td> </tr> <tr> <td>4 (F)</td> <td>2 µl</td> <td>Pferd-Restriktionsprodukt</td> <td>13 µl</td> <td>15 µl</td> </tr> <tr> <td>5 (W)</td> <td>2 µl</td> <td>Wurst-Restriktionsprodukt</td> <td>13 µl</td> <td>15 µl</td> </tr> <tr> <td>6 (Marker)</td> <td>2 µl</td> <td>Längensstandard¹</td> <td>7 µl</td> <td>9 µl</td> </tr> <tr> <td>7 (+)</td> <td>2 µl</td> <td>PCR Schwein ungespalten</td> <td>7 µl</td> <td>9 µl</td> </tr> <tr> <td>8 (N)</td> <td>2 µl</td> <td>PCR Negativ Kontrolle²</td> <td>7 µl</td> <td>9 µl</td> </tr> </tbody> </table>	Nr. in der Mikrotiterplatte	Lade-puffer	Aufzutragende Probe	Probe-volumen	Gesamt-volumen	1 (S)	2 µl	Schwein-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl	2 (R)	2 µl	Rind-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl	3 (P)	2 µl	Pute-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl	4 (F)	2 µl	Pferd-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl	5 (W)	2 µl	Wurst-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl	6 (Marker)	2 µl	Längensstandard ¹	7 µl	9 µl	7 (+)	2 µl	PCR Schwein ungespalten	7 µl	9 µl	8 (N)	2 µl	PCR Negativ Kontrolle ²	7 µl	9 µl
Nr. in der Mikrotiterplatte	Lade-puffer	Aufzutragende Probe	Probe-volumen	Gesamt-volumen																																										
1 (S)	2 µl	Schwein-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl																																										
2 (R)	2 µl	Rind-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl																																										
3 (P)	2 µl	Pute-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl																																										
4 (F)	2 µl	Pferd-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl																																										
5 (W)	2 µl	Wurst-Restriktionsprodukt	13 µl	15 µl																																										
6 (Marker)	2 µl	Längensstandard ¹	7 µl	9 µl																																										
7 (+)	2 µl	PCR Schwein ungespalten	7 µl	9 µl																																										
8 (N)	2 µl	PCR Negativ Kontrolle ²	7 µl	9 µl																																										
4.	Die DNA-Lösungen werden in die Taschen der Agarosegels geladen: Tragen Sie die Proben von links nach rechts auf das Gel auf!																																													
5.	Der Deckel der Elektrophoresekammer wird geschlossen und die Gelkammer wird mit dem Spannungsgeber so verbunden, dass die DNA in Richtung der Anode (positiver Pol) wandern kann. Das Gel wird bei ca. 100 V für ca. 1 h gefahren.																																													
6.	Dieser Schritt wird von der Kursleitung durchgeführt: Jedes Gel wird mit einem Fluoreszenzfarbstoff gefärbt und unter UV-Licht fotografiert. Die Gelbilder sind unter https://www.cebitec.uni-bielefeld.de/podata/kursdatum/ z.B.: .../pdata/091018 kurz nach dem Kurs für eine Woche abrufbar																																													

¹ Der Längensstandard enthält ein Gemisch aus DNA-Fragmenten bekannter Längen. Durch den Abgleich der Banden der untersuchten Proben mit den definierten Banden des Längensstandards lässt sich die Größe der entstandenen Fragmente bestimmen.
² Die Negativkontrolle, die alle Bestandteile bis auf die DNA enthält, zeigt, ob Verunreinigungen in den Proben vorhanden waren. Wenn bei dem Gelbild in diesem Bereich eine Bande zu sehen ist, muss man davon ausgehen, dass die Proben Fremd-DNA enthalten und nicht aussagekräftig sind.

Mitochondriale DNA	DNA innerhalb des Mitochondriums, kodiert Proteine der Zellatmung und liegt innerhalb des Mitochondriums in mehreren Kopien vor.
Mitochondrium	Zellorganell, das in eukaryotischen Zellen vorkommt und für die Zellatmung zuständig ist.
PCR (ε-Polymerasekettenreaktion)	Molekularbiologische Methode zur exponentiellen Vervielfältigung von DNA.
Phänotyp	Erscheinungsbild, z. B. morphologisch.
Puffer	Eine Lösung, die die richtigen Reaktionsbedingungen einstellt (pH, Ionengehalt, ...). Je nach Anwendung kann die Lösung z.B. als Lyse-, PCR-, Restriktions- und Elektrophorese-Puffer bezeichnet werden.
Restriktionsenzym	Ein Enzym, das DNA an spezifischen Sequenzabschnitten erkennt und dort schneidet. Im Kurs wird die Restriktions-Endonuklease <i>Tsp5091</i> verwendet.
Restriktionsspaltung	Prozess, bei dem Restriktionsenzyme die vorhandene DNA an spezifischen Erkennungssequenzen zerschneiden, wobei Fragmente unterschiedlicher Länge entstehen.
Taq-Polymerase	Eine Polymerase (Enzym, das die DNA repliziert) aus dem hitzestabilen Bakterium <i>Thermus aquaticus</i> isoliert.
Thermocycler	Inkubationsgerät zur Durchführung der PCR, das sehr schnell verschiedene Temperaturbedingungen in definierter Zeit einstellen kann.
Tsp5091	Restriktionsenzym aus dem Bakterium <i>Thermus spec.</i> , das die Erkennungssequenz -AATT- hat und die DNA dort schneidet. Die optimale Inkubationstemperatur liegt im Gegensatz zu den meisten Restriktionsenzymen bei 65 °C.
Zellatmung	Stoffwechselprozess der Zellen zur Gewinnung von Energie durch Oxidation von Zucker, Fetten oder Proteinen.

Projekt-Tag

Artenvielfalt erkennen - Barcoding von Orchideen



Angraecum sesquipedale



Vanilla planifolia



Dactyloctenium purpureum



Cattleya fargesii

Anhang 2 Schülerskript zum Workshop ,Barcoding von Orchideen‘

Hinweise zum organisatorischen Ablauf des Praktikumstages:

Der Praktikumstag beginnt um 9.00 Uhr und endet nachmittags. Von ca. 12.00 Uhr bis 13.00 Uhr findet eine einstündige Mittagspause statt. Am Vormittag ist keine umfassende Zwischenpause vorgesehen, daher empfiehlt sich ein gutes Frühstück ☺.
Der Kursraum befindet sich im Erdgeschoss des CeBITec (Center for Biotechnology), Gebäudeteil G der Universität Bielefeld, Raum 01-118, Tel. 0521 – 106 8711.
Eine detaillierte Anfahrtskizze befindet sich auf unserer Homepage unter <http://www.uni-bielefeld.de/teutolab/fachorientiert/biotechnologie/anfahrt/anfahrt.html>

Hinweise zu den Arbeitsmaterialien des teutolab-biotechnologie:

Dieses Schülerskript dient der Vorbereitung auf den Praktikumstag im teutolab-biotechnologie. Die theoretischen Inhalte sollten bekannt sein, damit im Schülerlabor auf das Basiswissen aufgebaut werden kann. Die Informationen zum Thema „Barcoding von Orchideen“ und über die Versuchsabläufe sollen helfen, die Experimente besser zu verstehen und umzusetzen.

Auf unserer Homepage werden unter dem Menüpunkt „Arbeitsmaterial“ weiterführende Informationen zu den Praktikumsthemen angeboten (<http://www.uni-bielefeld.de/teutolab/fachorientiert/biotechnologie/Arbeitsmaterial/>). Sie sind herzlich eingeladen, sich hier ganz nach Ihren Interessen durchzuklicken.

Die Fotos der Gele werden im Anschluss an den Praktikumstag auf des CeBITec-Server hochgeladen. Dabei wird das Datum des Praktikumstages im Format TTMMJJ eingetragen. So lautet z.B. für den 09.10.18 die URL <https://www.cebitec.uni-bielefeld.de/jscdata/091018>.

Die Fotos sind dort nur für einige Tage zum Herunterladen verfügbar.

Zur Nachbereitung des Praktikumstages wurden Arbeitsblätter entwickelt. Bei Interesse fordern Sie diese bitte unter teutolab-biotechnologie@uni-bielefeld.de an.

Inhaltsverzeichnis

Dieses Skript ist ausschließlich für die Zwecke des teutolab-biotechnologie gedacht und ist nicht zur Veröffentlichung freigegeben.

Stand: Oktober 2018

1. Orchideen und Naturschutz	1
2. DNA-Barcoding	2
3. Theorie Polymerase Kettenreaktion (PCR)	3-4
4. Theorie Gelelektrophorese	5-6
5. Theorie Sanger-Sequenzierung	7
6. Praxis DNA-Extraktion	8
7. Praxis PCR	9
8. Praxis Gelelektrophorese	10
9. Anleitung zur bioinformatischen Auswertung	11-12

1. Orchideen und Naturschutz

Die Familie der Orchideen ist nach den Korbblüttern die zweitgrößte Pflanzenfamilie unter den Bedecktsamern. Die Zahl ihrer Arten wird auf etwa 25000 geschätzt, die in mehr als 1000 Gattungen zusammengefasst sind – darunter viele gefährdete Arten. Großen Einfluss auf den Schutz der Orchideen hat das Washingtoner Artenschutzabkommen (WAA) von 1973. Es beschränkt den internationalen Handel mit frei lebenden Pflanzen (und Tieren). Die Konvention ist weltweit anerkannt und auch alle Orchideen unterliegen ihrem Schutzstatus. Ein weiterer Meilenstein zum Schutz der Natur war die Biodiversitätskonvention von Rio 1992.



Abb. 1: Epiphytisch lebende Cattleya am Naturstandort in Brasília

Hier wurde ein weltweites Übereinkommen über den Erhalt der biologischen Vielfalt verabschiedet. Auch in Deutschland gibt es natürlich wachsende Orchideen (siehe Abb. 2). Sie sind auf einer ‚roten Liste‘ gefährdeter Arten geführt und dürfen der Natur nicht entnommen werden, da sie in ihrem Bestand gefährdet sind.



Abb. 2: Dactylorhiza am Naturstandort auf einer Magerwiese in Deutschland

Für den Naturschutz kann die Analyse von Unterschieden in der DNA eingesetzt werden, da molekulargenetische Methoden wie Polymerase Kettenreaktion (PCR) und Sanger-Sequenzierung entwickelt wurden. Das IBOL (International Barcode of Life project) arbeitet seit 2004 daran, ein System zu schaffen, das es ermöglicht, alle Organismen auf der Erde über einen ‚DNA-Barcode‘ (siehe Kapitel 2) zu identifizieren und in einer Datenbank zu katalogisieren. Das Ziel ist, die Artenvielfalt zu erfassen und die Biodiversität zu erhalten. Schmuggel von geschützten Arten soll erfolgreich bekämpft werden, indem sie sicher identifiziert werden können. Ohne Blüten sind viele Arten nicht zu unterscheiden und sogar mit Blüten gelingt dies manchmal nur Experten.

2. DNA-Barcoding

Barcodes (bar = englisch für Balken) kennt man im Alltag aus der Kennzeichnung von z.B. Lebensmitteln (siehe Abb. 3). Der schwarz-weiße Strichcode codiert dabei das Produkt sowie seinen Preis. Die Verwendung von Barcodes zur sicheren Identifikation kann nicht nur für industrielle Produkte, sondern auch für Lebewesen genutzt werden. DNA-Barcoding ist eine DNA-Untersuchung, bei der die Abfolge von Basen als Kennzeichen für bestimmte Arten verwendet wird. DNA-Barcodes sind vierfarbig, wobei jede Farbe eine in der DNA eingebaute Base codiert (siehe Abb. 4). Die Farbabfolge in dem DNA-Barcode ist demnach eine graphische Darstellung einer zur Arterkennung geeigneten DNA-Sequenz.

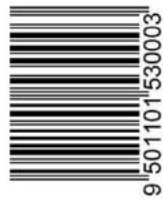


Abb. 3: Der Strichcode zur Codierung von Produkten

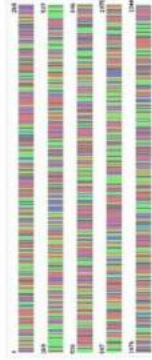


Abb. 4: Die Abfolge von Basen als DNA-Barcode zur Identifikation biologischer Arten

Für DNA-Barcoding eignen sich nicht alle DNA-Abschnitte gleich gut. Zur Identifikation von Arten ist es notwendig, einen DNA-Bereich zu finden, der zwischen verschiedenen Arten deutliche Unterschiede aufweist, aber innerhalb einer Art weitgehend identisch ist. Über die Artdenifikation von Pflanzen wurde in der Wissenschaft lange diskutiert. Das im Tierreich erfolgreich verwendete *Cytochrom-C-Oxidase*-Gen eignet sich für Pflanzen nicht. Letztlich wurden die Gene *matK* und *rbcL* favorisiert. *matK* codiert für Maturase, ein Enzym, das bei der Transkription beim Spleißen eine Rolle spielt, *rbcL* codiert für Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase, ein Schlüsselenzym bei der Photosynthese. Beide Gene befinden sich in den Chloroplasten. Diese Zellorganellen verfügen über eigene kleine ringförmige Chromosomen und bieten den Vorteil, dass sie in der Zelle in hoher Kopienzahl vorliegen. Außerdem wird ihre DNA im haploiden Modus mütterlicherseits vererbt und unterliegt nicht der Rekombination.

Ziel des Praktikumstages:

Es sollen vier verschiedene Orchideenarten durch DNA-Barcoding mit dem Marker gen *matK* identifiziert werden. Dafür wird zunächst die DNA aus den Zellen von Blattproben extrahiert, dann wird mittels Polymerase-Kettenreaktion das *matK*-Gen vermehrt (amplifiziert). Im Anschluss wird mit Hilfe von Gelelektrophorese getestet, ob ein PCR-Produkt entstanden ist. Im positiven Fall kann die in der PCR entstandene DNA zur Sequenzierung gegeben werden. Die Auswertung erfolgt durch Abgleichen der Sequenzen in einer Datenbank.

3. Theorie Polymerase-Kettenreaktion (PCR)

Wofür langweilige Autofahrten doch gut sein können. Dunkelheit, Wochenende, eintönige Strecke - der amerikanische Chemiker Kary Mullis verdankt dieser Situation seinen Nobelpreis (1993). Denn dort, am Steuer seines Wagens an einem Aprilwochenende im Jahr 1983, erfand er nach eigener Aussage das Prinzip der Polymerase-Kettenreaktion (PCR).

Kaum eine Erfindung hat die biologische Wissenschaft so schnell so sehr verändert wie die PCR. Mit ihrer Hilfe lassen sich winzige Mengen an DNA in kürzester Zeit so stark vervielfältigen, dass sie ohne Probleme nachzuweisen, zu untersuchen und weiterzuverwenden sind. Längst hat nicht mehr nur die Forensik (z.B. Genetischer Fingerabdruck, Vaterschaftstest) und die Lebensmittelindustrie (z.B. Bakterien-, Virennachweis) dieses Potenzial erkannt, sondern auch die Medizin (z.B. molekulare Untersuchung von Blutkonserven, Geweben, usw.) - und immer neue Anwendungen kommen hinzu.

Das Prinzip der PCR beruht auf der exponentiellen Vermehrung eines spezifischen DNA-Abschnittes durch enzymatische Vervielfältigung. So werden erst 2 Fragmente, dann 4, dann 8, 16, 32, 64 usw. erzeugt (siehe Abb. 5). Erst mit dem Einsatz einer Maschine, die verschiedene Temperaturbedingungen in Abhängigkeit von der Zeit einstellen kann (Thermocycler), ist es möglich die gewünschte DNA-Synthese automatisch ablaufen zu lassen.

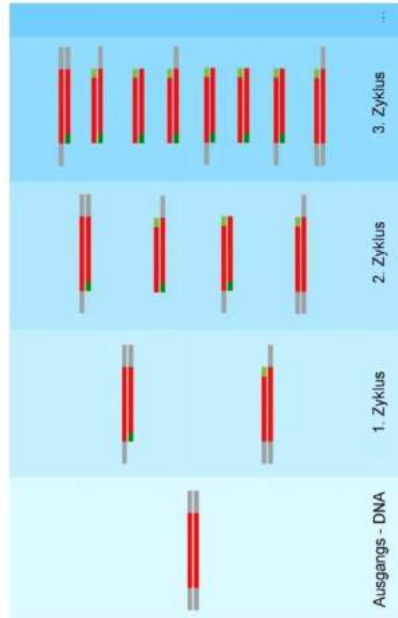


Abb. 5: Vervielfältigung der gewünschten DNA

Bei der PCR wird – ähnlich wie bei der Replikation - DNA vervielfältigt (= amplifiziert). Es wird jedoch nicht die gesamte DNA, sondern ein bestimmter, für die gegebene Fragestellung sinnvoller DNA-Abschnitt amplifiziert.

Die doppelsträngige DNA wird zunächst durch Hitze (94 °C) in ihre Einzelstränge aufgetrennt (Denaturierung). Im zweiten Schritt (Hybridisierung) bindet je ein geeigneter Primer spezifisch vor dem zu vervielfältigenden DNA-Abschnitt eines DNA-Einzelstranges. Es wird also bei einer PCR für die beiden Doppelstränge immer ein Primerpaar benötigt. Die Hybridisierung geschieht bei Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C. Die exakte Temperatur ist von der konkreten Basenzusammensetzung der Primer abhängig. Sie bilden den gewünschten Startpunkt für die Neusynthese von komplementären Strängen (Polymerisation). Die Polymerisation findet bei ca. 72°C statt und wird von der hitzestabilen Taq-Polymerase katalysiert. Sie stammt aus dem in heißen Quellen lebenden Bakterium *Thermus aquaticus*. Als Bausteine für die neuen DNA-Stränge werden Nucleotide aller vier Basen benötigt. Nachdem der entsprechende DNA-Abschnitt neu synthetisiert wurde, werden die Doppelstränge erneut getrennt und der nächste Zyklus beginnt. (siehe Abb. 6).

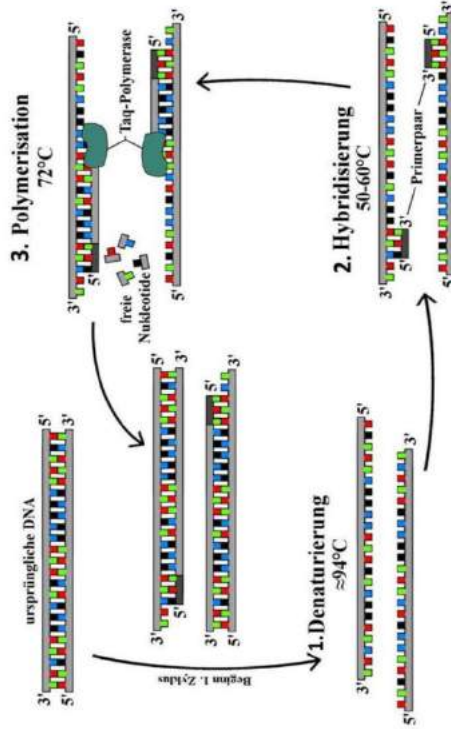


Abb. 6: Die drei Schritte des PCR-Zyklus

1. Auftrennen der Doppelhelix in zwei Einzelsträngen (Denaturierung, 94 °C)
2. Anlagerung der Primermoleküle (Hybridisierung, 50 – 60 °C)
3. Synthese eines DNA-Doppelstranges (Polymerisation, 72 °C)

Die Schritte werden ca. 30x wiederholt.

4. Theorie Gelelektrophorese

Eine Gelelektrophorese trennt Gemische aus gleich geladenen, hochmolekularen Stoffen in einem elektrischen Feld nach ihrer relativen Größe auf. Aufgrund des geringeren Widerstandes kleinerer Moleküle wandern diese schneller als große.

An einem Ende der Gelschicht sind kleine, rechteckige Vertiefungen, die Taschen. Diese werden durch Zähne eines Kamms geformt, der vor dem Gießen des Agarose-Gels angebracht wird.

Agarose ist die Reinform eines gewundenen Polysaccharides und wird aus Algen gewonnen. Im Puffer gelöst und erwärmt, ist sie klar und flüssig. Erkalte sie, wird sie trübe und geleeartig fest. Die Polysaccharide bilden dann ein Netzwerk, durch das die DNA während der Elektrophorese wandert. Nach dem Erstarren des Gels wird Puffer in die Elektrophoresekammer eingefüllt und das Gel mit Puffer überspült. Der Puffer stellt den Kontakt zwischen den Elektroden auf beiden Seiten des Gels her. Die Ionen in der Lösung leiten den elektrischen Strom. Außerdem bewahrt die Lösung das Gel vor dem Austrocknen.

Vor dem Auftragen werden die DNA-Proben mit einem farbigen Ladepuffer gemischt. Dieser enthält Glycerin und bewirkt dadurch eine Dichteerhöhung der Probe. Die DNA sammelt sich so auf dem Boden der Taschen. Der Farbannteil im Puffer dient uns als visuelle Kontrolle beim Auftragen in die Taschen (siehe Abb. 7).

Durch Anschließen an eine Gleichspannungsquelle wird ein elektrisches Feld aufgebaut. Die Phosphatgruppen geben der DNA eine negative Ladung, so dass sie vom Minus- zum Pluspol wandert (von der Kathode zur Anode). Die Farbtelchen des Ladepuffers wandern mit der farblosen DNA und geben uns so einen Hinweis auf die Trennstrecke der Elektrophorese. Wenn die Farbfront das Ende des Gels erreicht hat, kann die Elektrophorese beendet werden.

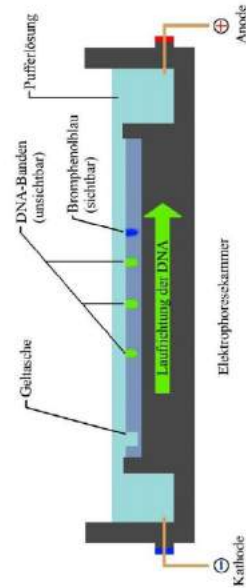


Abb. 7: Schema der Gelelektrophorese

Die DNA-Fragmente sind farblos und im Gel nicht sichtbar. Daher muss die DNA mit geeigneten (Fluoreszenz-)Farbstoffen angefärbt werden. Die übliche Methode ist die Anfärbung des Gels nach der beendeten Gelelektrophorese in einem Farbstoffbad. Alternative Möglichkeiten sind das Einbringen des Farbstoffes direkt in das Gel oder die Anfärbung der DNA mit dem Ladepuffer.

Der Klassiker, am häufigsten verwendete Farbstoff ist das giftige Ethidiumbromid. Mittlerweile sind auch Ersatzstoffe verfügbar, wie z.B. GelRed™ oder SYBR Green. Ethidiumbromid und andere DNA-Farbstoffe lagern sich zwischen den Nukleotiden der DNA ein (interkalieren) und leuchten bei Anregung durch UV-Licht. Dieses Leuchten der Farbstoffmoleküle, welches die Lage der DNA-Banden anzeigt, wird in einer UV-Beleuchtungsapparatur (Transilluminator) fotografiert (siehe Abb. 8).

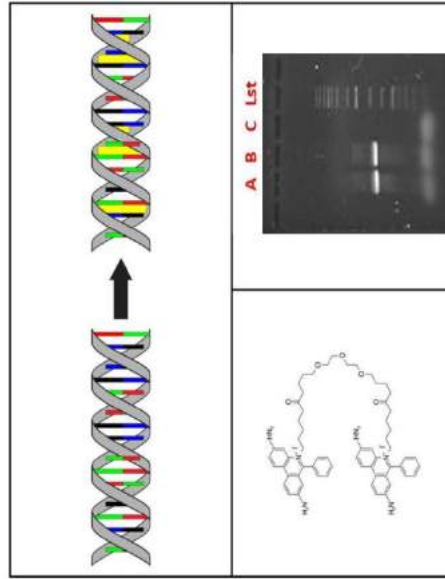


Abb. 8: DNA-Färbung mit GelRed™ und DNA-Bandenmuster

Oben: Schemazeichnung: GelRed™ interkaliert zwischen die Basenpaare der DNA
 Unten links: Strukturformel von GelRed™
 Unten rechts: Angefärbte DNA-Fragmente im Agarosegel
 (A: Eigene Probe, B: Positivkontrolle, C: Negativkontrolle, Lst: Längenstandard)

6. Praxis DNA-Gewinnung (Extraktion)

Es werden die Orchideenarten *Vanilla planifolia*, *Angraecum sesquipedale*, *Cattleya forbesii* und *Dactylophiza purpurella* untersucht. Jede Tischgruppe erhält Blattstücke einer zu identifizierenden Art. Nach der folgenden Anleitung wird die DNA zuerst aus den Zellen aufgeschlossen und dann von Zelltrümmern und Fremdstoffen gereinigt:

Schritt	Tätigkeit
1. Probe homogenisieren	Ausgeteilttes Blattmaterial 5 min. gründlich unter Zugabe von 200 µl Aqua dest. im Mörser zerkleinern.
2. Lysieren der Zellen (Auflösen der Zellmembran)	400 µl PLI dazugeben, verrühren und Homogenat in ein Eppti füllen. Eppti mit Gruppennummer beschriften. 10 µl RNaseA dazu pipettieren. 30 sec. auf dem Vortexer mischen. 10 min. bei 65 °C in den Thermoblock stellen (= inkubieren!).
3. Filtrieren	Nukleospin-Filter (violetter Ring) in ein Sammelröhrchen geben und das Lysat hinein füllen, mit Gruppennummer beschriften. 2 min. bei 11000 rpm (* siehe unten) zentrifugieren. Filter mit Zellresten wegwerfen, Durchfluss in Eppti pipettieren.
4. Bindung vorbereiten	450 µl Bindepuffer PC zum Durchfluss pipettieren, 10 sec. auf dem Vortexer mischen.
5. DNA binden	Nukleospin-Säule (grüner Ring) mit Gruppennummer beschriften, in ein Sammelröhrchen geben und die Probe hinein pipettieren (max. 700 µl). 1 min. bei 11000 rpm zentrifugieren. Durchfluss wegschütten (Mörser als Abfallbehälter nutzen). Nukleospin-Säule in das bereits benutzte Sammelröhrchen geben.
6.1 Waschen	400 µl Waschpuffer PW1 dazu pipettieren. 1 min. bei 11000 rpm zentrifugieren.
6.2 Waschen	Durchfluss wegschütten (Mörser als Abfallbehälter nutzen). Nukleospin-Säule in das bereits benutzte Sammelröhrchen geben. 700 µl Waschpuffer PW2 dazu pipettieren. 1 min. bei 11000 rpm zentrifugieren.
6.3 Waschen	Durchfluss wegschütten (Mörser als Abfallbehälter nutzen). Nukleospin-Säule in das bereits benutzte Sammelröhrchen geben. 200 µl Waschpuffer PW2 dazu pipettieren. 2 min. bei 11000 rpm zentrifugieren.
7. Eluieren (Ablösen der DNA von der Säule)	Durchfluss wegschütten (Mörser als Abfallbehälter nutzen). Eppti mit Gruppennummer beschriften. Nukleospin-Säule hinein stecken. 50 µl warmen Elutionspuffer PE (Thermoblock) darauf pipettieren. 5 min. bei 65 °C inkubieren. 1 min. bei 11000 rpm zentrifugieren. Nukleospin-Säule wegwerfen, Eppti mit der extrahierten DNA verschließen und als Probe A (Seite 8) aufbewahren für die PCR.

*rpm: rounds per minute
Bei der DNA-Extraktion müssen Mittel-, Schutzbrille und Handschuhe getragen werden.

5. Theorie Sanger-Sequenzierung

Zur Ermittlung der Nukleotidfolge in einem DNA-Abschnitt wird das Kettenabbruchverfahren nach Frederick Sanger durchgeführt. Ebenso wie bei der PCR wird DNA durch Hitzeinwirkung denaturiert. Allerdings wird nur eine Primersorte eingesetzt, da die Nukleotide nur von einem DNA-Strang eingebaut werden sollen. Kernidee dieses Verfahrens ist der Einsatz von Abbruchnukleotiden. Diese besitzen am 3'-Atom des Zuckermoleküls keine OH-Gruppe, so dass hier kein weiterer Einbau von Nukleotiden möglich ist. An die Abbruchnukleotide der verschiedenen Basen werden unterschiedliche Fluoreszenzfarbstoffe gekoppelt (siehe Abb. 9).

In einer 'Eintopfreaktion' werden die zu sequenzierende DNA, eine Primersorte, Taq-Polymerase, 'normale' Nukleotide und fluoreszenzmarkierte Abbruchnukleotide gemischt. Dabei werden die Abbruchnukleotide in geringerer Menge zu gegeben als die normalen Nukleotide. Nach dem Zufallsprinzip werden die Abbruchnukleotide eingebaut und es entstehen komplementäre Stränge von unterschiedlicher Länge (siehe Abb. 10).

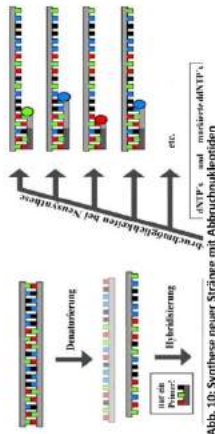


Abb. 10: Synthese neuer Stränge mit Abbruchnukleotiden

Die neu synthetisierten, unterschiedlich langen Fragmente werden durch Kapillarelektrophorese der Größe nach aufgetrennt. Per Laserstrahl wird die Fluoreszenz angeregt, jeder Strang fluoresziert in der Farbe des Abbruchnukleotides an seinem Ende. Diese Farben (Emissionsspektren) werden gemessen und die Basenfolge wird aus dem Chromatogramm abgelesen (siehe Abb. 11).

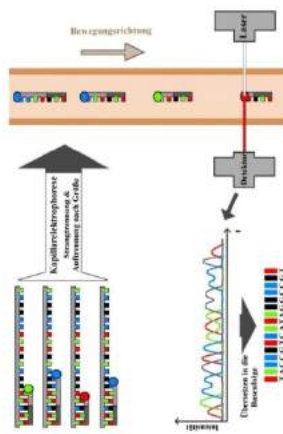


Abb. 11: Kapillarelektrophorese

7. Praxis PCR

Von der extrahierten DNA soll nun das *matK*-Gen mit Hilfe der PCR vermehrt werden. Je nachdem, welche Primer man einsetzt, können verschiedene Zielsequenzen in der PCR vervielfältigt werden. Die Primer sind 15 - 25 Nukleotide lang. Für bestimmte DNA-Abschnitte geeignete Primer werden durch Computerprogramme designed und in speziellen Laboren synthetisiert. Dies ist für jeden der beiden komplementären Stränge notwendig, sodass in die PCR immer ein Mix aus zwei verschiedenen Primern, also einem forward- und einem reverse-Primer, eingesetzt werden muss. Unser Primermix für *matK* hat eine optimale Hybridisierungs-Temperatur bei 53° C. Der Mastermix ist ein Gemisch aus einem Puffer, der die optimalen Reaktionsbedingungen konstant hält, der Taq-Polymerase und Nucleosiden der vier Basen als Bausteine.

In Probe A untersuchen wir unsere zu identifizierende Orchideenart. In Probe B wird die Positivkontrolle untersucht. Sie ist die Probe einer Orchideenart, mit der bereits erfolgreich *mat-K* amplifiziert wurde. Sie sollte in jedem Fall ein PCR-Produkt erzeugen. In Probe C wird die Negativkontrolle untersucht. Hier wird keine DNA, sondern Wasser eingesetzt. Daher kann hier keine DNA amplifiziert werden (siehe Abb. 7). Sollte sie dennoch in der Gelelektrophorese eine Bande hervorgerufen, kann man auf eine Verunreinigung mit DNA schließen. Für die PCR werden besonders kleine dünne Reaktionsgefäße verwendet, die den hohen Temperaturen gegenüber resistent sind und die schnell wechselnden Temperaturen gut weiter leiten.

Folgende Mengen werden in die Eppis pipettiert:

Beschriftung	Untersuchung	Primermix	Mastermix	Steriles Wasser	Lysat der Gruppe	Positive Probe
A	Eigene Probe	2 µl	4 µl	12 µl	2 µl	-
B	Positivkontrolle	2 µl	4 µl	12 µl	-	2 µl
C	Negativkontrolle	2 µl	4 µl	14 µl	-	-

Bitte unbedingt mit der **Gruppennummer** beschriften!

Reaktionsgefäße etwa 10 sec. lang zentrifugieren und in den Thermocycler stellen.

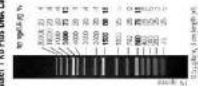
Programmablauf:	15 min. 94 °C (initiale Denaturierung und Aktivierung der Nistatant-Polymerase)
32 Zyklen	30 sec. 94 °C (Denaturierung)
	40 sec. 53 °C (Hybridisierung)
	40 sec. 72 °C (Polymerisation)
	1 min. 72 °C (Endpolymerisation)
	Gesamt: etwa 90 min.

8. Praxis Gelelektrophorese

Mit der Gelelektrophorese kontrollieren wir, ob in der PCR tatsächlich ein DNA-Fragment vervielfältigt wurde. Wir erwarten die Entstehung einer Bande bei Probe A und B und keiner Bande bei Probe C.

Schritt	Tätigkeit
1. Vorbereitung der Gelkammer	Taschenklammer auf der mittigen Vertiefung der Gelkammer mit 1 cm Abstand zum oberen Rand platzieren. Auf richtige Ausrichtung achten: Rot = Anode (Pluspol), schwarz = Kathode (Minuspol). Flüssige heiße Agarose hineingießen, bis die Vertiefung voll ist.
2. Gel gießen	Nach Erstarren des Gels (etwa nach 20 min.): Gel mit TBE-Puffer überfluten, bis es soeben bedeckt ist. kamm ziehen.
3. Puffer auftragen	Im Mastermix für die PCR war bereits ein grüner Ladepuffer enthalten. Durch Glycerin sinken die Proben in die Geltaschen, durch die Farbfarbstoffe wird eine Lauffront im Gel sichtbar.
4. Vorbereiten der Proben zum Beladen des Gels	2 Gruppen teilen sich ein Gel. Die Gruppen tragen von links nach rechts die eigene Probe (A), die Positivprobe (B), die Negativprobe (C) und einen mit Ladepuffer vermischten Längensstandard* (LSt) auf. - 8 µl an der Pipette einstellen. - Probe aufnehmen, Pipettenspitze über Ziel-Gelkammer in Pufferlösung halten. - Langsam Probe aus Pipettenspitze in Tasche pipettieren. - Pipettenknopf gedrückt halten, bis Spitze aus Puffer herausgezogen ist. - Bei jeder Probe Pipettenspitze wechseln. - Neue Probe aufnehmen.
5. Aufräumen der Proben	Deckel der Elektrophoresekammer schließen. 30 min. lang Spannung anlegen (110 Volt).
6. Starten des Gellaufs	30 min. Färbung des Gels in Gelred. Fotografie des Gels unter UV-Licht. Hochladen des Fotos auf den CeBitrec-Server: https://www.cebitrec.uni-bielefeld.de/pdata/..... (Tagesdatum)
7. Dokumentation (durch die Betreuer)	

Gelelektrophorese: 1 kb Plus DNA Ladder



*Der Längensstandard enthält ein Gemisch von DNA-Fragmenten bekannter Längen. Durch den Abgleich der Banden der untersuchten Proben mit den definierten Banden des Längensstandards lässt sich die Größe der entstandenen Fragmente bestimmen (siehe Abb. 12).

Abb. 12: Längensstandard (Gemisch aus unterschiedlich langen DNA-Fragmenten)

9. Anleitung zur bioinformatischen Auswertung

Auf dem Gebild sollten eine Bande bei der eigenen Probe, eine Bande bei der Postivkontrolle und keine Bande bei der Negativkontrolle zu sehen sein (vgl. Abb. 7). In diesem Fall waren die DNA-Extraktion und die mark-Amplifikation erfolgreich und die Probe kann zur Sequenzierung gegeben werden. Da Sequenzierautomaten hochkomplex und sehr teuer sind, ist es üblich, dass Auftragslabore diesen Versuchsschritt übernehmen.

Die Auftragsformulare werden online ausgefüllt und die Ergebnisse innerhalb weniger Tage auf einen Server hochgeladen. Die SEQ-Dateien zeigen die Basenfolge als Buchstaben an. Sie lassen sich an jedem Computer mit dem Texteditor öffnen (Abb.13).



Abb. 13: SEQ-Datei mit der ermittelten Buchstabenfolge

Diese Sequenz kann nun in einer Datenbank abgeglichen werden. Auf der Internetseite 'Boldsystems' (<http://www.boldsystems.org/>) sind bis heute bereits über 5 Millionen Sequenzen als Barcodes hinterlegt. Hier gibt es eine Suchmaschine zum Vergleich der selbst ermittelten mit den hinterlegten Sequenzen. Außerdem werden auch weitere Informationen zum Barcoding wie Statistiken und Literatur angeboten. Hier wird das Ziel verfolgt, die Biodiversität der Erde unter Anwendung von Barcodes zu erfassen (Abb. 14).



Abb. 14: Startseite von BOLD SYSTEMS



Abb. 15: Suchmaschine unter 'Identifications'

Unter dem Menüpunkt 'Identifications' klickt man 'Plant identification' an. In ein Suchfenster kann nun die Basenfolge des mark-Gens hineinkopiert werden und der Abgleich gestartet werden (Abb. 15).

Nach wenigen Sekunden wird eine nach den größten Übereinstimmungen sortierte Trefferliste angezeigt. Je höher die Übereinstimmung der Basen ist, desto wahrscheinlicher handelt es sich um die entsprechende Art (Abb. 16). Hier wird als oberster Treffer *Angraecum sesquipedale* angezeigt.



Abb. 16: Trefferliste nach Sequenzabgleich

Die 'published' gestellten Einträge können angeklickt werden und bieten Einblick in die Gegenüberstellung (das 'Alignment') der Probe mit der eingetragenen Referenz. Hier wird deutlich, an welcher Stelle gegebenenfalls eine Mutation stattgefunden hat (Abb. 17).



Abb. 17: Gegenüberstellung der Basen

Scrollt man weiter herunter, so findet man die Darstellung der Basenfolge als farbigen Barcode (Abb. 18).



Abb. 18: DNA-Barcode von *Angraecum sesquipedale*

**Anhang 3 Kreuztabellen Teilstudie 1 ‚Neue Workshops‘
Stichprobe Akzeptanz 637 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

			LkGk		Gesamt
			Gk	Lk	
Treatment	Barcoding	Anzahl	16	87	103
		% innerhalb von Treatment	15,5%	84,5%	100,0%
	Lambda	Anzahl	37	226	263
		% innerhalb von Treatment	14,1%	85,9%	100,0%
	Tierarten	Anzahl	73	198	271
		% innerhalb von Treatment	26,9%	73,1%	100,0%
Gesamt	Anzahl	126	511	637	
	% innerhalb von Treatment	19,8%	80,2%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

			Schulform			Gesamt
			Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg	
Treatment	Barcoding	Anzahl	78	0	25	103
		% innerhalb von Treatment	75,7%	0,0%	24,3%	100,0%
	Lambda	Anzahl	201	44	18	263
		% innerhalb von Treatment	76,4%	16,7%	6,8%	100,0%
	Tierarten	Anzahl	209	49	13	271
		% innerhalb von Treatment	77,1%	18,1%	4,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl	488	93	56	637	
	% innerhalb von Treatment	76,6%	14,6%	8,8%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

			Geschlecht		Gesamt
			weiblich	männlich	
Treatment	Barcoding	Anzahl	57	45	102
		% innerhalb von Treatment	55,9%	44,1%	100,0%
	Lambda	Anzahl	154	108	262
		% innerhalb von Treatment	58,8%	41,2%	100,0%
	Tierarten	Anzahl	172	98	270
		% innerhalb von Treatment	63,7%	36,3%	100,0%
Gesamt	Anzahl	383	251	634	
	% innerhalb von Treatment	60,4%	39,6%	100,0%	

**Anhang 4 Kreuztabellen Teilstudie 1 ‚Neue Workshops‘
Stichprobe Wissen & Motivation 595 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

			LkGk		Gesamt
			Gk	Lk	
Treatment	Barcoding	Anzahl	118	243	361
		% innerhalb von Treatment	32,7%	67,3%	100,0%
	Lambda	Anzahl	35	70	105
		% innerhalb von Treatment	33,3%	66,7%	100,0%
	Tierarten	Anzahl	39	90	129
		% innerhalb von Treatment	30,2%	69,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl	192	403	595	
	% innerhalb von Treatment	32,3%	67,7%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

			Schulform			Gesamt
			Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg	
Treatment	Barcoding	Anzahl	244	90	27	361
		% innerhalb von Treatment	67,6%	24,9%	7,5%	100,0%
	Lambda	Anzahl	91	14	0	105
		% innerhalb von Treatment	86,7%	13,3%	0,0%	100,0%
	Tierarten	Anzahl	72	57	0	129
		% innerhalb von Treatment	55,8%	44,2%	0,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl	407	161	27	595	
	% innerhalb von Treatment	68,4%	27,1%	4,5%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

			Geschlecht		Gesamt
			weiblich	männlich	
Treatment	Barcoding	Anzahl	245	102	347
		% innerhalb von Treatment	70,6%	29,4%	100,0%
	Lambda	Anzahl	59	44	103
		% innerhalb von Treatment	57,3%	42,7%	100,0%
	Tierarten	Anzahl	76	47	123
		% innerhalb von Treatment	61,8%	38,2%	100,0%
Gesamt	Anzahl	380	193	573	
	% innerhalb von Treatment	66,3%	33,7%	100,0%	

**Anhang 5 Kreuztabellen Teilstudie 1 ‚Neue Workshops‘
Stichprobe Interesse 149 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

			LkGk	
			Lk	Gesamt
Treatment	Lambda	Anzahl	80	80
		% innerhalb von Treatment	100,0%	100,0%
	Tieraten	Anzahl	69	69
		% innerhalb von Treatment	100,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl		149	149
	% innerhalb von Treatment		100,0%	100,0%

Treatment * Schulform Kreuztabelle

			Schulform		Gesamt
			Gymnasium	Gesamtschule	
Treatment	Lambda	Anzahl	55	25	80
		% innerhalb von Treatment	68,8%	31,3%	100,0%
	Tieraten	Anzahl	56	13	69
		% innerhalb von Treatment	81,2%	18,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl		111	38	149
	% innerhalb von Treatment		74,5%	25,5%	100,0%

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

			Geschlecht		Gesamt
			weiblich	männlich	
Treatment	Lambda	Anzahl	45	33	78
		% innerhalb von Treatment	57,7%	42,3%	100,0%
	Tieraten	Anzahl	42	24	66
		% innerhalb von Treatment	63,6%	36,4%	100,0%
Gesamt	Anzahl		87	57	144
	% innerhalb von Treatment		60,4%	39,6%	100,0%

Anhang 6 Wissenstest für die Workshops ‚Tierarten‘ und ‚Lambda‘

Kürzel	Item und Antwortmöglichkeiten	Schwierigkeitsindex W_Nach
WVor_1 WNach_1 FU_1	Die Methode der Restriktionsspaltung ist sinnvoll, um... ... das entstehende Bandenmuster mit denen anderer Organismen zu vergleichen. ...die Basensequenzen von DNA-Abschnitten zu ermitteln. ... Organismen zu identifizieren, wenn bekannte Referenzen vorliegen	30,7 %
WVor_2 WNach_2 FU_2	Welche Komponenten werden für den Reaktionsmix bei der Restriktionsspaltung unbedingt benötigt? Restriktionsenzyme DNA Ladepuffer Bromphenolblau Marker Taq-Polymerase Restriktionspuffer Glycerin Laufpuffer	37,1 %
WVor_3 WNach_3 FU_3	Die Anzahl und die Größe von Restriktionsfragmenten hängt ab von... ... der Position der Erkennungssequenzen in der DNA. ... der Anzahl der Erkennungssequenzen. ...der optimalen Spaltungstemperatur von 20° C.	38,5 %
WVor_4 WNach_4 FU_4	Welchen Effekt hat eine etwas zu niedrige Temperatur im Thermoblock bei der Restriktionsspaltung? Die Reaktion kann gar nicht stattfinden. Die Reaktion läuft langsamer ab. Die Enzyme können denaturieren.	46,7 %
WVor_5 WNach_5 FU_5	Welche Komponenten werden für die PCR unbedingt benötigt? DNA-Polymerase DNA ‚Marker‘ Nukleotide Primermix PCR-Puffer Ladepuffer Laufpuffer Bromphenolblau	26,8 %
WVor_6 WNach_6 FU_6	Wie heißt der Schritt bei der PCR, bei dem die komplementären Stränge in Einzelstränge getrennt werden?	86,9 %
WVor_7 WNach_7 FU_7	Bei welcher Temperatur geschieht dieser Schritt? 120°C 72°C 94°C	92,3 %
WVor_8 WNach_8 FU_8	Wie heißt der Schritt in der PCR, bei dem die Primer binden?	72,2 %
WVor_9 WNach_9 FU_9	Bei welcher Temperatur geschieht dieser Schritt? 50-60°C 72°C 94°C	90,7 %
WVor_10 WNach_10 FU_10	Wie heißt der Schritt in der PCR, bei dem die neuen komplementären DNA-Stränge synthetisiert werden?	66,4 %
WVor_11 WNach_11 FU_11	Bei welcher Temperatur geschieht dieser Schritt? 50-60°C 72°C 94°C	88,8 %
WVor_12 WNach_12 FU_12	Mithilfe der Polymerase-Kettenreaktion (PCR)... ... lassen sich geringe Mengen DNA vervielfältigen. ... lassen sich bestimmte DNA-Abschnitte gezielt vervielfältigen. ...kann man intakte Gesamt-DNA aus Zellen isolieren.	45,9 %
WVor_13 WNach_13 FU_13	Bei der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) ... hängt es vom Primerpaar ab, welcher DNA-Abschnitt vervielfältigt wird. ...wird die gesamte extrahierte DNA exponentiell vervielfältigt. ... werden bei jedem Zyklus die entstandenen DNA-Fragmente erneut verdoppelt.	23,6 %
WVor_14 WNach_14 FU_14	Welcher Fehler könnte passiert sein, wenn im Gelbild nach der PCR in einer Spur keine Bande(n) sichtbar ist (sind)? Die DNA wurde in dieser Probe vergessen. Die Geltasche wurde durchstoßen und die Probe floss unter das Gel. Die DNA-Anfärbung hat nicht funktioniert.	27,0 %
WVor_15 WNach_15 FU_15	Die DNA wandert zum Pluspol der Elektrophoresekammer, weil sie ein negativ geladenes Phosphatrückgrat hat. ...die Basen negativ geladen sind.	66,3 %

	...der Ladepuffer negativ geladen ist.	
WVor_16 WNach_16 FU_16	Die optimale Dauer des Elektrophoreselaufes hängt ab von... ...der Konzentration/Zusammensetzung des Gels. ...der eingestellten Voltzahl am Spannungsgeber. ...der Menge der in die Taschen pipettierten DNA.	19,5 %
Gesamt		67,9 %
Reliabilität 1	0,662	

Anhang 7 Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM, Wilde et al., 2009)

Items mit Variablen		
KIM_Int_1	1	Das Experimentieren am Kurstag hat mir Spaß gemacht.
KIM_Komp_1	2	Mit meiner Leistung bin ich wirklich zufrieden.
KIM_Wahl_1	3	Ich konnte meine Tätigkeiten am Kurstag selbst steuern.
KIM_Druck_1_inv	4	Ich fühlte mich während meiner Tätigkeiten am Kurstag unter Druck.
KIM_Int_2	5	Ich fand die Tätigkeiten am Kurstag sehr interessant.
KIM_Komp_2	6	Beim Experimentieren stellte ich mich sehr geschickt an.
KIM_Wahl_2	7	Beim Experimentieren konnte ich wählen, wie ich es mache.
KIM_Druck_2_inv	8	Ich fühlte mich während der Tätigkeiten am Kurstag sehr angespannt.
KIM_Int_3	9	Die Tätigkeiten am Kurstag waren unterhaltsam.
KIM_Druck_3_inv	10	Ich war ängstlich, während ich an den Aufgaben arbeitete.
KIM_Komp_3	11	Ich glaube, ich war bei den Tätigkeiten am Kurstag ziemlich gut.
KIM_Wahl_3	12	Bei den Tätigkeiten am Kurstag konnte ich so vorgehen, wie ich es wollte.

**Anhang 8 Situational Interest Scale (SIS) und individuelles Interesse
(Linnenbrink-Garcia et. al, 2013)**

Items mit Variablen		
Int_T_1	1	Der Workshop war unterhaltsam.
Int_I_1	2	Es ist für mich nützlich, über Naturwissenschaften Bescheid zu wissen
Int_V_1	3	Wir haben beim Workshop wertvolle Dinge gelernt.
Int_F_1	4	Ich fand den Kurstag im teutolab interessant.
Int_T_2	5	Die Betreuer beim Workshop haben mich begeistert.
Int_I_2	6	Ich genieße es, naturwissenschaftlich zu arbeiten.
Int_F_2	7	Ich mag das, was ich beim Workshop gelernt haben.
Int_V_2	8	Was ich beim Workshop gemacht haben, ist mir wichtig.
Int_T_3	9	Ich war beim Workshop vollkommen aufmerksam.
Int_F_3	10	Der Workshop war spannend.
Int_F_4	11	Es fasziniert mich, was ich im beim Workshop gelernt habe.
Int_I_3	12	Ich mag Naturwissenschaften.
Int_F_5	13	Ich habe den Workshop genossen.
Int_T_4	14	Es war so spannend, dass es leicht fiel, aufzupassen und mitzumachen.
Int_I_4	15	Naturwissenschaften sind spannend für mich.
Int_V_3	16	Was ich beim Workshop gelernt habe, ist für mich nützlich zu wissen.
Int_T_5_inv	17	Der Workshop zog sich unendlich in die Länge
Int_I_5	18	Ich genieße das Fachgebiet Naturwissenschaften.
Int_V_4	19	Was ich beim Workshop gelernt habe, kann im realen Leben angewendet werden.
Int_I_6	20	Naturwissenschaften helfen mir in meinem täglichen Leben außerhalb der Schule.

Anhang 9 Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf die Akzeptanz

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Zeugnischnitt	(J)Kategorie Zeugnischnitt	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall Untergrenze	Obergrenze
Sub_Akz_Aff	1,0 bis 2,1	2,2 bis 2,5	,0976	,09058	,529	-,1158	,3109
		2,6 bis 5,0	,2717*	,09154	,009	,0560	,4873
	2,2 bis 2,5	1,0 bis 2,1	-,0976	,09058	,529	-,3109	,1158
		2,6 bis 5,0	,1741	,09198	,143	-,0426	,3908
	2,6 bis 5,0	1,0 bis 2,1	-,2717*	,09154	,009	-,4873	-,0560
		2,2 bis 2,5	-,1741	,09198	,143	-,3908	,0426
Sub_Akz_Eff	1,0 bis 2,1	2,2 bis 2,5	,0818	,13388	,814	-,2336	,3972
		2,6 bis 5,0	,1663	,13529	,437	-,1524	,4850
	2,2 bis 2,5	1,0 bis 2,1	-,0818	,13388	,814	-,3972	,2336
		2,6 bis 5,0	,0845	,13595	,809	-,2358	,4047
	2,6 bis 5,0	1,0 bis 2,1	-,1663	,13529	,437	-,4850	,1524
		2,2 bis 2,5	-,0845	,13595	,809	-,4047	,2358
Sub_Akz_Qu	1,0 bis 2,1	2,2 bis 2,5	,1672	,09222	,167	-,0500	,3845
		2,6 bis 5,0	,2456*	,09320	,024	,0260	,4651
	2,2 bis 2,5	1,0 bis 2,1	-,1672	,09222	,167	-,3845	,0500
		2,6 bis 5,0	,0784	,09365	,681	-,1423	,2990
	2,6 bis 5,0	1,0 bis 2,1	-,2456*	,09320	,024	-,4651	-,0260
		2,2 bis 2,5	-,0784	,09365	,681	-,2990	,1423

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_Akz

Tukey-HSD

(I)Kategorie Zeugnischnitt	(J)Kategorie Zeugnischnitt	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall Untergrenze	Obergrenze
1,0 bis 2,1	2,2 bis 2,5	,1155	,07994	,319	-,0728	,3038
	2,6 bis 5,0	,2278*	,08078	,014	,0375	,4181
2,2 bis 2,5	1,0 bis 2,1	-,1155	,07994	,319	-,3038	,0728
	2,6 bis 5,0	,1123	,08118	,351	-,0789	,3035
2,6 bis 5,0	1,0 bis 2,1	-,2278*	,08078	,014	-,4181	-,0375
	2,2 bis 2,5	-,1123	,08118	,351	-,3035	,0789

Anhang 10 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Akzeptanz

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Akz_Aff	12-15	10-11	-,0360	,09131	,918	-,2511	,1790
		0-9	,1922	,08667	,070	-,0119	,3963
	10-11	12-15	,0360	,09131	,918	-,1790	,2511
		0-9	,2282*	,08741	,026	,0224	,4341
	0-9	12-15	-,1922	,08667	,070	-,3963	,0119
		10-11	-,2282*	,08741	,026	-,4341	-,0224
Sub_Akz_Eff	12-15	10-11	-,1149	,13178	,658	-,4253	,1954
		0-9	,3330*	,12509	,022	,0384	,6276
	10-11	12-15	,1149	,13178	,658	-,1954	,4253
		0-9	,4479*	,12617	,001	,1508	,7450
	0-9	12-15	-,3330*	,12509	,022	-,6276	-,0384
		10-11	-,4479*	,12617	,001	-,7450	-,1508
Sub_Akz_Qu	12-15	10-11	,0344	,09253	,926	-,1835	,2524
		0-9	,1984	,08783	,063	-,0085	,4052
	10-11	12-15	-,0344	,09253	,926	-,2524	,1835
		0-9	,1639	,08859	,155	-,0447	,3726
	0-9	12-15	-,1984	,08783	,063	-,4052	,0085
		10-11	-,1639	,08859	,155	-,3726	,0447

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Akz_Aff	12-15	10-11	-,0360	,09131	,918	-,2511	,1790
		0-9	,1922	,08667	,070	-,0119	,3963
	10-11	12-15	,0360	,09131	,918	-,1790	,2511
		0-9	,2282*	,08741	,026	,0224	,4341
	0-9	12-15	-,1922	,08667	,070	-,3963	,0119
		10-11	-,2282*	,08741	,026	-,4341	-,0224
Sub_Akz_Eff	12-15	10-11	-,1149	,13178	,658	-,4253	,1954
		0-9	,3330*	,12509	,022	,0384	,6276
	10-11	12-15	,1149	,13178	,658	-,1954	,4253
		0-9	,4479*	,12617	,001	,1508	,7450
	0-9	12-15	-,3330*	,12509	,022	-,6276	-,0384
		10-11	-,4479*	,12617	,001	-,7450	-,1508
Sub_Akz_Qu	12-15	10-11	,0344	,09253	,926	-,1835	,2524
		0-9	,1984	,08783	,063	-,0085	,4052
	10-11	12-15	-,0344	,09253	,926	-,2524	,1835
		0-9	,1639	,08859	,155	-,0447	,3726
	0-9	12-15	-,1984	,08783	,063	-,4052	,0085
		10-11	-,1639	,08859	,155	-,3726	,0447

Anhang 11 Post-hoc-Test: Einfluss des Themas auf das Wissen

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Summe_WVor_Prozent

Tukey-HSD

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Barcoding	Lambda	4,5056*	1,65768	,019	,6107	8,4005
	Tierarten	,1713	1,53358	,993	-3,4321	3,7746
Lambda	Barcoding	-4,5056*	1,65768	,019	-8,4005	-,6107
	Tierarten	-4,3343	1,96505	,071	-8,9515	,2828
Tierarten	Barcoding	-,1713	1,53358	,993	-3,7746	3,4321
	Lambda	4,3343	1,96505	,071	-,2828	8,9515

Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Summe_WNach_Prozent

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Korrigiertes Modell	3696,323 ^a	2	1848,161	10,386	,000	,034
Konstanter Term	2147649,879	1	2147649,879	12068,974	,000	,953
Treatment	3696,323	2	1848,161	10,386	,000	,034
Fehler	105345,220	592	177,948			
Gesamt	3069359,716	595				
Korrigierte Gesamtvariation	109041,543	594				

Anhang 12 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Motivation

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Int	12 bis 15	10 bis 11	,2935*	,11133	,024	,0308	,5562
		0 bis 9	,3357*	,10639	,005	,0846	,5868
	10 bis 11	12 bis 15	-,2935*	,11133	,024	-,5562	-,0308
		0 bis 9	,0422	,10096	,908	-,1961	,2804
	0 bis 9	12 bis 15	-,3357*	,10639	,005	-,5868	-,0846
		10 bis 11	-,0422	,10096	,908	-,2804	,1961
Sub_Druck	12 bis 15	10 bis 11	,0250	,08854	,957	-,1839	,2339
		0 bis 9	,1210	,08461	,327	-,0787	,3206
	10 bis 11	12 bis 15	-,0250	,08854	,957	-,2339	,1839
		0 bis 9	,0960	,08029	,457	-,0935	,2854
	0 bis 9	12 bis 15	-,1210	,08461	,327	-,3206	,0787
		10 bis 11	-,0960	,08029	,457	-,2854	,0935
Sub_Komp	12 bis 15	10 bis 11	,2546	,11923	,085	-,0267	,5360
		0 bis 9	,3271*	,11394	,012	,0582	,5960
	10 bis 11	12 bis 15	-,2546	,11923	,085	-,5360	,0267
		0 bis 9	,0725	,10812	,781	-,1827	,3276
	0 bis 9	12 bis 15	-,3271*	,11394	,012	-,5960	-,0582
		10 bis 11	-,0725	,10812	,781	-,3276	,1827
Sub_Wahl	12 bis 15	10 bis 11	,4616*	,13784	,003	,1363	,7869
		0 bis 9	,3106	,13172	,050	-,0002	,6215
	10 bis 11	12 bis 15	-,4616*	,13784	,003	-,7869	-,1363
		0 bis 9	-,1509	,12499	,450	-,4459	,1440
	0 bis 9	12 bis 15	-,3106	,13172	,050	-,6215	,0002
		10 bis 11	,1509	,12499	,450	-,1440	,4459

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_KIM

Tukey-HSD

(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
12 bis 15	10 bis 11	,2587*	,07710	,003	,0767	,4406
	0 bis 9	,2736*	,07367	,001	,0997	,4475
10 bis 11	12 bis 15	-,2587*	,07710	,003	-,4406	-,0767
	0 bis 9	,0149	,06991	,975	-,1501	,1799
0 bis 9	12 bis 15	-,2736*	,07367	,001	-,4475	-,0997
	10 bis 11	-,0149	,06991	,975	-,1799	,1501

Anhang 13 Post-hoc-Test: Einfluss des Themas auf die Motivation

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Int	Barcoding	Lambda	,2422*	,07141	,002	,0744	,4100
		Tierarten	-,0362	,06607	,848	-,1914	,1190
	Lambda	Barcoding	-,2422*	,07141	,002	-,4100	-,0744
		Tierarten	-,2784*	,08466	,003	-,4773	-,0795
	Tierarten	Barcoding	,0362	,06607	,848	-,1190	,1914
		Lambda	,2784*	,08466	,003	,0795	,4773
Sub_Druck	Barcoding	Lambda	,0886	,06994	,415	-,0757	,2529
		Tierarten	,2335*	,06470	,001	,0815	,3856
	Lambda	Barcoding	-,0886	,06994	,415	-,2529	,0757
		Tierarten	,1450	,08291	,188	-,0498	,3398
	Tierarten	Barcoding	-,2335*	,06470	,001	-,3856	-,0815
		Lambda	-,1450	,08291	,188	-,3398	,0498
Sub_Komp	Barcoding	Lambda	,1824*	,07373	,036	,0092	,3556
		Tierarten	,0176	,06821	,964	-,1427	,1778
	Lambda	Barcoding	-,1824*	,07373	,036	-,3556	-,0092
		Tierarten	-,1648	,08740	,144	-,3702	,0405
	Tierarten	Barcoding	-,0176	,06821	,964	-,1778	,1427
		Lambda	,1648	,08740	,144	-,0405	,3702
Sub_Wahl	Barcoding	Lambda	,1451	,09288	,263	-,0732	,3633
		Tierarten	,0398	,08593	,888	-,1621	,2417
	Lambda	Barcoding	-,1451	,09288	,263	-,3633	,0732
		Tierarten	-,1052	,11011	,605	-,3640	,1535
	Tierarten	Barcoding	-,0398	,08593	,888	-,2417	,1621
		Lambda	,1052	,11011	,605	-,1535	,3640

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_KIM

Tukey-HSD

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Barcoding	Lambda	,1646*	,04933	,003	,0487	,2805
	Tierarten	,0637	,04563	,344	-,0435	,1709
Lambda	Barcoding	-,1646*	,04933	,003	-,2805	-,0487
	Tierarten	-,1009	,05847	,197	-,2383	,0365
Tierarten	Barcoding	-,0637	,04563	,344	-,1709	,0435
	Lambda	,1009	,05847	,197	-,0365	,2383

Anhang 14 PowerPoint-Präsentation zum Workshop ,Barcoding von Orchideen‘

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie



Copyright: Rene Weiritschke

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie




CeBiTec – Centrum für Biotechnologie




Schülerlabor *teutolab*-biotechnologie

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie



Artenvielfalt erkennen -



Barcoding von Orchideen

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie



Artenvielfalt erkennen – Barcoding von Orchideen

Projekttag

Frage:

Von welcher Orchideenart stammt eine unbekannte Blattprobe?

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie



Pflanze I
Vanilla planifolia



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie





Pflanze II

Angraecum sesquipedale

bestäubt durch *Xanthopan morgani forma praedicta*



Pflanze III

Cattleya forbesii

Cattleya am Naturstandort in Brasilien



Pflanze IV

Dactylorhiza purpurella



Dactylorhiza am Naturstandort in Deutschland

Biodiversität erhalten - Biodiversität erfassen

Wie?

1753

- Carl von Linné fasst Organismen anhand ihrer Form und Struktur (= Morphologie) zusammen
- Er schafft ein eindeutiges Benennungssystem (Binäre Nomenklatur, z. B. *Vanilla planifolia*)
- Er schafft eine systematische Ordnung (Taxonomie) für Organismen



Biodiversität erhalten - Biodiversität erfassen

Wie?

Heute

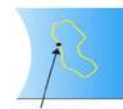
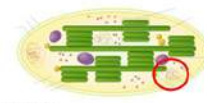
- Die binäre Nomenklatur gilt weiterhin
- Passende DNA-Abschnitte können zur Identifikation von Arten fungieren
- Ebenso wie beim aus dem Einzelhandel bekannten UPC ist ein vergleichbares Codesystem für Organismen möglich.
- Hier sind die Basen A, T, G und C als farbige Striche dargestellt.
→ **Abfolge von Basen** = Kennzeichen für bestimmte Arten



Biodiversität erhalten - Biodiversität erfassen

Wie?

- Geeigneter DNA-Abschnitt muss...
deutliche **Unterschiede zwischen** Arten aufweisen, aber **innerhalb** einer Art **konstant** sein
- Geeignet bei Tieren: Cytochrom-c-Oxidase (*COI*)-Gen (mitochondrial)
- Geeignet bei Pflanzen: Maturase K (*matK*)-Gen und Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase (*rbcl*)-Gen
- **Vorteil:** Befinden sich auf dem ringförmigen Chromosom der Chloroplasten
→ Liegen in hoher Kopienzahl vor



- werden im haploiden Modus vererbt
- unterliegen nicht der Rekombination

Biodiversität erhalten - Biodiversität erfassen
Wie?

1993: Unterzeichnung der **Convention on Biological Diversity** in Rio de Janeiro durch 168 Länder

2003: Gründung des **International Barcode of Life-Programs (IBOL)**

Ziele:

- Erfassung aller Eukaryoten der Erde mit DNA-Barcodes
- Etablierung einer elektronischen Datenbank
- Zusammentragen von Wissen über Spezies gemeinsam mit Taxonomen



Biodiversität erkennen und erhalten

Orchideen sind durch das Washingtoner Artenschutzabkommen (WAA) streng geschützt.

Der Handel mit besonders bedrohten Arten ist vollständig untersagt.

Illegale Importe müssen vom Zoll erkannt werden. Sie könnten durch Barcoding sicherer erkannt werden.



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

DNA-Extraktion

Gelelektrophorese

Sequenzierung

Anfärbung der DNA

Abgleich in Datenbank

PCR

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Barcoding – wie? Praxis

➤ **Aufgabe:**
Testet durch Barcoding mit dem Markergen *matk*, von welcher Orchideenart die Blattprobe Eurer Tischgruppe stammt.

➤ **Organisatorischer Ablauf:**
Jede Tischgruppe erhält Blattstückchen von entweder *Vanilla planifolia* oder *Angraecum sesquipedale* oder *Cattleya forbesii* oder *Dact. purpurella*

➤ Gruppe 1 + 5 erhalten Probe 1, Gruppe 2 + 6 erhalten Probe 2, Gruppe 3 + 7 erhalten Probe 3, Gruppe 4 + 8 erhalten Probe 4

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Who is who?

Vermutungen? Hypothesen?



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Sicherheitsbelehrung



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Zentrifugen



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Thermoblock



Vortex



Praxis

Thermocycler



Spannungsgeber



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Kasten mit sterilen Eppis



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Mikropipetten



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Pipettierübung:

20er Pipette
 → 4 µl in ein Eppi pipettieren
 → 2 µl zu den 4 µl in dasselbe Eppi pipettieren
 → Zentrifugieren (Tischzentrifuge)
 → zur Kontrolle die 6 µl wieder zurück pipettieren

1000er Pipette
 → 400 µl in ein Eppi pipettieren
 → 200 µl zu den 400 µl in dasselbe Eppi pipettieren
 → Zentrifugieren (Tischzentrifuge)
 → zur Kontrolle die 600 µl wieder zurück pipettieren

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Barcoding – wie? Praxis

1. **Extraktion der DNA** aus den Zellen der Blätter
2. Starke Vermehrung (**Amplifikation**) der Markergene mit Hilfe der **PCR**
3. **Gelelektrophorese** zur Kontrolle, ob DNA-Stücke in Probe enthalten sind
4. **Sequenzierung** der Proben durch ein Auftragslabor
5. **Auswertung** exemplarisch im Schülerlabor (eigene Ergebnisse in der Schule)

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Wie können wir DNA extrahieren?

Wir benutzen das **Nuclespin Plant II-Kit** der Firma **Macherey & Nagel**

Genomic DNA from plant
 User manual
 Nuclespin® Plant II
 Nuclespin® Plant II Mini
 Nuclespin® Plant II Maxi

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Prinzip der DNA-Extraktion

- a) Homogenisieren der Proben im Mörser
- b) Aufschluss der Zellen durch Lysepuffer und Hitzeinwirkung
- c) Grobreinigung durch Filtrieren
- d) Feinreinigung unter Verwendung einer Kieselsäuremembran. DNA bindet, Verunreinigungen werden durch mehrmaliges Waschen mit verschiedenen Lösungen entfernt
- e) Lösen der DNA aus der Membran durch Elutionspuffer

NucleSpin® Plant II procedure

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Die Sammelröhrchen nicht wegwerfen, sie werden mehrmals benutzt!

DNA-Extraktion – Praxis

Kittel, Handschuhe und Schutzbrille tragen !

Schritt	Tätigkeit
1. Homogenisieren der Probe	Zur Blattprobe 200 µl Aqua dest. pipettieren, 5 min.
2. Lysieren der Zellen (Auflösen der Zellmembran)	400 µl PL1 dazugeben, verrühren und alles ins Eppi füllen (mit Spatel oder Pipette), mit Gruppennummer beschriften! 10 µl RNAse dazugeben, 30 sec. auf dem Vortexer mischen 10 min. bei 65°C in den Thermoblock stellen. Zeit selbst kontrollieren
3. Filtrieren	Nucleospin-Filter in Sammelröhrchen stecken im Gr.nr beschriften! Lysat vollständig hinein kippen, (ggf. mit Spatel nachfüllen) 2 min. zentrifugieren bei 11000 rpm Filter wegwerfen, Durchfluss in Eppi pipettieren
4. Bindung vorbereiten	450 µl PC dazu pipettieren, 10 sec. auf dem Vortexer mischen
5. DNA binden	Nucleospin-Säule in benutztes Sammelröhrchen stecken, mit Gruppennummer beschriften! Probe hinein pipettieren (max. 700 µl) 1 min. zentrifugieren bei 11000 rpm Durchfluss wegschütten (im Mörser sammeln)

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Schritt	Tätigkeit
6.1 Waschen	Nucleospin-Säule in benutztes Sammelröhrchen geben 400 µl PW1 dazu pipettieren, mit Gruppennummer beschriften! 1 min. zentrifugieren bei 11000 rpm Durchfluss wegschütten (im Mörser sammeln)
6.2 Waschen	Nucleospin-Säule in benutztes Sammelröhrchen geben 700 µl PW2 dazu pipettieren 1 min. zentrifugieren bei 11000 rpm Durchfluss wegschütten (im Mörser sammeln)
6.3 Waschen	Nucleospin-Säule in benutztes Sammelröhrchen geben 200 µl PW2 dazu pipettieren 2 min. zentrifugieren Durchfluss wegschütten (im Mörser sammeln)
7. Eluieren (Ablösen der DNA von der Säule)	Nucleospin-Säule in Eppi hinein geben mit Gruppennummer beschriften! 50 µl warmen PE (aus Thermoblock) dazu pipettieren 5 min. bei 65°C in den Thermoblock stellen 1 min. bei 11000 rpm zentrifugieren Nucleospin-Säule wegwerfen, Eppi mit der extrahierten DNA verschließen und als Probe A aufbewahren für die PCR

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Barcoding – wie? Praxis

1. **Extraktion der DNA** aus den Zellen der Blätter
2. Starke Vermehrung (**Amplifikation**) der Markergene mit Hilfe der **PCR**
3. **Gelelektrophorese** zur Kontrolle, ob DNA-Stücke in Probe enthalten sind
4. **Sequenzierung** der Proben durch ein Auftragslabor
5. **Auswertung** exemplarisch im Schülerlabor (eigene Ergebnisse in der Schule)

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Was wisst Ihr über die PCR?

Pingo-Umfrage

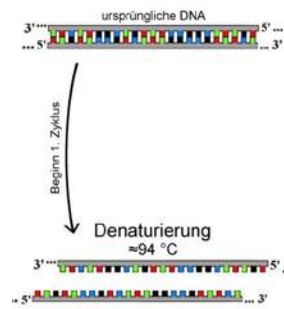
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Reaktionszyklus der PCR



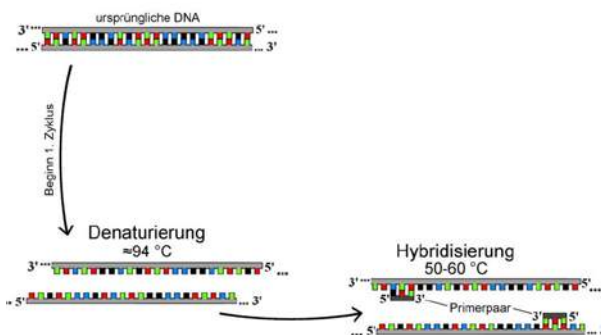
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Reaktionszyklus der PCR



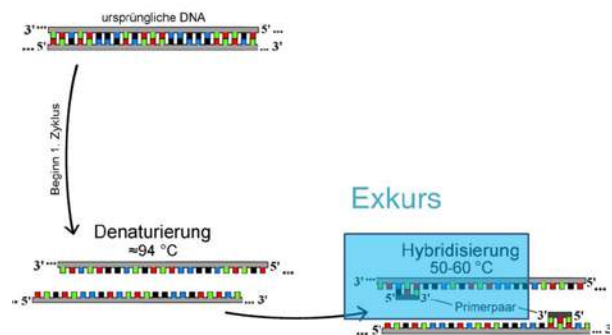
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Reaktionszyklus der PCR



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Reaktionszyklus der PCR



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Wie erhält man geeignete Primer?

Wir recherchieren nach einem Versuchsprotokoll, in dem ein geeignetes PCR-Programm und geeignete Primer veröffentlicht wurden.

PLANT DNA BARCODE PROJECT

PCR and Sequencing Protocols - rbcL

1. PCR protocol for rbcL marker

Matrix: PhastBuffer High-Fidelity DNA polymerase was tested on a broad range of plant taxonomic groups and selected as the enzyme with the highest performance for PCR amplification of the chloroplast barcode markers.

rbcL primer

Sequence	5'-TGTGACGCAAGGAGGAGGATGACG-3'	Leitch et al. 2000
Sequence	5'-GAAATGATGATGATGATGATGATGATG-3'	Leitch et al. 2000

PCR requires per 10 µL reaction:

# of reactions	3	300
10 µL PhastBuffer High-Fidelity	2.0 µL	200 µL
10 µL dNTPs	0.500 µL	50 µL
10 µL Phast Polymerase	0.2 µL	20 µL
10 µM Primer Forward	0.1 µL	10 µL
10 µM Primer Reverse	0.1 µL	10 µL
PhastStart High Fidelity Reaction Buffer * 5.0X	0.125 µL	12.5 µL
ddH ₂ O	9.475 µL	947.5 µL
DNA template	3 µL	300 µL

Recombinant rbcL primer: taking into account primer error, adjust approximately 7.5 µL of the PCR cocktail to each of the primer 1.5 µL of the primer. Using a 1.5 µL channel pipette, accurately approximately 0.7 µL of the PCR cocktail into each well. Add 1 µL of DNA. Centrifuge the plate before thermocycling.

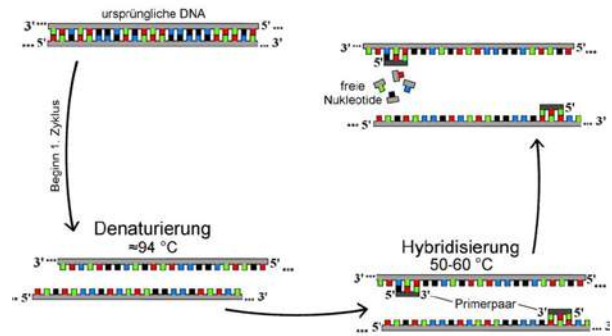
PCR Thermocycling Program for rbcL marker

95°C for 45 seconds
35 cycles of 94°C for 30 seconds, 93°C for 30 seconds, 72°C for 90 seconds
Final extension 72°C for 10 minutes

Revised: 2012

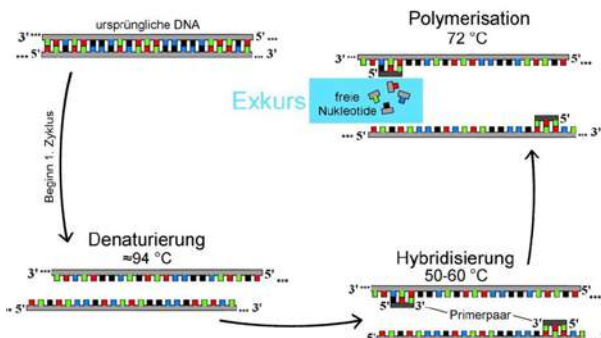
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Reaktionszyklus der PCR



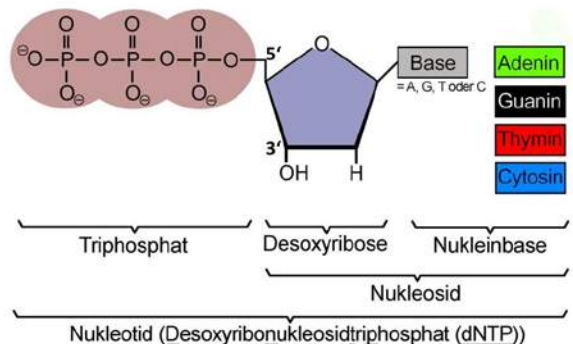
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

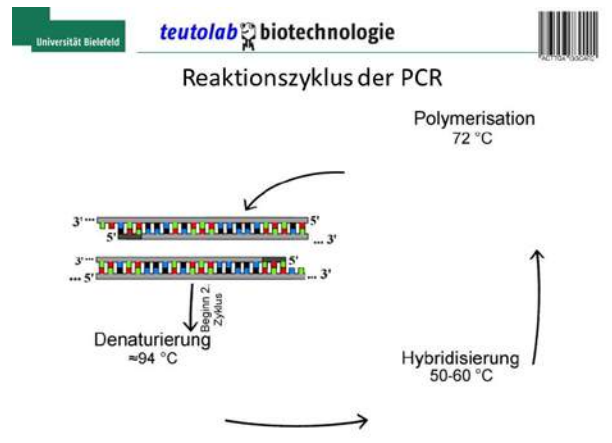
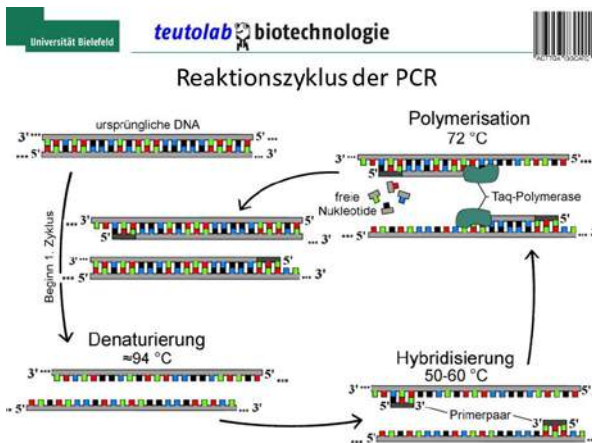
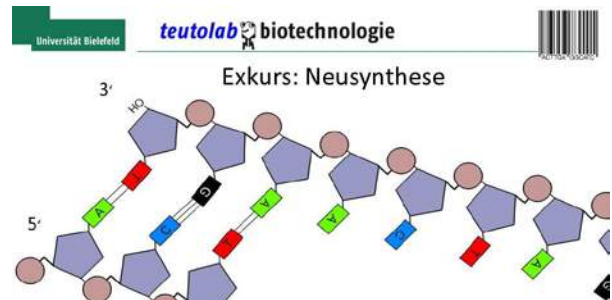
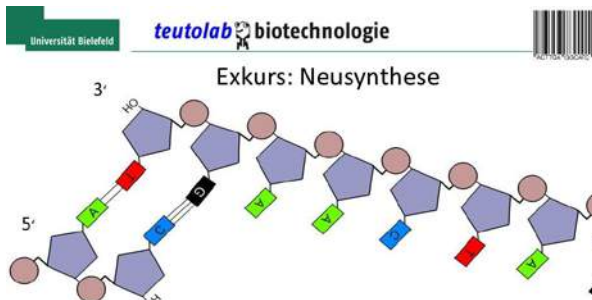
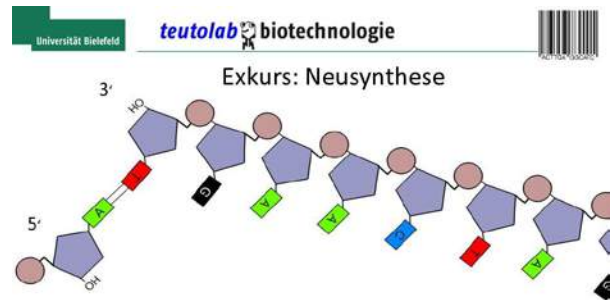
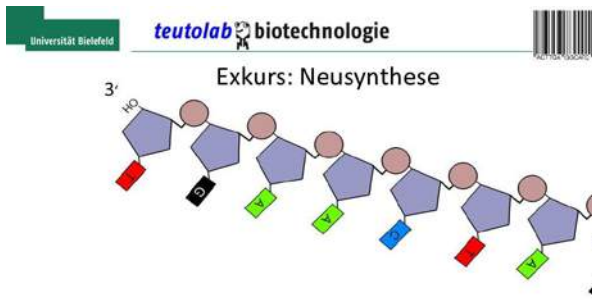
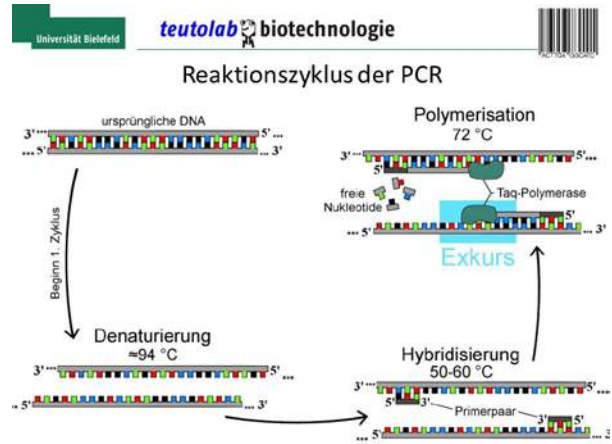
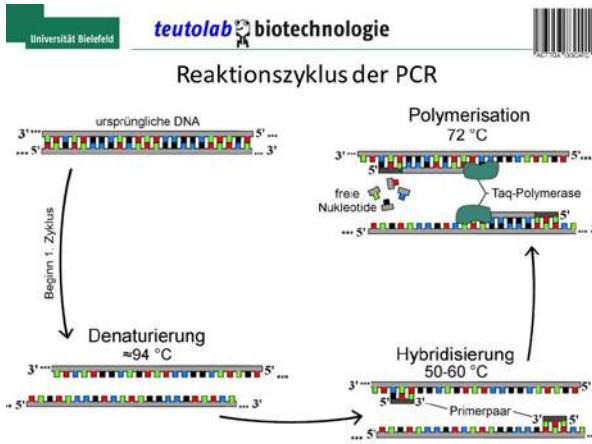
Reaktionszyklus der PCR

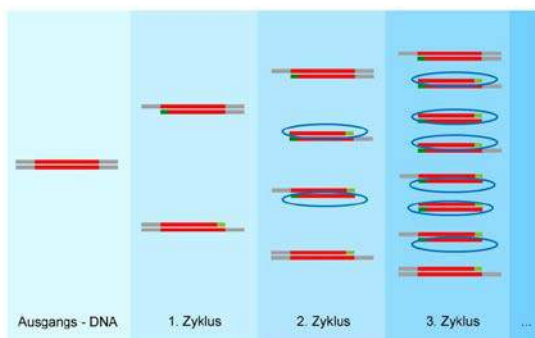
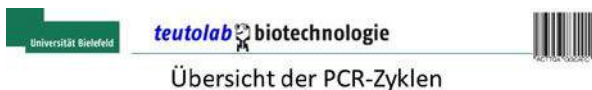
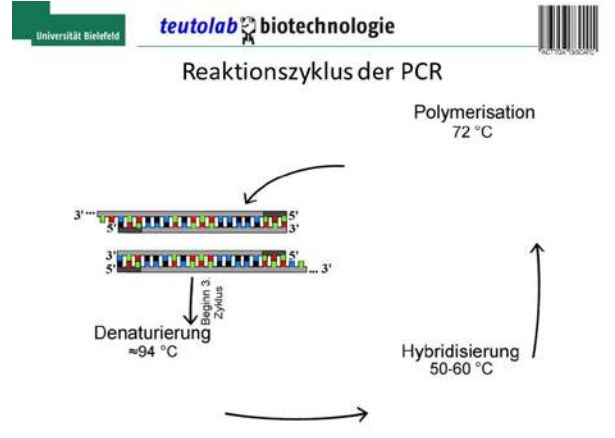
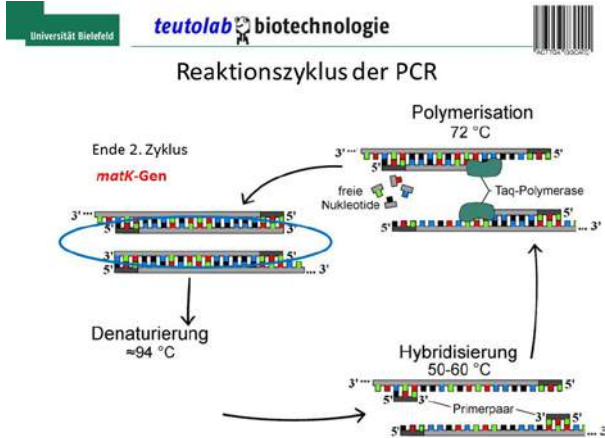
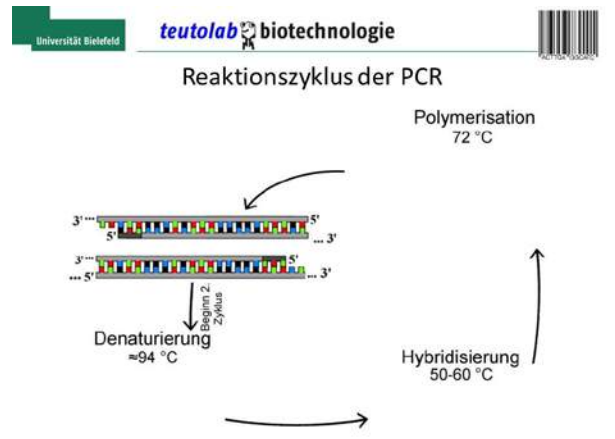
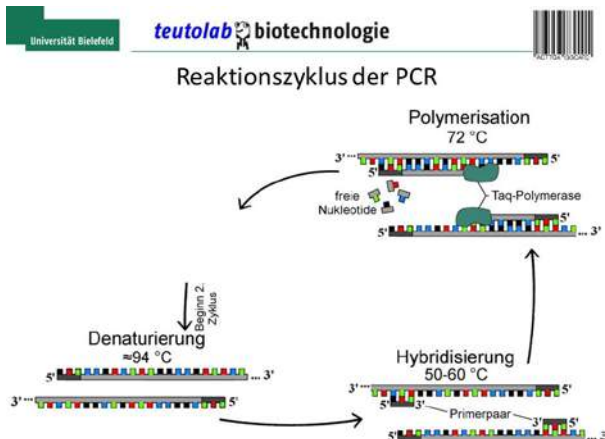
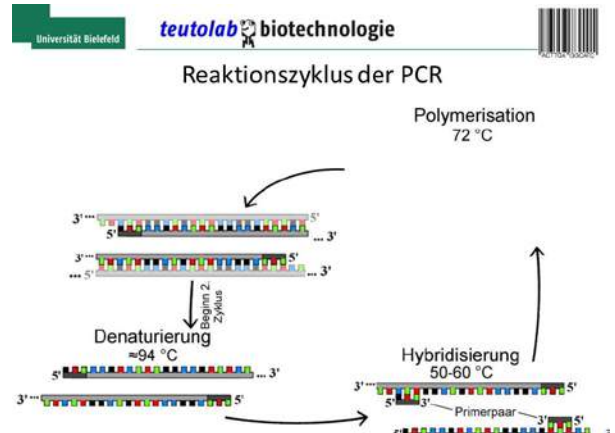
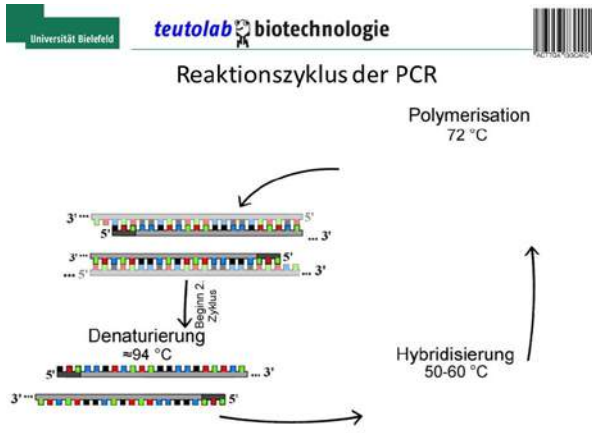


Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Exkurs: dNTP's








Pipettieren des Reaktionsmixes für die PCR
Welche Komponenten werden für den Reaktionsmix für die PCR unbedingt benötigt?

Unter-suchung	Be-schri-ftung				
Eigene Probe	A				
Positiv-kontrolle	B				
Negativ-kontrolle	C				

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

PCR Praxis

Pipettieren in 'Strips'

Untersuchung	Beschriftung	Steriles Wasser H ₂ O	Mastermix MM	Primer Mix PM matK	Lysat der Gruppe	Positive Probe P
Eigene Probe	A	12 µl	4 µl	2 µl	2 µl	-
Positivkontrolle	B	12 µl	4 µl	2 µl	-	2 µl
Negativkontrolle	C	12 µl	4 µl	4 µl	-	-

Strips mit der Gruppennummer beschriften
In Minizentrifuge mit kleinem Aufsatz zentrifugieren
In den Thermocycler stellen

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Versuchsdurchführung der PCR

Primer: Forward 5'-ATCCATCTGGAAATCTTAGGTC-3'
Reverse 5'-GTTCTAGCACAAAGATCG-3'

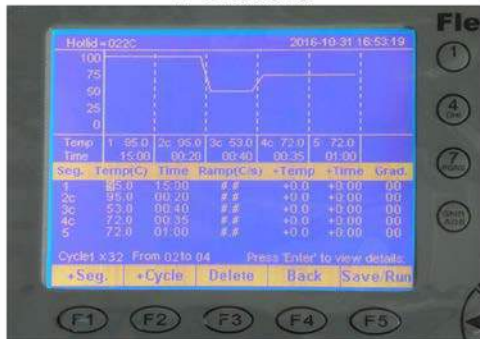
Programm:

- 15 min. 95°C (Initiale Denaturierung und Aktivierung der Hotstart-Polymerase)
- 32 Zyklen {
 - 20 sec. 95°C (Denaturierung)
 - 40 sec. 53°C (Hybridisierung)
 - 35 sec. 72°C (Polymerisation)
- 15 min. 72°C (Finale Polymerisation)

Gesamt: etwa 90 min.

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Pause



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Biotechnologie: Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Studienorte Biotechnologie



53 Studiengänge an 37 Hochschulen

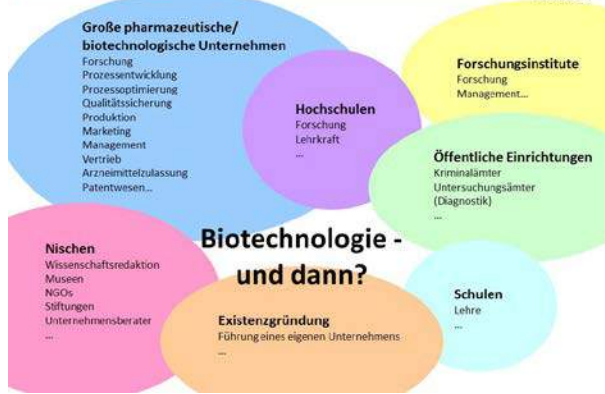
- Studieninhalte:
- Biologie
 - Chemie
 - Informatik
 - Verfahrenstechnik

In Bielefeld?

- Molekulare Biotechnologie
- Apparative Biotechnologie

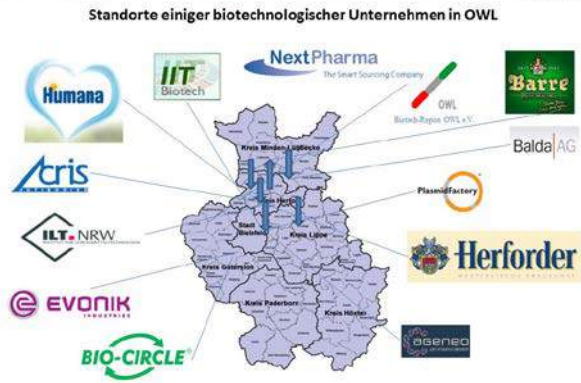
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Biotechnologie - und dann?



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Standorte einiger biotechnologischer Unternehmen in OWL



Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie 

Wie sind die Beschäftigungschancen als Biotechnologe?

- Von allen Biowissenschaften zeigen Biomedizin und Biotechnologie die besten Berufsperspektiven.
- Von den großen Arbeitgebern werden meist promovierte Biotechnologen nachgefragt. (75 % der Biotechnologen promovieren anschließend)
- Nur 2 % der promovierten Wissenschaftler sind eineinhalb Jahre nach Promotion erwerbslos.
- Sehr hilfreich beim Berufseinstieg sind persönliche Kontakte. (z.B. durch freiwillige Praktika)
- Jobbörsen für Biotechnologen: www.jobvektor.de www.bionetwork.de www.staufenbiel.de/branchen/naturwissenschaftler.html
- Beratungsangebot Universität Bielefeld: www.uni-bielefeld.de/studienangebot/beratung

Barcoding – wie? Praxis

1. **Extraktion** der DNA aus den Zellen der Blätter
2. Starke Vermehrung (**Amplifikation**) der Markergene mit Hilfe der PCR
3. **Gelelektrophorese** zur Kontrolle, ob DNA-Stücke in Probe enthalten sind
4. **Sequenzierung** der Proben durch ein Auftragslabor
5. **Auswertung** exemplarisch im Schülerlabor (eigene Ergebnisse in der Schule)

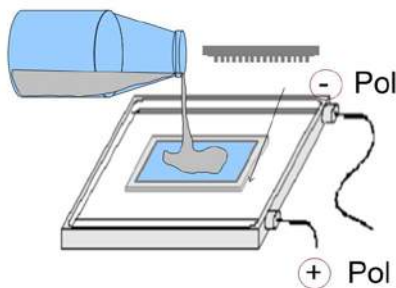
Was wisst Ihr über die Gelelektrophorese?

Pingo-Umfrage

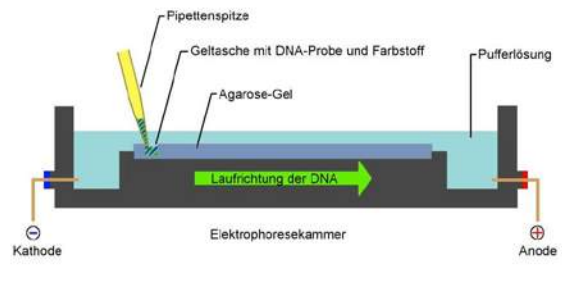
Agarose-Gelelektrophorese

Elektrophorese

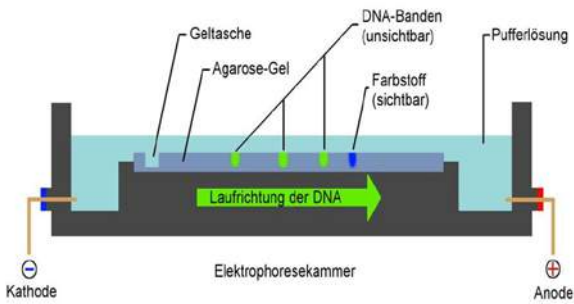
Das Agarose-Gel wurde vor der Pause gegossen



Gelelektrophorese

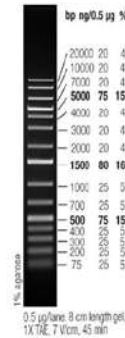


Gelelektrophorese



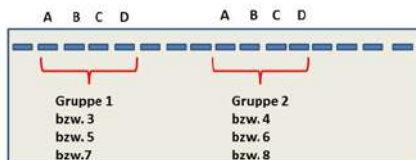
GeneRuler 1 kb Plus DNA Ladder

Elektrophorese



Längenstandard

Gelelektrophorese - Praxis



Jeweils 8 µL in die Taschen pipettieren:

- A: eigene Probe
- B: Positivprobe
- C: Negativprobe
- D: Längenstandard

Nach jeder Probe die Spitze wechseln!

Starten des Gellaufs

Praxis Elektrophorese




20 Minuten
Gellauf bei
110 Volt

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie


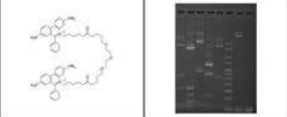
Gelelektrophorese – Dokumentation

(durch die Betreuer)

Praxis Elektrophorese



➤ 20 min. Färbung des Gels in Gelred

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Gelelektrophorese – Dokumentation

(durch die Betreuer)

➤ Fotografie des Gels unter UV-Licht auf dem Transilluminator:



➤ Hochladen des Fotos auf den CeBITec-Server

<https://www.cebitec.uni-bielefeld.de/pcdata/171016>

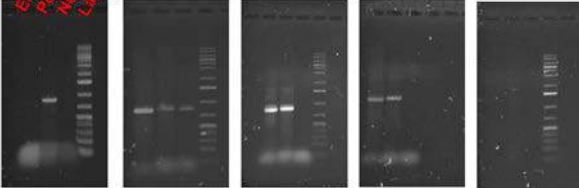
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Gelelektrophorese - Auswertung

Wie sollte euer Gelbild aussehen?

Eigene Probe
Positivkontrolle
Negativkontrolle
Langenstandard

Gruppe 2 Gruppe 3 Gruppe 4 Gruppe 5



Info: Die Banden in den unteren Bereichen des Gels sind ‚Primerwolken‘.

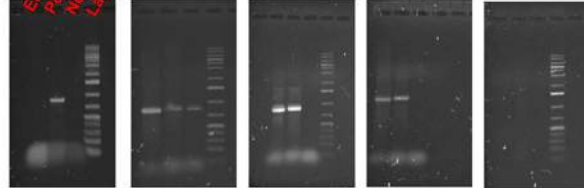
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Gelelektrophorese - Auswertung

Wie sollte euer Gelbild aussehen?

Eigene Probe
Positivkontrolle
Negativkontrolle
Langenstandard

Gruppe 2 Gruppe 3 Gruppe 4 Gruppe 5



Gruppe 3:
Erfolgreiche Amplifikation eines Markergens
→ 10 µl der Probe können zur Sequenzierung gegeben werden

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Barcoding – wie? Praxis

1. Extraktion der DNA aus den Zellen der Blätter
2. Starke Vermehrung (**Amplifikation**) der Markergene mit Hilfe der PCR
3. **Gelelektrophorese** zur Kontrolle, ob DNA-Stücke in Probe enthalten sind
4. **Sequenzierung** der Proben durch ein Auftragslabor
5. **Auswertung** exemplarisch im Schülerlabor (eigene Ergebnisse in der Schule)

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Was wisst Ihr über die Sanger-Sequenzierung?

Pingo-Umfrage

Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Sanger-Sequenzierung



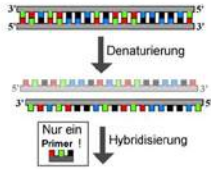
Universität Bielefeld **teutolab** biotechnologie

Sanger-Sequenzierung

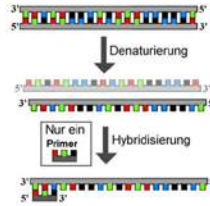


Denaturierung

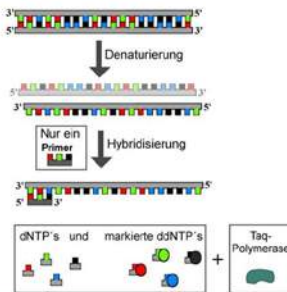
Sanger-Sequenzierung



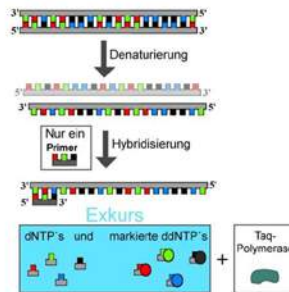
Sanger-Sequenzierung



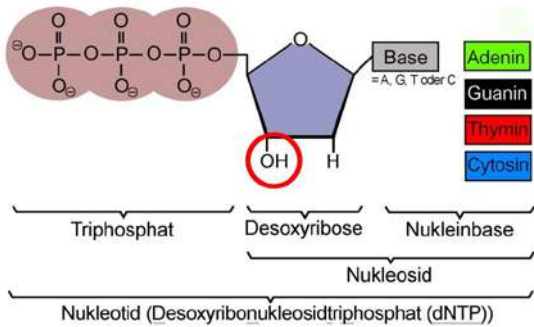
Sanger-Sequenzierung



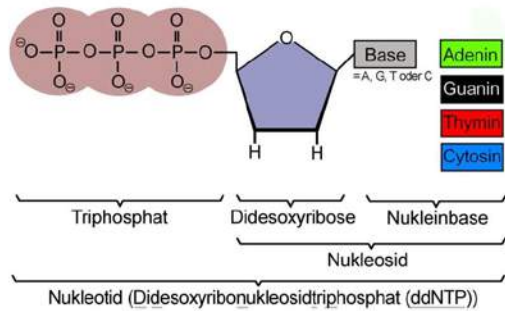
Sanger-Sequenzierung



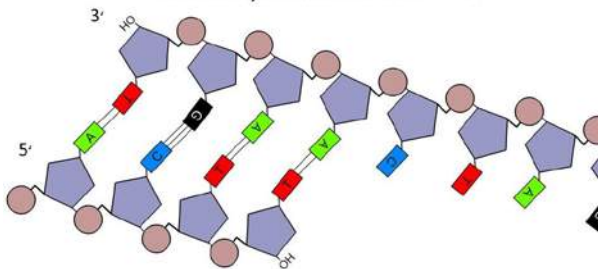
Wir erinnern uns an das dNTP:



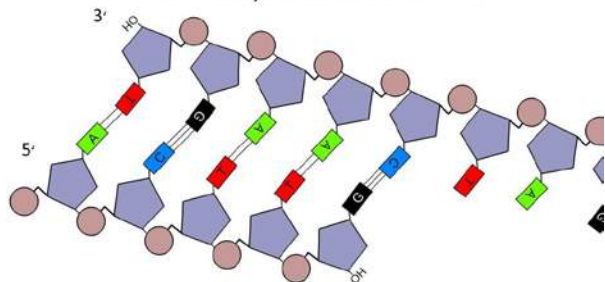
Ein ddNTP:

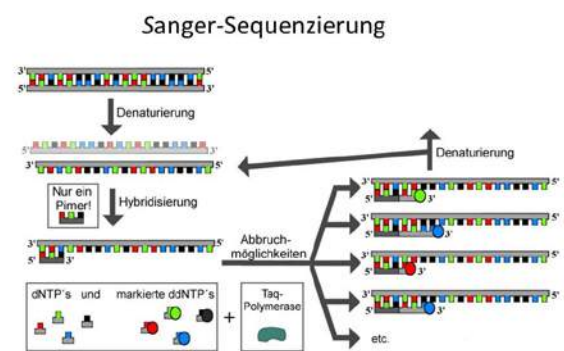
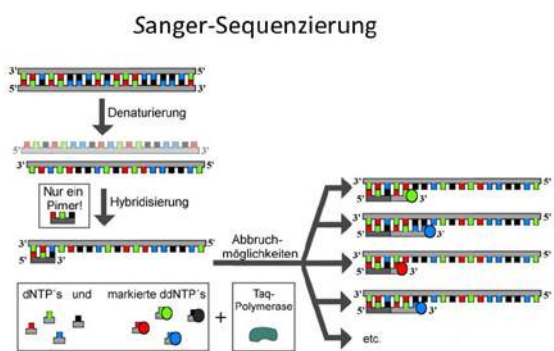
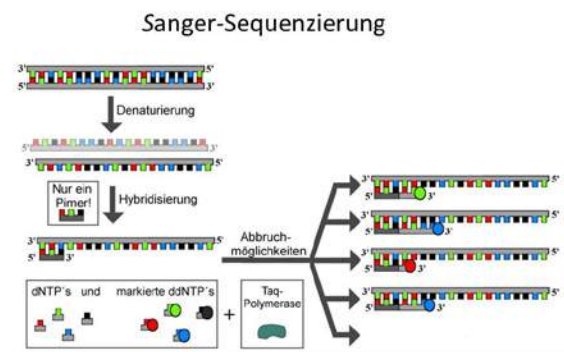
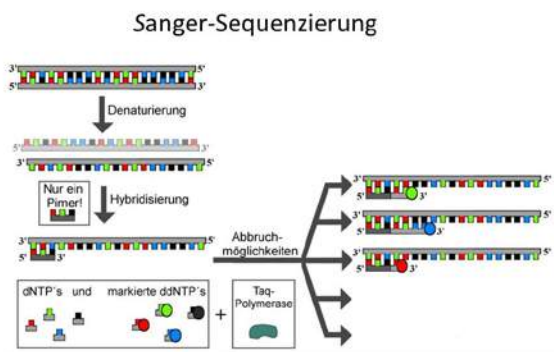
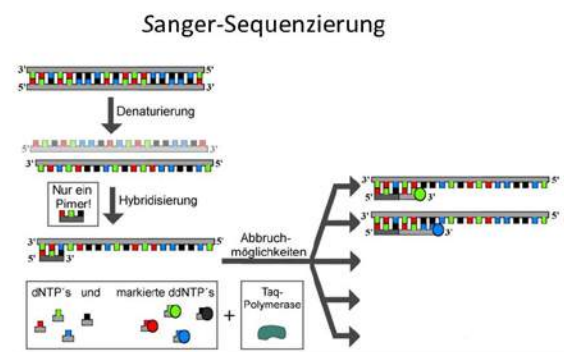
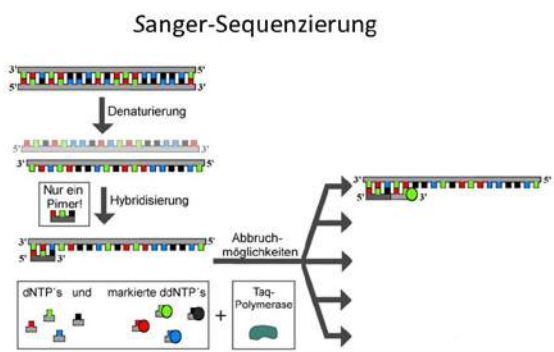
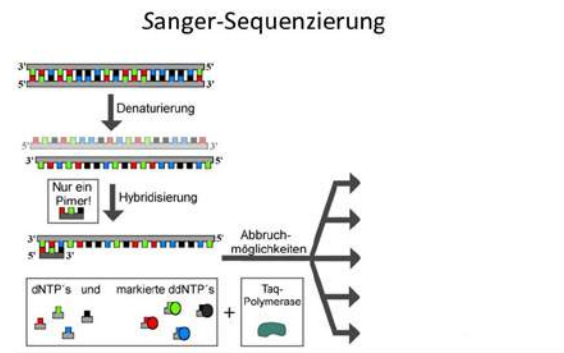
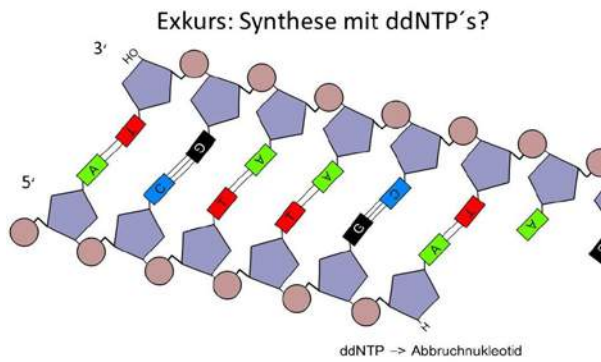


Exkurs: Synthese mit ddNTP's?

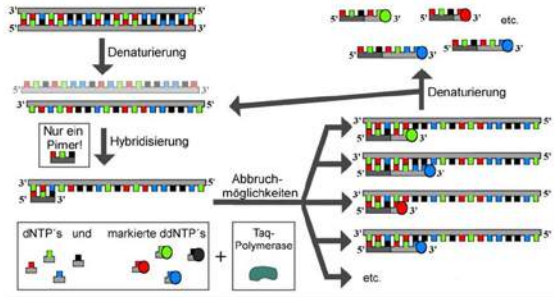


Exkurs: Synthese mit ddNTP's?

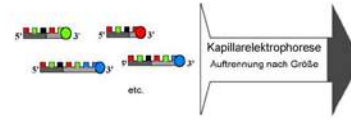




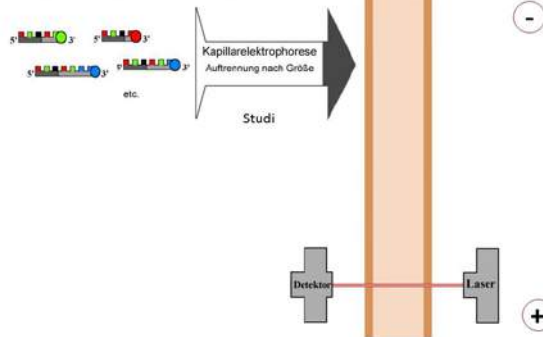
Sanger-Sequenzierung



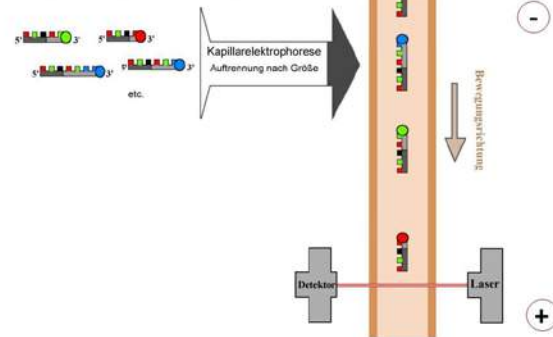
Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



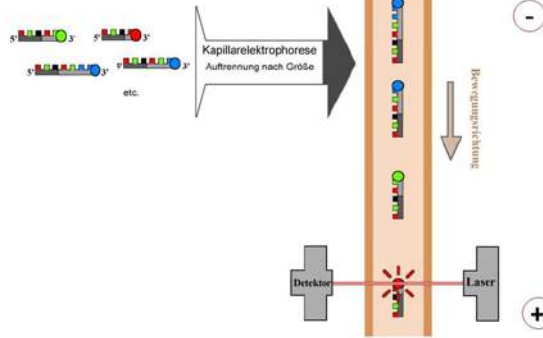
Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



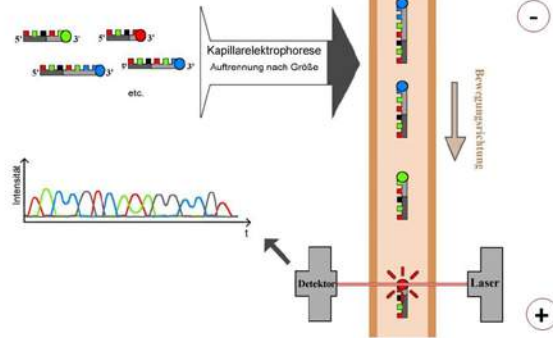
Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



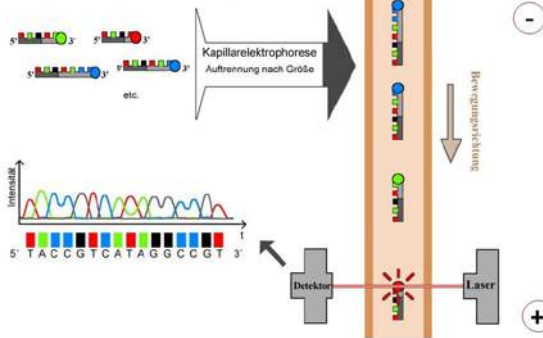
Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



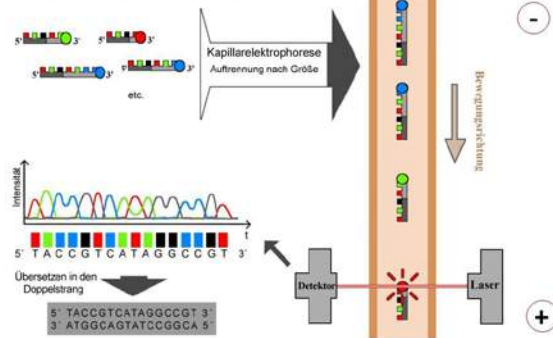
Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



Sanger-Sequenzierung: Kapillarelektrophorese



Sequenzier-
automat
im
Cebitec



Sequenzierautomat
Innenansicht

Im Zentrum:
Elektrophorese-
kapillaren

Fluoreszenzanzeige
eines Probenlaufes



Barcoding – wie?

Praxis

1. Extraktion der DNA aus den Zellen der Blätter
2. Starke Vermehrung (Amplifikation) der Markergene mit Hilfe der PCR
3. Gelelektrophorese zur Kontrolle, ob DNA-Stücke in Probe enthalten sind
4. Sequenzierung der Proben durch ein Auftragslabor
5. Auswertung exemplarisch im Schülerlabor (eigene Ergebnisse in der Schule)

Auswertung

Rücksendung der Ergebnisse als Chromatogramm...



...und als Buchstabenfolge

TAACGACAAGATTCTACATATCCGACAAAATCGATCAAGAATATCAGAAATCCGATAAATC
GGTCCAGATCGTTTACTAATAGGATGACCCAATACAGTACAAAATTGAGCTTTCGACAAT
GATCCAATAAGAGAAATAGCTGGGG...

Auswertung

Abgleich der Basenfolge
mit einer Datenbank

z. B. Boldsystems

<http://www.boldsystems.org/>



Angraecum sesquipedale



Cattleya
forbesii



Dactylorhiza purpurella

Anhang 15 Kreuztabellen Teilstudie 2 ‚Neues Konzept‘
Stichprobe Wissen & Motivation 1151 TN

Treatment * LkGk Kreuztabelle

		LkGk		Gesamt	
		Gk	Lk		
Treatment	Alte Abb., Standard	Anzahl	202	375	577
		% innerhalb von Treatment	35,0%	65,0%	100,0%
	Neue Abb., Projekt	Anzahl	161	411	572
		% innerhalb von Treatment	28,1%	71,9%	100,0%
Gesamt	Anzahl	363	786	1149	
	% innerhalb von Treatment	31,6%	68,4%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

		Schulform			Gesamt	
		Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg		
Treatment	Alte Abb., Standard	Anzahl	406	144	27	577
		% innerhalb von Treatment	70,4%	25,0%	4,7%	100,0%
	Neue Abb., Projekt	Anzahl	441	72	59	572
		% innerhalb von Treatment	77,1%	12,6%	10,3%	100,0%
Gesamt	Anzahl	847	216	86	1149	
	% innerhalb von Treatment	73,7%	18,8%	7,5%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

		Geschlecht		Gesamt	
		weiblich	männlich		
Treatment	Alte Abb., Standard	Anzahl	372	184	556
		% innerhalb von Treatment	66,9%	33,1%	100,0%
	Neue Abb., Projekt	Anzahl	338	222	560
		% innerhalb von Treatment	60,4%	39,6%	100,0%
Gesamt	Anzahl	710	406	1116	
	% innerhalb von Treatment	63,6%	36,4%	100,0%	

Treatment * Thema Kreuztabelle

		Thema			Gesamt	
		Barcoding	Lambda	Tierarten		
Treatment	Alte Abb., Standard	Anzahl	361	105	111	577
		% innerhalb von Treatment	62,6%	18,2%	19,2%	100,0%
	Neue Abb., Projekt	Anzahl	386	138	50	574
		% innerhalb von Treatment	67,2%	24,0%	8,7%	100,0%
Gesamt	Anzahl	747	243	161	1151	
	% innerhalb von Treatment	64,9%	21,1%	14,0%	100,0%	

Anhang 16 Set Arbeitsblätter zum Workshop ,Barcoding von Orchideen‘

Universität Bielefeld

teuto lab **biotechnologie**

Aufgabe 2: Erklären Sie kurz die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen der PCR und der Sanger-Sequenzierung.

Aufgabe 3: Überlegen Sie oder recherchieren Sie in Kleingruppen (2–4 Personen), zu welchem Zweck die in Aufgabe 1 und 2 genannten Methoden noch angewandt werden. Besprechen Sie anschließend die Ergebnisse im Plenum und halten Sie die Erkenntnisse in einer Mind-Map fest.

Mind-Map:

Universität Bielefeld

teuto lab **biotechnologie**

Name: _____

Kurs: _____

Datum: _____

Eigene Probe (rot markiert)

Positivkontrolle (rot markiert)

Negativkontrolle (rot markiert)

Längenstandard (rot markiert)

Abb. 1: Gelbild mit PCR-Produkten des Markergens, Positivkontrolle, Negativkontrolle und dem Längenstandard. GeneRuler 1kb Plus DNA Ladder.

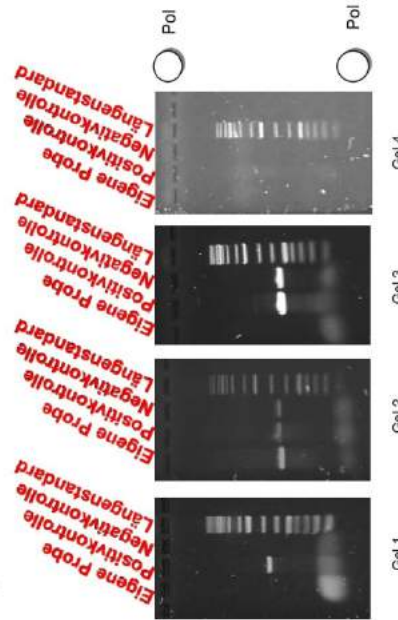
Aufgabe 1: Laden Sie sich unter dem Link <https://www.cebioec.uni-bielefeld.de/Datum/> Ihre Gelbilder herunter. Dies können Sie mit einem Handy, Laptop, Tablet oder einem PC in der Klasse tun. Wichtig ist, dass die letzte Zahlenkombination in dem Link für den Tag, an dem Sie den Kurs durchgeführt haben, steht. Waren Sie also am 10. Januar 2016 im Schülerlabor, tragen Sie 100116 in den Link ein. Werten Sie zunächst kurz das Gelbild Ihrer Gruppe aus und vergleichen Sie es dann mit den Gelbildern der anderen Gruppen. Stimmen die Ergebnisse Ihrer Gruppe mit dem Muster des Gelbildes aus Abb. 1 überein oder gibt es Abweichungen? Was könnte die Erklärung für Abweichungen im Bandenmuster sein? Halten Sie Ihre Ergebnisse in Stichpunkten fest. Für die Besprechung der Ergebnisse haben Sie 10 Minuten Zeit.

Bitte nächste Seite beachten!

Aufgabe 1: Untenstehend sehen Sie vier Gelbilder, in denen der Erfolg der PCR eines Markergens zur Identifizierung einer Orchideenart überprüft wird. Es wurden jeweils eine Probe mit selbst extrahierter DNA, eine Positivprobe, eine Negativprobe und ein DNA-Längenstandard aufgetragen.

- Zeichnen Sie die Banden in Gel 4 ein, die ein perfektes Gelbild ergeben und zeichnen Sie die Laufrichtung mit + und – Pol ein.
- Erklären Sie, was eine Positivprobe ist und wozu diese durchgeführt wird.
- Erklären Sie, was eine Negativprobe ist und wozu diese durchgeführt wird.
- Geben Sie mögliche Fehler an, welche in den Gelbildern 1 bis 3 passiert sein könnten.
- Welche Komponenten werden bei der Gelelektrophorese genutzt?

a)



b)

c)

d)

e)

Bitte nächste Seite beachten!

Aufgabe 2:

Die PCR besteht aus 3 Schritten, die zyklisch wiederholt werden. Geben Sie diese 3 Schritte namentlich an. Was passiert dabei und bei welcher Temperatur laufen sie ab?

	Name/Bezeichnung	Temperatur	Was passiert hier?
1. Schritt			
2. Schritt			
3. Schritt			

Aufgabe 3:

- Beschreiben Sie das Prinzip der Sanger-Sequenzierung (Ablauf, Detektion, verwendete Komponenten).

- Ist es sinnvoll, bei einer PCR für das DNA-Barcoding von Pflanzen verschiedene Primer und/oder Markergene zu nutzen?

- Der Zoologe Prof. Dr. Gerhard Haszpnar fordert, dass es inzwischen nötig sei, bei der Einfuhr von Tieren oder pflanzlichen Souvenirs in ein anderes Land eine Sanger-Sequenzierung durchzuführen. Warum sollte der Zoll dies durchführen und welche weiteren genetischen Methoden sollten angewendet werden?

Name: _____

Kurs: _____

Datum: _____

Arbestimmung 2.0: DNA-Barcoding - die Methode der Zukunft?

Es gibt heute weltweit eine Reihe von Initiativen, die versuchen, für bestimmte Artengruppen Datenbanken mit DNA-Barcode-Sequenzen als Referenzen aufzubauen. Dazu werden Sequenzen von zweifelsfrei bestimmten Individuen beschriebener Arten gesammelt und eingelezen, um Daten für Anwender bereitzustellen. Die Initiative IBOL (International Barcode of Life Project) koordiniert die Bemühungen und leistet technische Hilfe. Einige teilnehmende Initiativen werden im Folgenden vorgestellt: Die Fish Barcode of Life-Initiative (FISH-BOL) versucht, eine Datenbank mit DNA-Barcodes für weltweit alle Fischarten aufzubauen. ABBI ist die entsprechende Initiative für die Vögel. Andere IBOL-Initiativen versuchen dasselbe für die Schmetterlinge und die Säugler. Auch in Deutschland gibt es IBOL-Initiativen. Eine davon ist das Landesprojekt Barcoding Fauna Bavaria, das sich auf das Katalogisieren von Arten in Bayern spezialisiert. Das Ziel aller Initiativen ist es, mit Hilfe von standardisierten Gensequenzen möglichst viele verschiedene Arten der weltweiten Biodiversität zu erkennen und sicher zu erfassen.

Auszug aus einem Interview mit dem Zoologen Wolfgang Wägele (erschienen im Labjournal am 14. April 2011):

„Bewährt hat sich hierfür bei Insekten das COI-Gen (Cytochrom-c-Oxidase-Untereinheit 1). Das funktioniert aber nicht bei allen Taxa.¹ Für Pflanzen braucht man andere Sequenzen, und bei Pilzen nimmt man ITS-Sequenzen (Internal Transcribed Spacer Region). Man muss also von Fall zu Fall herausfinden, welches die genetischen Charakteristika für eine bestimmte Art sind. Das erfordert viel Grundlagenforschung und insbesondere die Zusammenarbeit mit Taxonomen.^{2,3}“

Aufgabe 1: Lesen Sie den Text und markieren Sie die wichtigsten Stellen. Was muss bei der Identifizierung verschiedener Arten berücksichtigt werden?

Aufgabe 2: Recherchieren Sie (im Internet oder in Büchern) und halten Sie in Stichpunkten fest, welche Erfolge die Sequenzierung von Arten bisher brachte. (Sinnvolle Schlagwörter zum Suchen könnten unter anderem sein: Barcoding, Barcoding Erfolge, Barcode Insekten, etc.)

Bitte nächste Seite beachten!

¹ Taxon: Gruppe von Lebewesen (z. B. Stamm, Ordnung) die Erhalt innerhalb der biologischen Systematik. Mehrzahl von Taxon: Taxa.
² Taxonomen: Experten, die anhand von morphologischen Merkmalen (Struktur und Funktion) Arten nicht sicher identifizieren und taxonomisch einordnen können.
³ Quellen: <http://www.labjournal.de/labjournal5499> (also und <https://de.wikipedia.org/wiki/DNA-Barcoding>)

Aufgabe 3: Welche Vorteile und Nachteile hat die Methode des DNA-Barcoding?

Vorteile	Nachteile

Aufgabe 4: Erinnern Sie sich an den Praktikumstag im **teutolab**-biotechnologie

a) Wozu ist es notwendig, vor der Sequenzierung eine PCR und eine Gelelektrophorese durchzuführen?

b) Ist es sinnvoll, bei einer PCR für das Barcoding von Pflanzen, verschiedene Primer und/oder Markergene zu nutzen?

c) Was müssen Sie bei der Befüllung eines Gels und dem anschließenden Lauf der Elektrophorese beachten?

**Anhang 17 Kreuztabellen Teilstudie 3 ‚Skriptvorbereitung‘
Stichprobe Wissen & Motivation 489 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

			LkGk		Gesamt
			Gk	Lk	
Treatment	gemeinsam besprochen	Anzahl	51	148	199
		% innerhalb von Treatment	25,6%	74,4%	100,0%
	allein durchgelesen	Anzahl	70	152	222
		% innerhalb von Treatment	31,5%	68,5%	100,0%
	nicht durchgelesen	Anzahl	28	38	66
		% innerhalb von Treatment	42,4%	57,6%	100,0%
Gesamt	Anzahl	149	338	487	
	% innerhalb von Treatment	30,6%	69,4%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

			Schulform		Gesamt
			Gymnasium	Gesamtschule	
Treatment	gemeinsam besprochen	Anzahl	157	42	199
		% innerhalb von Treatment	78,9%	21,1%	100,0%
	allein durchgelesen	Anzahl	200	23	223
		% innerhalb von Treatment	89,7%	10,3%	100,0%
	nicht durchgelesen	Anzahl	61	6	67
		% innerhalb von Treatment	91,0%	9,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl	418	71	489	
	% innerhalb von Treatment	85,5%	14,5%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

			Geschlecht		Gesamt
			weiblich	männlich	
Treatment	gemeinsam besprochen	Anzahl	129	63	192
		% innerhalb von Treatment	67,2%	32,8%	100,0%
	allein durchgelesen	Anzahl	125	94	219
		% innerhalb von Treatment	57,1%	42,9%	100,0%
	nicht durchgelesen	Anzahl	34	32	66
		% innerhalb von Treatment	51,5%	48,5%	100,0%
Gesamt	Anzahl	288	189	477	
	% innerhalb von Treatment	60,4%	39,6%	100,0%	

Treatment * Thema Kreuztabelle

			Thema			Gesamt
			Barcoding	Lambda	Tierarten	
Treatment	gemeinsam besprochen	Anzahl	127	49	23	199
		% innerhalb von Treatment	63,8%	24,6%	11,6%	100,0%
	allein durchgelesen	Anzahl	153	57	13	223
		% innerhalb von Treatment	68,6%	25,6%	5,8%	100,0%
	nicht durchgelesen	Anzahl	44	14	9	67
		% innerhalb von Treatment	65,7%	20,9%	13,4%	100,0%
Gesamt	Anzahl	324	120	45	489	
	% innerhalb von Treatment	66,3%	24,5%	9,2%	100,0%	

**Anhang 18 Kreuztabellen Teilstudie 3 ‚Arbeitsblätter‘
Stichprobe Wissen 332 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

		LkGk		Gesamt	
		Gk	Lk		
Treatment	Keine AB	Anzahl	34	96	130
		% innerhalb von Treatment	26,2%	73,8%	100,0%
	AB	Anzahl	78	107	185
		% innerhalb von Treatment	42,2%	57,8%	100,0%
Gesamt		Anzahl	112	203	315
		% innerhalb von Treatment	35,6%	64,4%	100,0%

Treatment * Schulform Kreuztabelle

		Schulform		Gesamt
		Gymnasium		
Treatment	Keine AB	Anzahl	131	131
		% innerhalb von Treatment	100,0%	100,0%
	AB	Anzahl	187	187
		% innerhalb von Treatment	100,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	318	318
		% innerhalb von Treatment	100,0%	100,0%

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

		Geschlecht		Gesamt	
		weiblich	männlich		
Treatment	Keine AB	Anzahl	83	48	131
		% innerhalb von Treatment	63,4%	36,6%	100,0%
	AB	Anzahl	114	71	185
		% innerhalb von Treatment	61,6%	38,4%	100,0%
Gesamt		Anzahl	197	119	316
		% innerhalb von Treatment	62,3%	37,7%	100,0%

Treatment * Thema Kreuztabelle

		Thema			Gesamt	
		Barcoding	Lambda	Tierarten		
Treatment	Keine AB	Anzahl	58	48	25	131
		% innerhalb von Treatment	44,3%	36,6%	19,1%	100,0%
	AB	Anzahl	88	99	0	187
		% innerhalb von Treatment	47,1%	52,9%	0,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	146	147	25	318
		% innerhalb von Treatment	45,9%	46,2%	7,9%	100,0%

Treatment * Skript_1 Kreuztabelle

		Skript_1			Gesamt	
		Skript gemeinsam besprochen	Skript allein durchgelesen	Skript nicht bekannt		
Treatment	Keine AB	Anzahl	61	41	11	113
		% innerhalb von Treatment	54,0%	36,3%	9,7%	100,0%
	AB	Anzahl	46	87	45	178
		% innerhalb von Treatment	25,8%	48,9%	25,3%	100,0%
Gesamt		Anzahl	107	128	56	291
		% innerhalb von Treatment	36,8%	44,0%	19,2%	100,0%

Anhang 19 Kreuztabellen Teilstudie 4 ,Tablets' Stichprobe Wissen 379 TN

Treatment * LkGk Kreuztabelle

		LkGk			
		Gk	Lk	Gesamt	
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	52	212	264
		% innerhalb von Treatment	19,7%	80,3%	100,0%
	Tablets	Anzahl	16	96	112
		% innerhalb von Treatment	14,3%	85,7%	100,0%
Gesamt		Anzahl	68	308	376
		% innerhalb von Treatment	18,1%	81,9%	100,0%

Treatment * Schulform Kreuztabelle

		Schulform				
		Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg	Gesamt	
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	267	0	0	267
		% innerhalb von Treatment	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%
	Tablets	Anzahl	86	18	8	112
		% innerhalb von Treatment	76,8%	16,1%	7,1%	100,0%
Gesamt		Anzahl	353	18	8	379
		% innerhalb von Treatment	93,1%	4,7%	2,1%	100,0%

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

		Geschlecht			
		weiblich	männlich	Gesamt	
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	167	99	266
		% innerhalb von Treatment	62,8%	37,2%	100,0%
	Tablets	Anzahl	63	48	111
		% innerhalb von Treatment	56,8%	43,2%	100,0%
Gesamt		Anzahl	230	147	377
		% innerhalb von Treatment	61,0%	39,0%	100,0%

Treatment * Thema Kreuztabelle

		Thema				
		Barcoding	Lambda	Tierarten	Gesamt	
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	132	110	25	267
		% innerhalb von Treatment	49,4%	41,2%	9,4%	100,0%
	Tablets	Anzahl	49	32	31	112
		% innerhalb von Treatment	43,8%	28,6%	27,7%	100,0%
Gesamt		Anzahl	181	142	56	379
		% innerhalb von Treatment	47,8%	37,5%	14,8%	100,0%

**Anhang 20 Kreuztabellen Teilstudie 4 ,Tablets'
Stichprobe Motivation 669 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

		LkGk		Gesamt	
		Gk	Lk		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	40	375	415
		% innerhalb von Treatment	9,6%	90,4%	100,0%
	Tablets	Anzahl	34	207	241
		% innerhalb von Treatment	14,1%	85,9%	100,0%
Gesamt	Anzahl	74	582	656	
	% innerhalb von Treatment	11,3%	88,7%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

		Schulform			Gesamt	
		Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	283	125	20	428
		% innerhalb von Treatment	66,1%	29,2%	4,7%	100,0%
	Tablets	Anzahl	148	54	39	241
		% innerhalb von Treatment	61,4%	22,4%	16,2%	100,0%
Gesamt	Anzahl	431	179	59	669	
	% innerhalb von Treatment	64,4%	26,8%	8,8%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

		Geschlecht		Gesamt	
		Weiblich	männlich		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	246	173	419
		% innerhalb von Treatment	58,7%	41,3%	100,0%
	Tablets	Anzahl	123	116	239
		% innerhalb von Treatment	51,5%	48,5%	100,0%
Gesamt	Anzahl	369	289	658	
	% innerhalb von Treatment	56,1%	43,9%	100,0%	

Treatment * Thema Kreuztabelle

		Thema		Gesamt	
		Lambda	Tierarten		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	119	309	428
		% innerhalb von Treatment	27,8%	72,2%	100,0%
	Tablets	Anzahl	92	149	241
		% innerhalb von Treatment	38,2%	61,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl	211	458	669	
	% innerhalb von Treatment	31,5%	68,5%	100,0%	

**Anhang 21 Kreuztabellen Teilstudie 4 ,Tablets‘
Stichprobe Interesse 305 TN**

Treatment * LkGk Kreuztabelle

		LkGk			Gesamt
		Gk	Lk		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	26	196	222
		% innerhalb von Treatment	11,7%	88,3%	100,0%
	Tablets	Anzahl	29	203	232
		% innerhalb von Treatment	12,5%	87,5%	100,0%
Gesamt	Anzahl	55	399	454	
	% innerhalb von Treatment	12,1%	87,9%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

		Schulform			Gesamt	
		Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	143	59	20	222
		% innerhalb von Treatment	64,4%	26,6%	9,0%	100,0%
	Tablets	Anzahl	197	25	10	232
		% innerhalb von Treatment	84,9%	10,8%	4,3%	100,0%
Gesamt	Anzahl	340	84	30	454	
	% innerhalb von Treatment	74,9%	18,5%	6,6%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

		Geschlecht		Gesamt	
		weiblich	männlich		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	123	91	214
		% innerhalb von Treatment	57,5%	42,5%	100,0%
	Tablets	Anzahl	149	83	232
		% innerhalb von Treatment	64,2%	35,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl	272	174	446	
	% innerhalb von Treatment	61,0%	39,0%	100,0%	

Treatment * Thema Kreuztabelle

		Thema			Gesamt	
		Barcoding	Lambda	Tierarten		
Treatment	Keine Tablets	Anzahl	0	100	122	222
		% innerhalb von Treatment	0,0%	45,0%	55,0%	100,0%
	Tablets	Anzahl	99	63	70	232
		% innerhalb von Treatment	42,7%	27,2%	30,2%	100,0%
Gesamt	Anzahl	99	163	192	454	
	% innerhalb von Treatment	21,8%	35,9%	42,3%	100,0%	

Anhang 22 Intrinsic Motivation Inventory (IMI, Deci & Ryan, 2018)

Items mit Variablen		
IMI_Ch_1_inv.	1	Ich habe mitgemacht, weil ich keine andere Wahl hatte.
IMI_En_1	2	Die Tätigkeiten beim Workshop haben Spaß gemacht.
IMI_RT_1	3	Ich kam mit den Betreuern gut zurecht.
IMI_Va_1	4	Ich denke, der Kurstag beim Workshop war ein wichtiger Tag.
IMI_Ch_2_inv	5	Ich fühlte mich so, dass ich es tun musste.
IMI_Pr_1_inv	6	Ich war ängstlich während meiner Tätigkeiten im <i>teutolab</i> .
IMI_En_2	7	Ich denke, die Tätigkeiten im <i>teutolab</i> waren ziemlich unterhaltsam.
IMI_RP_1	8	Ich kam heute mit meinen Mitschülern gut zurecht.
IMI_Co_1_inv	9	Ich konnte die Aufgaben heute nicht besonders gut erfüllen.
IMI_Ef_1_inv	10	Ich habe im <i>teutolab</i> heute nicht viel Energie aufgewendet.
IMI_Ch_3	11	Ich habe die Tätigkeiten im <i>teutolab</i> durchgeführt, weil ich sie tun wollte.
IMI_Va_2	12	Ich würde den Kurstag im <i>teutolab</i> wieder machen, da er mir genutzt hat.
IMI_En_3	13	Ich würde die Tätigkeiten im <i>teutolab</i> als sehr interessant beschreiben.
IMI_RT_2_inv	14	Die Betreuer schienen mich nicht sehr zu mögen.
IMI_Co_2	15	Ich war beim Workshop ziemlich geschickt.
IMI_Pr_2_inv	16	Ich fühlte mich im <i>teutolab</i> sehr angespannt.
IMI_Ef_2_inv	17	Ich habe mich nicht sehr angestrengt, im <i>teutolab</i> gut zu sein.
IMI_Co_3	18	Ich bin zufrieden mit meiner Leistung im <i>teutolab</i> .
IMI_Ef_3	19	Es war für mich wichtig, im <i>teutolab</i> gut zu sein.
IMI_Pr_3_inv	20	Ich fühlte mich im <i>teutolab</i> unter Druck.
IMI_RP_2_inv	21	Ich hätte heute lieber allein gearbeitet.
IMI_RT_3	22	Die Betreuer waren mir gegenüber sehr nett.
IMI_Ef_4	23	Ich habe mir im <i>teutolab</i> viel Mühe gegeben.
IMI_Ch_4	24	Ich denke, ich hatte im <i>teutolab</i> einige Wahlmöglichkeiten.
IMI_En_4_inv	25	Die Tätigkeiten im <i>teutolab</i> waren langweilig.
IMI_Va_3	26	Der Kurstag im <i>teutolab</i> ist hilfreich für mein naturwiss. Verständnis.
IMI_RP_3	27	Ich glaube, dass meine Mitschüler mich mögen.
IMI_Ch_5_inv	28	Ich fühlte mich heute danach, nicht nach meinen eigenen Entscheidungen gearbeitet zu haben.
IMI_Va_4	29	Ich denke, der Kurstag im <i>teutolab</i> könnte für meine Berufs- und Studienorientierung hilfreich sein.
IMI_Co_4	30	Nachdem ich eine Weile gearbeitet hatte, fühlte ich mich recht kompetent.
IMI_Va_5	31	Der Kurstag im <i>teutolab</i> war wichtig, weil er für mein Abitur hilfreich ist.

Anhang 23 Post-hoc-Test:
Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Interesse

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_Int_I

Tukey-HSD

(I)Kategorie Zeugnisschnitt	(J)Kategorie Zeugnisschnitt	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1,0 bis 1,9	2,0 bis 2,4	,2666*	,10856	,039	,0103	,5230
	2,5 bis 5,0	,3758*	,11152	,003	,1125	,6391
2,0 bis 2,4	1,0 bis 1,9	-,2666*	,10856	,039	-,5230	-,0103
	2,5 bis 5,0	,1092	,11114	,589	-,1533	,3716
2,5 bis 5,0	1,0 bis 1,9	-,3758*	,11152	,003	-,6391	-,1125
	2,0 bis 2,4	-,1092	,11114	,589	-,3716	,1533

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = ,410.

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

Anhang 24 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf das Interesse

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_Int_I

Tukey-HSD

(I)Kategorie	(J)Kategorie	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
Biozensur	Biozensur				Untergrenze	Obergrenze
13 bis 15	10 bis 12	,3618	,10735	,003	,1084	,6151
	0 bis 9	,3368	,10454	,004	,0901	,5836
10 bis 12	13 bis 15	-,3618	,10735	,003	-,6151	-,1084
	0 bis 9	-,0249	,10869	,971	-,2815	,2316
0 bis 9	13 bis 15	-,3368	,10454	,004	-,5836	-,0901
	10 bis 12	,0249	,10869	,971	-,2316	,2815

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = ,410.

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

Anhang 25 Kurzsкала zur Messung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale (Kurz-PgK, Basten et al., 2015)

PgK	
PgK_Ak_1	Ich war im <i>teutolab</i> beim Lernen tätig.
PgK_Sg_1	Im <i>teutolab</i> konnte ich selbst bestimmen, was ich lerne.
PgK_Em_1	Ich hatte im <i>teutolab</i> Lust zu lernen.
PgK_Si_1	Ich habe im <i>teutolab</i> etwas gelernt, was ich im Alltag nutzen kann.
PgK_So_1	Ich habe im <i>teutolab</i> beim Lernen mit anderen zusammen gearbeitet.
PgK_Ko_1	Ich habe im <i>teutolab</i> auf vorhandenes Wissen aufgebaut.
PgK_Ak_2	Ich war im <i>teutolab</i> beim Lernen aktiv.
PgK_Em_2	Ich habe mich im <i>teutolab</i> beim Lernen wohlfühlt.
PgK_Ko_2	Im <i>teutolab</i> habe ich neues Wissen mit altem Wissen verknüpft.
PgK_Si_2	Ich habe im <i>teutolab</i> etwas gelernt, was mir im Leben weiterhilft.
PgK_Ak_3	Ich war im <i>teutolab</i> beim Lernen eifrig.
PgK_So_2	Ich habe im <i>teutolab</i> mit anderen zusammen gelernt.
PgK_So_3	Ich habe mich im <i>teutolab</i> beim Lernen mit anderen ausgetauscht.
PgK_Sg_2	Im <i>teutolab</i> konnte ich selbst entscheiden, womit ich lerne.
PgK_Ko_3	Ich habe im <i>teutolab</i> auf vorhandene Kenntnisse zurückgegriffen
PgK_Si_3	Ich habe im <i>teutolab</i> etwas gelernt, was ich gut gebrauchen kann.
PgK_Em_3	Ich hatte im <i>teutolab</i> Spaß beim Lernen.

Anhang 26 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung gemäßigt konstruktivistischer Prozessmerkmale

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_PgK_Ak	12 bis 15 Punkte	9 bis 11 Punkte	-,0969	,13923	,766	-,4259	,2321
		0 bis 8 Punkte	,0222	,14025	,986	-,3093	,3536
	9 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0969	,13923	,766	-,2321	,4259
		0 bis 8 Punkte	,1191	,13501	,652	-,2000	,4381
	0 bis 8 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,0222	,14025	,986	-,3536	,3093
		9 bis 11 Punkte	-,1191	,13501	,652	-,4381	,2000
Sub_PgK_Sg	12 bis 15 Punkte	9 bis 11 Punkte	-,1523	,19057	,704	-,6027	,2980
		0 bis 8 Punkte	-,4970	,19196	,028	-,9507	-,0434
	9 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,1523	,19057	,704	-,2980	,6027
		0 bis 8 Punkte	-,3447	,18479	,152	-,7814	,0920
	0 bis 8 Punkte	12 bis 15 Punkte	,4970	,19196	,028	,0434	,9507
		9 bis 11 Punkte	,3447	,18479	,152	-,0920	,7814
Sub_PgK_Em	12 bis 15 Punkte	9 bis 11 Punkte	-,0985	,15800	,807	-,4719	,2748
		0 bis 8 Punkte	,0952	,15915	,821	-,2809	,4713
	9 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0985	,15800	,807	-,2748	,4719
		0 bis 8 Punkte	,1938	,15321	,417	-,1683	,5558
	0 bis 8 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,0952	,15915	,821	-,4713	,2809
		9 bis 11 Punkte	-,1938	,15321	,417	-,5558	,1683
Sub_PgK_Si	12 bis 15 Punkte	9 bis 11 Punkte	-,2837	,17369	,234	-,6941	,1267
		0 bis 8 Punkte	-,0384	,17496	,974	-,4518	,3751
	9 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,2837	,17369	,234	-,1267	,6941
		0 bis 8 Punkte	,2453	,16842	,314	-,1527	,6433
	0 bis 8 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0384	,17496	,974	-,3751	,4518
		9 bis 11 Punkte	-,2453	,16842	,314	-,6433	,1527
Sub_PgK_So	12 bis 15 Punkte	9 bis 11 Punkte	-,1386	,13645	,568	-,4611	,1838
		0 bis 8 Punkte	-,1019	,13744	,739	-,4267	,2230
	9 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,1386	,13645	,568	-,1838	,4611
		0 bis 8 Punkte	,0368	,13231	,958	-,2759	,3495
	0 bis 8 Punkte	12 bis 15 Punkte	,1019	,13744	,739	-,2230	,4267
		9 bis 11 Punkte	-,0368	,13231	,958	-,3495	,2759
Sub_PgK_Ko	12 bis 15 Punkte	9 bis 11 Punkte	-,1126	,14011	,701	-,4437	,2185
		0 bis 8 Punkte	,2394	,14113	,209	-,0941	,5729
	9 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,1126	,14011	,701	-,2185	,4437
		0 bis 8 Punkte	,3521	,13586	,028	,0310	,6731
	0 bis 8 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,2394	,14113	,209	-,5729	,0941
		9 bis 11 Punkte	-,3521	,13586	,028	-,6731	-,0310

Anhang 27 Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitt auf die Wahrnehmung Forschenden Lernens

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Zeugnischnitt	(J)Kategorie Zeugnischnitt	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_FL_Vplanung	0,7 bis 2,0	2,1 bis 2,5	,0256	,11789	,974	-,2516	,3028
		2,6 bis 5,0	,1489	,11696	,411	-,1262	,4239
	2,1 bis 2,5	0,7 bis 2,0	-,0256	,11789	,974	-,3028	,2516
		2,6 bis 5,0	,1232	,12401	,581	-,1683	,4148
	2,6 bis 5,0	0,7 bis 2,0	-,1489	,11696	,411	-,4239	,1262
		2,1 bis 2,5	-,1232	,12401	,581	-,4148	,1683
Sub_FL_Vdurchf	0,7 bis 2,0	2,1 bis 2,5	,0526	,07962	,787	-,1347	,2398
		2,6 bis 5,0	,1186	,07900	,291	-,0672	,3043
	2,1 bis 2,5	0,7 bis 2,0	-,0526	,07962	,787	-,2398	,1347
		2,6 bis 5,0	,0660	,08376	,710	-,1309	,2630
	2,6 bis 5,0	0,7 bis 2,0	-,1186	,07900	,291	-,3043	,0672
		2,1 bis 2,5	-,0660	,08376	,710	-,2630	,1309
Sub_FL_Wiss	0,7 bis 2,0	2,1 bis 2,5	-,0157	,07334	,975	-,1881	,1568
		2,6 bis 5,0	,1858*	,07277	,030	,0147	,3569
	2,1 bis 2,5	0,7 bis 2,0	,0157	,07334	,975	-,1568	,1881
		2,6 bis 5,0	,2015*	,07715	,025	,0201	,3829
	2,6 bis 5,0	0,7 bis 2,0	-,1858*	,07277	,030	-,3569	-,0147
		2,1 bis 2,5	-,2015*	,07715	,025	-,3829	-,0201
Sub_FL_Lernen	0,7 bis 2,0	2,1 bis 2,5	-,0978	,08293	,466	-,2928	,0972
		2,6 bis 5,0	,1583	,08228	,133	-,0351	,3518
	2,1 bis 2,5	0,7 bis 2,0	,0978	,08293	,466	-,0972	,2928
		2,6 bis 5,0	,2561*	,08724	,010	,0510	,4612
	2,6 bis 5,0	0,7 bis 2,0	-,1583	,08228	,133	-,3518	,0351
		2,1 bis 2,5	-,2561*	,08724	,010	-,4612	-,0510

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: FL_Gesamt

Tukey-HSD

(I)Kategorie Zeugnischnitt	(J)Kategorie Zeugnischnitt	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
0,7 bis 2,0	2,1 bis 2,5	-,0088	,06206	,989	-,1548	,1371
	2,6 bis 5,0	,1529*	,06158	,036	,0081	,2977
2,1 bis 2,5	0,7 bis 2,0	,0088	,06206	,989	-,1371	,1548
	2,6 bis 5,0	,1617*	,06529	,036	,0082	,3152
2,6 bis 5,0	0,7 bis 2,0	-,1529*	,06158	,036	-,2977	-,0081
	2,1 bis 2,5	-,1617*	,06529	,036	-,3152	-,0082

Anhang 28 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf die Wahrnehmung Forschenden Lernens

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_FL_Vplanung	12 bis 15 Punkte	10 bis 11 Punkte	,0593	,12202	,878	-,2276	,3462
		0 bis 9 Punkte	,2684*	,11262	,046	,0036	,5331
	10 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,0593	,12202	,878	-,3462	,2276
		0 bis 9 Punkte	,2091	,11422	,161	-,0594	,4776
	0 bis 9 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,2684*	,11262	,046	-,5331	-,0036
		10 bis 11 Punkte	-,2091	,11422	,161	-,4776	,0594
Sub_FL_Vdurchf	12 bis 15 Punkte	10 bis 11 Punkte	-,0109	,08337	,991	-,2069	,1851
		0 bis 9 Punkte	,0670	,07695	,659	-,1139	,2479
	10 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0109	,08337	,991	-,1851	,2069
		0 bis 9 Punkte	,0779	,07804	,579	-,1056	,2613
	0 bis 9 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,0670	,07695	,659	-,2479	,1139
		10 bis 11 Punkte	-,0779	,07804	,579	-,2613	,1056
Sub_FL_Wiss	12 bis 15 Punkte	10 bis 11 Punkte	-,0076	,07694	,995	-,1885	,1733
		0 bis 9 Punkte	,1942*	,07101	,018	,0272	,3611
	10 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0076	,07694	,995	-,1733	,1885
		0 bis 9 Punkte	,2018*	,07202	,015	,0325	,3711
	0 bis 9 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,1942*	,07101	,018	-,3611	-,0272
		10 bis 11 Punkte	-,2018*	,07202	,015	-,3711	-,0325
Sub_FL_Lernen	12 bis 15 Punkte	10 bis 11 Punkte	-,1502	,08696	,196	-,3547	,0542
		0 bis 9 Punkte	-,0015	,08026	1,000	-,1902	,1872
	10 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,1502	,08696	,196	-,0542	,3547
		0 bis 9 Punkte	,1487	,08140	,162	-,0426	,3401
	0 bis 9 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0015	,08026	1,000	-,1872	,1902
		10 bis 11 Punkte	-,1487	,08140	,162	-,3401	,0426

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: FL_Gesamt

Tukey-HSD

(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
12 bis 15 Punkte	10 bis 11 Punkte	-,0274	,06501	,907	-,1802	,1255
	0 bis 9 Punkte	,1320	,06000	,072	-,0090	,2731
10 bis 11 Punkte	12 bis 15 Punkte	,0274	,06501	,907	-,1255	,1802
	0 bis 9 Punkte	,1594*	,06085	,025	,0163	,3024
0 bis 9 Punkte	12 bis 15 Punkte	-,1320	,06000	,072	-,2731	,0090
	10 bis 11 Punkte	-,1594*	,06085	,025	-,3024	-,0163

Anhang 29 Post-hoc-Test: Einfluss des Zeugnisdurchschnitts auf das Flow-Erleben

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: E_3

Tukey-HSD

(I)Kategorie Zeugnischnitt	(J)Kategorie Zeugnischnitt	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1,0 bis 2,1	2,2 bis 2,5	,37 [*]	,155	,043	,01	,74
	2,6 bis 5,0	,09	,152	,826	-,27	,45
2,2 bis 2,5	1,0 bis 2,1	-,37 [*]	,155	,043	-,74	-,01
	2,6 bis 5,0	-,28	,162	,187	-,67	,10
2,6 bis 5,0	1,0 bis 2,1	-,09	,152	,826	-,45	,27
	2,2 bis 2,5	,28	,162	,187	-,10	,67

Anhang 30 Post-hoc-Test: Einfluss der Biologiezensur auf das Flow-Erleben

Multiple Comparisons

Tukey-HSD

Abhängige Variable	(I)Kategorie Biozensur	(J)Kategorie Biozensur	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Flow_GAV	12 bis 15	10 bis 11	,1460	,09731	,293	-,0838	,3757
		0 bis 9	,2315*	,08958	,028	,0200	,4430
	10 bis 11	12 bis 15	-,1460	,09731	,293	-,3757	,0838
		0 bis 9	,0855	,09249	,625	-,1328	,3039
	0 bis 9	12 bis 15	-,2315*	,08958	,028	-,4430	-,0200
		10 bis 11	-,0855	,09249	,625	-,3039	,1328
Sub_Flow_Abs	12 bis 15	10 bis 11	-,0638	,11706	,849	-,3401	,2126
		0 bis 9	-,0232	,10775	,975	-,2775	,2312
	10 bis 11	12 bis 15	,0638	,11706	,849	-,2126	,3401
		0 bis 9	,0406	,11126	,929	-,2220	,3033
	0 bis 9	12 bis 15	,0232	,10775	,975	-,2312	,2775
		10 bis 11	-,0406	,11126	,929	-,3033	,2220

Anhang 31 Kreuztabellen Teilstudie 6 ‚Berufsfeldpraktikum‘
Stichprobe Schüler Wissen und Motivation 627 TN

Treatment * LkGk Kreuztabelle

		LkGk		Gesamt	
		Gk	Lk		
Treatment	1. Tag	Anzahl	80	143	223
		% innerhalb von Treatment	35,9%	64,1%	100,0%
	2. Tag	Anzahl	36	174	210
		% innerhalb von Treatment	17,1%	82,9%	100,0%
	3. Tag	Anzahl	86	106	192
		% innerhalb von Treatment	44,8%	55,2%	100,0%
Gesamt	Anzahl	202	423	625	
	% innerhalb von Treatment	32,3%	67,7%	100,0%	

Treatment * Schulform Kreuztabelle

		Schulform			Gesamt	
		Gymnasium	Gesamtschule	Berufskolleg		
Treatment	1. Tag	Anzahl	145	37	41	223
		% innerhalb von Treatment	65,0%	16,6%	18,4%	100,0%
	2. Tag	Anzahl	158	35	16	209
		% innerhalb von Treatment	75,6%	16,7%	7,7%	100,0%
	3. Tag	Anzahl	140	34	19	193
		% innerhalb von Treatment	72,5%	17,6%	9,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl	443	106	76	625	
	% innerhalb von Treatment	70,9%	17,0%	12,2%	100,0%	

Treatment * Geschlecht Kreuztabelle

		Geschlecht		Gesamt	
		weiblich	männlich		
Treatment	1. Tag	Anzahl	135	81	216
		% innerhalb von Treatment	62,5%	37,5%	100,0%
	2. Tag	Anzahl	132	72	204
		% innerhalb von Treatment	64,7%	35,3%	100,0%
	3. Tag	Anzahl	122	65	187
		% innerhalb von Treatment	65,2%	34,8%	100,0%
Gesamt	Anzahl	389	218	607	
	% innerhalb von Treatment	64,1%	35,9%	100,0%	

Treatment * Skript_1 Kreuztabelle

		Skript_1				Gesamt	
		gemeinsam besprochen	allein durchgelesen	nicht durchgelesen	Sonstiges		
Treatment	1. Tag	Anzahl	72	120	18	10	220
		% innerhalb von Treatment	32,7%	54,5%	8,2%	4,5%	100,0%
	2. Tag	Anzahl	89	83	12	22	206
		% innerhalb von Treatment	43,2%	40,3%	5,8%	10,7%	100,0%
	3. Tag	Anzahl	96	70	25	2	193
		% innerhalb von Treatment	49,7%	36,3%	13,0%	1,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl	257	273	55	34	619	
	% innerhalb von Treatment	41,5%	44,1%	8,9%	5,5%	100,0%	

Anhang 32 Post-hoc-Test: Einfluss des ersten, zweiten und dritten Tages des Unterrichtens der Studierenden auf das Wissen der Schüler

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Summe_WNach_Prozent

Tukey-HSD

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1. Tag	2. Tag	-3,6888*	1,20609	,007	-6,5222	-,8553
	3. Tag	-3,9080*	1,23311	,005	-6,8049	-1,0111
2. Tag	1. Tag	3,6888*	1,20609	,007	,8553	6,5222
	3. Tag	-,2192	1,25319	,983	-3,1633	2,7249
3. Tag	1. Tag	3,9080*	1,23311	,005	1,0111	6,8049
	2. Tag	,2192	1,25319	,983	-2,7249	3,1633

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Diff_WNachWVor_Prozent

Tukey-HSD

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1. Tag	2. Tag	-3,5791*	1,19905	,008	-6,3961	-,7622
	3. Tag	-3,9605*	1,22425	,004	-6,8367	-1,0844
2. Tag	1. Tag	3,5791*	1,19905	,008	,7622	6,3961
	3. Tag	-,3814	1,24175	,949	-3,2986	2,5359
3. Tag	1. Tag	3,9605*	1,22425	,004	1,0844	6,8367
	2. Tag	,3814	1,24175	,949	-2,5359	3,2986

Anhang 33 Post-hoc-Test: Akzeptanz bei den Tageskursen, der CeBiTec-Schülerakademie, der *teutolab*-Akademie, dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt

Multiple Comparisons

Games-Howell

Abhängige Variable	(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Akz_Aff	Tageskurse	Schülerakademie	-,2308*	,05885	,001	-,3934	-,0682
		Systembiologie	-,3917*	,07054	,000	-,5916	-,1918
		L2V215	-,5040	,23766	,264	-1,2423	,2344
		Erasmus	-,0969	,07041	,644	-,2933	,0995
	Schülerakademie	Tageskurse	,2308*	,05885	,001	,0682	,3934
		Systembiologie	-,1608	,08496	,329	-,3975	,0758
		L2V215	-,2731	,24233	,790	-1,0186	,4724
		Erasmus	,1339	,08485	,514	-,1007	,3685
	Systembiologie	Tageskurse	,3917*	,07054	,000	,1918	,5916
		Schülerakademie	,1608	,08496	,329	-,0758	,3975
		L2V215	-,1123	,24544	,990	-,8629	,6384
		Erasmus	,2948*	,09334	,018	,0351	,5544
	L2V215	Tageskurse	,5040	,23766	,264	-,2344	1,2423
		Schülerakademie	,2731	,24233	,790	-,4724	1,0186
		Systembiologie	,1123	,24544	,990	-,6384	,8629
		Erasmus	,4070	,24540	,484	-,3435	1,1575
	Erasmus	Tageskurse	,0969	,07041	,644	-,0995	,2933
		Schülerakademie	-,1339	,08485	,514	-,3685	,1007
		Systembiologie	-,2948*	,09334	,018	-,5544	-,0351
		L2V215	-,4070	,24540	,484	-1,1575	,3435
Sub_Akz_Eff	Tageskurse	Schülerakademie	-1,1376*	,06867	,000	-1,3272	-,9481
		Systembiologie	-1,0444*	,12154	,000	-1,3905	-,6982
		L2V215	-1,1523*	,21897	,001	-1,8307	-,4738
		Erasmus	-1,1085*	,06522	,000	-1,2895	-,9275
	Schülerakademie	Tageskurse	1,1376*	,06867	,000	,9481	1,3272
		Systembiologie	,0933	,13221	,954	-,2790	,4655
		L2V215	-,0146	,22507	1,000	-,7027	,6735
		Erasmus	,0291	,08344	,997	-,2012	,2594
	Systembiologie	Tageskurse	1,0444*	,12154	,000	,6982	1,3905
		Schülerakademie	-,0933	,13221	,954	-,4655	,2790
		L2V215	-,1079	,24640	,992	-,8371	,6213
		Erasmus	-,0641	,13045	,988	-,4321	,3038
	L2V215	Tageskurse	1,1523*	,21897	,001	,4738	1,8307
		Schülerakademie	,0146	,22507	1,000	-,6735	,7027
		Systembiologie	,1079	,24640	,992	-,6213	,8371
		Erasmus	,0438	,22404	1,000	-,6427	,7302
	Erasmus	Tageskurse	1,1085*	,06522	,000	,9275	1,2895
		Schülerakademie	-,0291	,08344	,997	-,2594	,2012
		Systembiologie	,0641	,13045	,988	-,3038	,4321
		L2V215	-,0438	,22404	1,000	-,7302	,6427
Sub_Akz_Qu	Tageskurse	Schülerakademie	,1129	,05625	,268	-,0425	,2683
		Systembiologie	,0256	,07337	,997	-,1826	,2338

Anhang 33 Post-hoc-Test: Akzeptanz bei den Tageskursen, der CeBiTec-Schülerakademie, der *teutolab*-Akademie, dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt

	L2V215	,5418	,22422	,166	-,1546	1,2383
	Erasmus	,8866*	,10824	,000	,5835	1,1897
Schülerakademie	Tageskurse	-,1129	,05625	,268	-,2683	,0425
	Systembiologie	-,0873	,08584	,847	-,3270	,1523
	L2V215	,4289	,22860	,369	-,2742	1,1320
	Erasmus	,7737*	,11705	,000	,4480	1,0994
Systembiologie	Tageskurse	-,0256	,07337	,997	-,2338	,1826
	Schülerakademie	,0873	,08584	,847	-,1523	,3270
	L2V215	,5162	,23340	,223	-,1950	1,2274
	Erasmus	,8610*	,12617	,000	,5104	1,2117
L2V215	Tageskurse	-,5418	,22422	,166	-1,2383	,1546
	Schülerakademie	-,4289	,22860	,369	-1,1320	,2742
	Systembiologie	-,5162	,23340	,223	-1,2274	,1950
	Erasmus	,3448	,24659	,635	-,3906	1,0802
Erasmus	Tageskurse	-,8866*	,10824	,000	-1,1897	-,5835
	Schülerakademie	-,7737*	,11705	,000	-1,0994	-,4480
	Systembiologie	-,8610*	,12617	,000	-1,2117	-,5104
	L2V215	-,3448	,24659	,635	-1,0802	,3906

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_Akz

Games-Howell

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Tageskurse	Schülerakademie	-,4185*	,04691	,000	-,5481	-,2890
	Systembiologie	-,4701*	,07121	,000	-,6727	-,2676
	L2V215	-,3715	,20186	,390	-,9987	,2557
	Erasmus	-,1063	,06108	,416	-,2767	,0642
Schülerakademie	Tageskurse	,4185*	,04691	,000	,2890	,5481
	Systembiologie	-,0516	,08014	,967	-,2763	,1730
	L2V215	,0471	,20518	,999	-,5852	,6793
	Erasmus	,3122*	,07129	,000	,1149	,5096
Systembiologie	Tageskurse	,4701*	,07121	,000	,2676	,6727
	Schülerakademie	,0516	,08014	,967	-,1730	,2763
	L2V215	,0987	,21206	,990	-,5452	,7425
	Erasmus	,3639*	,08918	,001	,1152	,6125
L2V215	Tageskurse	,3715	,20186	,390	-,2557	,9987
	Schülerakademie	-,0471	,20518	,999	-,6793	,5852
	Systembiologie	-,0987	,21206	,990	-,7425	,5452
	Erasmus	,2652	,20887	,712	-,3730	,9034
Erasmus	Tageskurse	,1063	,06108	,416	-,0642	,2767
	Schülerakademie	-,3122*	,07129	,000	-,5096	-,1149
	Systembiologie	-,3639*	,08918	,001	-,6125	-,1152
	L2V215	-,2652	,20887	,712	-,9034	,3730

Anhang 34 Post-hoc-Test: Wahrnehmung der Förderung von Schlüsselkompetenzen bei den Tageskursen, der *teutolab*-Akademie, dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt

Multiple Comparisons

Hochberg

Abhängige Variable	(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Komp_PL	Tageskurse	Systembiologie	-,2954	,13303	,151	-,6475	,0567
		L2V215	-,5557*	,20146	,036	-1,0889	-,0224
		Erasmus	-,3467*	,10850	,009	-,6338	-,0595
	Systembiologie	Tageskurse	,2954	,13303	,151	-,0567	,6475
		L2V215	-,2602	,22967	,832	-,8681	,3477
		Erasmus	-,0512	,15470	1,000	-,4607	,3582
	L2V215	Tageskurse	,5557*	,20146	,036	,0224	1,0889
		Systembiologie	,2602	,22967	,832	-,3477	,8681
		Erasmus	,2090	,21639	,912	-,3638	,7817
	Erasmus	Tageskurse	,3467*	,10850	,009	,0595	,6338
		Systembiologie	,0512	,15470	1,000	-,3582	,4607
		L2V215	-,2090	,21639	,912	-,7817	,3638
Sub_Komp_Ziel	Tageskurse	Systembiologie	-,1769	,10947	,491	-,4667	,1128
		L2V215	-,1314	,16579	,965	-,5702	,3074
		Erasmus	,1127	,08928	,751	-,1236	,3491
	Systembiologie	Tageskurse	,1769	,10947	,491	-,1128	,4667
		L2V215	,0455	,18900	1,000	-,4548	,5457
		Erasmus	,2896	,12731	,133	-,0473	,6266
	L2V215	Tageskurse	,1314	,16579	,965	-,3074	,5702
		Systembiologie	-,0455	,18900	1,000	-,5457	,4548
		Erasmus	,2442	,17807	,674	-,2271	,7155
	Erasmus	Tageskurse	-,1127	,08928	,751	-,3491	,1236
		Systembiologie	-,2896	,12731	,133	-,6266	,0473
		L2V215	-,2442	,17807	,674	-,7155	,2271
Sub_Komp_Selbst	Tageskurse	Systembiologie	-,8367*	,14782	,000	-1,2279	-,4454
		L2V215	-,9133*	,22386	,000	-1,5058	-,3208
		Erasmus	-,5567*	,12056	,000	-,8758	-,2376
	Systembiologie	Tageskurse	,8367*	,14782	,000	,4454	1,2279
		L2V215	-,0766	,25520	1,000	-,7521	,5989
		Erasmus	,2800	,17190	,482	-,1750	,7350
	L2V215	Tageskurse	,9133*	,22386	,000	,3208	1,5058
		Systembiologie	,0766	,25520	1,000	-,5989	,7521
		Erasmus	,3566	,24045	,591	-,2798	,9930
	Erasmus	Tageskurse	,5567*	,12056	,000	,2376	,8758
		Systembiologie	-,2800	,17190	,482	-,7350	,1750
		L2V215	-,3566	,24045	,591	-,9930	,2798

Anhang 34 Post-hoc-Test: Wahrnehmung der Förderung von Schlüsselkompetenzen bei den Tageskursen, der *teutolab*-Akademie, dem Lab2Venture-Projekt und dem Erasmus-Projekt

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_Komp

Hochberg

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Tageskurse	Systembiologie	-,4363*	,10925	,000	-,7255	-,1472
	L2V215	-,5335*	,16545	,008	-,9714	-,0955
	Erasmus	-,2635*	,08911	,020	-,4994	-,0277
Systembiologie	Tageskurse	,4363*	,10925	,000	,1472	,7255
	L2V215	-,0971	,18862	,996	-,5964	,4021
	Erasmus	,1728	,12705	,682	-,1635	,5091
L2V215	Tageskurse	,5335*	,16545	,008	,0955	,9714
	Systembiologie	,0971	,18862	,996	-,4021	,5964
	Erasmus	,2699	,17771	,564	-,2005	,7403
Erasmus	Tageskurse	,2635*	,08911	,020	,0277	,4994
	Systembiologie	-,1728	,12705	,682	-,5091	,1635
	L2V215	-,2699	,17771	,564	-,7403	,2005

Anhang 35 Post-hoc-Test: Individuelles Interesse und Wahrnehmung des situationalen Interesses bei den Tageskursen, der CeBiTec-Schülerakademie, der *teutolab*-Akademie und dem Lab2Venture-Projekt

Multiple Comparisons

Games-Howell

Abhängige Variable	(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
Sub_Int_T	Tageskurse	Schülerakademie	-,2248*	,08041	,030	-,4344	-,0153
		Systembiologie	-,0270	,09311	,991	-,2726	,2185
		L2V215	,1515	,13576	,685	-,2323	,5352
	Schülerakademie	Tageskurse	,2248*	,08041	,030	,0153	,4344
		Systembiologie	,1978	,10382	,234	-,0747	,4703
		L2V215	,3763	,14332	,068	-,0217	,7743
	Systembiologie	Tageskurse	,0270	,09311	,991	-,2185	,2726
		Schülerakademie	-,1978	,10382	,234	-,4703	,0747
		L2V215	,1785	,15082	,642	-,2354	,5924
	L2V215	Tageskurse	-,1515	,13576	,685	-,5352	,2323
		Schülerakademie	-,3763	,14332	,068	-,7743	,0217
		Systembiologie	-,1785	,15082	,642	-,5924	,2354
Sub_Int_F	Tageskurse	Schülerakademie	-,6887*	,08916	,000	-,9208	-,4567
		Systembiologie	-,2659	,10568	,067	-,5444	,0126
		L2V215	-,5705*	,13815	,003	-,9581	-,1829
	Schülerakademie	Tageskurse	,6887*	,08916	,000	,4567	,9208
		Systembiologie	,4228*	,11533	,002	,1200	,7257
		L2V215	,1182	,14567	,848	-,2842	,5207
	Systembiologie	Tageskurse	,2659	,10568	,067	-,0126	,5444
		Schülerakademie	-,4228*	,11533	,002	-,7257	-,1200
		L2V215	-,3046	,15632	,231	-,7304	,1213
	L2V215	Tageskurse	,5705*	,13815	,003	,1829	,9581
		Schülerakademie	-,1182	,14567	,848	-,5207	,2842
		Systembiologie	,3046	,15632	,231	-,1213	,7304
Sub_Int_V	Tageskurse	Schülerakademie	-,9957*	,08577	,000	-1,2185	-,7728
		Systembiologie	-,9372*	,11438	,000	-1,2391	-,6353
		L2V215	-1,0083*	,15437	,000	-1,4434	-,5731
	Schülerakademie	Tageskurse	,9957*	,08577	,000	,7728	1,2185
		Systembiologie	,0585	,11919	,961	-,2555	,3725
		L2V215	-,0126	,15797	1,000	-,4545	,4294
	Systembiologie	Tageskurse	,9372*	,11438	,000	,6353	1,2391
		Schülerakademie	-,0585	,11919	,961	-,3725	,2555
		L2V215	-,0711	,17516	,977	-,5490	,4069
	L2V215	Tageskurse	1,0083*	,15437	,000	,5731	1,4434
		Schülerakademie	,0126	,15797	1,000	-,4294	,4545
		Systembiologie	,0711	,17516	,977	-,4069	,5490

Anhang 35 Post-hoc-Test: Individuelles Interesse und Wahrnehmung des situationalen Interesses bei den Tageskursen, der CeBiTec-Schülerakademie, der *teutolab*-Akademie und dem Lab2Venture-Projekt

Multiple Comparisons

Abhängige Variable: Ges_Sit_Int

Games-Howell

(I)Treatment	(J)Treatment	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
Tageskurse	Schülerakademie	-,6364*	,07217	,000	-,8239	-,4490
	Systembiologie	-,4101*	,08801	,000	-,6415	-,1786
	L2V215	-,4758*	,12008	,004	-,8122	-,1393
Schülerakademie	Tageskurse	,6364*	,07217	,000	,4490	,8239
	Systembiologie	,2264	,09146	,072	-,0141	,4668
	L2V215	,1607	,12263	,567	-,1808	,5022
Systembiologie	Tageskurse	,4101*	,08801	,000	,1786	,6415
	Schülerakademie	-,2264	,09146	,072	-,4668	,0141
	L2V215	-,0657	,13257	,959	-,4282	,2968
L2V215	Tageskurse	,4758*	,12008	,004	,1393	,8122
	Schülerakademie	-,1607	,12263	,567	-,5022	,1808
	Systembiologie	,0657	,13257	,959	-,2968	,4282