

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Lernen aus (eigenen und fremden) Fehlern beim Erwerb von
Experimentierkompetenz. Kognitive Aspekte einer Bildungsintervention in der 7.
und 8. Schulstufe AHS.

verfasst von | submitted by

Georg Aigner BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the student
record sheet:

UA 199 502 525 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach
Psychologie und Philosophie

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Andrea Möller

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	i
2	Tabellenverzeichnis	iii
3	Abbildungsverzeichnis	iv
4	Einleitung.....	1
4.1	Theoretischer Hintergrund	2
4.2	Experiment und Experimentierkompetenz.....	2
4.3	Variablenkontrollstrategie (VKS)	4
4.4	Häufige Schüler:innen-Fehler beim Experimentieren	5
4.5	Lernen aus Fehlern.....	6
4.5.1	Negatives Wissen	6
4.5.2	Lernen aus eigenen Fehlern.....	7
4.5.3	Lernen aus fremden Fehlern	8
4.6	Cognitive Load Theory	9
4.6.1	Intrinsic Cognitive Load	10
4.6.2	Extraneous Cognitive Load	11
4.6.3	Germane Cognitive Load.....	11
4.7	Cognitive Load und Fehler	13
4.8	Forschungsfrage und Hypothese	15
5	Methode	17
5.1	Stichprobe.....	17
5.2	Design der Studie und Ablauf.....	17
5.2.1	Durchführung der Eigenen Fehler Gruppe (G1).....	19
5.2.2	Durchführung der Fremden Fehler Gruppe (G2)	19
5.3	Begründung der Auswahl der Experiment	21
5.4	Erhebungsinstrumente	23
5.4.1	Testinstrumente zur Erhebung der Variablenkontrollstrategie	23
5.4.2	Testinstrument zur Erhebung des Cognitive Loads.....	30
5.5	Datenanalyse	33

6	Ergebnisse	34
6.1	Mögliche Gruppenunterschiede bezüglich des Lernerfolgs	34
6.2	Mögliche Gruppenunterschiede bezüglich des Cognitive Loads.....	37
6.3	Mögliche Zusammenhänge von Cognitive Load und dem Lernerfolg	40
7	Diskussion	43
8	Limitationen	45
9	Implikationen für Forschung und Schulpraxis.....	45
10	Fazit und Ausblick.....	46
11	Zusammenfassung	47
13	Literaturverzeichnis.....	49
14	Danksagung	57
	Anhang.....	58

2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Tabelle über die Erhebungsinstrumente dieser Studie	23
Tabelle 3 Ergebnisse der Mann-Whitney-U-Tests zur Überprüfung des Einflusses der Gruppenzuweisung auf die Cognitive Loads	37
Tabelle 4 Korrelationen zwischen Cognitive Load und Lernzuwachs	42

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Graphische Darstellung zum Aufbau und Ablauf des Keksbackens	4
Abbildung 2 Graphische Darstellung des CLT	10
Abbildung 3 Übersichtsgrafik über den Studienablauf	18
Abbildung 4 Seite aus dem Laborbuch	20
Abbildung 5 Seite aus dem Laborbuch	22
Abbildung 6 Graphische Darstellung der Items der Testhefte	25
Abbildung 7: Identifikationsaufgabe (ID) im Prae-Testheft der Gruppe A ..	26
Abbildung 8 Seite 8 des Prae-Testheftes der Gruppe A Planungsaufgaben (PL)	27
Abbildung 9 Seite 9 des Prae-Testheftes der Gruppe A Ergebnisinterpretationsaufgaben (IN)	28
Abbildung 10 Seite 10 des Prae-Testheftes der Gruppe A Verständnisaufgabe (UN):	29
Abbildung 11 Fragebogen zum Cognitive Load von Klepsch et al (2017): C1-C8 beschreiben jene Items.	31
Abbildung 12 Foto eines Schüler:innen Aufbaus des Experiments.	32
Abbildung 13 Person-Item-Map S	34
Abbildung 14 Vergleich der Ergebnisse des Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie der Eigenen-Fehler-Gruppe und der Fremden-Fehler-Gruppe	36
Abbildung 15 Ergebnisse der Intrinsic Cognitive Load (ICL) Messung	38
Abbildung 16 Ergebnisse der Extrinsic Cognitive Load (ECL) Messung	38
Abbildung 17 Ergebnisse der GCL-Messung	39
Abbildung 18 Ergebnisse des Germane Cognitive Loads (GCL) zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie	40
Abbildung 19 Ergebnisse des Intrinsic Cognitive Loads (ICL) zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie	41
Abbildung 20 Ergebnis des Extraneous Cognitive Loads (ECL) zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie	41

4 Einleitung

Die Vermittlung von Experimentierkompetenz ist ein zentraler Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Sie fördert nicht nur das Verständnis für wissenschaftliche Methoden, sondern auch das kritische Denken und die Problemlösungsfähigkeiten der Schüler:innen. Dabei spielt auch das Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung eine zentrale Rolle in der Vermittlung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen. Wie auch in anderen naturwissenschaftlichen Fächern, ist das Experiment im Biologieunterricht eine wichtige Methode für die Gewinnung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen (Kremer et al. 2019). In dieser Masterarbeit, die im Rahmen des Projekts LeFeEx [Lernen aus (eigenen und fremden) Fehlern beim Erwerb von Experimentierkompetenz] erstellt wurde, wurde untersucht, wie das Lernen aus eigenen und fremden Fehlern die Fähigkeit zur Variablenkontrolle beeinflusst. Fehler sind unvermeidliche Bestandteile des Lernprozesses und bieten wertvolle Lernmöglichkeiten (Oser und Spychiger 2005), wenn sie richtig genutzt werden. Die zentrale Hypothese dieser Arbeit ist, dass das Lernen aus eigenen Fehlern (Kapur 2012) effektiver ist als das Lernen aus fremden Fehlern (Spychiger 2006). Dies basiert auf der Annahme, dass eigene Fehler eine tiefere kognitive Verarbeitung und eine nachhaltigere Erinnerung an die Lerninhalte fördern. Zusätzlich untersucht die Studie den Einfluss des Cognitive Loads auf den Lernzuwachs sowie auf Gruppenunterschiede zwischen Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern lernen, und Schüler:innen, die mit fremden Fehlern lernen. Der Cognitive Load Theory zufolge kann eine zu hohe kognitive Belastung das Lernen behindern, während eine moderate Belastung das Lernen fördern kann. Der Cognitive Load wird differenziert zwischen Intrinsic Cognitive Load (ICL), Extraneous Cognitive Load (ECL) und Germane Cognitive Load (GCL) (Sweller 1988). Um die spezifischen Einflüsse auf das Lernen aus Fehlern zu analysieren, wurde auch in dieser Arbeit darauf eingegangen. Diese Arbeit soll dazu beitragen, didaktische Ansätze entwickeln zu können, die ein Lernen aus Fehlern ermöglichen und so die Experimentierkompetenz der Schüler:innen nachhaltig fördern.

4.1 Theoretischer Hintergrund

4.2 Experiment und Experimentierkompetenz

Experimente dienen immer dazu, kausale Forschungsfragen zu klären, die sich auf die Auswirkungen einer unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable konzentrieren (Rohrmann et al. 2022; Brandenburger et al. 2022). Die Forschungsfrage kann entweder qualitativ oder quantitativ gestellt sein. Nicht-kausale Fragen sind ein wichtiger Bestandteil der Forschung, aber sie werden eher mit anderen Methoden, wie Sektion oder Beobachtung, behandelt. Die Erstellung einer oder mehrerer Kausalhypothesen ist ein weiteres Merkmal von Experimenten. Eine Hypothese ist eine fundierte Annahme über das Ergebnis eines Experiments, die auf theoretischem Vorwissen oder auf Erkenntnissen aus vorherigen Experimenten basiert. Wie die Forschungsfrage kann auch eine Hypothese qualitativ oder quantitativ sein (Rohrmann et al. 2022). Ein Experiment besteht aus verschiedenen Teilen, welche als Variablen beschrieben werden. Man unterscheidet zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen. Um eine klare kausale Schlussfolgerung ziehen zu können, darf jeweils nur eine unabhängige Variable geändert werden (Chen und Klahr 1999). Dieser Vorgang wird auch Variablenkontrolle genannt. Ein Experiment besteht meist aus mehreren Ansätzen (Testansatz und Kontrollansatz), die zur Kontrolle beitragen (Hammann et al. 2008). Nach Durchführung des Experiments werden Ergebnisse der Ansätze miteinander verglichen. Durch diesen Vergleich kann eine sichere Aussage über die Auswirkung der unabhängigen auf die abhängige Variable getroffen werden (Rohrmann et al. 2022). Validität, Reliabilität und Objektivität sind die entscheidenden Gütekriterien eines Experiments. Sie bilden die Grundlage für mögliche und verwertbare Schlussfolgerungen (Kubbe 2016). Diese Qualitätskriterien bedeuten, dass das Ergebnis möglichst unabhängig vom Experimentator ist (Objektivität), die Ergebnisse zuverlässig, glaubwürdig und reproduzierbar sind (Reliabilität) und die gewonnenen Daten durch präzise Fragestellungen und Hypothesen, sowie ausreichende Wiederholungen des Experiments valide (Validität) sind (Rohrmann et al. 2022). Der Experimentierprozess soll im Naturwissenschaftlichen Unterricht vermittelt, diskutiert, geübt, aber auch angewandt werden (Baur 2018). Damit Schüler:innen ein Experiment auch als Experiment wahrnehmen, müssen fünf Charakteristika erfüllt werden. Rohrmann et al. (2022) definieren diese folgendermaßen: 1) Kausale Forschungsfrage, 2) Hypothese, 3) Variablenkontrolle, 4) Test-, Kontrollansätze, 5) Qualitätskriterien.

Die Experimentierkompetenz ist eine Fähigkeit, die in verschiedenen Bereichen der wissenschaftlichen Praxis, aber auch in Alltagssituationen benötigt wird. Sie regt zum kritischen Denken an, sie schärft die Beobachtungsfähigkeit, die Fähigkeit zur Datenerfassung sowie die Analyse. Das Wissen über experimentelle Methoden und das Verstehen dieser werden als essentielle Ziele und Inhalte einer naturwissenschaftlichen Grundbildung angesehen (Bybee 2002; Shamos 2002). Daher ist es Ziel einer jeden Pflichtschulausbildung (in Österreich bis zur Vollendung der achten Schulstufe), diese Kompetenz zu erlangen (vgl. Lehrplan Sek 1 AT, (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) 2023)). Nicht nur in Österreich ist dieses Bildungsziel aufgeführt, sondern auch international sollen Schüler:innen eine Experimentierkompetenz entwickeln, die die Teilkompetenzen Fragestellung, Hypothesenbildung, Planen von Experimenten, Durchführen von Experimenten und Deuten von Ergebnissen mit einschließt einsetzen zu können (Department for Education 2014; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2005a, 2005b, 2005c; Bundesministerium für Bildung,

Wissenschaft und Forschung (BMBWF) 2023). Die Experimentierkompetenz ermöglicht es, zielgerichtete Experimente durchzuführen, neue Erkenntnisse zu gewinnen, Hypothesen zu überprüfen und wissenschaftliche Fragestellungen zu überprüfen. Bell et al. (2003) konnten darstellen, dass ein bloßes Nachahmen eines Experiments oder Teilhaben von Jugendlichen an einem (Vorführ)Experiment durch die Lehrkraft nicht zu dem gewünschten Beherrschen dieser naturwissenschaftlichen Kompetenz führt. Jedoch stellen Kirschner et al. (2006) fest, dass zu früh geöffnete Unterrichtskonzepte auch nicht zielführend für das Lernen von Experimenten sind. Daher ist es für die Lehrkraft umso wichtiger, auf die verschiedenen Stärken und Schwächen der Schüler:innen einzugehen und ihren aktuellen Wissenstand zu berücksichtigen.

4.3 Variablenkontrollstrategie (VKS)

Die Variablenkontrollstrategie (VKS) ist eine Methode, bei der in einem Experiment alle nicht untersuchten Variablen konstant gehalten werden müssen und die untersuchte Variable verändert wird (Rohrmann et al. 2022). Um gültige Schlussfolgerungen aus einem Experiment ziehen zu können, muss die unabhängige Variable variiert werden, während alle anderen Variablen kontrolliert werden. Wichtig hierbei sind folgende Variablen: Die unabhängige Variable ist jene Variable, welche verändert wird. Sie wird Testvariable genannt. Die abhängige Variable ist jene Variable, die gemessen werden kann. Die Kontrollvariable, ist jene Variable, die eine Störgröße sein kann. Da die unabhängigen Variablen verändert, beziehungsweise variiert werden können, haben sie eine Auswirkung auf die abhängigen Variablen. Ob die unabhängige Variable einen Einfluss auf die abhängigen Variablen hat, muss in mindestens zwei Experimentalansätzen überprüft werden. Diese beiden Experimentalansätze unterscheiden sich eindeutig in der Ausprägung der unabhängigen Variable. Die Kontrollvariablen sollen stets konstant gehalten werden, da sonst nicht von einem validen Experiment ausgegangen werden kann. Dies würde keine Schlussfolgerung zulassen. Chen und Klahr (1999) bezeichnen diesen Ansatz auch als 'Control of Variables Strategy', den sie mit CVS abkürzen. Dies entspricht der deutschen Bezeichnung 'Variablenkontrollstrategie' (VKS). Um dies zu verdeutlichen, wird im folgenden Absatz ein Beispiel vorgestellt. Jemand möchte herausfinden, ob die Temperatur beim Backen von Keksen einen Einfluss auf die Textur dieser hat. Die unabhängige Variable hierbei wäre die Temperatur, da deren Einfluss untersucht werden soll. Die abhängige Variable ist die Textur der Kekse. Die Kontrollvariablen, welche nicht verändert werden dürfen, wären: Backzeit, die Menge der Zutaten des Keksteiges, der Ofentyp, die Backform, die Höhe des Backblechs, auf der die Backform steht, und die Art der Hitze im Backofen. Möchte man dies untersuchen, müssen zwei verschiedene Temperaturen als abhängige Variablen bestimmt werden. Somit kann das Experiment durchgeführt werden. Am Schluss kann gesagt werden, ob die Temperatur einen Einfluss auf die Textur hat, wenn sich die Textur der Kekse unterscheidet und die Kontrollvariablen alle gleichgeblieben sind. In Abbildung 1 wird dies graphisch dargestellt.

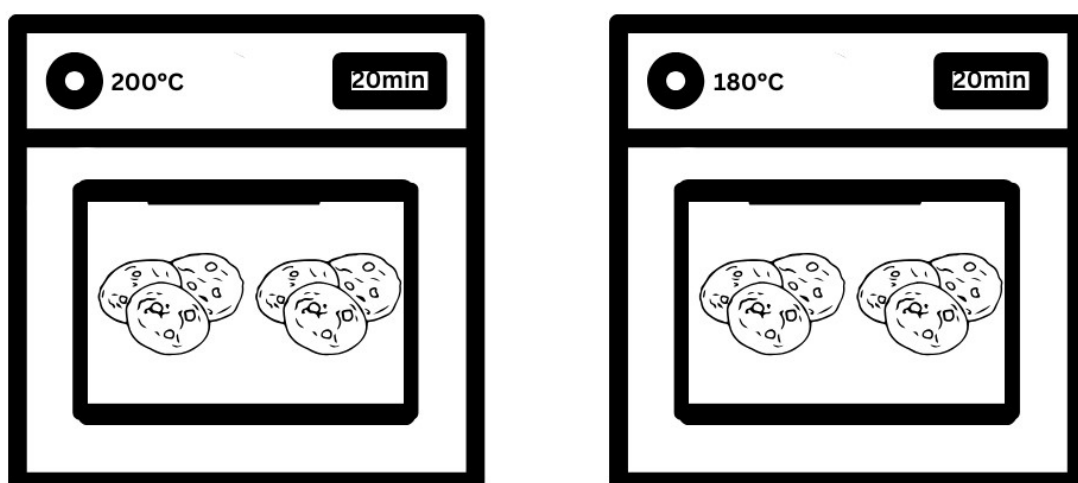


Abbildung 1 Graphische Darstellung zum Aufbau und Ablauf des Keksbackens (eigene Darstellung Georg Aigner)

4.4 Häufige Schüler:innen-Fehler beim Experimentieren

Es gibt viele verschiedene Arbeiten über die Probleme, die Schüler:innen haben, wenn sie ein Experiment planen, durchführen und interpretieren müssen (Kranz et al. 2022). Diese werden in der Reihenfolge des Experiments dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass Schüler:innen im Chemieunterricht vor dem Experimentieren inhaltliche Fragen stellen, die nicht mit einem chemischen Experiment überprüft werden können (Neber und Anton 2008; Hofstein et al. 2005). Eine wissenschaftliche Hypothese aufzustellen, die überprüft werden kann, ist nicht einfach und es kann viele verschiedene Fehlerquellen geben. So werden zum Teil keine Hypothesen aufgestellt (Millar und Lubben 1996; Baur 2018). Es wird angenommen, dass es eine positive Korrelation zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variable gibt (Kanari und Millar 2004) oder, dass aufgestellte Hypothesen bestätigt werden müssen, welche die Jugendlichen sowie Erwachsenen auch zu bestätigen versuchen (Chinn und Brewer 1993; Wason 1960). Außerdem konnte Baur (2018) feststellen, dass Jugendliche die Hypothese immer wieder verändern, da sie einen Effekt beim Experiment erkennen können. Damit ein Experiment ein Experiment ist, braucht es einen Vergleich bzw. eine Kontrolle. Viele Schüler:innen verwenden nur einen Ansatz und bilden keinen weiteren (Germann et al. 1996; Chen und Klahr 1999). Es wird mitunter gleichzeitig mit mehreren Variablen gearbeitet und diese werden auch variiert, ohne dass die anderen kontrolliert werden (Kuhn und Dean 2005). So experimentieren Schüler:innen nur mit einem Experimentieransatz. Das bedeutet, dass sie keinen weiteren Kontroll- bzw. Vergleichsansatz in ihre Experimente einbauen (Baur 2018). Wenn Lernende etwas messen, führen sie manchmal keine Messwiederholungen durch und können deswegen nicht auf Messungenauigkeiten reagieren (Arnold et al. 2013). Auch fällt es ihnen schwer, mit Labor- und Messgeräten umzugehen und haben deswegen Schwierigkeiten bei der Durchführung des Experiments (Kechel 2016). Weitere Fehler, die Lernende während des Experimentierens machen, die zu Fehler der Variablenkontrollstrategie beitragen, sind, dass unterschiedliche Laborgeräte verwendet werden und nicht mit vergleichbaren Mengen gearbeitet wird (Baur 2018) oder sie variieren viele verschiedene Variablen (Glaser et al. 1992). Schüler:innen vermuten bei nicht erwarteten Ergebnissen einen Fehler in ihrer Experimentierdurchführung (Ludwig und Priemer 2011). Sollten Daten erfasst werden, welche nicht zu den Vorstellungen passen, werden diese verworfen bzw. nicht beachtet (Chinn und Brewer 1993). Sollte alles funktionieren, werden dennoch oft falsche Schlussfolgerungen gezogen (Hammann et al. 2006). Durch die oben genannte Neigung, verschiedene Variablen zu variieren, können Lernende keine Schlussfolgerungen ziehen und die erhaltenen Daten nicht richtig analysieren (Glaser et al. 1992). Baur (2018) konnte auch zeigen, dass unerwartete Ergebnisse auf mangelhafte Durchführung von den Schüler:innen zurückgeführt werden konnten und dass Vermutungen oder Beobachtungen genauso in die Datenanalyse eingeflossen sind. In einer Studie von Schwichow et al. (2022) konnte gezeigt werden, dass Schüler:innen im Volksschulalter die Variablenkontrollstrategie zwar anwenden können aber auch typische Fehler machen. 4% der Getesteten machten nur das Experiment und keinen weiteren Vergleichs- bzw. Kontrollansatz. 33% veränderten zwei Variablen. Der Großteil der Kinder verstand zwar, wie die Variablenkontrollstrategie angewendet werden muss kann diese aber nicht richtig interpretieren. Es zeigte sich außerdem, dass die Schüler:innen weniger Fehler machten desto älter sie waren und dass es viele Fehlerquellen beim Durchführen von Experimenten gibt. Diese können in jedem Alter vorkommen und das ähnliche Fehlermuster kann immer wieder vorkommen (Baur 2018).

4.5 Lernen aus Fehlern

Spricht man von Fehlern, dann ist damit immer die Abweichung einer Norm gemeint (Oser, F., Hascher, T., & Spychinger, M 1999; Weimer 1925). Fehler sind im Gegensatz zu Irrtümern zeitlich begrenzt, denn jemand, der einen Fehler begeht, weiß entweder, dass es ein Fehler ist oder er wird darauf aufmerksam gemacht, dass es sich um einen Fehler handelt. So definierte dies schon Weimer (Weimer 1925) vor fast 100 Jahren. Er unterscheidet zwischen Fehlern, die eine Person hat, wie Charakterfehler, und Fehlern, die eine Person macht, wie zum Beispiel fehlerhafte Ausübungen von Handlungen. Diese definiert er als „Fehlhandlungen“. Heutzutage geht man von ähnlichen Voraussetzungen aus. Es wird von der fehlerhaften Handlung und dem resultierenden Produkt gesprochen. Denn nur eine Fehlhandlung impliziert einen Fehler und nicht das daraus resultierende Produkt (Bauer und Mulder 2007). Fehler können aber auch als Lernmöglichkeiten gesehen werden. Die Forschung zeigt, dass das Lernen aus Fehlern einen wichtigen pädagogischen Ansatz hat und dass Fehler machen zum Lernen dazu gehört (1999). Um einen guten Lernprozess zu aktivieren, ist es daher wichtig, dass wir Fehler verstehen und aus ihnen lernen, um sie künftig zu vermeiden.

4.5.1 Negatives Wissen

Wenn Lernende Fehler machen, entwickeln sie Wissen. Dadurch lernen sie, was sie in einer künftigen Situation nicht, beziehungsweise anders machen sollen. Dies wird auch negatives Wissen genannt. Obwohl man hier von negativem Wissen spricht, ist dies keineswegs ein falsches Wissen, im Gegenteil. Negatives Wissen ist daher nicht etwas Nachteiliges, sondern hilft, Dinge besser zu verstehen und einen positiven Nutzen daraus zu ziehen. Um das Richtige zu lernen, muss zuerst das Falsche überwunden werden. Dies bedeutet, dass negatives Wissen von Lernenden aufgebaut werden kann, wenn sie einen Fehler machen. Dadurch erlernen sie Fehlervermeidungsstrategien (Oser & Spychiger, 2005; Oser et al., 1999). Oser et al. (1999) argumentieren, dass negatives Wissen die Möglichkeit bietet, positives Wissen sichtbar zu machen. Durch Fehler erfahren Lernende, wie etwas nicht funktioniert und dieses Wissen ermöglicht ihnen zum richtigen Ergebnis zu gelangen. Daher spricht man dabei auch vom sogenannten Abgrenzungswissen (Oser und Spychiger 2005). Oser et al. (1999) bezeichnen dieses Wissen auch als Unterscheidungs- bzw. Schutzwissen. Schüler:innen grenzen negatives Wissen vom positiven ab und bauen dadurch die Fähigkeit auf, einen starken Kontrast zwischen richtig und falsch zu bilden. Sie können dieses erworbene Wissen auf künftige Situationen übertragen, um so dieselben Fehler in ähnlichen Sequenzen zu vermeiden. Vorteile des negativen Wissens sind unter anderem, dass die Sicherheit und Effizienz gesteigert wird und dass Handlungen gewissenhaft analysiert und reflektiert werden (Seifried et al. 2015). Gartmeier et al. (2008) nennen als weitere Vorteile des negativen Wissens noch die Steigerung der Gewissheit über das eigene Können, die Erhöhung der Effizienz und die Begünstigung der Reflexionsfähigkeit. Als Beispiel für negatives Wissen wäre unter anderem die Verkehrserziehung in der Volksschule zu nennen. Kindern wird erklärt, dass Unvorsichtigkeit von Verkehrsteilnehmer:innen zu schlimmen Unfällen und damit zu schweren Verletzungen führen kann. Die Schüler:innen bauen dadurch das negative Wissen auf, dass Unvorsichtigkeiten bzw. Fehler im Straßenverkehr schwerwiegende Folgen mit sich bringen. Im Klassenzimmer haben Fehler nicht so gravierende Folgen wie im Straßenverkehr, dennoch kann sich die Theorie des negativen Wissens in vielen Situationen auch auf die Schule

übertragen lassen und dabei hilfreich sein (1999). So können Schüler:innen negatives Wissen durch eigene oder durch fremde Fehler erlernen.

4.5.2 Lernen aus eigenen Fehlern

Selbständiges Lernen aus eigenen Fehlern stellt eine Form des entdeckenden Lernens dar, die ein Scheitern vor dem Erreichen des Ziels erfordert. Verschiedene Lerntheorien, wie die behavioristischen Modelle der operanten und klassischen Konditionierung, setzen die Fähigkeit zum Lernen aus eigenen Fehlern voraus, da sie davon ausgehen, dass Menschen aufgrund von Verstärkung und Bestrafung lernen (Skinner 1980). Auch impliziert das Lernen durch Versuch und Irrtum das Erproben verschiedener Lösungswege, nachdem ein fehlerhafter Ansatz nicht die gewünschten Ergebnisse erbracht hat (1999). Die Untersuchung des Lernens aus eigenen Fehlern kann im Rahmen des „*Productive Failure*“ Ansatzes beschrieben werden. Dieser Ansatz besteht aus einer Erkundungsphase vor der eigentlichen Instruktionsphase, die dazu dient, das Vorwissen der Lernenden zu aktivieren. In dieser Phase probieren Schüler:innen Lösungswege aus, die oft nicht zielführend sind oder Fehler enthalten. Diese anfänglich gescheiterten Lösungswege können dann als produktive Grundlage für weiteres Lernen dienen (Kapur und Bielaczyc 2012). Kapur (2008) argumentiert, dass eine stark angeleitete Form des Lernens zwar bessere Ergebnisse bei der Bewältigung spezifischer Aufgaben liefern kann, jedoch die Entwicklung von Problemlösungskompetenzen für die Bearbeitung komplexerer Aufgaben weniger effektiv fördert. Ähnliche Ergebnisse lieferte eine Studie von Kapur (2012). Lernende, die versuchen, ein Problem eigenständig zu lösen und dabei scheitern, schneiden in den zu bewältigenden Aufgaben zwar qualitativ schlechter ab als diejenigen, die direkt instruiert werden, erzielen jedoch signifikant bessere Ergebnisse im Nah- und Ferntransfer im Vergleich zu denjenigen, die direkte Anweisungen erhalten (Kapur 2012). Daher scheinen Fehler zu einem tieferen konzeptuellen Verständnis beizutragen. So erklären Loibl et al. (2017) Kapurs *Productive Failure*-Theorie durch die Aktivierung des bereits vorhandenen Vorwissens und einer damit verbundenen verbesserten Verknüpfung des neu Gelernten mit dem bereits vorhandenen Wissen. Hartmann et al. (2020) argumentieren, dass die Aktivierung von Vorwissen während des Problemlösungsprozesses den Lernenden hilft, Informationen über das zu bewältigende Phänomen kognitiv besser zu verarbeiten, um sie in nachfolgenden, ähnlichen Problemsituationen leichter abrufen zu können. Darüber hinaus werden die Lernenden sich bewusster über vorhandene Wissenslücken und erlangen ein besseres Verständnis von kognitiv anspruchsvollen Inhalten (Loibl et al. 2017). Ein anfänglicher Misserfolg kann somit zu einer besseren Identifikation, Organisation und Integration von neuem Wissen führen. Schüler:innen möchten eher erfahren, wie ein Problem gelöst werden kann, wenn sie zuvor daran gescheitert sind. So werden sie motiviert, weitere Problemlösebeispiele zu bearbeiten (Hartmann et al. 2020). Außerdem kann es durch das Zusammenspiel von Vorwissensaktivierung und dem Erkennen von Wissenslücken eine bessere Verknüpfung und Organisation des Wissens erfolgen, was zu verbesserten Lernergebnissen führen kann (Loibl et al. 2017). Dass Schüler:innen aus eigenen Fehlern lernen können, zeigt Metcalfe (2017). Das integrierte Modell des Lernens aus Fehlern von Zhang und Fiorella (2023) ergänzt diese Ansätze, indem es zwei Hauptphasen des Lernens aus selbst generierten Fehlern beschreibt: die Fehler Generieren (GE) Phase und die Fehler Erkennen und Korrigieren (DCE) Phase. In der GE-Phase aktivieren Lernende ihr Vorwissen, um Antworten zu generieren, während die DCE-Phase das Erkennen und Korrigieren der Fehler durch Selbst-Erklärung und Vergleich mit Referenzinformationen umfasst. Diese Phasen fördern die Wissensretention, das höherstufige Lernen und die

Selbstregulation, indem sie qualitativ hochwertiges internes Feedback generieren und das Vorwissen aktualisieren (Zhang und Fiorella 2023). Darüber hinaus betont das Modell die Bedeutung der emotionalen und motivationalen Unterstützung, um negative Gefühle beim Erleben von Fehlern zu bewältigen, und berücksichtigt individuelle Unterschiede im Umgang mit Fehlern.

4.5.3 Lernen aus fremden Fehlern

Aus eigenen Fehlern lernen setzt voraus, dass Schüler:innen die Fähigkeit entwickeln, ihre Fehler zu analysieren und daraus zu lernen. Im Gegensatz dazu fokussiert sich das Lernen aus fremden Fehlern darauf, aus den Fehlern von anderen zu lernen, ohne diese selbst zu erleben. Dabei können Schüler:innen von den Misserfolgen anderer Lernenden profitieren, wobei sie Fehler vermeiden, die bereits von anderen gemacht wurden. Auch können sie dadurch alternative Handlungsweisen entwickeln, welche ein positives Ergebnis mit sich bringen (Oser und Spychiger 2005). Es zeigt sich auch, dass negatives Wissen beim Lernen aus fremden Fehlern aufgebaut wird (Spychiger 2006). Eine Methode für das Lernen mit fremden Fehlern wäre das Lernen aus fehlerhaften Beispielen. Hierbei wird den Lernenden in einzelnen Schritten gezeigt, wie ein Problem gelöst werden kann, wobei einzelne oder mehrere Schritte absichtlich falsch sind. Aufgabe der Schüler:innen ist es, die Fehler zu erkennen und richtig zu stellen. Dabei wird der Lerninhalt vertieft und entsprechende Kompetenzen werden aufgebaut (McLaren et al. 2012).

Um einen positiven Effekt zu erzielen, müssen folgende drei Bedingungen erfüllt werden:

1. Die fehlerhaften Beispiele sollen fiktive Fehler von Lernenden beinhalten. Dadurch soll vermieden werden, dass Schüler:innen sich mit ihren eigenen Fehlern auseinandersetzen müssen und somit demotiviert werden. Dadurch kann es auch zu keiner Bloßstellung kommen.
2. Die fehlerhaften Beispiele sollen interaktiv und ansprechend sein. Dies kann durch digitale Medien und damit verbundenes direktes Feedback realisiert werden.
3. Die fehlerhaften Beispiele sollen so angepasst werden, dass sie den individuellen Bedürfnissen der Schüler:innen entsprechen (McLaren et al. 2012).

Eine weitere Methode für das Lernen mit fremden Fehlern ist das sogenannte „*advokatorische Lernen*“. Hierbei sollen Fehler, die in der Vergangenheit gemacht wurden, verwendet werden, um daraus zu lernen (Oser und Spychiger 2005). Oser & Spychiger (2005) argumentieren, dass diese Fehler oft als Traditionswissen über Generationen hinweg weitergegeben werden. Als Beispiele nennen sie literarische Werke, wie Märchen, Legenden, Gedichte oder sogar Filme. Dabei ist es entscheidend, dass diese Fehler nicht eigene Fehler sind, sondern dass Generationen advokatorisches negatives Wissen aufbauen und an nächste Generationen weitergeben. Daher ergibt sich nicht zwingend, dass gesellschaftliche Fehler selbst erlebt werden müssen, sondern dass ein Lernen durch die Erfahrungen vergangener Generationen erfolgt (Oser und Spychiger 2005). Unterschieden wird dabei von Spychiger (2006) zwischen dem advokatorischen Lernen aus Fehlern in virtuellen Umgebungen und im realen Leben. Im realen Leben kann man aus Fehlern aus der unmittelbaren Erfahrungswelt lernen, während im Virtuellen der Erwerb von negativem Wissen aus dem Erzählen von fiktiven Geschichten erfolgt. Unwichtig ist dabei, ob das negative Wissen aus Fehlern aus dem virtuellen oder realen Leben kommt (Wagner et al. 2014). Das Konzept des Lernens aus fremden Fehlern

liefert einige Vorteile, unter anderem werden eigene Fehler der Lernenden vermieden und dadurch kann das Selbstkonzept dieser erhalten werden (Ivancic und Hesketh 2000). Außerdem führt das Zeigen von häufig gemachten Fehlern dazu, dass auch künftig falsche Problemlösestrategien von den Schüler:innen vermieden werden (Siegler 2009). Damit Schüler:innen auch wirklich erfolgreich aus fremden Fehlern lernen können, müssen diese in einem für sie relevanten Kontext auftreten (Oser und Spychiger 2005).

Die positive Auswirkung, welche das Lernen aus fehlerhaften Beispielen mit sich bringt, wurde bereits in einigen Studien untersucht und so zeigte sich in einer Studie von McLaren et al. (2012), dass eine Gruppe von Lernenden, die aus fremden Fehlern lernte, deutlich bessere Ergebnisse bei Rechenübungen mit Dezimalzahlen erzielte als die andere Gruppe, welche nur Aufgaben lösen sollte und Feedback bekam. Eine weitere Studie von Große und Renkl (2004), bei welcher der Einfluss von Erklären von korrekten und inkorrekten Beispielen auf den Lernerfolg untersucht wurde, zeigte, dass es eine Lernwirksamkeit bei der Analyse inkorrekt gelöster Beispiele unter der Bedingung eines ausgeprägten Vorwissens gibt. Auch zeigte sich, dass jene Lernende, die aus eigenen Fehlern lernten, einen höheren Lernerfolg hatten als jene, die aus fremden Fehlern lernten. Auch Kapur (2014) konnte zeigen, dass Schüler:innen, welche mit einem Productive-Failure Ansatz arbeiteten, einen besseren Lernerfolg generieren konnten als jene, die mit advokatorischen Fehlern lernten und sogar noch besser abschnitten als jene, die nur eine Erklärung bekommen hatten. Ein Grund, warum es hier zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt, kann mit dem Cognitive Load zusammenhängen.

4.6 Cognitive Load Theory

Die *Cognitive Load Theory* (CLT), im Deutschen die *Theorie der kognitiven Belastung*, ist eine wichtige Theorie der kognitiven Psychologie, da diese sich mit der Belastung des kognitiven Systems beim Lernen und dessen Auswirkungen auf das Lernen und die Leistungsfähigkeit befasst. Beschrieben und entwickelt wurde sie von John Sweller in den 1980er Jahren und wurde seitdem ständig weiterentwickelt. Sie ist aus der Optimierung von Lehr- und Lernprozessen sowie der kognitiven Ressourcennutzung nicht mehr wegzudenken. Die Cognitive Load Theory beschreibt, dass sich das schon vorhandene Wissen über das Arbeitsgedächtnis mit dem Langzeitgedächtnis verbindet. Die Theorie geht davon aus, dass neue Informationen zunächst im Arbeitsgedächtnis, welches eine bestimmte Kapazität und Dauer zur Verfügung hat, verarbeitet werden und danach in einem unbegrenzten Langzeitgedächtnis gespeichert werden (Sweller et al. 2019). Die Kapazität des Arbeitsgedächtnis ist auf etwa sieben Elemente beschränkt, kann aber nur zwei bis vier Elemente gleichzeitig verarbeiten und kann diese Informationen wiederum nur wenige Sekunden halten. Nach 20 Sekunden sind alle Informationen verloren, außer sie werden wiederholt. Dies konnte schon (Miller 1956) vor fast 70 Jahren bestätigen und es wurde auch von anderen Forschenden untersucht und ebenfalls bestätigt (Sweller et al. 1998). Dies gilt aber nur für neue Informationen, die durch das Arbeitsgedächtnis aufgenommen werden müssen. Informationen, welche schon im Langzeitgedächtnis sind und durch das Arbeitsgedächtnis abgerufen werden, zählen nicht zu diesen sieben Elementen des Arbeitsgedächtnis (Ericsson und Kintsch 1995). Außerdem beschreibt die CLT, dass Lernen und Informationsverarbeitung begrenzte kognitive Ressourcen erfordern. Diese Ressourcen wiederum sind vom Lernmaterial, welches die Lernenden erhalten, abhängig. Es kommt auf die Art und Weise, wie die neuen Informationen präsentiert werden, und auf die Komplexität der Aufgabe selbst an, ob Schüler:innen das Neue gut lernen können (van Merriënboer und

Sweller 2005). Durch weitere Forschung konnte erkannt werden, dass es nicht nur eine Form der kognitiven Belastung gibt, sondern verschiedene, welche in den nächsten Kapiteln näher beschrieben werden. Sweller (1988) beschreibt drei verschiedene Formen des Cognitive Loads - *intrinsic*, *extraneous* und *germane Cognitive Load* - wobei jede Form eine entscheidende Rolle im Lernprozess spielt. Die verschiedenen Arten der Belastungen (loads) beeinflussen, wie Lernende Informationen aufnehmen und diese behalten können. Es ist unabdingbar, diese verschiedenen Formen des Cognitive Loads zu kennen, damit guter Unterricht vorbereitet werden kann und eine effektive Lernumgebung für die Schüler:innen geschaffen wird. In Abbildung 2 wird dies graphisch dargestellt.

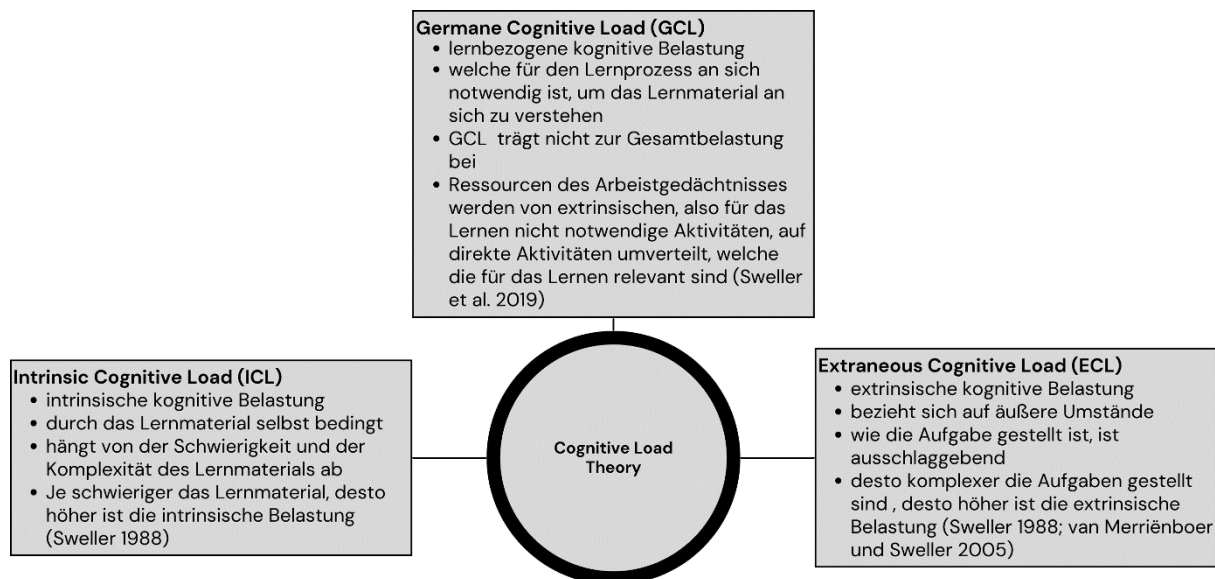


Abbildung 2 **Graphische Darstellung des CLT** Die verschiedenen Formen des Cognitive Loads werden hier dargestellt. (eigene Darstellung Georg Aigner)

4.6.1 Intrinsic Cognitive Load

Der Intrinsic Cognitive Load (ICL) beschreibt den Zusammenhang zwischen der Komplexität des Lerninhaltes, der Anzahl der Elemente und die Art der Interaktion zwischen diesen Elementen im Lernprozess. Weiters beschreibt er, wie diese Elemente in Beziehung zueinander stehen und wie diese gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden, damit der Lehrstoff erlernt werden kann (Park et al. 2020). Wie das Material präsentiert wird, spielt dabei keine Rolle und es hängt von dem vorhandenen Wissen der Lernenden ab, ob der Cognitive Load hoch oder niedrig für diese ist (Sweller 1994). Ein geringer Cognitive Load wäre zum Beispiel das Erlernen von einfachen Fakten, wie neue Vokabeln, da es kein anderes Wissen braucht, um die Wörter zu verstehen. Im Gegensatz dazu wäre ein höherer ICL das Erlernen der Funktion einer Autobremse, da ein höheres Vorwissen und das Verstehen und Verknüpfen von bereits gelerntem und neuem Wissen über die Funktion eines Autos notwendig ist (Endres et al. 2023). Ist der ICL gering, ist es einfacher die Aufgabe zu lösen. Um nun für jeden einzelnen Lernenden die intrinsische kognitive Belastung so gering wie möglich zu halten, müsste die gegebene Aufgabe für jede Person so manipuliert werden, dass sie perfekt zugeschnitten ist. Zum einen kann die Aufgabe an sich in mehrere Elemente aufgeteilt werden, damit diese so vereinfacht wird, dass somit alle Lernenden der Aufgabe folgen können. Zum anderen kann die Aufgabe segmentiert werden oder es wird auf vorhandene Konzepte der Schüler:innen Rücksicht genommen. Ist schon genug Vorwissen

vorhanden, muss es zu keiner dieser besprochenen Interventionen kommen, da die intrinsische kognitive Belastung sowieso schon gering ist (Kalyuga 2011). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der ICL nicht von äußeren Umständen abhängig ist, sondern von dem (Vor-)Wissen der Lernenden selbst. Die intrinsische kognitive Belastung kann aber durch äußere Umstände verringert werden, wenn Lehrende auf das vorhandene Wissen der Lernenden Rücksicht nehmen.

4.6.2 Extraneous Cognitive Load

Der Extraneous oder Extrinsic Cognitive Load (ECL) beschreibt die kognitive Belastung, welche sich aufgrund der Art und Weise, wie das Lernmaterial vorgestellt, beziehungsweise wie es strukturiert wird, erhöht oder verringert. Extrinsische kognitive Belastung bezeichnet Belastungen, die nicht notwendig für den Lernprozess sind. Sie können beeinflusst werden durch schwache Problemlösungsmethoden, dadurch dass Informationen für die lernende Person für das Lösen einer Aufgabe zeitlich sowie räumlich verteilt sind oder dadurch, dass die Informationen für das Bestehen einer Aufgabe erst selbst gesucht werden müssen. Durch die Aufgabenstellung selbst kommt es zu einer Überlastung im Arbeitsgedächtnis, da mehr Elemente als notwendig für den Lernerfolg verarbeitet werden müssen und diese nicht gespeichert werden können (van Merriënboer und Sweller 2005). So konnten Studien zeigen, dass zu viel vom ECL die Lernleistung verschlechtern kann, da die Aufmerksamkeit der Lernenden von den wesentlichen Inhalten abgelenkt wird und das Verständnis der wichtigen Informationen dadurch erschwert wird (Kalyuga 2011). Damit die extrinsische kognitive Belastung für Lernende minimiert werden kann, benötigt es eine klare und gute Strukturierung des Lernmaterials, sowie eine sinnvolle Organisation von den benötigten Informationen und eine gute und richtige Verwendung verschiedener Medien, damit Lernende sich auf die wesentlichen Lernziele fokussieren können (Mayer 2012). Ein Beispiel hierfür aus der Musik wäre, dass ein:e geübte:r Posaunenspieler:in in der Wohnung übt, wo ihre/seine jüngeren Geschwister herumlaufen und der Fernseher läuft. Hierbei ist der Extraneous Cognitive Load höher, da sich die spielende Person auf ihre Geschwister konzentrieren muss und das Posaune spielen nicht an erster Stelle steht. Im Gegensatz dazu wäre für eine:n ungeübte:n Posaunenspieler:in der ECL bereits höher, wenn sie/er in einer professionellen Probeumgebung ist, da sie/er sich nicht nur auf die Tonleiter konzentrieren muss, sondern auch auf das Spielen in einem Ensemble (Stambaugh 2016). Abschließend lässt sich sagen, dass der Extraneous Cognitive Load nichts mit dem Lerninhalt an sich zu tun hat, sondern hier kommt es auf das „Wie“ an. Wie ist die Lernaufgabe aufgebaut? Wie strukturiert ist die Aufgabe oder wie verständlich ist die Aufgabenstellung? Um ein optimales Lernumfeld für alle Lernenden zu schaffen, ist es wichtig, die externe kognitive Belastung zu minimieren. Somit wird den Lernenden ermöglicht, sich auf den Kern des Lernmaterials zu konzentrieren und eine effektive kognitive Verarbeitung zu gewährleisten. Durch die Schaffung einer gut strukturierten und unterstützenden Lernumgebung können Lehrende dazu beitragen, die extrinsische Belastung zu reduzieren und so den Lernerfolg zu fördern.

4.6.3 Germane Cognitive Load

Der Germane Cognitive (GCL) Load wird auch als lernbezogener Cognitive Load beschrieben. Es ist jene kognitive Belastung, welche für den Lernprozess an sich notwendig ist, um das Lernmaterial an sich zu verstehen. Er ist dem ICL ähnlich. Der Germane Cognitive Load (GCL)

beschreibt die kognitive Belastung, die für das tiefe Verstehen und den erfolgreichen Wissenserwerb notwendig ist. Er bezieht sich auf die mentale Anstrengung, die Lernende aufwenden, um bedeutungsvolle Verbindungen zwischen neuem Wissen und bestehenden Wissensstrukturen herzustellen. Im Gegensatz zum Extraneous Cognitive Load (ECL), der durch unnötige und ablenkende Elemente in der Lernumgebung entsteht, ist der GCL eine förderliche Belastung, da er direkt zum Aufbau von Schemata und mentalen Modellen beiträgt. Diese Strukturen ermöglichen es den Lernenden, komplexe Informationen effizient zu organisieren und zu verstehen, was wiederum die Fähigkeit zur Problemlösung und das langfristige Behalten von Wissen verbessert. Der GCL ist eng mit dem Schemaerwerb verbunden. Schemata helfen dabei, neue Informationen in bestehende Wissenssysteme einzuordnen und dadurch das Lernen zu erleichtern. Laut Sweller et al. (2019) beschreibt der GCL den kognitiven Aufwand, der benötigt wird, um durch tiefergehende Verarbeitung des Lernmaterials den Lernprozess zu unterstützen. Eine hohe GCL bedeutet, dass Lernende aktiv daran arbeiten, das Gelernte zu verstehen und es in bereits bestehende Wissensstrukturen zu integrieren. Ein wesentlicher Faktor, um den GCL zu fördern, ist die Gestaltung der Lernumgebung. Sie sollte so strukturiert sein, dass sie das Verstehen unterstützt und die Lernenden dazu anregt, sich intensiv mit dem Lernmaterial auseinanderzusetzen. Dies kann durch klare Anweisungen und Aufgaben erreicht werden, die die tiefe Verarbeitung des Materials anregen. Sweller (2010) betont, dass gut gestaltete Lernumgebungen den Extraneous Cognitive Load verringern und gleichzeitig den GCL erhöhen, indem sie den Fokus auf Lernaktivitäten legen, die das Verstehen des Themas fördern. Der GCL wird auch durch die Anwendung spezifischer Lernstrategien gesteigert. Beispiele hierfür sind Elaboration, bei der neues Wissen mit vorhandenem Wissen verknüpft wird, metakognitive Strategien, bei denen Lernende über ihren eigenen Lernprozess nachdenken, oder der Aufbau von mentalen Modellen, die es ihnen ermöglichen, das Gelernte zu strukturieren. Diese Lernstrategien erfordern kognitive Anstrengungen, die jedoch lernförderlich sind, da sie das langfristige Behalten und Anwenden von Wissen unterstützen (Klepsch & Seufert, 2020). Der Germane Cognitive Load steht in enger Wechselwirkung mit dem ICL und dem ECL. Der ICL wird durch die Komplexität des Lernmaterials bestimmt und kann nicht reduziert werden, während der ECL durch ablenkende oder schlecht gestaltete Lernumgebungen entsteht und so gering wie möglich gehalten werden sollte. Wenn der ECL zu hoch ist, bleibt weniger kognitive Kapazität für den GCL, was das Lernen behindert. Wird der ECL jedoch minimiert, können Lernende mehr kognitive Ressourcen für den GCL nutzen, was zu einer tieferen Verarbeitung des Materials und einem besseren Verständnis führt (Sweller et al., 2019). Insgesamt ist der Germane Cognitive Load ein zentraler Bestandteil des Lernprozesses, da er dazu beiträgt, dass Lernende das Material nicht nur oberflächlich aufnehmen, sondern es tiefgehend verarbeiten und in ihre bestehenden Wissensstrukturen integrieren. Dies fördert das langfristige Lernen und verbessert die Fähigkeit, das Gelernte in neuen Kontexten anzuwenden.

4.7 Cognitive Load und Fehler

Nachdem die verschiedenen Arten von Fehlern sowie das Konzept des Cognitive Loads erläutert wurden, gilt es nun, die Verbindung zwischen diesen beiden Aspekten zu untersuchen. In Schulen aber auch in anderen Institutionen kann die kognitive Belastung erheblich zu Fehlern beitragen. Schüler:innen machen häufig Fehler aufgrund von kognitiver Überlastung. Dies geschieht insbesondere, wenn die Aufgabenkomplexität hoch ist und viele interagierende Elemente gleichzeitig verarbeitet werden müssen. Dies führt zu einer erhöhten Belastung des Arbeitsgedächtnisses, was Fehler begünstigt (Chen et al. 2023). Die extrinsische kognitive Belastung kann durch den sogenannten Worked-Example-Effekt deutlich gemacht werden. Anfänger:innen, die durch Problemlösen lernen, müssen gleichzeitig den Anfangszustand des Problems, den Zielzustand sowie die Schritte zur Lösung (Operatoren) berücksichtigen. Dieser Prozess, der oft durch Versuch und Irrtum gekennzeichnet ist, erfordert die Verarbeitung vieler interagierender Elemente im Arbeitsgedächtnis. Im Gegensatz dazu bieten ausgearbeitete Beispiele eine vollständige Darstellung, wie die verschiedenen Elemente interagieren, und reduzieren dadurch die Elementinteraktivität, die mit dem Versuch-und-Irrtum-Prozess verbunden ist. Für fortgeschrittenere Lernende, welche relevantes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis abrufen können, ist die Elementinteraktivität, die durch Versuch und Irrtum entsteht, reduziert oder vollständig eliminiert. Dies verringert oder eliminiert den Vorteil ausgearbeiteter Beispiele und damit die extrinsische kognitive Belastung, die mit der Aufgabe verbunden ist und es werden dadurch weniger Fehler gemacht (Chen et al. 2017). So konnte auch Phan et al. (2017) feststellen, dass Schüler:innen, die im Lösen von Algebra-Transformationsaufgaben mit der häufig gelehrt „Balance“-Strategie (z.B. $-x$ auf beiden Seiten einer Gleichung anwenden) unterrichtet wurden, mehr Schwierigkeiten hatten, als Schüler:innen, die mit der „Inversen“-Strategie (verschiebe x von einer Seite der Gleichung zur anderen und kehre das Vorzeichen um) unterrichtet wurden. Die Balance-Strategie erfordert die Manipulation von mehr Elementen als die Inverse-Strategie und führt daher zu einer höheren kognitiven Belastung. Beim Lernen mit fremden Fehlern muss vor dem eigentlichen Lernen viel erklärt werden und die Schüler:innen müssen viele Informationen aufnehmen, was den ICL erhöht (Kalyuga 2011). Eine weitere Strategie zur Reduzierung der kognitiven Belastung besteht darin, einige der interagierenden Elemente in schriftliche Form zu übertragen, um die Anzahl der Elemente zu verringern, die im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen (Cary und Carlson 1999). Kirschner et al. (2006) zeigen in ihrer Studie auf, dass Unterrichtsmethoden, welche stark angeleitet sind aufgrund des niedrigeren Cognitive Loads effektiver als minimal geführte Unterrichtsansätze sind. Als minimal geführte Unterrichtsansätze nennen sie Forschendes Lernen, Discovery Learning und Problemorientiertes Lernen. Das Lernen aus eigenen Fehlern kann einer dieser minimal geführten Unterrichtsansätze sein. Es kommt hierbei darauf an, wie die Schüler:innen auf das Lernen mit eigenen Fehlern vorbereitet werden. Wenn sie davor eine Einführung bekommen, ist es kein minimal geführter Ansatz mehr (Rosenshine 2012). Zusammenfassen lässt sich sagen, dass der Cognitive Load bei gut angeleiteten Aufgabenstellungen niedriger ist. Es muss genug Vorwissen vorhanden sein, damit Fehler vermieden werden können, da die kognitive Belastung dadurch geringer ist (Kalyuga 2011). Außerdem zeigt sich, dass die Theorie des Cognitive Loads ihre kognitiven Grundlagen durch die Verknüpfung von kognitiven Prozessen mit der biologischen Evolution gestärkt hat. Dies bietet einen breiteren Kontext für kognitive Architektur und Instruktionsdesign. Moderne Instruktionsdesigns verwenden oft realitätsnahe Aufgaben, die eine hohe ICL aufweisen. Es wurden neue Methoden entwickelt, um diese Belastung zu managen, während die Komplexität

der Aufgaben erhalten bleibt. Techniken umfassen das schrittweise Erhöhen der Elementinteraktivität, damit ist die Anzahl und Komplexität der Verbindungen zwischen den zu lernenden Elementen gemeint, welche gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen und das Bereitstellen von Unterstützung beim Problemlösen (van Merriënboer und Sweller 2005).

4.8 Forschungsfrage und Hypothese

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Erlangen der Experimentierkompetenz in Bezug auf eigene oder fremde Fehler. Es werden Schüler:innen aus der 7. und 8. Schulstufe der Allgemeinbildenden Höheren Schule (AHS; Gymnasium) untersucht, da diese kurz vor dem Ende ihrer Pflichtschulausbildung sind und es wichtig ist, dass wir wissen, wie gut Schüler:innen in diesem Alter die Variablenkontrollstrategie anwenden können und wie wir diese fördern können. Besonders relevant ist dies, da es über diese Gruppe von Schüler:innen noch eher wenig Studien gibt. Es gibt zwar einige Forschungen über die 1. - 6. Schulstufe oder über ältere Lernende, jedoch wie bereits erwähnt wenig über diese Alterskohorte.

Die Forschungsfragen dieser Masterarbeit, welche sich aus der vorangegangenen Forschung ableiten lassen, sind folgende:

1. Können Schüler:innen der 7. und 8. Schulstufe die Variablenkontrollstrategie besser durch die Arbeit mit eigenen oder fremden Fehlern erlernen?
2. Wie hoch ist die kognitive Belastung (*Cognitive Load*; *intrinsisch*, *extrinsisch*, *lernbezogen*) bei Schüler:innen der 7. und 8. Schulstufe bei der Arbeit mit eigenen oder fremden Fehlern beim Experimentieren?
3. Steht der *Cognitive Load* in einem negativen Zusammenhang zum Erfolg vom Erlernen der Variablenkontrollstrategie?

Die Hypothesen, die sich aus den Forschungsfragen ergeben, sind die folgenden:

H1: Es gibt einen Unterschied im Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und jenen Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten, wobei angenommen wird, dass der Lernzuwachs bei Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern lernen, signifikant höher ist als bei Schüler:innen, die mit fremden Fehlern lernen.

H0 zu H1: Es gibt keinen Unterschied im Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und jenen Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten, wobei angenommen wird, dass der Lernzuwachs bei Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern lernen, signifikant höher ist als bei Schüler:innen, die mit fremden Fehlern lernen.

H2: Es gibt einen Unterschied im Cognitive Load zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten, wobei angenommen wird, dass der Cognitive Load bei Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern lernen, signifikant niedriger ist als bei Schüler:innen, die mit fremden Fehlern lernen.

H0 zu H2: Es gibt keinen Unterschied im Cognitive Load zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten, wobei angenommen wird, dass der Cognitive Load bei Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern lernen, signifikant niedriger ist als bei Schüler:innen, die mit fremden Fehlern lernen.

H3: Der Cognitive Load steht in einem negativen Zusammenhang zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategien.

H0 zu H3: Der Cognitive Load steht in keinem negativen Zusammenhang zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategien.

5 Methode

5.1 Stichprobe

Diese Arbeit ist in eine größere Interventionsstudie eingegliedert, welche im Rahmen des Projektes „LeFeEx“ [Lernen aus (eigenen und fremden) Fehlern beim Erwerb von Experimentierkompetenz] im Lern-Lehrlabor des AECC-Biologie der Universität Wien in Kooperation mit der Universität des Saarlandes durchgeführt wurde. An der Interventions-Studie im Pre, Post und Follow-Up Design nahmen 274 Schüler:innen (Alter $M=13$, $SD=0,54$; weiblich=40,1%, männlich=52,1% divers=1,7%, keine Angabe=6,2) aus der siebten (43,2%) und achten (56,4%) Schulstufe aus zwölf Allgemeinbildenden Höheren Schulen (AHS) aus Wien und Niederösterreich teil. Für diese Arbeit wurden nur Daten von 124 Schüler:innen (Alter $M=13$, $SD=0,64$; weiblich=37,9%, männlich=56,5%,keine Angabe= 5,6%) verwendet, da diese für die Fragestellung relevant sind. Die Kinder befanden sich in der Anfangsphase des Schuljahres. Die Lehrpersonen wurden beauftragt während der Zeit der Studie nichts zum Thema Experimentieren im Unterricht zu besprechen und auch keine Experimente durchzuführen.

5.2 Design der Studie und Ablauf

Die vorliegende Studie war eine Interventionsstudie, d.h. die Teilnehmenden Schüler:innen absolvierten vor ihrem Besuch im Lehr-Lern-Labor ihren ersten Test (Pre-Test, T0), einen unmittelbar danach (Post-Test, T1) und 4-8 Wochen danach erneut einen Test (Follow-Up Test, T2) (vgl. Abschnitt 4.5). Für die vorliegende Studie wurden zwei Gruppen gebildet, in der die Schüler:innen einzeln arbeiteten. Die erste Gruppe (G1) experimentierte selbst und reflektierte im Nachhinein ihre eigenen, möglichen Fehler (Eigene-Fehler-Gruppe). Eine weitere Gruppe (G2) arbeitete mit einem fremden, fehlerhaften Experiment und reflektierte die fremden Fehler (Fremde-Fehler-Gruppe). Die beiden Gruppen waren aufgrund ihres Alters, ihrer Geschlechter, sowie ihrer Schulausbildung miteinander vergleichbar. Die Eigene-Fehler-Gruppe plante und führte ihr Experiment selbstständig durch. Die Materialien gaben eine stark angeleitete Form des Experimentierens wieder, wo Fehler in der Variablenkontrollstrategie vorkommen können. Anfangs war geplant, dass die Schüler:innen offener arbeiten und nicht so stark angeleitet werden sollten. Doch durch die Pilotierung zeigte sich, dass die Kinder durchschnittlich zu wenig Erfahrung beim Experimentieren hatten. Da der Fokus der Studie die VKS war, wurden die Schüler:innen durch die Vorgabe der Forschungsfrage und Hypothesen unterstützt. Die Fremde-Fehler-Gruppe analysierte einen falsch aufgebauten Experimentieransatz, welcher Fehler in der Variablenkontrollstrategie aufwies. Am Schluss erhielten beide Gruppen ein korrekt aufgebautes Experiment welche sie mit ihrem eigenen, beziehungsweise dem fremden Experimentieransatz vergleichen sollten, um die eigenen als auch die fremden Fehler abzugleichen.

In dieser experimentellen Interventionsstudie wurden zu drei Testzeitpunkten (Pre-, Post und Follow-Up) quantitative Fragebögen eingesetzt (vgl. Abbildung 3). Der Pre-Test fand im eigenen Klassenraum statt und dauerte 50 Minuten. Er enthielt neben der Abfrage personenbezogener Daten (Alter, ...) den VKS Test. Eine Woche später kamen die Schüler:innen ins AECC Biologie Lehr-Lern-Labor, wo sie an einer 90 minütigen

Unterrichtsinervention teilnahmen. Hierzu wurden die Schüler:innen randomisiert in vier verschiedene Gruppen aufgeteilt. Die Aufgabe war es, sich mit dem Experimentieren zu beschäftigen. Die erste Gruppe war die Eigene-Fehler-Gruppe und führte die Experimente selbst durch und die zweite die Fremde-Fehler-Gruppe, die führte keine Experimente durch, sondern lernte aus Fehlern fiktiver Mitschüler:innen. Es gab noch zwei andere Gruppen. Für diese Masterarbeit sind jedoch nur die ersten beiden Gruppen von Relevanz. Nach der Intervention führten die Teilnehmenden den Post-Test (T1) aus, der aus VKS Test und Test zum Cognitive Load bestand. Hierfür hatten sie erneut 50 min. Zeit. Vier bis acht Wochen nach der Intervention fand an den jeweiligen Schulen der Follow-Up oder Retention-Test statt, der nur den VKS Testteil enthielt. Auf den VKS Retention Test wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

Die Intervention selbst wurde von Bachelor-Studierenden des Biologielehramts im Rahmen ihrer Schulpraxis durchgeführt. Da es somit viele verschiedene Unterrichtende gab, wurde ein Skript angefertigt, an welches sich die Studierenden genau halten mussten. Sie wurden ausreichend auf die Unterrichtseinheiten vorbereitet und mussten diese auch proben. Das Arbeitsmaterial für die Schüler:innen war selbsterklärend und die angehenden Lehrpersonen wurden angehalten, nicht zu intervenieren, außer wenn dies unbedingt notwendig war. Außerdem wurden die Unterrichtenden von Masterstudierenden und Dozent:innen des AECC-Biologie hospitiert. Vorkommnisse wurden in ein Notizbuch eingetragen und danach besprochen, damit diese bei der Auswertung berücksichtigt werden konnten. Erst als die Vortragenden die Einführung abgeschlossen hatten, wurde den Schüler:innen der Arbeitsbogen ausgeteilt. Im nächsten Absatz wird zunächst der Ablauf für die Eigene-Fehler-Gruppe (G1) beschrieben, danach der Ablauf für die Fremde-Fehler-Gruppe (G2).

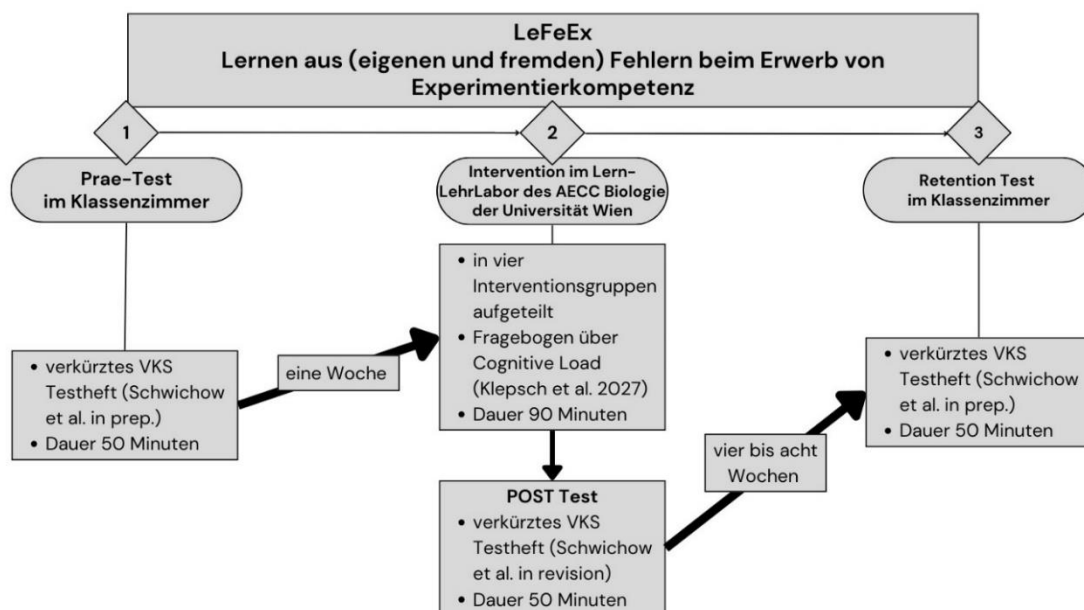


Abbildung 3 **Übersichtsgrafik über den Studienablauf:** 1, 2 und 3 stellen die verschiedenen Testzeitpunkte der VKS-Überprüfung dar, welche mit den Testheften von Schwichow et al. in revision vollzogen wurden. Auch die Orte sowie Dauer der Einheiten sind abgebildet.

5.2.1 Durchführung der Eigenen Fehler Gruppe (G1)

Auch dieser Gruppe wurde ein Laborbuch ausgeteilt, in dem sie denselben Text wie die Fremde-Fehler-Gruppe über die Angepasstheit von Tieren auf kalte Temperaturen erhielten. Danach wurde den Schüler:innen mitgeteilt, dass sie ein Experiment durchführen sollten, im Zuge dessen es für sie herauszufinden galt, ob Schafwolle oder Daunenfedern die Wärme besser isolieren. Die Forschungsfrage sowie die drei Hypothesen waren gegeben und eine Materialliste wurde zur Verfügung gestellt. Auch bei diesen Aufgaben wurden fiktive Charaktere verwendet, um den Arbeitsprozess verständlicher zu gestalten. Ein fiktiver Charakter namens „Tina“ schlug vor, wie ein Experiment dazu geplant werden kann. Danach sollten die Kinder ihr Experiment selbst planen und den Aufbau schriftlich festhalten, skizzieren und in ganzen Sätzen begründen. Nachdem sie ihr Experiment selbst aufgebaut hatten, wurde dies von einer/einem Mitarbeiter:in des AECC-Biologie fotografiert (Abbildung 12). Erst danach sollten die Schüler:innen das Experiment durchführen. Ihnen wurde vorgegeben, dass sie zu drei verschiedenen Messzeitpunkten messen sollten. Die nächste Aufgabe war, dass sie ankreuzen, wo ihr Thermometer im Reagenzglas positioniert war. Auch sollten die Kinder begründen, wieso sie das Thermometer so gehalten hatten. Erst dann mussten sie ihr eigenes Experiment deuten und eine Hypothese auswählen. Danach sollten sie reflektieren und überlegen, welche Fehler sie bei der Durchführung ihres Experiments gemacht hatten, die ihre Ergebnisse beeinflussen hätten können. Der nächste Teil des Arbeitsheftes sah vor, dass die Schüler:innen eine Skizze eines Experiments über die Wärmeisolation von Körperfett und Schafwolle durchführen. Hier wurde ein weiterer fiktiver Charakter namens „Arian“ vorgestellt, welcher wieder Tipps gab, wie die Kinder ein Experiment dazu durchführen könnten. Die jungen Forscher:innen sollten das Experiment skizzieren und wieder in ganzen Sätzen begründen. Im nächsten Abschnitt bekamen die Kinder und Jugendlichen von einem dritten fiktiven Charakter namens „Tom“ ein Foto eines richtigen Experimentaufbaus. „Tom“ gab auch Tipps, wie dieses Experiment richtig aufgebaut werden kann. Nachdem sie sich all diese Tipps durchgelesen hatten, sollten sie ihre Experimente mit dem Aufbau von Tom vergleichen und ankreuzen, was sie richtig und was falsch gemacht hatten. Auch diese Schüler:innen sollten in ganzen Sätzen begründen, worauf sie achten werden, wenn sie das nächste Mal ein Experiment durchführen und planen. So wie auch bei der Fremden-Fehler-Gruppe gab es zum Schluss einen Fragebogen zur Überprüfung der Emotionen, der Motivation, der subjektiv empfundenen Einschätzungen der Lerneinheit sowie zum Cognitive Load.

5.2.2 Durchführung der Fremden Fehler Gruppe (G2)

Den Schüler:innen der Fremden-Fehler-Gruppe wurde zu Beginn ein Arbeitsheft mit unterschiedlichen Aufgaben in Form eines „Laborbuches“ ausgeteilt. Dieses Laborbuch war so gestaltet, dass es für Kinder dieses Alters ansprechend ist. Daher wurden auch fiktive Charaktere eingebettet, mit denen sich die Schüler:innen identifizieren konnten. Die erste Aufgabe aus dem Arbeitsheft war das Lesen eines Textes zur Angepasstheit von Tieren an kalte Temperaturen. Daraus leiteten sich drei Hypothesen zur Angepasstheit ab. Der fiktive Charakter, „Tina“ schlug ein Experiment vor, mithilfe dessen die Isolierung von Schafwolle und Daunenfedern verglichen werden kann. Danach wurde der fehlerhafte Aufbau des Experiments von „Tina“ den Schüler:innen vor Ort präsentiert. Die Kinder sollten dann ankreuzen, welche Variablen gleich und welche nicht gleich waren. In der nächsten Aufgabe wurden die Kinder aufgeklärt, dass „Tina“ ein paar Fehler gemacht hatte. Dazu sollten sie begründen, was richtig und was falsch war. In der vierten Aufgabe hatte ein anderer fiktiver



Hallo, ich bin Arian.

Ich habe folgende Idee für die Planung des Experiments:

Meine Idee besteht darin, mithilfe der Materialien den Körper eines Tieres in beiden Isolatoren (Fett/Schafwolle) in einer kalten Umgebung darzustellen.

- Ein Becherglas kann dazu genutzt werden, eine **kalte** Umgebung zu kreieren.
- Ein weiteres Becherglas kann dazu verwendet werden, die Isolationsschicht darzustellen, indem es mit **Fett/Schafwolle** gefüllt wird.
- Ein **mit Wasser gefülltes** Reagenzglas kann zur Darstellung der **Körpertemperatur** des Tieres verwendet werden.
- Mit dem Thermometer und der Stoppuhr kann gemessen werden, wie schnell die Temperatur des Wassers über einen bestimmten Zeitraum sinkt, indem die **Anfangs- und die End-Temperatur** bestimmt werden.

✓ **A3.2** Plane das Experiment nun weiter und **skizziere** den Aufbau **mit Beschriftungen** in die untere Box, wenn du deine Überlegungen beendet hast!

Abbildung 4 Seite aus dem Laborbuch: Hier stellt der fiktive Charakter Arian seine Idee für die Planung eines Experiments vor.

Charakter, „Arian“ (Abbildung 4), ein weiteres Experiment zur Angepasstheit von Tieren an kalte Temperaturen vorgeschlagen. Arian verglich Körperfett mit Wolle. Hierzu bekamen die Kinder ein Bild als Materialbeigabe, auf dem ein fehlerhafter Aufbau abgebildet war. Die Schüler:innen mussten den Ansatz untersuchen und wieder ankreuzen, welche Variablen gleich, beziehungsweise unterschiedlich waren. In der nächsten Aufgabe wurden die Kinder wieder aufgeklärt, dass auch dieser Charakter ein paar Fehler gemacht hatte. Hier sollten sie im Anschluss wieder begründen, was richtig und was falsch war. In einer weiteren Aufgabe

mussten die Schüler:innen die Ergebnisse eines dritten fiktiven Charakters, „Tom“, analysieren. Die Kinder wurden aufgeklärt, dass Tom alles richtig gemacht hatte. Danach mussten die Lernenden deuten, was dieses Experiment aussagte. Am Schluss gab es noch Tipps von „Tom“, wie man ein Experiment durchführt. Er erklärte, dass immer nur die zu untersuchende Variable anders sein dürfte. Alle anderen Variablen müssten gleich sein. Die Schüler:innen sollten sich aufgrund dieser Information noch einmal die Experimente von „Tina“ und „Arian“ ansehen und eintragen, was die beiden richtig, beziehungsweise falsch gemacht hatten. Zum Schluss erhielten die Schüler:innen den Fragebogen zur Überprüfung der Emotionen, der Motivation, der subjektiv empfundenen Einschätzungen der Lerneinheit, sowie zum Cognitive Load. Waren die Schüler:innen vor den 90 Minuten fertig, bekamen sie Bücher zu diversen biologischen Themen. Keiner der Lernenden verließ während der Intervention den Raum.

5.3 Begründung der Auswahl der Experiment

Die Schüler:innen mussten mit dem Experiment untersuchen, welche Form der Isolierung bei Tieren schneller Wärme an die Umgebung abgeben kann. Hierzu wurde das Experiment der Wärmeisolierung bei zwei verschiedenen Wirbeltierklassen eingebettet. Es wurden Daunenfedern von Vögeln mit Wolle von Schafen verglichen, wie es auch schon Doris Schmidt (2016) und Katharina Scholtes (2021) in ihren Arbeiten mit ähnlichen Experimenten gemacht haben. Bei einer korrekten Durchführung des Experiments wird in zwei gleich große Bechergläser die gleiche Menge an Eiswürfeln gefüllt. Dies simuliert die Außentemperatur. In eines dieser Bechergläser wird Wolle, in das andere wird dieselbe Menge an Daunenfedern gefüllt. Danach wird die gleiche Menge an Wasser in ein Reagenzglas gefüllt und in das Becherglas mit Wolle und in das andere Becherglas mit Federn gesteckt. Um eine Vergleichbarkeit der Ansätze zu ermöglichen muss darauf geachtet werden, dass alle Gläser gleich positioniert sind und überall die gleiche Menge an Eis, Isolierungsmaterial (Wolle und Federn) sowie Wasser im Reagenzglas ist. Auch auf die Höhe des Thermometers muss geachtet werden. Dann wird der Temperaturabfall bei beiden Ansätzen über den gleichen Zeitraum gemessen und jeweils die Temperaturdifferenz gebildet. Die beiden Temperaturdifferenzen werden miteinander verglichen. Der korrekte Experimentaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt.

Wird das Experiment korrekt durchgeführt, so kann beobachtet werden, dass sich das Wasser im Reagenzglas, welches sich im Becherglas mit den Daunenfedern befindet, langsamer abkühlt als das Wasser im Reagenzglas, das sich im Becherglas mit der Schafwolle befindet. Zu begründen ist die Beobachtung damit, dass Daunenfedern besser isolieren als Schafwolle,

da sie mehr Hohlräume besitzen und die darin eingeschlossene Luft als Isolator wirkt (Luft ist ein schlechter Wärmeleiter).

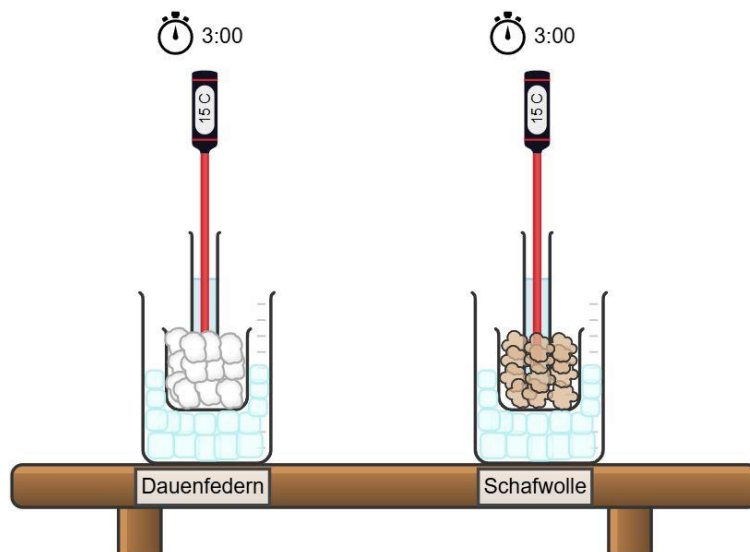


Abbildung 5 **Seite aus dem Laborbuch:** Hier stellt der fiktive Charakter Arian seine Idee für die Planung eines Experiments vor.

Das Experiment, welches bei dieser Studie verwendet wurde, befasst sich mit der Isolierfähigkeit von Schafwolle und Daunenfedern und stellt den Umgang mit Messinstrumenten (z.B.: Thermometer und Stoppuhr) in den Fokus. Ein ähnliches Experiment wurde schon bei der Dissertation von Doris Schmidt (2016) und bei der Masterarbeit von Scholtes (2021) angewendet und basiert daher auf diesen. Hier wurde die Isolierfähigkeit von Schafwolle zu Fett untersucht. Die Struktur der Testhefte gibt den Experimentierprozess vor und ist direkt aus dem Kompetenzstrukturmodell zum Experimentieren abgeleitet, wie es ebenfalls schon in der Doktorarbeit von Doris Schmidt beschrieben wurde (Schmidt 2016).

5.4 Erhebungsinstrumente

Bei dieser Studie wurden zu drei Testzeitpunkten (Pre-, Post und Follow-Up) quantitative Fragebögen eingesetzt. In den Fragebögen wurden zwei Testskalen verwendet, welche in der folgenden Tabelle (Tabelle 1) dargestellt werden.

Tabelle 1 Tabelle über die Erhebungsinstrumente dieser Studie

	Konstrukt	Skala	Anzahl der Items	Beispielitems
1	Variablenkontrollstrategie	Gekürzter VKS-Test nach: (Schwichow et al. in revision)	16	„Plane ein Experiment, mit dem sich überprüfen lässt, ob die Konzentration der Salzsäure die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst.“ Multiple-Choice
2	Cognitive Load	Klepsch et al. 2017	8	„Bei der Aufgabe musste man viele Dinge gleichzeitig im Kopf bearbeiten.“

Das Testinstrument von (Schwichow et al. in revision) ist ein Testheft, welches das Wissen über die Variablenkontrollstrategie der Schüler:innen mittels eines Paper-Pencil-Tests überprüft (Abbildung 7,8,9,10). Es enthält 16 Aufgaben zu jeweils zwei Fachkontexten der naturwissenschaftlichen Fächer Physik, Chemie und Biologie sowie einen Bereich des Alltagswissens. So gibt es zu jedem Kontext jeweils eine Aufgabe, die auf vier Teilfähigkeiten der VKS, die Chen und Klahr (1999) beschrieben haben, abzielt. Außerdem gibt es zu jedem Themengebiet eine Frage der Selbsteinschätzung. Wie bereits erwähnt, wurde in dieser Studie ein verkürztes Testheft mit 16 Items statt 32 Items verwendet. Die Schüler:innen erhielten zu den drei verschiedenen Testzeitpunkten drei verschiedene Testhefte (Abbildung 6).

Jede:r Proband:in bekam zu jedem Zeitpunkt ein anderes Testheft. Außerdem wurden demographische Daten wie Alter, Geschlecht (männlich/weiblich/divers) sowie Noten in den Fächern Deutsch, Mathematik, Biologie, Chemie und Chemie abgefragt.

5.4.1 Testinstrumente zur Erhebung der Variablenkontrollstrategie

Es gab drei verschiedene Testhefte A, B und C, welche pro Testzeitpunkt vier Fachkontexte zu je vier Items hatten, woraus sich insgesamt 16 Items ergeben (vgl. Abb. 4). Jedes dieser Items umfasst eine Teilfähigkeit der Variablenkontrollstrategie, die, wie bereits erwähnt, von Chen und Klahr (1999) beschrieben wurden. Diese umfassen das Planen von kontrollierten Experimenten (PL), das Erkennen kontrollierter Experimente (ID), die Ergebnisinterpretation kontrollierter Experimente (IN) und das Verständnis über die fehlende Aussagekraft unkontrollierter Experimente (UN). Für jedes Element müssen die Lernenden die Eignung des Experiments hinsichtlich der Anwendung der Strategie zur Kontrolle von Variablen im jeweiligen Kompetenzbereich beurteilen. Jedes Experiment beginnt mit einer kurzen Beschreibung, die sowohl grundlegende Informationen als auch die im Experiment auftretenden Variablen erläutert und visuell darstellt. Zum Schluss wird das vorausgesetzte Grundwissen im Fachbereich allgemein und speziell im Zusammenhang mit dem Experiment mit einer sechsstufigen Likert-Skala erfasst. Anschließend wird das Wissen über die vier

Teilkompetenzen in der Reihenfolge ID, PL, IN und UN abgefragt (siehe Abbildung 7,8,9,10). Bei den Identifikationsaufgaben (ID) (Abbildung 7) werden die Lernenden mit einer spezifischen Hypothese konfrontiert und müssen anschließend aus vier graphisch und textlich dargestellten Experimenten dasjenige auswählen, welches zur Überprüfung der Hypothese geeignet ist. In den Planungsaufgaben (PL) (Abbildung 8) sind die Lernenden aufgefordert, ein Experiment eigenständig zu entwerfen. Sie sollen in einer Tabelle mittels einer Multiple-Choice-Auswahl die Ausprägung von drei Variablen in zwei Telexperimenten bestimmen. Hierbei sind sechs Entscheidungen von den Lernenden zu treffen. Bei der Lösung der PL-Aufgaben gibt es mehrere korrekte Antworten. Die Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Lösung war im Vergleich zu den anderen Teilfähigkeiten geringer. Die Aufgaben zur Ergebnisinterpretation (IN) (Abbildung 9) und zum Verständnis (UN) (Abbildung 10) folgen immer dem gleichen Schema. In beiden Aufgaben wird das Ergebnis eines Experiments präsentiert. Der einzige Unterschied besteht darin, dass in den IN-Aufgaben die Ergebnisse kontrollierter Experimente und in den UN-Aufgaben die Ergebnisse unkontrollierter Experimente dargestellt werden. Den Lernenden werden vier Antwortmöglichkeiten in immer derselben Reihenfolge präsentiert. Die Antwortmöglichkeiten sind: 1. Variable 1 beeinflusst die UV, 2. Variable 2 beeinflusst die UV, 3. Variable 1 und 2 beeinflussen die UV und 4. das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu. Bei den IN-Aufgaben sind die ersten beiden Antwortoptionen korrekt, während bei den UN-Aufgaben stets die letzte Antwort die richtige ist (Abbildung 9 und 10). Die folgende Tabelle stellt dar, wie die Testhefte aufgeteilt waren. Die Items wurden im Rasch-Modell mit jeweils einem Ankeritem zusammengestellt. Die Testhefte wurden an die Schüler:innen verteilt. Im Prae-Test gab es Test A, B und C. Im Post-Test bekam jede Gruppe, die A hatte, das Testheft B. Jene Gruppe, die das Testheft B hatte, C und jene Gruppe, die das Testheft C hatte, A.

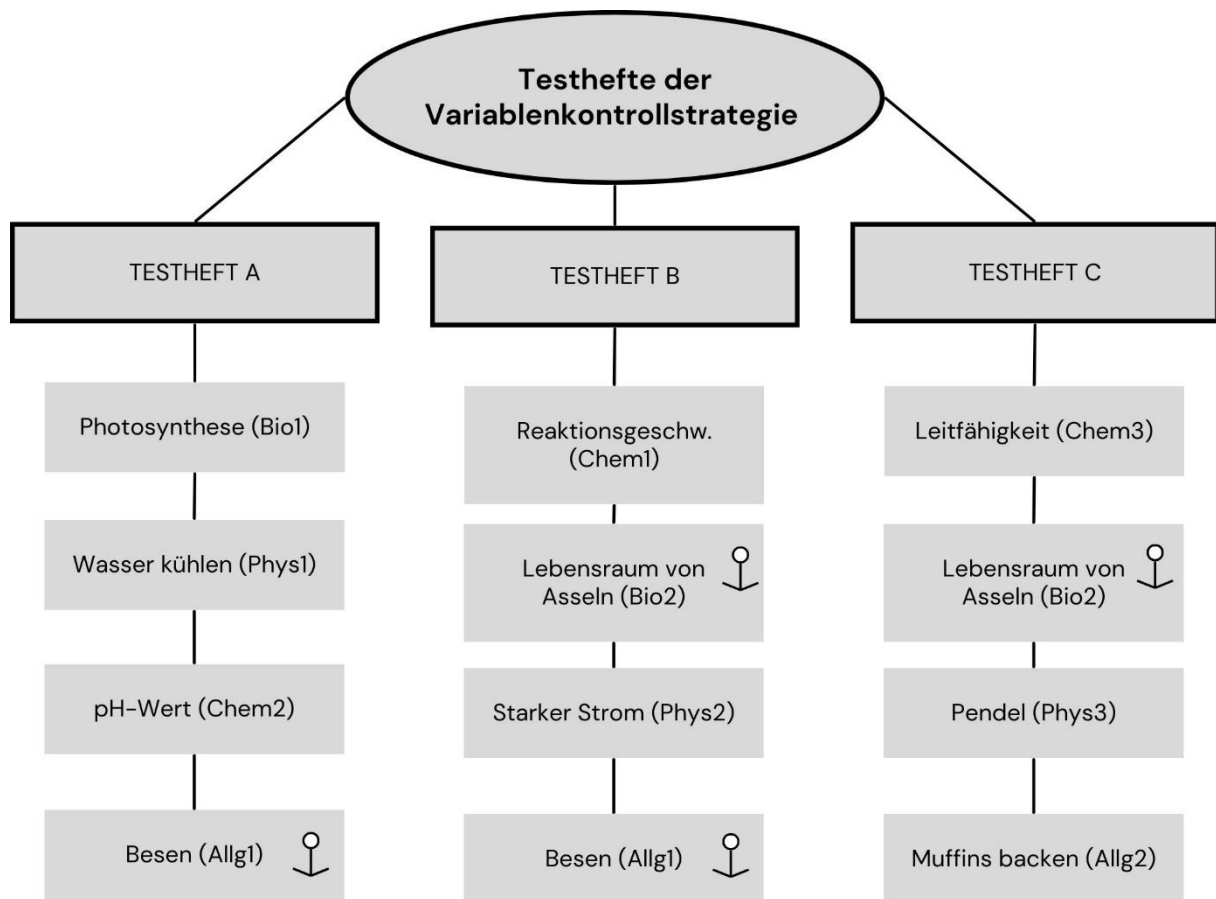


Abbildung 6 **Graphische Darstellung der Items der Testhefte** Bei Testheft A wurden die Items Photosynthese, Wasser kühlen, pH-Wert sowie Besen (Ankeritem) verwendet. Bei Testheft B wurden die Items Reaktionsgeschwindigkeit (Ankeritem), Starker Strom und Besen (Ankeritem) verwendet. Bei Testheft C wurden die Items Leitfähigkeit, Lebensraum von Asseln (Ankeritem), Pendel und Muffins backen verwendet.

Photosynthese	ID-BIO-2
Bianca möchte überprüfen, ob die Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO_2) einen Einfluss auf die Produktmengen von Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) besitzt. Sie vermutet, dass mehr Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) gebildet werden, wenn die Tulpe einer hohen Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO_2) ausgesetzt ist. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung überprüfen?	
Experiment 1 1a ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,1\%$ (hoch) Wassermenge: viel 1b ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 2 2a ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,1\%$ (hoch) Wassermenge: wenig 2b ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 3 3a ☐ Sonnenstunden: 2h $c[\text{CO}_2] = 0,1\%$ (hoch) Wassermenge: wenig 3b ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 4 4a ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel 4b ☐ Sonnenstunden: 2h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	

Abbildung 7: **Identifikationsaufgabe (ID) im Prae-Testheft der Gruppe A**

Hier handelt es sich um eine Identifikationsaufgabe (ID). Die Proband:innen werden mit einer spezifischen Hypothese konfrontiert und müssen anschließend aus vier graphisch und textlich dargestellten Experimenten dasjenige auswählen, welches zur Überprüfung der Hypothese geeignet ist.

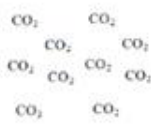
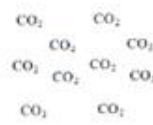
Photosynthese		PL-BIO-2	
Plane ein Experiment, bei dem sich prüfen lässt, ob die Anzahl an Sonnenstunden die Menge von Sauerstoff (O ₂) und Traubenzucker (C ₆ H ₁₂ O ₆) beeinflusst.			
Kreuze hierfür bei „Umgebung 1“ und „Umgebung 2“ an, wie du die Anzahl an Sonnenstunden, die Menge an Wasser (H ₂ O) und die Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO ₂) wählen würdest.			
Umgebung 1		Umgebung 2	
☐  Zehn Sonnenstunden	☐  Zwei Sonnenstunden	☐  Zehn Sonnenstunden	☐  Zwei Sonnenstunden
☐  Hohe Konzentration c[CO ₂] = 0,1%	☐  Niedrige Konzentration c[CO ₂] = 0,03%	☐  Hohe Konzentration c[CO ₂] = 0,1%	☐  Niedrige Konzentration c[CO ₂] = 0,3%
☐  Viel Wasser	☐  Wenig Wasser	☐  Viel Wasser	☐  Wenig Wasser

Abbildung 8 Seite 8 des Prae-Testheftes der Gruppe A Planungsaufgaben (PL):
 Hier handelt es sich um eine Planungsaufgabe. Die Proband:innen sind aufgefordert, ein Experiment eigenständig zu entwerfen. Sie sollen in einer Tabelle mittels einer Multiple-Choice-Auswahl die Ausprägung von drei Variablen in zwei Telexperimenten bestimmen.

Photosynthese	IN-BIO-2
Bianca hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Sonnenstunden: 10h Wassermenge: wenig 	 Sonnenstunden: 10h Wassermenge: viel 
Sie hat folgende Beobachtung gemacht:	
 $O_2 < 10g \text{ pro } m^2$ (niedrig)	 $O_2 > 10g \text{ pro } m^2$ (hoch)
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Menge an Sonnenstunden hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).	
☐ Die Menge von Wasser (H_2O) hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).	
☐ Sowohl die Menge an Sonnenstunden als auch die Menge von Wasser (H_2O) haben einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Abbildung 9 Seite 9 des Prae-Testheftes der Gruppe A Ergebnisinterpretationsaufgaben (IN): Hier handelt es sich um eine Ergebnisinterpretationsaufgabe (IN). Die Proband:innen sollten die Ergebnisse kontrollierter Experimente interpretieren und ankreuzen. Bei den IN-Aufgaben können die ersten beiden Antwortoptionen korrekt sein.

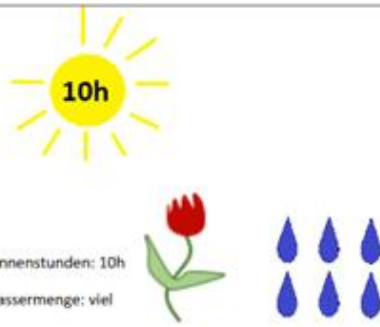
Photosynthese	UN-BIO-2
Bianca hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Sonnenstunden: 2h Wassermenge: wenig	 Sonnenstunden: 10h Wassermenge: viel
Sie hat folgende Beobachtung gemacht:	
 $O_2 < 10g \text{ pro } m^2$ (niedrig)	 $O_2 > 10g \text{ pro } m^2$ (hoch)
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Menge an Sonnenstunden hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).	
☐ Die Menge von Wasser (H_2O) hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).	
☐ Sowohl die Menge an Sonnenstunden als auch die Menge von Wasser (H_2O) haben einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Abbildung 10 Seite 10 des Prae-Testheftes der Gruppe A Verständnisaufgabe (UN):

Hier handelt es sich um eine Verständnisaufgabe (UN). Die Proband:innen sollten die Ergebnisse unkontrollierter Experimente interpretieren und ankreuzen. Bei den UN-Aufgaben können die letzten beiden Antwortoptionen korrekt sein.

5.4.2 Testinstrument zur Erhebung des Cognitive Loads

Für die Erhebung des Cognitive Loads wurde das Testinstrument von Klepsch (2017) verwendet. Dieses misst die verschiedenen Arten des Cognitive Loads mittels einer siebenstufigen Likert-Skala. Der Fragebogen besteht aus acht Items mit Aussagen. Die ersten zwei Aussagen behandeln den Intrinsic Cognitive Load die weiteren drei den Extranous Cognitive Load und die letzten drei Aussagen sind über den Germane Cognitive Load . Der in Abbildung 11 dargestellt wird. In dieser vorliegenden Studie wurde die Methodik zur Messung der kognitiven Belastung aus der Arbeit von Klepsch et al. (2017) verwendet. Diese Studie hat wesentlich zur Entwicklung von differenzierten Messinstrumenten für intrinsische, extrinsische und germane kognitive Belastung beigetragen. Der Vorteil dieses Fragebogens ist, dass er die verschiedenen Formen des Cognitive Loads abbildet. Es wurden die deutschen Items für unsere Studie verwendet. Diese sind wie folgt aufgeteilt: ICL (2), GCL (3), und ECL (3). Die Items sind sogenannte „einfache Fragen“ (naive uestionnaire). Das bedeutet, die Testpersonen wissen nicht, was Cognitive Laod ist und welche Formen es gibt. Klepsch et al. haben in zwei Studien herausfinden können, dass diese Items reliabel sind, da sie den Cognitive Load gut abbilden können, ohne dass die Testpersonen persönlich gefragt werden müssen. Auch konnte die Validität überprüft werden, da sie bei unterschiedlichen Aufgaben den ICL, ECL und GCL verändert haben und es zu erwarteten Ergebnissen geführt hat. Auch schon andere Studien haben diesen Fragebogen verwendet und konnten valide Ergebnisse erzielen (Beege et al. 2024; Laumann et al. 2024; Hindriana et al. 2020).

A15. Kreuze nun bitte bei **allen** Aussagen an, welche Ausprägung (von 1 bis 7) am **ehesten** beim Bearbeiten der Aufgaben zugetroffen hat.

		1 Absolut falsch	2	3	4	5	6	7 Absolut richtig
C1	Bei der Aufgabe musste man viele Dinge gleichzeitig im Kopf bearbeiten.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C2	Diese Aufgabe war sehr komplex.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C3	Ich habe mich angestrengt, mir nicht nur einzelne Dinge zu merken, sondern auch den Gesamtzusammenhang zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C4	Es ging mir beim Bearbeiten der Lerneinheit darum, alles richtig zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C5	Die Lerneinheit enthielt Elemente, die mich unterstützten, den Lernstoff besser zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C6	Bei dieser Aufgabe ist es mühsam, die wichtigsten Informationen zu erkennen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C7	Die Darstellung bei dieser Aufgabe ist ungünstig, um wirklich etwas zu lernen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C8	Bei dieser Aufgabe ist es schwer, die zentralen Inhalte miteinander in Verbindung zu bringen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
		1 sehr gering	2	3	4	5	6	7 sehr hoch
C9	Wie hoch war deine Motivation bei der Arbeit mit dem Lernmaterial?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C10	Wie niedrig oder hoch schätzt du deinen Lernerfolg ein?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
		1 sehr schlecht	2	3	4	5	6	7 sehr gut
C11	Wie hat dir die Lerneinheit insgesamt gefallen?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Geschafft! Melde dich bei der Lehrperson, wenn du fertig bist.



Abbildung 11 Fragebogen zum Cognitive Load von Klepsch et al (2017): C1-C8 beschreiben jene Items.

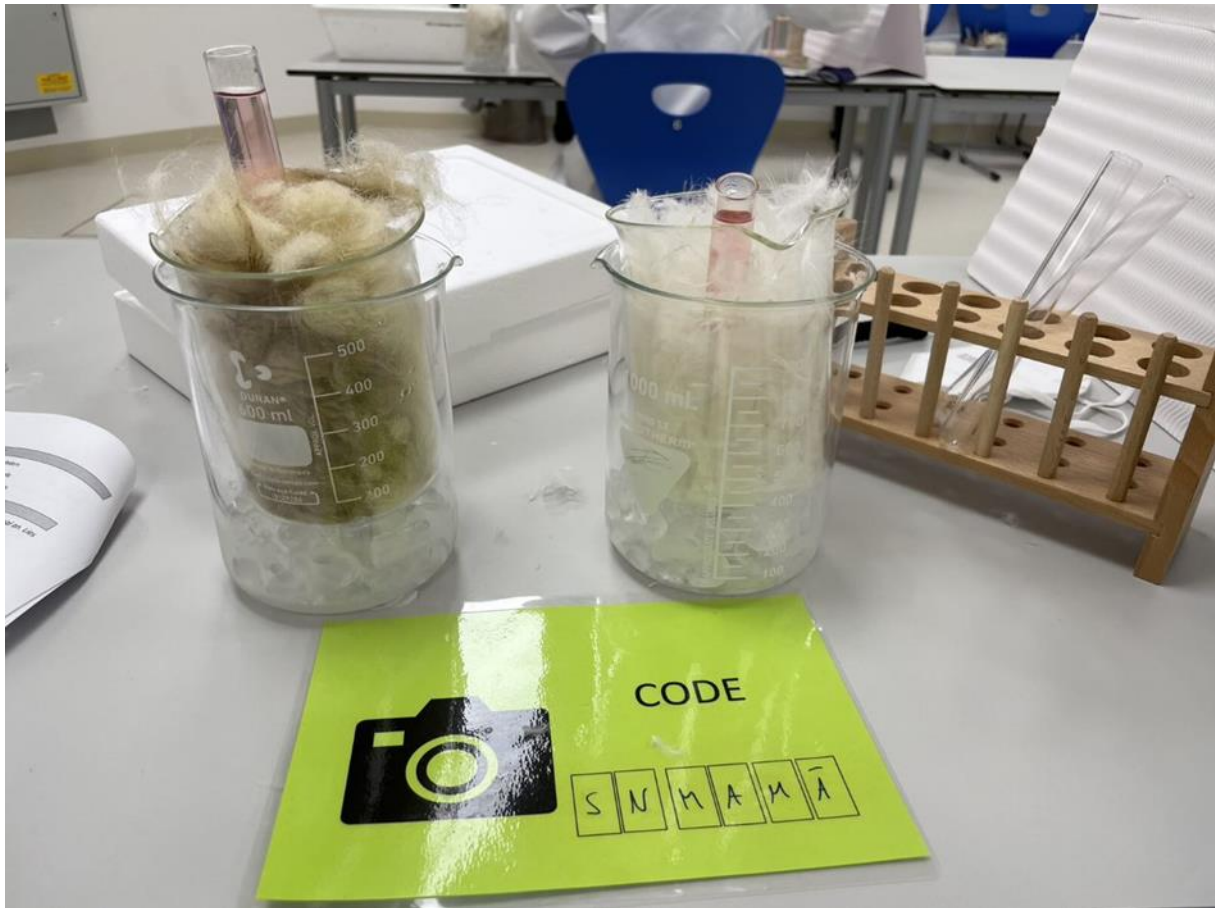


Abbildung 12 **Foto eines Schüler:innen Aufbaus des Experiments** (Foto: Linda Hämmerle) . Zur besseren Veranschaulichung ist das Wasser mit Lebensmittelfarbe pink eingefärbt.

5.5 Datenanalyse

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden unterschiedliche statistische Verfahren verwendet. Die Antworten der Schüler:innen in beiden VKS-Tests wurden mithilfe des Rasch-Modells ausgewertet. Bei der Rasch-Skalierung handelt es sich um eine statistische Methode. Mithilfe der Rasch-Skalierung werden die Fähigkeiten von Personen und die Schwierigkeit von Items in Testinstrumenten bewertet. Sie bietet eine schnelle und standardisierte Möglichkeit, um Leistung zu messen. Angewendet wird die Rasch-Skalierung insbesondere in der Bildungsforschung und -evaluation (Boone et al. 2014). Mit dem Rasch-Modell wird die Wahrscheinlichkeit beschrieben, mit der Lernende ein Item, unter der Berücksichtigung des persönlichen Könnens und des Schwierigkeitsgrads der Aufgabe, richtig lösen (Grottko et al., 2020). Weiterführende Analysen erfolgten mit IBM SPSS Statistics durchgeführt (Version: 19). Für die erste Hypothese, welche den Unterschied im Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten, untersucht, wurde ein Mann-Whitney-U-Test zur Überprüfung herangezogen. Beim Mann-Whitney-U-Test handelt es sich um einen nicht-parametrischen Test, der verwendet wird, wenn die Daten wie in diesem Fall nicht normalverteilt sind (Field 2013). Um die zweite Hypothese, welche den Unterschied im Cognitive Load zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten untersucht, wurde wie folgt vorgegangen: Es wurde wieder der Mann-Whitney-U-Test für jede Cognitive Load Ausprägung getrennt gemacht, da es zu extremen Werten kam, die nicht in die Normalverteilung passten. Um die zweite Hypothese, welche den Unterschied im Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, und Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiten, untersucht, wurde wieder ein Mann-Whitney-U-Test zur Überprüfung herangezogen. Dies ist wiederum aufgrund der nicht-normalverteilten Daten und der Robustheit des Tests gegenüber Ausreißern eine geeignete Wahl (Field 2013). Da bei der dritten Hypothese von einer negativen Korrelation zwischen dem Cognitive Load und dem Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategien ausgegangen wird, wurde eine Spearman-Korrelation als robustere Methode gewählt, da die Daten nicht linear waren. Die Spearman-Korrelation ist ebenfalls ein nicht-parametrisches Verfahren und wird bevorzugt, wenn die Daten ordinal sind oder die Voraussetzungen für die Pearson-Korrelation nicht erfüllt sind (Hauke und Kossowski 2011).

6 Ergebnisse

In einer ursprünglichen Studie nahmen, wie bereits erwähnt, insgesamt 274 Proband:innen teil. Von diesen wurden 124 Teilnehmer in die weiteren Analysen einbezogen, da sie alle notwendigen Daten lieferten, weil sie ein Teil der Fremden-Fehler-Gruppe und Eigenen-Fehler-Gruppe waren. Unter den Teilnehmenden identifizierten sich 56,5% (n=70) als männlich, 37,9% (n=40) als weiblich und 5,6% (n=7) der Personen gaben keine Angaben zu ihrem Geschlecht an. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer:innen lag bei 12,76 Jahren, wobei die Altersspanne zwischen 12 und 14 Jahren lag.

6.1 Mögliche Gruppenunterschiede bezüglich des Lernerfolgs

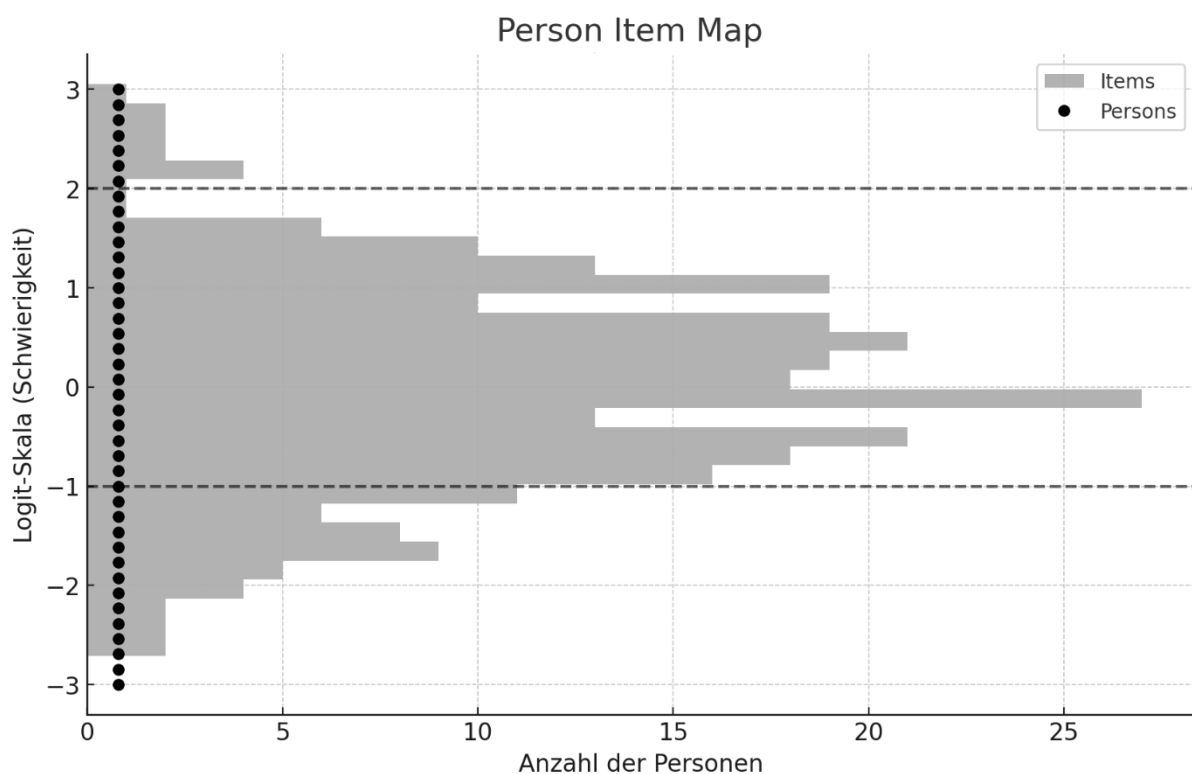


Abbildung 13 **Person-Item-Map** Sie zeigt die Verteilung der Personen (links) und der Testitems (rechts) auf einer Logit-Skala. Sie veranschaulicht die Passung zwischen den Fähigkeiten der getesteten Personen und den Schwierigkeiten der Items. Eine ausgewogene Verteilung der Items über die Schwierigkeitsstufen deutet auf eine adäquate Differenzierung der Personenfähigkeiten hin.

Die vorliegende Person-Item-Map, (Abbildung 13) basiert auf der Item-Response-Theorie (IRT) und visualisiert die Passung zwischen den Fähigkeiten der getesteten Personen und den Schwierigkeiten der Testitems. Auf der vertikalen Achse der Grafik wird die Schwierigkeit der Items auf einer Logit-Skala abgebildet. Je höher ein Item auf der Skala positioniert ist, desto schwieriger war es für die getesteten Personen zu lösen. Umgekehrt befinden sich einfachere Items weiter unten auf der Skala. Die horizontale Achse stellt die Anzahl der Personen dar, die sich auf den jeweiligen Fähigkeitsstufen befinden. Links in der Grafik werden die getesteten Personen als Punkte dargestellt, die entsprechend ihrer Fähigkeiten auf der Logit-Skala positioniert sind. Auf der rechten Seite sind die Items durch graue Balken repräsentiert, deren Höhe die jeweilige Schwierigkeit des Items angibt. Die Verteilung der Personen und Items

entlang der Logit-Skala ermöglicht es, eine Aussage darüber zu treffen, ob der Test in der Lage ist, die Fähigkeiten der Personen über verschiedene Schwierigkeitsstufen hinweg angemessen zu differenzieren. Eine ausgewogene Verteilung der Items über die gesamte Skala ist dabei von zentraler Bedeutung. Idealerweise gibt es keine großen Lücken zwischen den Items, und die Items sind nicht gehäuft auf einer Schwierigkeitsstufe konzentriert. Eine solche Verteilung gewährleistet, dass der Test verschiedene Fähigkeitsniveaus abdeckt und die Fähigkeiten der getesteten Personen über ein breites Spektrum hinweg erfasst werden können. Dies ist besonders wichtig, um sicherzustellen, dass die Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Fähigkeitsstufen präzise vorgenommen werden kann. In der dargestellten Grafik zeigt sich eine relativ ausgewogene Verteilung der Items. Dies deutet darauf hin, dass der Test gut dazu geeignet ist, die Fähigkeiten der Personen differenziert zu erfassen. Eine unausgewogene Verteilung, bei der bestimmte Schwierigkeitsstufen unzureichend abgedeckt wären, könnte dazu führen, dass bestimmte Fähigkeitsbereiche der getesteten Personen nicht angemessen beurteilt werden. Um dies zu verdeutlichen, kann ein Vergleich mit einer Notenskala herangezogen werden: Wenn in einem System nur die Noten 1, 3, 4 und 5 vergeben würden, wäre es schwierig, feine Unterschiede zwischen den Leistungen von Schüler*innen im Bereich zwischen den Noten 1 und 3 zu machen. Eine gleichmäßige Verteilung der Items ist daher entscheidend, um eine differenzierte Bewertung der Fähigkeiten zu gewährleisten. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorliegende Person-Item-Map darauf hindeutet, dass der Test geeignet ist, die Fähigkeiten der getesteten Personen über verschiedene Schwierigkeitsstufen hinweg adäquat zu erfassen und zu differenzieren. Die Ergebnisse zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede im Prae-Test zwischen den Gruppen gab. Nach der Intervention hingegen zeigte die Analyse einen Unterschied im Lernerfolg. Bei der Analyse der ersten Hypothese konnte Folgendes herausgefunden werden: Die durchgeführte Analyse zeigt einen signifikanten Unterschied im Lernzuwachs zwischen Schüler:innen, die aus eigenen Fehlern lernten, und solchen, die aus fremden Fehlern lernten. Hierfür wurden die Differenzen zwischen den Ergebnissen des Pre- und Post-Tests berechnet, indem die Werte des Pre-Tests von denen des Post-Tests subtrahiert wurden. Schüler:innen, die aus eigenen Fehlern lernten, wiesen einen durchschnittlich höheren Lernzuwachs von 0,70 Logit-Punkten auf. Diese Differenzen werden im Boxplot-Diagramm in Abbildung 14 dargestellt. Es handelte sich um einen signifikanten Unterschied ($p < 0,01$), der mittels des Mann-Whitney-U-Tests bestätigt werden konnte. Der Mann-Whitney-U-Test wurde gewählt, da keine Normalverteilung vorlag (Field 2013). Es wurde ein kleiner Effekt (Cohen 1988) festgestellt ($d = 0.4$).

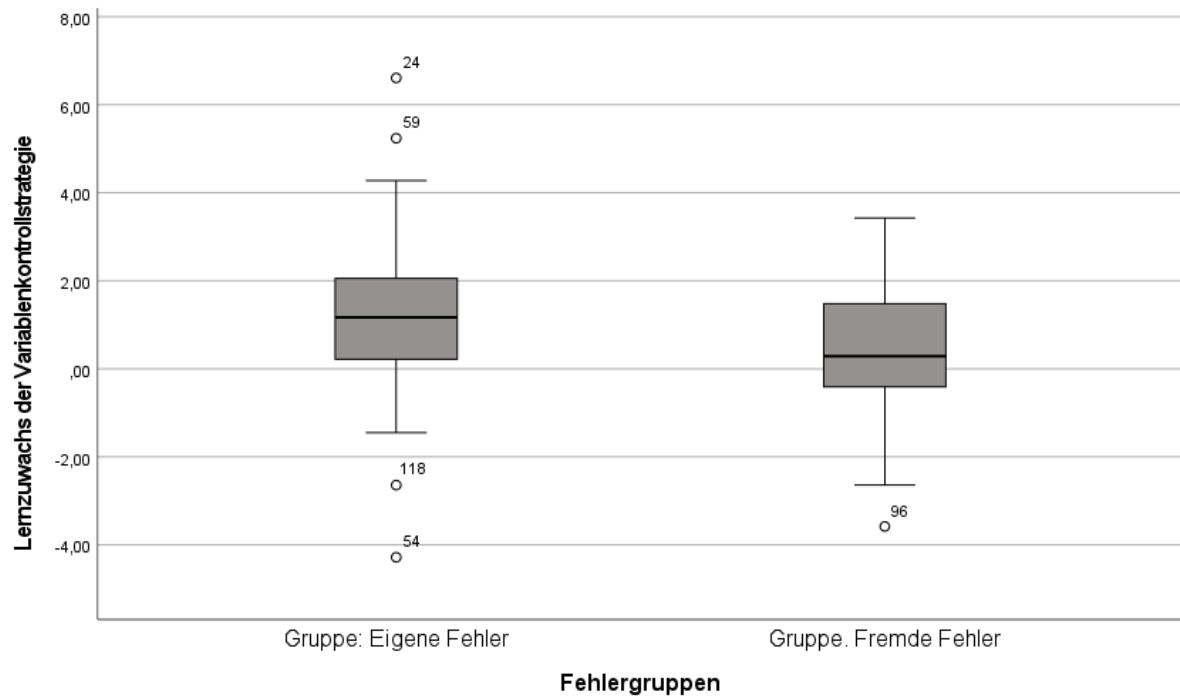


Abbildung 14 Vergleich der Ergebnisse des Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie der Eigenen-Fehler-Gruppe und der Fremden-Fehler-Gruppe: Diese Boxplots zeigen den durchschnittlichen Lernzuwachs der beiden Gruppen. Es zeigt sich, dass Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern gearbeitet hatten durchschnittlich mit 0,70 logit-Punkten höher abschnitten. Dieser Unterschied ist signifikant ($p < 0.01$, Mann-Whitney U, $d = 0.4$).

6.2 Mögliche Gruppenunterschiede bezüglich des Cognitive Loads

Bei der Untersuchung der zweiten Hypothese, welche den Unterschied im Cognitive Load zwischen den Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiteten, und Schüler:innen, die mit eigenen Fehlern arbeiteten, untersuchte, konnte durch einen Mann-Whitney-U-Test herausgefunden werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen der Fremden-Fehler-Gruppe und der Eigenen-Fehler-Gruppe in Bezug auf Cognitive Load gibt (ICL $p=.4$; ECL $p=.14$; GCL $p=.15$ Signifikanzniveau $p<.05$). Es zeigte sich beim ECL und GCL eine Tendenz, dass diese bei der Eigenen-Fehler-Gruppe höher waren. Diese waren jedoch nicht signifikant (Tabelle 1).

Tabelle 2 Ergebnisse der Mann-Whitney-U-Tests zur Überprüfung des Einflusses der Gruppenzuweisung auf die Cognitive Loads: Anmerkung. ICL = Intrinsic Cognitive Load, ECL = Extraneous Cognitive Load, GCL = Germane Cognitive Load. $N = 124$ Proband:innen wurden randomisiert einer der beiden experimentellen Gruppen zugewiesen (fremde Fehler, $n = 61$; eigene Fehler, $n = 63$).

Variable	Fremde Fehler	Eigene Fehler	p
	M_{Rang}	M_{Rang}	
ICL	63.37	61.66	.40
ECL	58.95	65.94	.14
GCL	59.11	65.79	.15

Die folgenden Abbildungen (15,16,17) zeigen die Verteilungen der verschiedenen Cognitive Loads. Es zeigt sich, dass keine dieser normalverteilt ist, deswegen wurde der Mann-Whitney-U Test, ein nicht parametrisches Verfahren, angewandt (Field 2013).

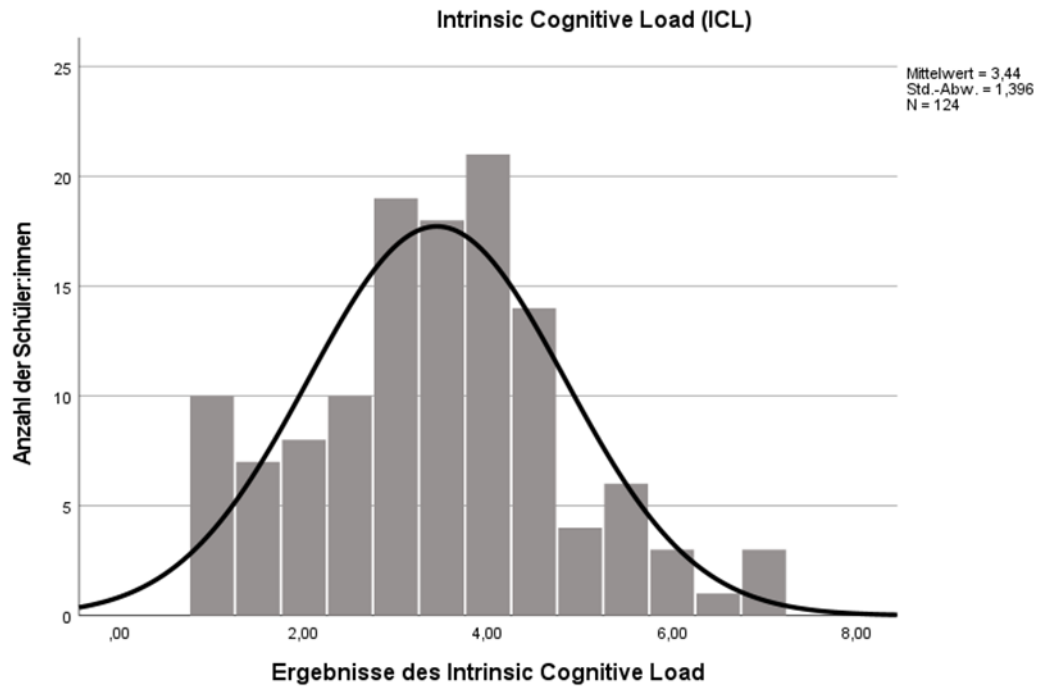


Abbildung 15 *Ergebnisse der Intrinsic Cognitive Load (ICL) Messung*: Hier handelt es sich um keine Normalverteilung.

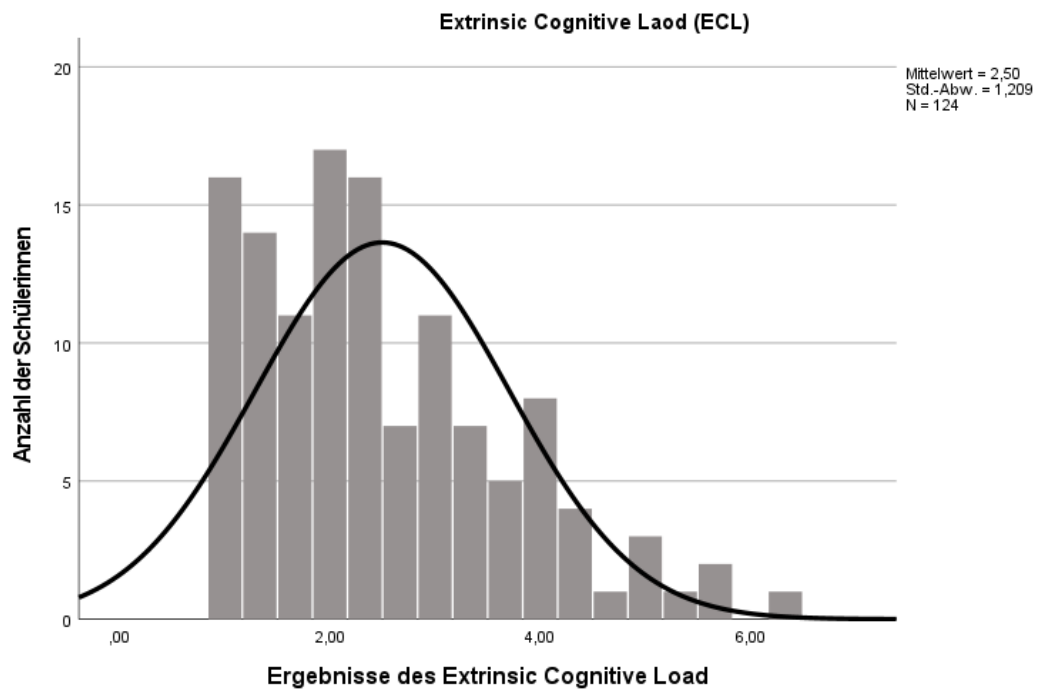


Abbildung 16 *Ergebnisse der Extrinsic Cognitive Load (ECL) Messung*: Hier zeigt sich eine linksschiefe Verteilung.

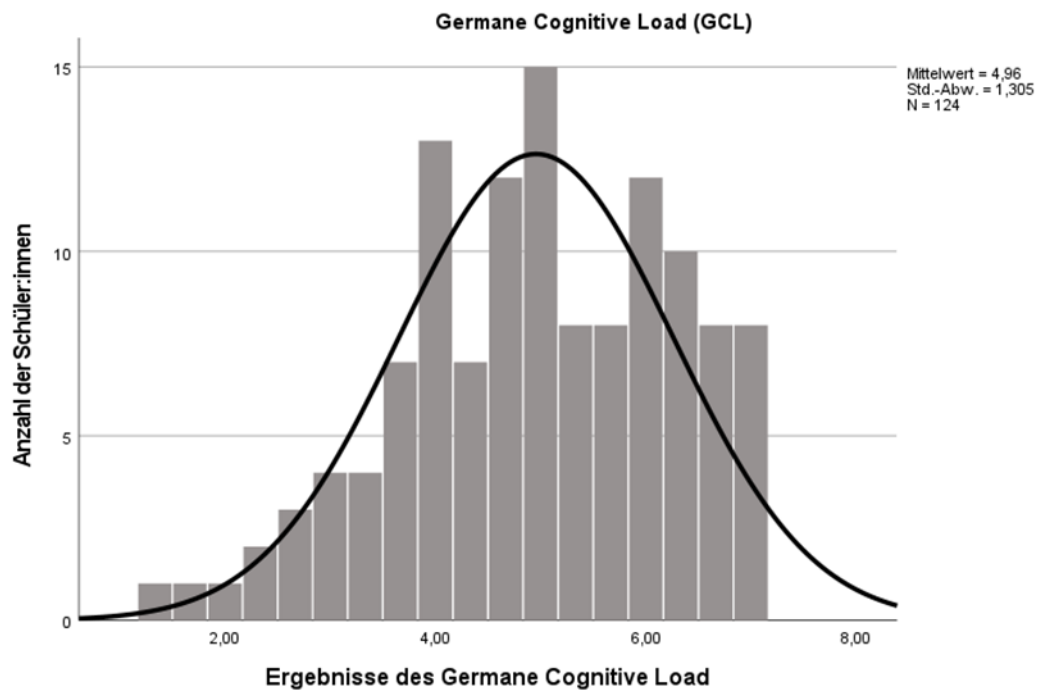


Abbildung 17 **Ergebnisse der GCL-Messung:** Hier zeigt sich eine mehrmodale Verteilung vorliegen.

6.3 Mögliche Zusammenhänge von Cognitive Load und dem Lernerfolg

Hier waren die Daten nicht linear (Abbildungen 18,19,20), deswegen wurde eine Spearman-Korrelation als robustere Methode gewählt (Hauke und Kossowski 2011). Die Ergebnisse bei der Überprüfung der dritten Hypothese, welche von einer negativen Korrelation zwischen dem Cognitive Load und dem Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategien ausging, zeigten, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Cognitive Load und dem Lernerfolg gibt. Es zeigten sich bei GCL ($r=.14$) und ICL ($r=-.1$) kleinere Effektstärken (Cohen 1988), Hattie (2010) spricht hier von einem Lehrer-Effekt welcher aber nicht signifikant ausfällt (Tabelle 2).

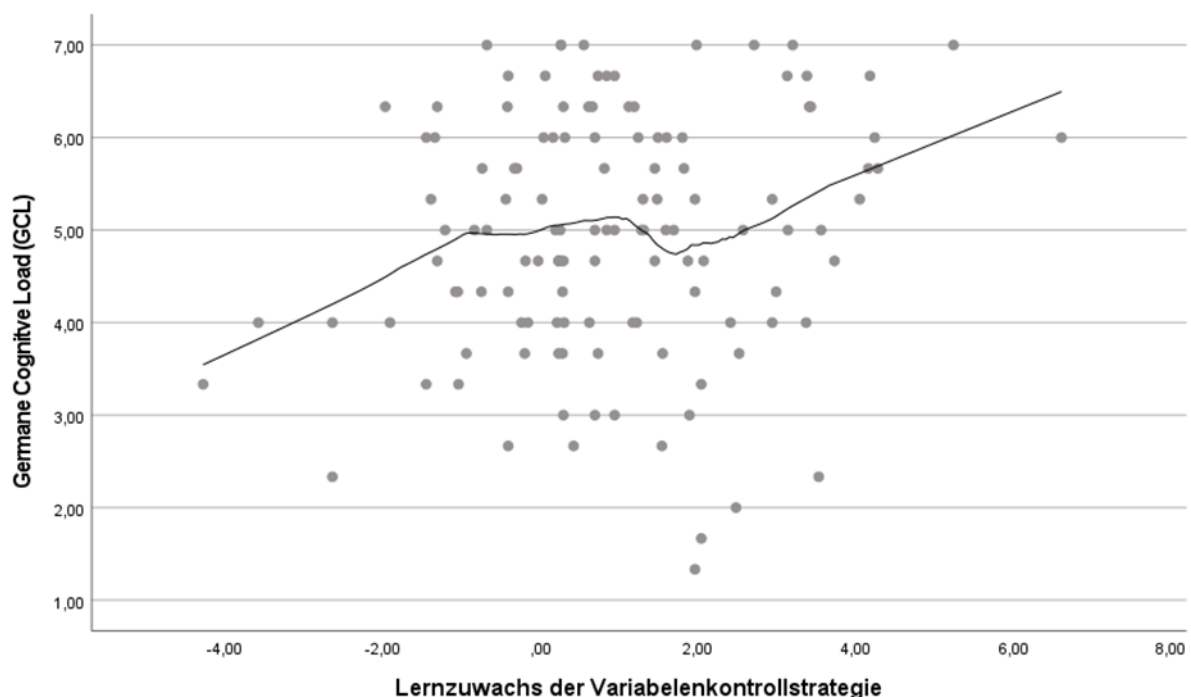


Abbildung 18 **Ergebnisse des Germane Cognitive Loads (GCL) zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie:** Es können keine eindeutigen linearen Zusammenhänge zwischen Germane Cognitive Load und dem Erlernen der Variablenkontrollstrategie gezeigt werden. Die Punkte (grau) zeigen die Ergebnisse des GCL in Zusammenhang mit dem Erlernen der Variablenkontrollstrategie.

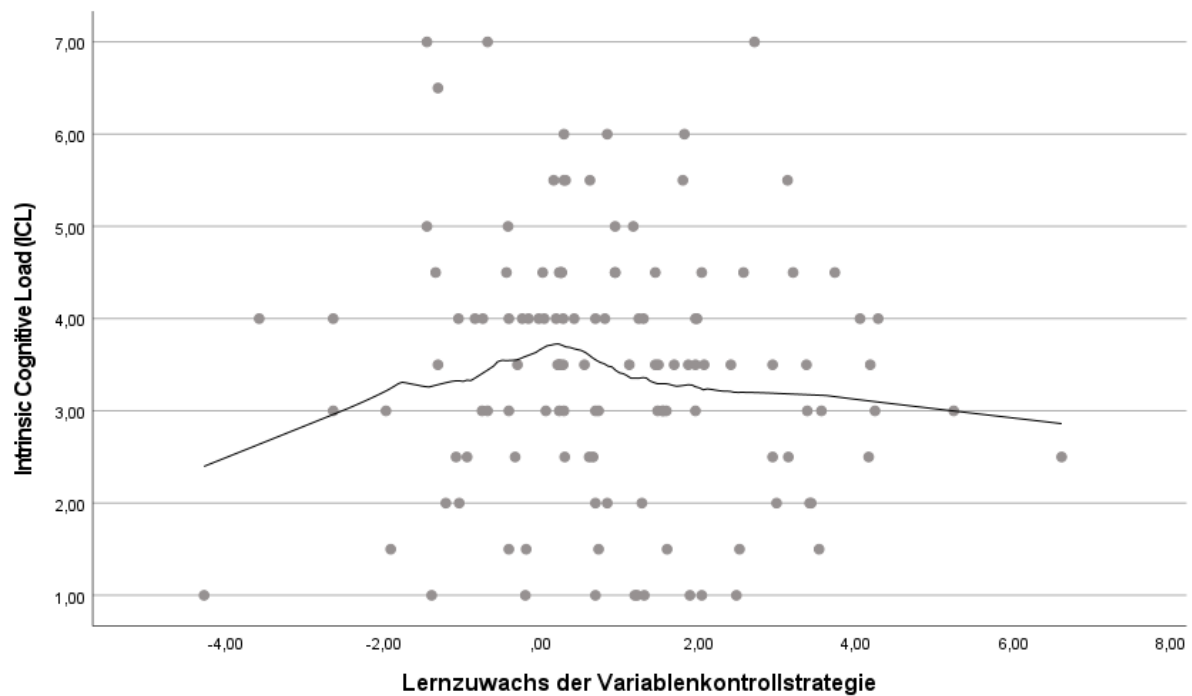


Abbildung 19 **Ergebnisse des Intrinsic Cognitive Loads (ICL) zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie:** Es können keine linearen Zusammenhänge zwischen ICL und dem Erlernen der Variablenkontrollstrategie gezeigt werden. Die Punkte (grau) zeigen die Ergebnisse des Intrinsic Cognitive Load in Zusammenhang mit dem Erlernen der Variablenkontrollstrategie.

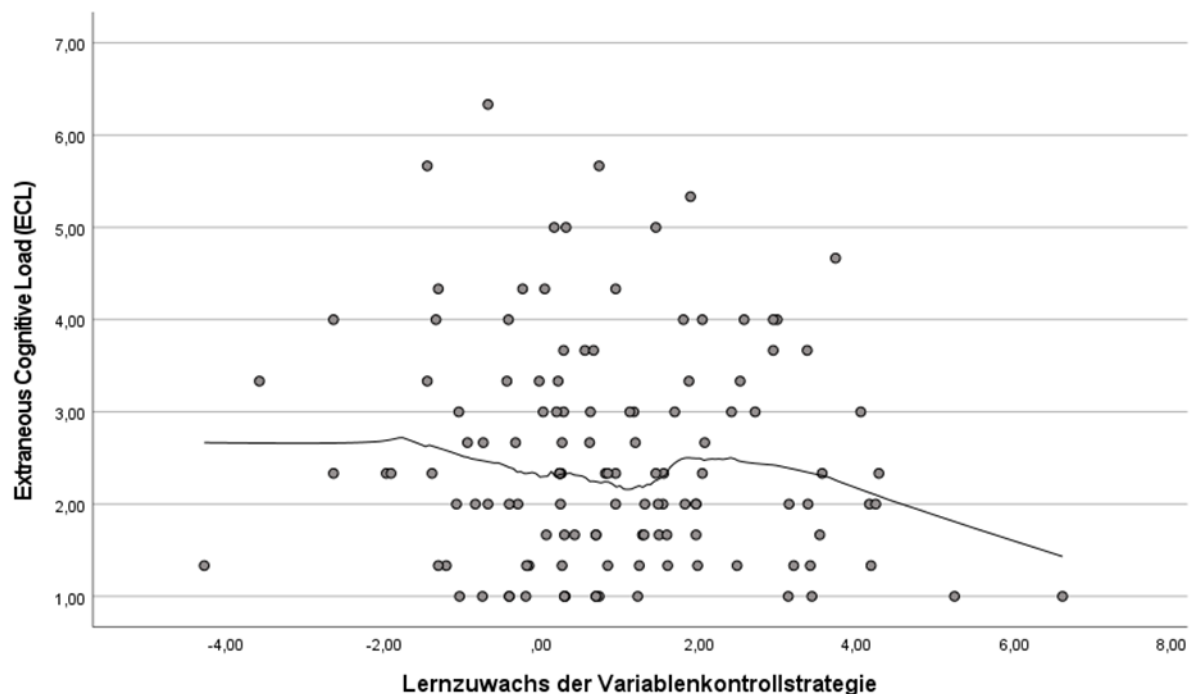


Abbildung 20 **Ergebnis des Extraneous Cognitive Loads (ECL) zum Lernzuwachs der Variablenkontrollstrategie:** Es können keine eindeutigen linearen Zusammenhänge zwischen Extraneous Cognitive Load und dem Erlernen der Variablenkontrollstrategie gezeigt werden. Die Punkte (grau) zeigen die Ergebnisse des ECL in Zusammenhang mit dem Erlernen der Variablenkontrollstrategie.

Tabelle 3 Korrelationen zwischen Cognitive Load und Lernzuwachs: Gezeigt werden die Werte der verschiedenen Formen des Cognitive Loads in Bezug auf den Fähigkeitszuwachs. ICL = Intrinsic Cognitive Load, ECL = Extraneous Cognitive Load, GCL = Germane Cognitive Load; M=Mittelwert, SD= Standardabweichung. * $p < .001$**

Variablen	<i>M</i>	<i>SD</i>	1.	2.	3.	4.
1. ICL	3.44	1.40	–			
2. ECL	2.50	1.21	.39***	–		
3. GCL	4.96	1.30	.33***	-.04	–	
4. Fähigkeitszuwachs	0.91	1.78	-.10	-.09	.14	–

7 Diskussion

Im Rahmen des Projekts LeFeEx [Lernen aus (eigenen und fremden) Fehlern beim Erwerb von Experimentierkompetenz] wurde der Einfluss des Cognitive Loads auf den Lernzuwachs bei Schüler:innen untersucht. In dieser Arbeit wurde darauf eingegangen, dass der Cognitive Load einen Einfluss auf den Lernzuwachs hat. Es wurden zwei Schüler:innen Gruppen verglichen. Eine war die Fremde-Fehler Gruppe, die andere die Eigene-Fehler Gruppe. Die Ergebnisse zeigten, dass die Gruppe, die mit eigenen Fehlern lernte, die Variablenkontrollstrategie signifikant besser erlernte als die Gruppe, die mit fremden Fehlern arbeitete.

Hier kann die erste Hypothese, welche den Lernerfolg der beiden Gruppen untersuchte, angenommen werden. Schon Kapur (2014) bestätigte, dass Schüler:innen aus eigenen Fehlern besser lernen als aus fremden Fehlern. Die Jugendlichen machten zunächst häufiger Fehler und erlebten mehr Frustration. Doch das anfängliche Scheitern führte zu einem tieferen Verständnis und besseren Transferleistungen. Auch Bjork und Bjork (2011) betonten die Bedeutung von "Desirable Difficulties", also Herausforderungen, die das Lernen kurzfristig erschweren, aber langfristig die Gedächtnisleistung und das Verständnis verbessern. Ein weiterer Punkt ist die Metakognition, also das Nachdenken über das eigene Denken. Dies ist ein wesentlicher Bestandteil des erfolgreichen Lernens. Flavell (1979) prägte den Begriff der Metakognition und betonte, dass das Bewusstsein für die eigenen kognitiven Prozesse es den Lernenden ermöglicht, ihre Lernstrategien anzupassen und zu verbessern. Beim Lernen aus eigenen Fehlern wird diese metakognitive Ebene besonders aktiviert, da die Lernenden gezwungen sind, über ihre Denkprozesse und deren Fehlerhaftigkeit nachzudenken. Dass Lernen aus eigenen Fehlern nicht in allen Situationen gleichermaßen vorteilhaft sein könnte, zeigten schon Kirschner et al. (2006). Während es in Kontexten mit klaren, verständlichen Fehlern, die leicht analysiert und korrigiert werden können, besonders effektiv ist, könnte es in komplexeren Szenarien, in denen die Fehlerursachen weniger offensichtlich sind, zu Frustration und Verwirrung führen. Daher ist es wichtig, die Unterstützung und Anleitung durch Lehrkräfte zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass Schüler:innen aus ihren Fehlern tatsächlich produktiv lernen können. So zeigte Metcalfe (2017), dass Schülerinnen aus Fehlern lernen und dass es wichtig ist, dass den Jugendlichen anschließendes Feedback gegeben wird. Insbesondere dann, wenn Lernende mit hoher Zuversicht Fehler machen, können diese Fehler effektiver korrigiert werden. Diese sogenannte "Hyperkorrektur" zeigt, dass hochsichere Fehler leichter zu korrigieren sind als solche, bei denen die Lernenden unsicher sind. Metcalfe (2017) stellte zudem fest, dass die Analyse der zugrunde liegenden Denkvorgänge, die zu den Fehlern führten, von entscheidender Bedeutung ist. Das Einbeziehen und Besprechen von Fehlern fördert nicht nur das tiefere Verständnis und die Erinnerung an die richtigen Antworten, sondern ermutigt auch zu einer aktiven, explorativen und generativen Lernweise. Diese Form des Feedbacks fand bei dieser Untersuchung zwar nicht statt, aber durch die fiktiven Charaktere gab es eine gewisse Art von wie Feedback, da die Schüler:innen ihren Experimentieransatz vergleichen konnten.

Interessanterweise hatte der Cognitive Load dabei keinen hohen Einfluss, welcher in der zweiten und dritten Hypothese untersucht wurde. In der zweiten Hypothese wurde angenommen, dass jene Schüler:innen die mit eigenen Fehlern arbeiten, einen signifikant niedrigeren Cognitive Load hatten als Schüler:innen, die mit fremden Fehlern lernen. Der Intrinsic Cognitive Load (ICL) unterschied sich in den Gruppen nicht signifikant. Der Germane

Cognitive Load (GCL) und der Extraneous Cognitive Load (ECL) zeigte jedoch eine Tendenz, da diese in der Eigenen-Fehler-Gruppe höher war. Es konnten zwar schon Kirschner et al. (2006) zeigen, dass Unterrichtsmethoden, welche stark angeleitet sind, effektiver als minimal geführte Unterrichtsansätze aufgrund des dort benötigten höheren Cognitive Loads sind. Dies ist aber bei unserer Studie auch nicht nachweisbar. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Durchführung für beide Gruppen gleich war und es deswegen zu keinen signifikanten Ergebnissen in beide Richtungen gekommen war. Ein anderer Aspekt, warum der Cognitive Load in der Eigenen-Fehler-Gruppe beim ECL höher war, war, dass die Schüler:innen in einer neuen Umgebung, dem Lern-Lehr-Labor des AECC Biologie, waren und sich erst an die Umgebung gewöhnen mussten. Auch Stambaugh (2016) beschreibt eine ähnliche Situation. Dass der GCL in der Eigenen-Fehler-Gruppe höher war, lässt sich durch Sweller et al. (2019) gut erklären, da diese Form des Cognitive Loads auf die lernbezogenen Effekte abzielt. Bei der Eigenen-Fehler-Gruppe lernten die Schüler:innen, welche Fehler sie beim Experimentieren gemacht hatten. Da sie die Variablenkontrollstrategie besser lernten (siehe Hypothese 1) zeigt, dass der GCL durchaus hoch sein durfte, weil sie sich auf das Lernen konzentriert hatten. Ist der GCL hoch, so sollte der ICL steigen und der ECL sinken (Sweller 2010). Interessant bei dieser Arbeit ist, dass dies bei der Fremden-Fehler-Gruppe der Fall war, aber bei der Eigenen-Fehler-Gruppe nicht.

Bei der dritten Hypothese wurde ein negativer Zusammenhang zwischen Cognitive Load und dem Lernen der Variablenkontrollstrategie angenommen, welcher nicht bestätigt werden konnte. So zeigt sich zwar, dass der ICL einen kleinen, nicht signifikanten, negativen Effekt hat, den Hattie (2010) als Lehrer-Effekt betitelt. Der GCL hingegen zeigt sogar einen kleinen, nicht signifikanten positiven Effekt. Da der ICL einen kleinen negativen Effekt zeigt, kann davon ausgegangen werden, dass die Laborbücher für die Schüler:innen womöglich etwas zu schwer waren. Die Forschungsergebnisse zeigen auch, dass das Experimentieren an sich länger vorbereitet werden musste und in der aktuellen Schulsituation vielleicht noch nicht ausreichend verankert ist (Gentürk 2009). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Lernen aus eigenen Fehlern eine effektive Methode zur Förderung der Variablenkontrollstrategie ist. Der Cognitive Load spielt dabei eine weniger signifikante Rolle als ursprünglich angenommen. Ein weiterer Punkt, warum es zu solchen Ergebnissen kommen konnte, ist die kleine Stichprobe ($n=124$) und der dementsprechend kleinen Gruppengrößen (Fremde-Fehler-Gruppe $n=63$, Eigene-Fehler-Gruppe $n=61$). So konnten in den Daten vorliegenden kleinen Effektstärken zwar erfasst werden, jedoch nicht das Signifikanz-Level überschreiten.

8 Limitationen

Die Studie fand zwischen September und Anfang November 2021 statt und fiel damit in eine rasch steigende Covid-19 Infektionswelle (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) 2021). Dies führte zu Ausfällen von einzelnen Proband:innen und bis hin zu ganzen Schulklassen, welche daher nicht an allen Teilen der Studie teilnehmen konnten. Dadurch verringerte sich der geplante Proband:innen-Pool und es kam zu einer kleineren Stichprobe. Die Ergebnisse könnten aufgrund einer zu kleinen Stichprobengröße nicht signifikant sein. Es zeigte sich jedoch, dass die Anzahl der Proband:innen ausreichend für valide Ergebnisse war. Die erfassten Effektgrößen waren größtenteils klein, was darauf hindeutet, dass eine größere Stichprobe notwendig wäre, um ein signifikantes Ergebnis zu erzielen. Ein weiterer Punkt, welcher berücksichtigt werden muss, ist, dass Bachelor Lehramtstudierende der Universität Wien die Kinder und Jugendlichen unterrichteten. Um die Validität zu gewährleisten, wurden diese zwar in Seminaren auf diese Aufgabe vorbereitet und instruiert. Sie mussten sich an ein Skript halten und wurden von einer Person des AECC hospitiert und überwacht. Dennoch kam es zu leichten Unterschieden durch die unterschiedlichen Persönlichkeiten. Dadurch, dass Auffälligkeiten und Abweichungen protokolliert, mit der Studienleitung besprochen und in der Datenanalyse berücksichtigt wurden, konnte jedoch eine Validität gewährleistet werden.

9 Implikationen für Forschung und Schulpraxis

Aus dieser Masterarbeit lassen sich mehrere Handlungsempfehlungen für die Biologiedidaktische Forschung und den Biologieunterricht ableiten. Die Studie zeigt auf, dass Schüler:innen immer noch viele Fehler bei der Umsetzung der Variablenkontroll-Strategie machen. zukünftige Studien sollten sich daher darauf konzentrieren, wie ein positives Fehlerklima und eine gezielte Vorbereitung von Experimenten den Lernerfolg bei der VKS weiter verbessern können (Oser und Spychiger 2005). Auch Feedback wie es Metcalfe (2017) beschreibt soll in den Schulunterricht mit eingebaut werden. Der Cognitive Load sollte genauer untersucht werden und auch mit anderen Lehrmethoden in Zusammenhang gebracht werden. Wichtig ist, dass die Schüler:innen in der Schule mehr experimentieren sollten, damit der ICL niedrig gehalten werden kann. Die Differenzierung des Unterrichts durch ein Peersystem, wo Schüler:innen, welche das Experimentieren gut beherrschen, andere Lernende unterstützen, könnte einen positiven Einfluss haben und die Soziabilität fördern, wie auch Eder und Paseka (2021) in ihrer Studie zur Leseförderung zeigten. Dies würde nicht nur den kognitiven Load besser verteilen, sondern auch die soziale Interaktion und das kollaborative Lernen fördern. Daher ist es wichtig eine innere Differenzierung mit Rücksicht auf die Verarbeitungsfähigkeit der kognitiven Belastung bei unterschiedlichen Schüler:innengruppen vorzunehmen.

10 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkungen des Lernens aus eigenen und fremden Fehlern auf das Erlernen der Variablenkontrollstrategie bei Schüler:innen der 7. und 8. Schulstufe AHS im Unterrichtsfach Biologie und Umweltkunde. Sie untersucht auch deren Cognitive Load in den zwei Bedingungen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Schüler:innen die aus eigenen Fehlern lernen, einen signifikant höheren Lernzuwachs in der Variablenkontrollstrategie aufweisen als jene, die aus fremden Fehlern lernen. Dies unterstreicht die Bedeutung der persönlichen Fehlererfahrung für tiefere kognitive Verarbeitungsprozesse und nachhaltiges Lernen. Im Hinblick auf den Cognitive Load wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. Dies legt nahe, dass sowohl das Lernen aus eigenen als auch aus fremden Fehlern ähnliche kognitive Belastungen mit sich bringt. Hier muss es jedoch Studien mit mehr Proband:innen geben, um klare Aussagen treffen zu können. Zukünftige Studien sollten zudem untersuchen, wie spezifische didaktische Methoden und ein positives Fehlerklima die Lernprozesse weiter optimieren können.

11 Zusammenfassung

Experimentieren gehört zu den wichtigsten Erkenntnismethoden in den Naturwissenschaften und nimmt daher weltweit in den Curricula der naturwissenschaftlichen Schulfächer eine zentrale Rolle ein. Ein Verständnis über die Kontrolle der einzelnen Variablen ist dabei unabdingbar. Die vorliegende Masterarbeit untersucht, inwieweit das Lernen aus eigenen und fremden Fehlern die Experimentierkompetenz und spezifisch die Kenntnis über die Variablenkontrollstrategie (VKS) von Schüler:innen der 7. und 8. Schulstufe AHS ($n = 124$) beeinflusst. Im Rahmen des Projekts LeFeEx [Lernen aus (eigenen und fremden) Fehlern beim Erwerb von Experimentierkompetenz] wurde analysiert, inwieweit das Lernen aus eigenen Fehlern effektiver ist als das Lernen aus fremden Fehlern in Bezug auf die VKS. Des Weiteren wurde untersucht, welche Auswirkungen die lernbezogene kognitive Belastung (engl. *bcognitive load*), auf das Lernen aus eigenen und fremden Fehlern hat. Für dieses Studie wurden 124 Schüler:innen (Jg. 7 u. 8), 12,76 Jahre, 37,9% weibl.) in zwei Gruppen aufgeteilt: Gruppe 1 lernte aus eigenen Fehlern ($n=63$), Gruppe 2 aus fremden Fehlern fiktiver Schulkolleg:innen ($n=61$). Es zeigte sich, dass die Schüler:innen, die aus eigenen Fehlern lernten, signifikant besser abschnitten, als Schüler:innen, die aus fremden Fehlern lernten. Die vermutete höhere kognitive Belastung (engl. *cognitive load*) bei Schüler:innen, die mit fremden Fehlern arbeiteten, konnte nicht nachgewiesen werden: Bei der intrinsischen kognitiven Belastung (*intrinsic cognitive load*, ICL), die von der Schwierigkeit und der Komplexität des Lernmaterials abhängt, gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Bei der extrinsischen kognitiven Belastung (*extraneous cognitive load*, ECL), die durch die Darstellung und Gestaltung des Lernmaterials beeinflusst wird, sowie bei der lernbezogenen kognitiven Belastung (*Germane Cognitive Load*, GCL), die die Beanspruchung der Lernenden beschreibt, um das Lernmaterial zu verstehen, zeigte sich eine leicht erhöhte Tendenz in der Gruppe 1 (eigene Fehler), die jedoch nicht signifikant war. Die Forschungsergebnisse bestätigen die Vermutung, dass das Experimentieren im aktuellen Schulunterricht der Sekundarstufe 1 am Gymnasium noch nicht ausreichend verankert ist, was sich mit den Ergebnissen anderer Länder deckt. Sie zeigen aber auch, dass das Lernen aus eigenen Fehlern bei der untersuchten Jahrgangsstufe eine effektive Methode zur Förderung der Kenntnis über die VKS ist. Dies unterstreicht die Bedeutung des häufigen Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie der persönlichen Fehlererfahrung für tiefere kognitive Verarbeitungsprozesse und nachhaltiges Lernen. Eine positive Fehlerkultur beim Experimentieren sollte daher gefördert werden. Künftige Studien sollten untersuchen, inwieweit spezifischen didaktischen Methoden sowie ein positives Fehlerklima die Lernprozesse beim Experimentieren weiter optimieren können.

12 Abstract

The experiment is one of the most important methods of gaining knowledge in the natural sciences and therefore plays a central role in science school curricula worldwide. An understanding of the control of individual variables is essential. This master's thesis examines the extent to which learning from one's own and others' mistakes influences the experimental competence and specifically the knowledge of the variable control strategy (VCS) of 7th and 8th grade AHS students ($n = 124$). As part of the LeFeEx project [Learning from (own and others') mistakes in the acquisition of experimental competence], the extent to which learning from own mistakes is more effective than learning from others' mistakes with regard to VKS was analysed. Furthermore, the effects of learning-related cognitive load on learning from one's own and other people's mistakes were analysed. For this study, 124 pupils (years 7 and 8, 12.76 years, 37.9% female) were divided into two groups: Group 1 learnt from their own mistakes ($n=63$), group 2 from mistakes made by fictitious schoolmates ($n=61$). It was found that the students who learnt from their own mistakes performed significantly better than students who learnt from other people's mistakes. The presumed higher cognitive load for students who worked with other people's mistakes could not be proven: There were no significant differences between the groups in terms of intrinsic cognitive load (ICL), which depends on the difficulty and complexity of the learning material. Extrinsic cognitive load (extraneous cognitive load, ECL), which is influenced by the presentation and design of the learning material, and germane cognitive load (GCL), which describes the strain on learners to understand the learning material, showed a slightly increased tendency in Group 1 (own errors), although this was not significant. The research results confirm the assumption that experimentation is not yet sufficiently anchored in current secondary school lessons at grammar school level 1, which is in line with the results from other countries. However, they also show that learning from one's own mistakes is an effective method for promoting knowledge of the VKS in the year group analysed. This emphasises the importance of frequent experimentation in science lessons and the personal experience of mistakes for deeper cognitive processing and sustainable learning. A positive error culture in experimentation should therefore be encouraged. Future studies should investigate the extent to which specific didactic methods and a positive error culture can further optimise learning processes during experimentation.

13 Literaturverzeichnis

Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) (2021): COVID-19 Dashboard oder Informationen zum Coronavirus. Online verfügbar unter <https://www.ages.at/themen/krankheitserreger/coronavirus/>, zuletzt geprüft am 12.08.2024.

Arnold, Julia; Kremer, Kerstin; Mayer, Jurgin (2013): Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren – Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. In: , S. 7–20.

Bauer, Johannes; Mulder, Regina H. (2007): Modelling learning from errors in daily work. In: *Learn Health Soc Care* 6 (3), S. 121–133. DOI: 10.1111/j.1473-6861.2007.00150.x.

Baur, Armin (2018): Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. In: *ZfDN* 24 (1), S. 115–129. DOI: 10.1007/s40573-018-0078-7.

Beege, Maik; Nebel, Steve; Schneider, Sascha; Rey, Günter Daniel (2024): The effect of micro-level and macro-level signalling on learning with 360 videos. In: *Applied Cognitive Psychology* 38. DOI: 10.1002/acp.4192.

Bell, Randy L.; Blair, Lesley M.; Crawford, Barbara A.; Lederman, Norman G. (2003): Just do it? impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. In: *J Res Sci Teach* 40 (5), S. 487–509. DOI: 10.1002/tea.10086.

Bjork, Robert A.; Bjork, Elizabeth L. (2011): „Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning.“. In: Gernsbacher, M. A., Pew, R. W., Hough, L. M., & Pomerantz, J. R. (Eds.) (Hg.): *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society*. 2nd Edition.

Boone, William; Staver, John; Yale, Melissa (2014): *Rasch Analysis in the Human Sciences*.

Brandenburger, Martina; Salim, Cem Aydin; Schwichow, Martin; Wilbers, Jens; Mikelskis-Seifert, Silke (2022): Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. In: *ZfDN* 28 (1). DOI: 10.1007/s40573-022-00140-x.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) (2023): Lehrplan für die allgemein bildende höhere Schule. Anlage A zu Art. 4. BGBl. II Nr. 1/2023. BMBWF.

Bybee, Rodger W. (2002): Scientific Literacy – Mythos oder Realität? In: Wolfgang Gräber (Hg.): *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen: Leske + Budrich, S. 21–43.

- Cary, Melanie; Carlson, Richard A. (1999): External support and the development of problem-solving routines. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 25 (4), S. 1053–1070. DOI: 10.1037/0278-7393.25.4.1053.
- Chen, Ouhao; Kalyuga, Slava; Sweller, John (2017): The Expertise Reversal Effect is a Variant of the More General Element Interactivity Effect. In: *Educ Psychol Rev* 29 (2), S. 393–405. DOI: 10.1007/s10648-016-9359-1.
- Chen, Ouhao; Paas, Fred; Sweller, John (2023): A Cognitive Load Theory Approach to Defining and Measuring Task Complexity Through Element Interactivity. In: *Educ Psychol Rev* 35 (2). DOI: 10.1007/s10648-023-09782-w.
- Chen, Z.; Klahr, D. (1999): All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. In: *Child development* 70 (5), S. 1098–1120. DOI: 10.1111/1467-8624.00081.
- Chinn, Clark A.; Brewer, William F. (1993): The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. In: *Review of Educational Research* 63 (1), S. 1–49. DOI: 10.3102/00346543063001001.
- Cohen, Jacob (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2. ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0731/88012110-d.html>.
- Department for Education (2014): The national curriculum in England. Key stages 3 and 4 framework document.
- Eder, Ferdinand; Paseka, Angelika (2021): Schülerinnen und Schüler als Subjekte und Akteure von Schule. In: *Z f Bildungsforsch* 11 (1), S. 7–17. DOI: 10.1007/s35834-021-00308-4.
- Endres, Tino; Lovell, Oliver; Morkunas, David; Rieß, Werner; Renkl, Alexander (2023): Can prior knowledge increase task complexity? - Cases in which higher prior knowledge leads to higher intrinsic cognitive load. In: *The British journal of educational psychology* 93 Suppl 2, S. 305–317. DOI: 10.1111/bjep.12563.
- Ericsson, K. A.; Kintsch, W. (1995): Long-term working memory. In: *Psychological Review* 102 (2), S. 211–245. DOI: 10.1037/0033-295X.102.2.211.
- Field, Andy (2013): Discovering statistics using IBM SPSS statistics. And sex and drugs and rock 'n' roll. 4th edition. Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC: Sage (MobileStudy).

Flavell, John H. (1979): Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. In: *American Psychologist* 34 (10), S. 906–911. DOI: 10.1037/0003-066X.34.10.906.

Gartmeier, Martin; Bauer, Johannes; Gruber, Hans; Heid, Helmut (2008): Negative Knowledge: Understanding Professional Learning and Expertise. In: *Vocations and Learning* 1 (2), S. 87–103. DOI: 10.1007/s12186-008-9006-1.

Gentürk, Esra (2009): Experimente im Biologieunterricht. Definition, Bedeutung, Kompetenzerwerb. München: GRIN Verlag GmbH.

Germann, Paul J.; Aram, Roberta; Burke, Gerald (1996): Identifying patterns and relationships among the responses of seventh-grade students to the science process skill of designing experiments. In: *J Res Sci Teach* 33 (1), S. 79–99. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2736(199601)33:1<79::AID-TEA5>3.0.CO;2-M.

Glaser, Robert; Schauble, Leona; Raghavan, Kalyani; Zeitz, Colleen (1992): Scientific Reasoning Across Different Domains. In: Erik de Corte, Marcia C. Linn, Heinz Mandl und Lieven Verschaffel (Hg.): *Computer-Based Learning Environments and Problem Solving*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 345–371.

Große, Cornelia; Renkl, Alexander (2004): Learning from worked examples: What happens if errors are included? In: *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning*.

Hammann, Marcus; Phan, Thi Thanh Hol; Ehmer, Malke; Grimm, Tobias (2008): Assessing pupils' skills in experimentation. In: *Journal of Biological Education* 42 (2), S. 66–72. DOI: 10.1080/00219266.2008.9656113.

Hammann, Marcus; Phan, Titan; Ehmer, M.; Bayrhuber, Horst (2006): Fehlerfrei Experimentieren. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht - MNU* 59, S. 292–299.

Hartmann, Christian; van Gog, Tamara; Rummel, Nikol (2020): Do examples of failure effectively prepare students for learning from subsequent instruction? In: *Applied Cognitive Psychology* 34 (4), S. 879–889. DOI: 10.1002/acp.3651.

Hattie, John (2010): Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. Reprinted. London: Routledge.

Hauke, Jan; Kossowski, Tomasz (2011): Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data. In: *Quaestiones Geographicae* 30 (2), S. 87–93. DOI: 10.2478/v10117-011-0021-1.

- Hindriana, Anna; Handayani, Handayani; Setiawati, Ina (2020): ANALYSIS ON THINKING SKILL: COGNITIVE LOAD MANAGEMENT IN CONNECTED INTEGRATED LEARNING. In: *Jurnal Pengajaran Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam* 25, S. 34–40. DOI: 10.18269/jpmipa.v25i2.33217.
- Hofstein, Avi; Navon, Oshrit; Kipnis, Mira; Mamlok-Naaman, Rachel (2005): Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. In: *J Res Sci Teach* 42 (7), S. 791–806. DOI: 10.1002/tea.20072.
- Ivancic, K.; Hesketh, B. (2000): Learning from errors in a driving simulation: effects on driving skill and self-confidence. In: *Ergonomics* 43 (12), S. 1966–1984. DOI: 10.1080/00140130050201427.
- Kalyuga, Slava (2011): Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does It Really Need? In: *Educ Psychol Rev* 23 (1), S. 1–19. DOI: 10.1007/s10648-010-9150-7.
- Kanari, Zoe; Millar, Robin (2004): Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. In: *J Res Sci Teach* 41 (7), S. 748–769. DOI: 10.1002/tea.20020.
- Kapur, Manu (2008): Productive Failure. In: *Cognition and Instruction* 26 (3), S. 379–424. DOI: 10.1080/07370000802212669.
- Kapur, Manu (2012): Productive failure in learning the concept of variance. In: *Instr Sci* 40 (4), S. 651–672. DOI: 10.1007/s11251-012-9209-6.
- Kapur, Manu (2014): Comparing Learning From Productive Failure and Vicarious Failure. In: *Journal of the Learning Sciences* 23 (4), S. 651–677. DOI: 10.1080/10508406.2013.819000.
- Kapur, Manu; Bielaczyc, Katherine (2012): Designing for Productive Failure. In: *Journal of the Learning Sciences* 21 (1), S. 45–83. DOI: 10.1080/10508406.2011.591717.
- Kechel, Jan-Henrik (2016): Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. Dissertation. Universität Kassel; Logos Verlag Berlin.
- Kirschner, Paul A.; Sweller, John; Clark, Richard 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. In: *Educational Psychologist* 41 (2), S. 75–86. DOI: 10.1207/s15326985ep4102_1.
- Klepsch, Melina; Schmitz, Florian; Seufert, Tina (2017): Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In: *Frontiers in psychology* 8, S. 1997. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01997.

Klepsch, Melina; Seufert, Tina (2020): Understanding instructional design effects by differentiated measurement of intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. In: *Instr Sci* 48 (1), S. 45–77. DOI: 10.1007/s11251-020-09502-9.

Kranz, Johanna; Baur, Armin; Möller, Andrea (2022): Learners' challenges in understanding and performing experiments: a systematic review of the literature. In: *Studies in Science Education*, S. 1–47. DOI: 10.1080/03057267.2022.2138151.

Kremer, Kerstin; Möller, Andrea; Arnold, Julia; Mayer, Jürgen (2019): Kompetenzförderung beim Experimentieren. In: Jorge Groß, Marcus Hammann, Philipp Schmiemann und Jörg Zabel (Hg.): *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 113–128.

Kubbe, Ina (2016): Gütekriterien experimenteller Forschung. In: Ina Kubbe (Hg.): *Experimente in der Politikwissenschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 61–76.

Kuhn, Deanna; Dean, David (2005): Is developing scientific thinking all about learning to control variables? In: *Psychological science* 16 (11), S. 866–870. DOI: 10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x.

Laumann, Daniel; Schlummer, Paul; Abazi, Adrian; Borkamp, Rasmus; Lauströer, Jonas; Pernice, Wolfram et al. (2024): Analyzing the Effective Use of Augmented Reality Glasses in University Physics Laboratory Courses for the Example Topic of Optical Polarization. In: *J Sci Educ Technol*, S. 1–18. DOI: 10.1007/s10956-024-10112-0.

Loibl, Katharina; Roll, Ido; Rummel, Nikol (2017): Towards a Theory of When and How Problem Solving Followed by Instruction Supports Learning. In: *Educ Psychol Rev* 29 (4), S. 693–715. DOI: 10.1007/s10648-016-9379-x.

Ludwig, Tobias; Priemer, Burkhard (2011): Begründungen und Überzeugungen beim Beibehalten und Verwerfen von eigenen Hypothesen in Real- und Simulationsexperimenten.

Mayer, Richard E. (2012): Cognitive Theory of Multimedia Learning. In: Richard E. Mayer (Hg.): *The Cambridge handbook of multimedia learning*. 1. publ. Cambridge: Cambridge Univ. Press (Cambridge handbooks in psychology), S. 31–48.

McLaren, Bruce M.; Adams, Deanne; Durkin, Kelley; Gogvadze, George; Mayer, Richard E.; Rittle-Johnson, Bethany et al. (2012): To Err Is Human, to Explain and Correct Is Divine: A Study of Interactive Erroneous Examples with Middle School Math Students. In: David Hutchison, Takeo Kanade, Josef Kittler, Jon M. Kleinberg, Friedemann Mattern, John C. Mitchell et al. (Hg.): *21st Century Learning for 21st Century Skills*, Bd. 7563. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), S. 222–235.

Metcalf, Janet (2017): Learning from Errors. In: *Annual review of psychology* 68, S. 465–489. DOI: 10.1146/annurev-psych-010416-044022.

Millar, Robin; Lubben, Fred (1996): Investigative work in science the role of prior expectations and evidence in shaping conclusions. In: *Education 3-13* 24 (1), S. 28–34. DOI: 10.1080/03004279685200061.

Miller, George A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. In: *Psychological Review* 63 (2), S. 81–97. DOI: 10.1037/h0043158.

Neber, Heinz; Anton, Michael A. (2008): Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 22 (2), S. 143–150. DOI: 10.1024/1010-0652.22.2.143.

Oser, Fritz; Spychiger, Maria (2005): Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur. Weinheim, Basel: Beltz (Beltz-Pädagogik).

Oser, F., Hascher, T., & Spychinger, M (1999): Lernen aus Fehlern: Zur Psychologie des „negativen“ Wissens. In: Wolfgang Althof (Hg.): Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern ; Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstages von Fritz Oser. Unter Mitarbeit von Fritz Oser. Opladen: Leske + Budrich, S. 11–41.

Park, Babette; Korbach, Andreas; Ginns, Paul; Brünken, Roland (2020): Embodied Cognition. Effects of pointing and tracing gestures on learning performance, eye movement and cognitive load. In: Sharon Tindall-Ford, Shirley Agostinho und John Sweller (Hg.): *Advances in cognitive load theory. Rethinking teaching*. London, New York: Routledge (Local/Global Issues in Education Ser), S. 161–173.

Phan, Huy P.; Ngu, Bing H.; Yeung, Alexander S. (2017): Achieving Optimal Best: Instructional Efficiency and the Use of Cognitive Load Theory in Mathematical Problem Solving. In: *Educ Psychol Rev* 29 (4), S. 667–692. DOI: 10.1007/s10648-016-9373-3.

Rohrmann, S.; Virtbauer, L.; & Baur, A. (2022): Experimente und ihr Einsatz beim Inquiry-based Learning. In: Armin Baur, Natalie Baumgartner-Hirscher und Antti Lehtinen (Hg.): *Differenzierung beim Inquiry-based Learning im naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Differenzierungstool für das Experimentieren im Sinne des Forschenden Lernens*. 1. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Rosenshine, Barak (2012): Principles of Instruction: Research-Based Strategies that All Teachers Should Know. In: *The Education digest* 78.

Schmidt, Doris (2016): Modellierung experimenteller Kompetenzen sowie ihre Diagnostik und Förderung im Biologieunterricht. Dissertation. Logos Verlag Berlin.

Scholtes, Katharina (2021): Lernen aus Fehlern beim Forschenden Experimentieren im Chemieunterricht. Masterarbeit. Universität des Saarlandes, Saarland. Fachrichtung Chemie der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät.

Schwichow, M.; Brandenburger, M.; Edelsbrunner, P. A.; Kranz, J.; Nehring, A.; Deiglmayr, A., Schalk, L.; & Möller, A. (in revision): Scientific Reasoning and Expertise: Investigating the Domain Specificity of the Control of Variables Strategy. In: *Journal of Educational Psychology*.

Schwichow, Martin; Brandenburger, Martina; Wilbers, Jens (2022): Analysis of experimental design errors in elementary school: how do students identify, interpret, and justify controlled and confounded experiments? In: *International Journal of Science Education* 44 (1), S. 91–114. DOI: 10.1080/09500693.2021.2015544.

Seifried, Jürgen; Baumgartner, Alexander; Dussler, Johannes; Schumann, Stephan; Dresel, Markus (2015): Fehlerklima und individueller Umgang mit Fehlern im Ausbildungsbetrieb: Ergebnisse einer Studie in Deutschland und der Schweiz. DOI: 10.25162/zbw-2015-0023.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005a): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.4.2004.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005b): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004.

Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005c): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004.

Shamos, M. H. (2002): Durch Prozesse ein Bewußtsein für die Naturwissenschaften entwickeln. In: Wolfgang Gräber (Hg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich.

Siegler, Robert S. (2009): Microgenetic studies of self-explanation. In: Nira Granott und Jim Parziale (Hg.): Microdevelopment: Cambridge University Press, S. 31–58.

Skinner, B. F. (1980): 3. Selections from Science and Human Behavior. In: Ned Block (Hg.): The Language and Thought Series. Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press.

- Spychiger, Maria (2006): Fehlerkultur – Indiz für eine konstruktivistische Auffassung des Lernens. In: *Schweizerischen Zeitschrift für Bildungswissenschaften* 28, S. 20. DOI: 10.24452/sjer.28.1.4716.
- Stambaugh, Laura A. (2016): Implications of extrinsic cognitive load on three levels of adult woodwind players. In: *Psychology of Music* 44 (6), S. 1318–1330. DOI: 10.1177/0305735615627206.
- Sweller, John (1988): Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. In: *Cognitive Science* 12 (2), S. 257–285. DOI: 10.1207/s15516709cog1202_4.
- Sweller, John (1994): Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. In: *Learning and Instruction* 4 (4), S. 295–312. DOI: 10.1016/0959-4752(94)90003-5.
- Sweller, John (2010): Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In: *Educ Psychol Rev* 22 (2), S. 123–138. DOI: 10.1007/s10648-010-9128-5.
- Sweller, John; van Merriënboer, Jeroen J. G.; Paas, Fred G. W. C. (1998): Cognitive architecture and instructional design. In: *Educ Psychol Rev* 10 (3), S. 251–296. DOI: 10.1023/A:1022193728205.
- Sweller, John; van Merriënboer, Jeroen J. G.; Paas, Fred (2019): Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. In: *Educ Psychol Rev* 31 (2), S. 261–292. DOI: 10.1007/s10648-019-09465-5.
- van Merriënboer, Jeroen J. G.; Sweller, John (2005): Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. In: *Educ Psychol Rev* 17 (2), S. 147–177. DOI: 10.1007/s10648-005-3951-0.
- Wagner, Kai; Klein, Martin; Klopp, Eric; Stark, Robin (2014): Instruktionale Unterstützung beim Lernen aus advokatorischen Fehlern in der Lehramtsausbildung. Effekte auf die Anwendung wissenschaftlichen Wissens. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 61 (4), S. 287. DOI: 10.2378/peu2014.art23d.
- Wason, P. C. (1960): On the Failure to Eliminate Hypotheses in a Conceptual Task. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 12 (3), S. 129–140. DOI: 10.1080/17470216008416717.
- Weimer, Hermann (1925): *Psychologie der Fehler*. Leipzig: Klinkhardt. Online verfügbar unter <https://ubdata.univie.ac.at/AC06375123>.
- Zhang, Qian; Fiorella, Logan (2023): An integrated model of learning from errors. In: *Educational Psychologist* 58 (1), S. 18–34. DOI: 10.1080/00461520.2022.2149525.

14 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen tiefsten Dank an alle aussprechen, die mich während der Entstehung dieser Masterarbeit unterstützt haben. Mein größter Dank gilt meiner Familie, die mich immer unterstützt hat und mir stets den Rücken gestärkt hat. Danke Mama, für deine aufbauenden Worte, danke Papa für deinen fachlichen Input. Danke Lisa, für dein Verständnis, da wir beide einen ähnlichen Weg hatten. Eure Unterstützung haben mir die Kraft gegeben, diese Arbeit zu vollenden. Ein besonderer Dank gilt meiner Freundin Kathi. Du warst immer für mich da, besonders in den Momenten, in denen ich am Verzweifeln war. Deine Geduld, dein Verständnis und deine unerschütterliche Unterstützung haben mir enorm geholfen. Auch meinen Freund:innen und Kolleg:innen möchte ich mich herzlich bedanken. Ihr habt mich immer wieder motiviert und mir bei der Arbeit geholfen. Eure Unterstützung und euer Zuspruch waren für mich sehr wichtig. Auch über das nicht Nachfragen bin ich euch dankbar.

Ein besonderer Dank geht an Lena, meine Studienkollegin. Der Austausch und die gegenseitige Unterstützung mit dir waren für mich sehr wertvoll und haben mir sehr geholfen, den Weg zu dieser Arbeit zu meistern. Bedanken möchte ich auch bei meiner Betreuerin Dr. Andrea Möller. Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben, meine Fragen zu beantworten und mir am Ende sehr viel Motivation schenkten. Abschließend möchte ich mich bei Linda Hämmerle bedanken. Ohne ihr Projekt „LeFeEx“ wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Auch die beratende Rolle, welche sie während des Prozesses des Schreibens eingenommen hat, war unverzichtbar.

Der letzte dank meiner Arbeit gilt meinem Therapeuten Maximilian Ehn. Da er mit mir immer wieder Konzepte ausgearbeitet hat, wie diese Arbeit vollendet werden kann.

Anhang

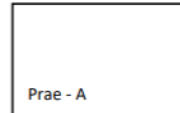
Testheft:



universität
wien



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES



Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielen Dank, dass Du bei unserer Untersuchung mitmachst! :)

Vorab solltest du wissen:

- Deine Antworten werden **anonym, d.h. ohne Angaben deines Namens** ausgewertet. Du wirst nur einen persönlichen Code anlegen.
- Deine Antworten haben **keinen Einfluss auf deine Schulnoten**.

Wichtiger Hinweis:

Bei den folgenden Fragen ist **immer nur eine Antwort richtig**. Kreuze jeweils die richtige Antwort an.

Versuche, alle Aufgaben zu lösen. Halte dich nicht zu lange bei einer einzelnen Aufgabe auf.

Bevor es losgeht: Erstellung deines Codes

Zur Anonymisierung deiner Angaben wird ein Code verwendet. Dadurch können wir alle Arbeitsblätter zusammenführen, aber niemand kann diese mit deiner Person verbinden.

Dein persönlicher Code:

	Beispiel:	Dein Code:
1. und 2. Buchstabe vom Vornamen deiner Mutter Beispiel: ANNA	A N	
1. und 2. Buchstabe des Geburtsmonats deiner Mutter Beispiel: JUNI	J U	
1. und 2. Buchstabe deines Geburtsmonats Beispiel: MAI	M A	

Viel Spaß!



Zu Beginn möchten wir dich gerne näher kennenlernen...

Geschlecht

☐
☐
☐

männlich
weiblich
divers

Alter

Jahre

Letzte Zeugnisnote in...

☐
☐
☐
☐
☐

Physik
Bio
Chemie
Deutsch
Mathe

Bitte kreuze an:

	trifft gar nicht zu		trifft voll zu	
Ich komme mit Biologie als Schulfach gut zurecht.	☐	☐	☐	☐
Ich bin für Biologie begabt.	☐	☐	☐	☐
Biologie liegt mir nicht besonders.	☐	☐	☐	☐
Ich bringe gute Leistungen in Biologie .	☐	☐	☐	☐
Ich komme mit Chemie als Schulfach gut zurecht.	☐	☐	☐	☐
Ich bin für Chemie begabt.	☐	☐	☐	☐
Chemie liegt mir nicht besonders.	☐	☐	☐	☐
Ich bringe gute Leistungen in Chemie .	☐	☐	☐	☐
Ich komme mit Physik als Schulfach gut zurecht.	☐	☐	☐	☐
Ich bin für Physik begabt.	☐	☐	☐	☐
Physik liegt mir nicht besonders.	☐	☐	☐	☐
Ich bringe gute Leistungen in Physik .	☐	☐	☐	☐

Wie oft arbeitest du im Unterricht praktisch? Kreuze an:

	Nie	1-2 Mal pro Semester	1-2 Mal pro Monat	häufiger
a) Beobachten (z.B. „Wie kriechen Regenwürmer?“)	☐	☐	☐	☐
b) Experimentieren	☐	☐	☐	☐
c) Nachweisversuche (z.B. Vitamin-C-Nachweise, Zuckernachweise, Fettfleckprobe,...)	☐	☐	☐	☐
d) Arbeiten mit dem Mikroskop oder mit Lupen	☐	☐	☐	☐
d) Zeichnen von Mikroskopier-Präparaten (z.B. Zwiebelzellen)	☐	☐	☐	☐
f) Vergleichen, Ordnen oder Bestimmen von Lebewesen	☐	☐	☐	☐
g) Schreiben von Protokollen (Versuchs- oder Experimentierprotokolle)	☐	☐	☐	☐
h) Zeichnen von Lebewesen	☐	☐	☐	☐
i) Präparieren von Lebewesen (z.B. Regenwurm) oder Organen (z.B. Auge)	☐	☐	☐	☐
j) Arbeit mit Original-Material (z.B. Blätter)	☐	☐	☐	☐
k) Arbeit mit Modellen (z.B. vom Herzen oder Sexualorganen,...)	☐	☐	☐	☐
l) Arbeit mit selbstgesammelten Lebewesen (z.B. Tiere oder Pflanzen)	☐	☐	☐	☐

Wie gut kannst du experimentieren? Kreuze an:

☐ gar nicht
 ☐ eher wenig
 ☐ ganz ok
 ☐ gut
 ☐ sehr gut

Richtiges Ausfüllen des Testhefts

Mit diesem Test soll dein Wissen über gute und aufschlussreiche Experimente abgefragt werden. Bitte gib dir Mühe und versuche, alle Fragen richtig zu beantworten.

Bei allen Fragen musst du die richtige Antwort ankreuzen.

Es ist immer **nur eine Antwort** richtig!

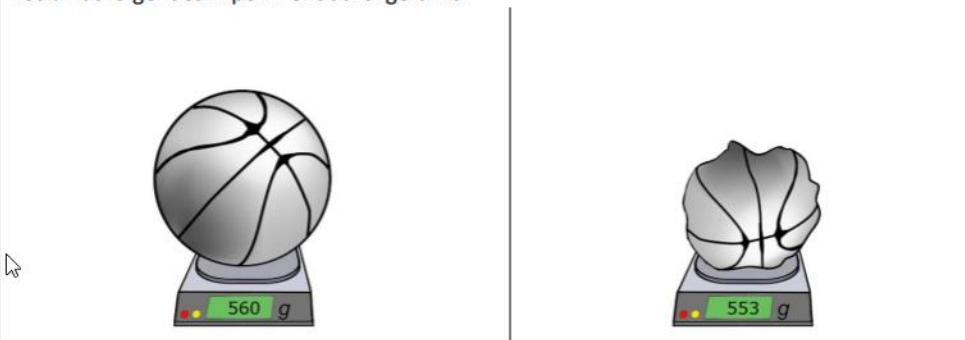
Bearbeitest du gerade ein Testheft? ☒ Ja ☐ Nein

Solltest du versehentlich eine falsche Antwort gewählt haben, so male das Kästchen mit der falschen Antwort aus und kreuze die richtige Antwort an.

Bearbeitest du gerade ein Testheft? ☒ Ja ☒ Nein

In einigen Testfragen wirst du wie in folgendem Beispiel dazu befragt, was ein dargestelltes Experiment **tatsächlich zeigt**. Kreuze immer nur eine Antwort an!

Petra hat folgendes Experiment durchgeführt:



Was zeigt dieses Experiment?

☐	Die Art des Balls (Basketball oder Fußball) hat einen Einfluss auf die Masse des Balls.
☒	Die Menge der Luft hat einen Einfluss auf die Masse des Balls.
☐	Sowohl die Art des Balls (Basketball oder Fußball) als auch die Menge der Luft hat einen Einfluss auf die Masse des Balls.
☐	Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.

Bei einigen Aufgaben wirst du aufgefordert ein Experiment zu planen.

Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob Art des Balls (Basketball oder Fußball) die Masse des Balls beeinflusst.

Kreuze hierfür bei „Ball 1“ und „Ball 2“ an, wie du Art des Balls (Basketball oder Fußball), Gas im Ball (Helium oder Luft), Menge des Gases im Ball wählen würdest.

Ball 1		Ball 2	
☒  Basketball	☐  Fußball	☐  Basketball	☒  Fußball
☒  viel Gas im Ball	☐  wenig Gas im Ball	☒  viel Gas im Ball	☐  wenig Gas im Ball
☒ Luft im Ball	☐ Helium im Ball	☒ Luft im Ball	☐ Helium im Ball

Bei diesen Aufgaben musst du dich bei „Ball 1“ und „Ball 2“ in jeder Zeile für eine Ausprägung der Variablen entscheiden. Insgesamt machst du sechs Kreuze, drei für jeden Ball.

Wie oben angekreuzt ist, vergleichst du einen *voll mit Luft gefüllten Basketball* (Ball 1) mit einem *voll mit Luft gefüllten Fußball* (Ball 2).

Photosynthese

Bei der Photosynthese der Tulpe entstehen bei der Reaktion von Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) mithilfe von Lichtenergie die Produkte Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

Die Produktmenge von Traubenzucker und Sauerstoff hängt von verschiedenen Einflüssen ab. In Experimenten können folgende Einflüsse überprüft werden:

- A) Anzahl an Sonnenstunden:** Hat es einen Einfluss auf die Produktmenge von Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), ob die Tulpe viele oder wenige Stunden der Sonne ausgesetzt ist?



Zehn

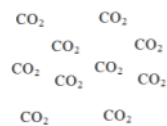
Sonnenstunden



Zwei

Sonnenstunden

- B) Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO_2):** Hat es einen Einfluss auf die Produktmenge von Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), ob die Tulpe einer hohen oder einer niedrigen Kohlenstoffdioxidkonzentration ausgesetzt ist?



Hohe Konzentration

$c[\text{CO}_2] = 0,1\%$



Niedrige Konzentration

$c[\text{CO}_2] = 0,03\%$

- C) Menge an Wasser (H_2O):** Hat es einen Einfluss auf die Produktmenge von Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), ob der Tulpe mehr Wasser oder weniger Wasser zur Verfügung steht?



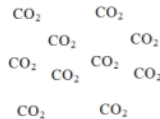
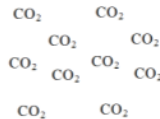
Viel Wasser

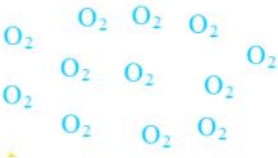


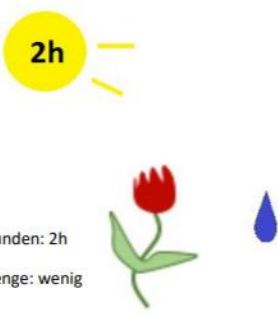
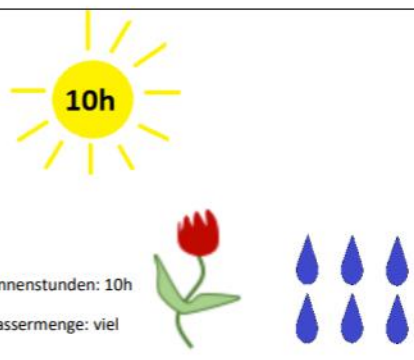
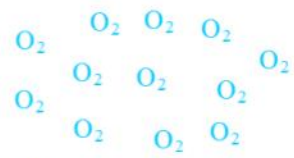
Wenig Wasser

	gar nichts				sehr viel	
Wie viel weißt du über Photosynthese? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wie viel weißt du über Biologie? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Photosynthese	ID-BIO-2
Bianca möchte überprüfen, ob die Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO_2) einen Einfluss auf die Produktmengen von Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) besitzt. Sie vermutet, dass mehr Sauerstoff (O_2) und Traubenzucker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) gebildet werden, wenn die Tulpe einer hohen Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO_2) ausgesetzt ist. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung überprüfen?	
Experiment 1 1a ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,1\%$ (hoch) Wassermenge: viel 1b ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 2 2a ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,1\%$ (hoch) Wassermenge: wenig 2b ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 3 3a ☐ Sonnenstunden: 2h $c[\text{CO}_2] = 0,1\%$ (hoch) Wassermenge: wenig 3b ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 4 4a ☐ Sonnenstunden: 10h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel 4b ☐ Sonnenstunden: 2h $c[\text{CO}_2] = 0,03\%$ (niedrig) Wassermenge: viel	

Photosynthese		PL-BIO-2	
Plane ein Experiment, bei dem sich prüfen lässt, ob die Anzahl an Sonnenstunden die Menge von Sauerstoff (O₂) und Traubenzucker (C₆H₁₂O₆) beeinflusst. Kreuze hierfür bei „Umgebung 1“ und „Umgebung 2“ an, wie du die Anzahl an Sonnenstunden, die Menge an Wasser (H₂O) und die Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO₂) wählen würdest.			
Umgebung 1		Umgebung 2	
☐  Zehn Sonnenstunden	☐  Zwei Sonnenstunden	☐  Zehn Sonnenstunden	☐  Zwei Sonnenstunden
☐  Hohe Konzentration c[CO ₂] = 0,1%	☐  Niedrige Konzentration c[CO ₂] = 0,03%	☐  Hohe Konzentration c[CO ₂] = 0,1%	☐  Niedrige Konzentration c[CO ₂] = 0,3%
☐  Viel Wasser	☐  Wenig Wasser	☐  Viel Wasser	☐  Wenig Wasser

Photosynthese	IN-BIO-2
Bianca hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Sonnenstunden: 10h Wassermenge: wenig	 Sonnenstunden: 10h Wassermenge: viel
Sie hat folgende Beobachtung gemacht:	
 $O_2 < 10g \text{ pro } m^2$ (niedrig)	 $O_2 > 10g \text{ pro } m^2$ (hoch)
Was zeigt dieses Experiment?	
☐	Die Menge an Sonnenstunden hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).
☐	Die Menge von Wasser (H_2O) hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).
☐	Sowohl die Menge an Sonnenstunden als auch die Menge von Wasser (H_2O) haben einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).
☐	Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.

Photosynthese	UN-BIO-2
Bianca hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Sonnenstunden: 2h Wassermenge: wenig	 Sonnenstunden: 10h Wassermenge: viel
Sie hat folgende Beobachtung gemacht:	
 $O_2 < 10g \text{ pro } m^2$ (niedrig)	 $O_2 > 10g \text{ pro } m^2$ (hoch)
Was zeigt dieses Experiment?	
☐	Die Menge an Sonnenstunden hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).
☐	Die Menge von Wasser (H_2O) hat einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).
☐	Sowohl die Menge an Sonnenstunden als auch die Menge von Wasser (H_2O) haben einen Einfluss auf die Menge von Sauerstoff (O_2).
☐	Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.

Wasser kühlen

Sina kühlt ihr warmes Wasser aus dem Supermarkt mit Hilfe von Eiswürfeln. Sie möchte herausfinden, wann die Eiswürfel am schnellsten schmelzen.

In Experimenten können folgende Einflüsse überprüft werden:

- A) Wassertemperatur:** Hat die anfängliche Wassertemperatur einen Einfluss darauf, wie schnell die Eiswürfel schmelzen?

10 °C

niedrige Wassertemperatur

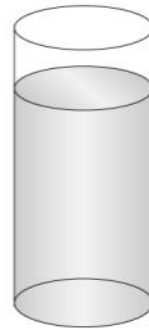
30 °C

hohe Wassertemperatur

- B) Wassermenge im Glas:** Hat die Menge Wasser einen Einfluss darauf, wie schnell die Eiswürfel schmelzen?



wenig Wasser



viel Wasser

- C) Menge an Eiswürfeln im Glas:** Hat die Anzahl der hinzugegebenen Eiswürfel einen Einfluss darauf, wie schnell die Eiswürfel schmelzen?

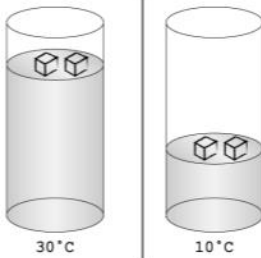
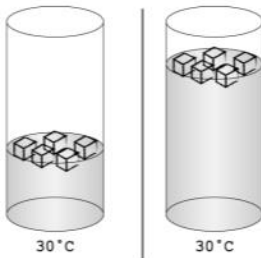
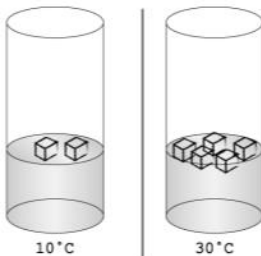
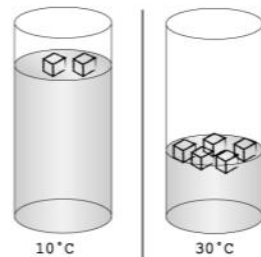


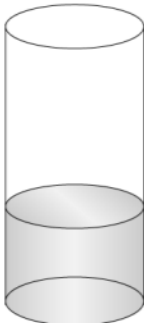
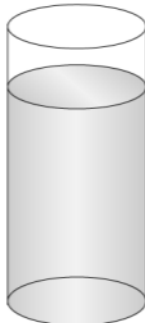
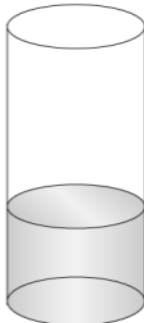
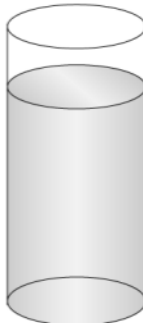
2 Eiswürfel

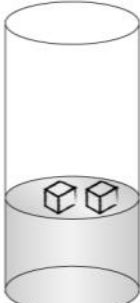
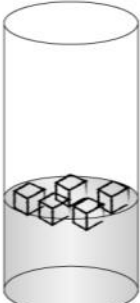


5 Eiswürfel

	gar nichts				sehr viel	
Wie viel weißt du über das Kühlen? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wie viel weißt du über Physik? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Wasser kühlen		ID-PHY-1	
Sina möchte untersuchen, wie schnell Eis in einem Wasserglas schmilzt. Sie vermutet, dass Eis schneller schmilzt, wenn es in ein volles Wasserglas anstelle eines halb vollen Wasserglases gegeben wird. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung überprüfen?			
1a ☐ Wassertemperatur: 30°C Wassermenge: viel Menge an Eiswürfeln: 2	Experiment 1 	1b ☐ Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 2	
2a ☐ Wassertemperatur: 30°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 5	Experiment 2 	2b ☐ Wassertemperatur: 30°C Wassermenge: viel Menge an Eiswürfeln: 5	
3a ☐ Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 2	Experiment 3 	3b ☐ Wassertemperatur: 30°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 5	
4a ☐ Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: viel Menge an Eiswürfeln: 2	Experiment 4 	4b ☐ Wassertemperatur: 30°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 5	

Wasser kühlen		PL-PHY-1	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob Eis schneller schmilzt, wenn es in warmes statt in kaltes Wasser gegeben wird.			
Kreuze hierfür bei „Wasserglas 1“ und „Wasserglas 2“ an, welche Wassertemperatur, welche Menge an Wasser und welche Menge an Eiswürfeln du wählen würdest.			
Wasserglas 1		Wasserglas 2	
☐ 10 °C niedrige Wassertemperatur	☐ 30 °C hohe Wassertemperatur	☐ 10 °C niedrige Wassertemperatur	☐ 30 °C hohe Wassertemperatur
☐  wenig Wasser	☐  viel Wasser	☐  wenig Wasser	☐  viel Wasser
☐  2 Eiswürfel	☐  5 Eiswürfel	☐  2 Eiswürfel	☐  5 Eiswürfel

Wasser kühlen	IN-PHY-1
Sina hat folgendes Experiment durchgeführt: Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 2  10 °C Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 5  10 °C 15 Minuten später... Wassertemperatur: 9°C  9 °C Wassertemperatur: 8°C  8 °C	
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Menge der Eiswürfel hat einen Einfluss auf die Temperaturänderung.	
☐ Die Anfangstemperatur des Wassers hat einen Einfluss auf die Temperaturänderung.	
☐ Sowohl die Anfangstemperatur des Wassers als auch die Menge der Eiswürfel haben einen Einfluss auf die Temperaturänderung.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Besen

Frau Blitz und Herr Blank lieben Ordnung und Sauberkeit. Vor allem in ihrem Ferienhaus ist das eine Herausforderung, denn dort gibt es keinen Stromanschluss. Das bedeutet, sie müssen mit einem Besen fegen. Sie entwickeln neue Besen um herauszufinden, wie man Besen verbessern könnte, damit diese eine bessere Putzleistung erbringen. Sie können drei Eigenschaften an den Besen verändern:

A) Stiel: Hat es einen Einfluss auf die Putzleistung, ob der Stiel lang oder kurz ist?



B) Kopf: Hat es einen Einfluss auf die Putzleistung, ob der Kopf des Besens breit oder schmal ist?



C) Borsten: Hat es einen Einfluss auf die Putzleistung, ob die Borsten aus Plastik oder Naturmaterial sind?



	gar nichts						sehr viel
Wie viel weißt du übers Putzen? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Wie viel weißt du über Erledigungen im Haushalt und Alltag? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Besen	ID-ALL-1
Frau Blitz und Herr Blank möchten herausfinden, ob die Länge des Besenstiels einen Einfluss auf die Putzleistung hat. Sie vermuten, dass Besen mit langem Stiel besser fegen als Besen mit kurzem Stiel. Mit welchem Experiment können sie das herausfinden?	
Experiment 1	
1a ☐ Stiel: lang Kopf: breit Borsten: Plastik 	1b ☐ Stiel: kurz Kopf: schmal Borsten: Natur 
Experiment 2	
2a ☐ Stiel: kurz Kopf: breit Borsten: Natur 	2b ☐ Stiel: lang Kopf: schmal Borsten: Natur 
Experiment 3	
3a ☐ Stiel: lang Kopf: schmal Borsten: Natur 	3b ☐ Stiel: lang Kopf: breit Borsten: Plastik 
Experiment 4	
4a ☐ Stiel: kurz Kopf: schmal Borsten: Natur 	4b ☐ Stiel: lang Kopf: schmal Borsten: Natur 

Besen		PL-ALL-1	
Frau Blitz und Herr Blank vermuten, dass Besen mit Naturborsten besser fegen als Besen mit Plastikborsten. Welche zwei Besen sollen sie vergleichen, um herauszufinden, ob das Material der Borsten (Plastik / Natur) beeinflusst, wie gut der Besen fegt? Plane ein Experiment, um diese Frage zu beantworten! Kreuze hierfür bei „Besen 1“ und „Besen 2“ an, wie du den Besenstiel, den Kopf des Besens und das Material der Borsten auswählen würdest.			
Besen 1		Besen 2	
☐  Langer Stiel	☐  kurzer Stiel	☐  Langer Stiel	☐  kurzer Stiel
☐  breiter Kopf	☐  schmaler Kopf	☐  breiter Kopf	☐  schmaler Kopf
☐  Plastikborsten	☐  Naturborsten	☐  Plastikborsten	☐  Naturborsten

Besen	IN-ALL-1
Frau Blitz und Herr Blank haben zwei neue Besen entwickelt. Sie überprüfen, wie viele Fliesen sie in 5 Minuten mit einem Besen säubern können. Was zeigt dieses Experiment?	
Stiel: lang Kopf: breit Borsten: Natur  Ergebnis: Putzleistung: 150 Fliesen	Stiel: lang Kopf: schmal Borsten: Natur  Ergebnis: Putzleistung: 90 Fliesen
☐ Das Material der Borsten beeinflusst die Putzleistung.	
☐ Die Breite des Kopfes beeinflusst die Putzleistung.	
☐ Sowohl das Material der Borsten als auch die Breite des Kopfes beeinflussen die Putzleistung.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Besen	UN-ALL-1
Frau Blitz und Herr Blank haben zwei neue Besen entwickelt. Sie überprüfen, wie viele Fliesen sie in 5 Minuten mit einem Besen säubern können. Was zeigt dieses Experiment?	
 Stiel: lang Kopf: breit Borsten: Natur Ergebnis: Putzleistung: 150 Fliesen	 Stiel: kurz Kopf: breit Borsten: Plastik Ergebnis: Putzleistung: 110 Fliesen
☐ Die Länge des Stiels beeinflusst die Putzleistung.	
☐ Das Material der Borsten beeinflusst die Putzleistung.	
☐ Sowohl die Länge des Stiels als auch das Material der Borsten beeinflussen die Putzleistung.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

pH-Wert

Der pH-Wert gibt an, wie sauer oder basisch (alkalisch) eine Lösung ist. Säuren haben einen pH-Wert kleiner als 7. Laugen haben einen pH-Wert größer als 7. Neutrale Lösungen haben einen pH-Wert von 7.

Welcher pH-Wert sich nach dem Mischen von Salzsäure mit Natronlauge ergibt, hängt von verschiedenen Einflüssen ab. In Experimenten werden folgende Einflüsse überprüft:

- A) Konzentration Salzsäure:** Hat die Konzentration der Salzsäure einen Einfluss auf den pH-Wert der Mischung?



hoch konzentrierte Salzsäure



niedrig konzentrierte Salzsäure

- B) Volumen Salzsäure:** Hat die Menge der Salzsäure einen Einfluss auf den pH-Wert der Mischung?

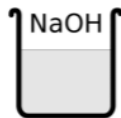


viel Salzsäure (100 ml)

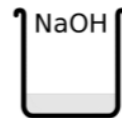


wenig Salzsäure (30 ml)

- C) Volumen Natronlauge:** Hat die Menge der Natronlauge einen Einfluss auf den pH-Wert der Mischung?



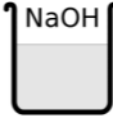
viel Natronlauge (100 ml)

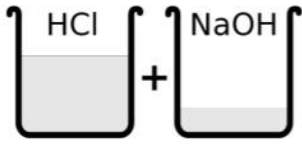
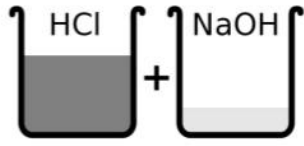


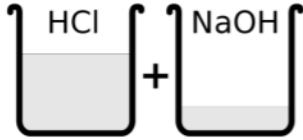
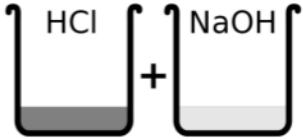
wenig Natronlauge (30 ml)

	gar nichts				sehr viel	
Wie viel weißt du über den pH-Wert? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wie viel weißt du über Chemie? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

pH-Wert	ID-CHE-3a
Emma möchte überprüfen, ob das Volumen der Salzsäure (HCl) einen Einfluss den pH-Wert nach dem Mischen mit Natronlauge (NaOH) hat. Sie vermutet, dass der pH-Wert kleiner ist, wenn man mehr Salzsäure verwendet. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung prüfen?	
1a ☐ Konzentration Salzsäure: niedrig Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 100ml	1b Konzentration Salzsäure: niedrig Volumen Salzsäure: 30 ml Volumen Natronlauge: 100ml
2a ☐ Konzentration Salzsäure: niedrig Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 100ml	2b Konzentration Salzsäure: hoch Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 100ml
3a ☐ Konzentration Säure: niedrig Volumen Salzsäure: 30 ml Volumen Natronlauge: 100ml	3b Konzentration Salzsäure: hoch Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 30ml
4a ☐ Konzentration Salzsäure: niedrig Volumen Salzsäure: 30 ml Volumen Natronlauge: 100ml	4b Konzentration Salzsäure: hoch Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 100ml

pH-Wert		PL-CHE-3a	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob das Volumen der Natronlauge einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen hat. Kreuze hierfür bei „Mischung 1“ und „Mischung 2“ an, wie du das Volumen und die Konzentration der Salzsäure und das Volumen der Natronlauge wählen würdest.			
Mischung 1		Mischung 2	
☐  Salzsäure hoher Konzentration	☐  Salzsäure niedriger Konzentration	☐  Salzsäure hoher Konzentration	☐  Salzsäure niedriger Konzentration
☐  viel Salzsäure (100 ml)	☐  wenig Salzsäure (30 ml)	☐  viel Salzsäure (100 ml)	☐  wenig Salzsäure (30 ml)
☐  viel Natronlauge (100 ml)	☐  wenig Natronlauge (30 ml)	☐  viel Natronlauge (100 ml)	☐  wenig Natronlauge (30 ml)

pH-Wert	IN-CHE-3a
Emma hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Konzentration Salzsäure: niedrig Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 30ml pH-Wert nach dem Mischen: 6	 Konzentration Salzsäure: hoch Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 30ml pH-Wert nach dem Mischen: 2
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Das Volumen der Salzsäure (HCl) hat einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen.	
☐ Die Konzentration der Salzsäure (HCl) hat einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen.	
☐ Sowohl das Volumen der Salzsäure (HCl) als auch die Konzentration der Salzsäure (HCl) haben einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

pH-Wert	UN-CHE-3a
Emma hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Konzentration Salzsäure: niedrig Volumen Salzsäure: 100 ml Volumen Natronlauge: 30ml pH-Wert nach dem Mischen: 6	 Konzentration Salzsäure: hoch Volumen Salzsäure: 30 ml Volumen Natronlauge: 30ml pH-Wert nach dem Mischen: 4
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Das Volumen der Salzsäure (HCl) hat einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen.	
☐ Die Konzentration der Salzsäure (HCl) hat einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen.	
☐ Sowohl das Volumen der Salzsäure (HCl) als auch die Konzentration der Salzsäure (HCl) haben einen Einfluss auf den pH-Wert nach dem Mischen.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Geschafft! Danke fürs Mitmachen

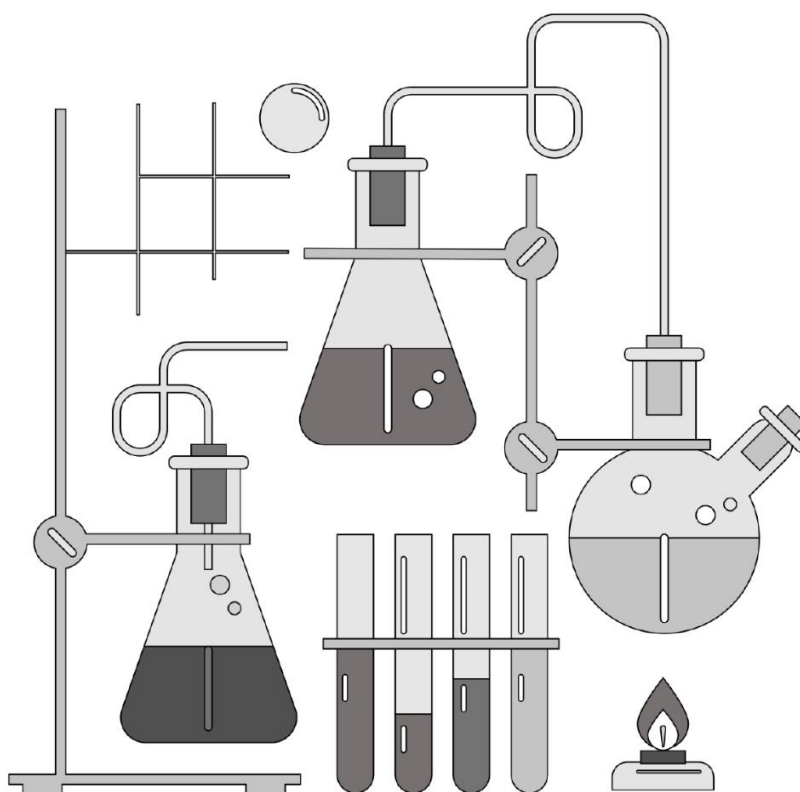




universität
wien



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES



Laborbuch



universität
wien



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES

Bevor es losgeht: Erstellung deines Codes

Zur Anonymisierung deiner Angaben wird ein Code verwendet. Dadurch können wir alle Arbeitsblätter zusammenführen, aber niemand kann diese mit deiner Person verbinden.

Dein persönlicher Code:

	Beispiel:	Dein Code:
1. und 2. Buchstabe vom Vornamen deiner Mutter Beispiel: ANNA	A N	
1. und 2. Buchstabe des Geburtsmonats deiner Mutter Beispiel: JUNI	J U	
1. und 2. Buchstabe deines Geburtsmonats Beispiel: MAI	M A	

Viel Spaß!



Die Anpasstheit von Tieren an kalte Temperaturen



A1. Lies den folgenden Text!

In wenigen Monaten steht bereits der Winter vor der Tür. Für Säugetiere und Vögel ist es wichtig, den Körper vor dem Unterkühlen zu schützen und die Körperkerntemperatur konstant zu halten. Man bezeichnet sie deshalb auch als *gleichwarm* oder *endotherm*. Aber wie schaffen sie es, ihre Körperkerntemperatur konstant zu halten, wenn die Umgebung sehr kalt ist?



Vögeln wachsen beispielsweise vermehrt Daunenfedern, Schafe sind durch ihre Wolle vor den kalten Wintertagen geschützt und andere Säugetierarten bekommen ein Winterfell. Aber wieso schützen Daunenfedern oder Haare wie Winterfell und Schafwolle vor Wärmeverlust?

Die Haare oder Federn halten die Luft am Körper fest, sodass diese sich durch die eigene Körperwärme der Tiere aufwärmt. Luft ist ein guter Isolator, das heißt, sie leitet Wärme sehr schlecht, weshalb diese nicht so schnell an die Umgebung abgegeben wird, sondern den Körper umgibt.

In manchen Lebensräumen sind die dort lebenden Tiere ständig extremeren Temperaturen ausgesetzt. Ein Beispiel dafür sind Tiere, die im Wasser leben, wie etwa Seehunde oder Blauwale. Tiere, die in kaltem Wasser leben, müssen sich anders vor kalten Temperaturen schützen als Tiere, die an Land leben, denn Wasser besitzt eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft. Das bedeutet, dass Wärme schneller an die Umgebung abgegeben wird. Viele Tierarten, die in kalten Gewässern leben, haben deshalb eine dicke Schicht fetthaltigen Gewebes, das sie vor der Kälte schützt.



Daunenfeder



Schafwolle



A2. Deine Aufgabe wird es nun sein, durch ein Experiment herauszufinden, ob **Schafwolle** oder **Daunenfedern** die Wärme besser isolieren. Folge dabei Schritt für Schritt den Arbeitsaufträgen!

Forschungsfrage:

Was isoliert die Wärme besser – Schafwolle oder Daunenfedern?

Hypothesen:

Hypothese 1: Schafwolle schützt besser vor Kälte als Daunenfedern.

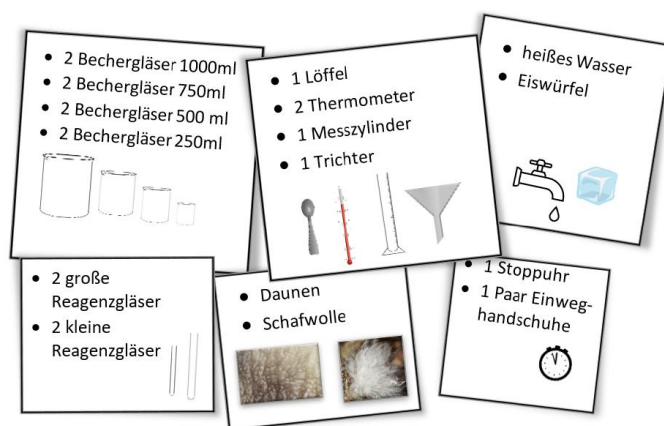
Hypothese 2: Daunenfedern schützen besser vor Kälte als Schafwolle.

Nullhypothese: Schafwolle und Daunenfedern schützen gleich gut vor Kälte.

Planung des Experiments:



A2.1 Schau dir zunächst die Liste mit dem zur Verfügung stehenden Material an. Lies dir dann zur Unterstützung die **Hilfe von Tina** durch!



Hallo, ich bin Tina.

Ich habe folgende Idee für die Planung deines Experiments:

Meine Idee besteht darin, mithilfe der Materialien den Körper eines Tieres in beiden Isolatoren (Daunen/Schafwolle) in einer kalten Umgebung darzustellen.

- Ein Becherglas kann dazu genutzt werden, eine **kalte** Umgebung zu kreieren.
- Ein weiteres Becherglas kann dazu verwendet werden, die Isolationsschicht darzustellen, indem es mit **Daunen/Schafwolle** gefüllt wird.
- Ein **mit Wasser gefülltes** Reagenzglas kann zur Darstellung der **Körpertemperatur** des Tieres verwendet werden.
- Mit dem Thermometer und der Stoppuhr kann gemessen werden, wie schnell die Temperatur des Wassers über einen bestimmten Zeitraum sinkt, indem die **Anfangs- und die End-Temperatur** bestimmt werden.

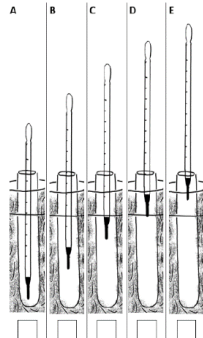
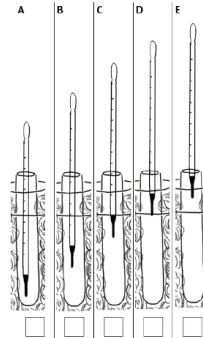
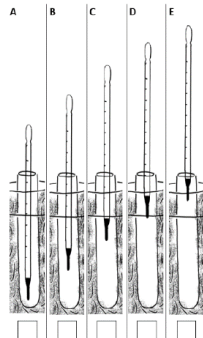
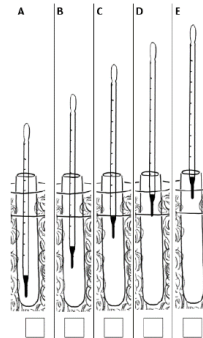
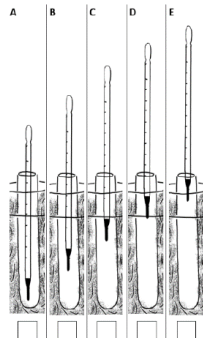
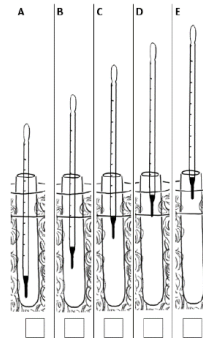
**A2.4 Führe dann das Experiment durch!**

Miss in einem dir sinnvoll erscheinenden Zeitintervall die **Temperaturen** und bilde die **Differenz zwischen dem ersten und dem letzten Messzeitpunkt**. Trage die Temperaturen und die Abstände, in denen du sie gemessen hast, in die unten stehende Tabelle ein.

Daunen & Federn:
1. Messzeitpunkt (Starttemperatur) Temperatur nach _____ Minuten: _____ °C
2. Messzeitpunkt: Temperatur nach _____ Minuten: _____ °C
3. Messzeitpunkt: Temperatur nach _____ Minuten: _____ °C
Differenz zwischen dem 1. und dem letzten Messzeitpunkt: _____ °C

Schafwolle:
1. Messzeitpunkt (Starttemperatur) Temperatur nach _____ Minuten: _____ °C
2. Messzeitpunkt: Temperatur nach _____ Minuten: _____ °C
3. Messzeitpunkt: Temperatur nach _____ Minuten: _____ °C
Differenz zwischen dem 1. und dem letzten Messzeitpunkt: _____ °C

A2.5 Kreuze die Abbildungen an, die am ehesten zeigen, wie du das Thermometer bei deiner letzten Temperaturmessung gehalten hast:

1. Messzeitpunkt	
Reagenzglas von Daunen und Federn umgeben:	Reagenzglas von Schafwolle umgeben:
 ABCDE ☐☐☐☐☐	 ABCDE ☐☐☐☐☐
2. Messzeitpunkt	
Reagenzglas von Daunen und Federn umgeben:	Reagenzglas von Schafwolle umgeben:
 ABCDE ☐☐☐☐☐	 ABCDE ☐☐☐☐☐
3. Messzeitpunkt	
Reagenzglas von Daunen und Federn umgeben:	Reagenzglas von Schafwolle umgeben:
 ABCDE ☐☐☐☐☐	 ABCDE ☐☐☐☐☐



A2.6 Begründe in ganzen Sätzen, warum du das Thermometer auf diese Weise gehalten hast:



A2.7 Kreuze an, welche der Hypothesen du mit **deinem Experiment** bestätigen konntest:

Deutung des Experiments

- ☐ Hypothese 1: Schafwolle schützt besser vor Kälte als Daunenfedern.
- ☐ Hypothese 2: Daunenfedern schützen besser vor Kälte als Schafwolle.
- ☐ Nullhypothese: Schafwolle und Daunenfedern schützen gleich gut vor Kälte.

A2.8 Erkläre in ganzen Sätzen, welche Fehler bei der Durchführung des Experiments **deine Ergebnisse** beeinflusst haben könnten.



A3. Arian überlegt sich, dass sicher noch andere Faktoren einen Einfluss auf den Kälteschutz von Tieren haben. Sein Vater ist Schäfer, und auch im Winter werden die Tiere draußen gehalten. Ein Unterstand schützt die Tiere vor Nässe. Arian möchte wissen, welche Bedeutung das **Körperfett** sowie die **Schafswolle** für den Kälteschutz der Schafe haben.

Forschungsfrage:

Welche Bedeutung haben Körperfett und Wolle bei Schafen für den Schutz vor Kälte?

Hypothesen:

Hypothese 1: Wolle schützt Schafe besser vor Kälte als Körperfett.

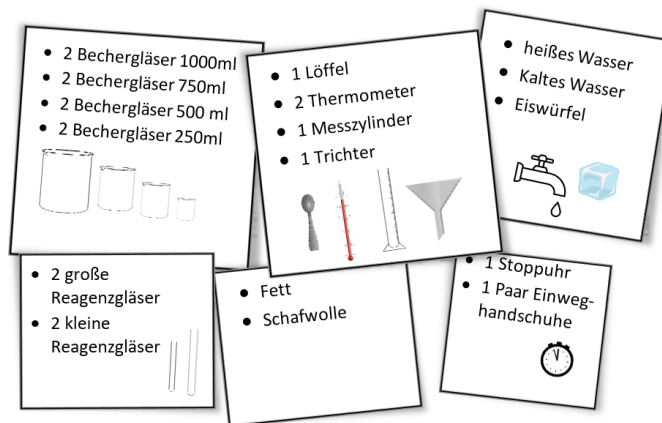
Hypothese 2: Körperfett schützt Schafe besser vor Kälte als Wolle.

Nullhypothese: Wolle und Körperfett schützen Schafe gleich gut vor Kälte.

Planung des Experiments:



A3.1 *Hilf Arian dabei, ein Experiment zu planen, um seine Frage zu beantworten! Schau dir wieder die Liste mit dem zur Verfügung stehenden Material an. Lies dir dann zur Unterstützung die Hilfe von Arian durch!*





Hallo, ich bin Arian.

Ich habe folgende Idee für die Planung des Experiments:

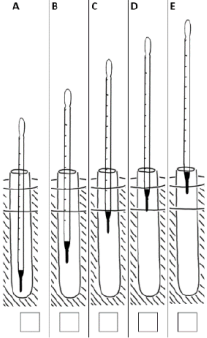
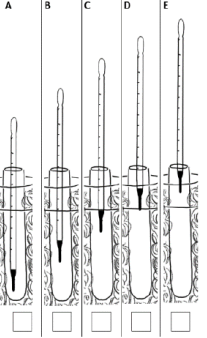
Meine Idee besteht darin, mithilfe der Materialien den Körper eines Tieres in beiden Isolatoren (Fett/Schafwolle) in einer kalten Umgebung darzustellen.

- Ein Becherglas kann dazu genutzt werden, eine **kalte** Umgebung zu kreieren.
- Ein weiteres Becherglas kann dazu verwendet werden, die Isolationsschicht darzustellen, indem es mit **Fett/Schafwolle** gefüllt wird.
- Ein **mit Wasser gefülltes** Reagenzglas kann zur Darstellung der **Körpertemperatur** des Tieres verwendet werden.
- Mit dem Thermometer und der Stoppuhr kann gemessen werden, wie schnell die Temperatur des Wassers über einen bestimmten Zeitraum sinkt, indem die **Anfangs- und die End-Temperatur** bestimmt werden.



A3.2 Plane das Experiment nun weiter und **skizziere** den Aufbau **mit Beschriftungen** in die untere Box, wenn du deine Überlegungen beendet hast!

A3.3 Kreuze an, welche Materialien du verwenden würdest:

Material	Fett-Ansatz	Woll-Ansatz
a: Größe der äußeren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
b: Größe der inneren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
c: Eismenge	☐ viel ☐ wenig	☐ viel ☐ wenig
d: Isolator-Menge	☐ viel ☐ wenig	☐ viel ☐ wenig
e: Thermometer-Position		
f: Reagenzglas-Größen	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
g: Wasser-Menge im Reagenzglas	☐ voll ☐ halb voll ☐ leer	☐ voll ☐ halb voll ☐ leer
h: Ausrichtung des Reagenzglases	☐ gerade ☐ schräg	☐ gerade ☐ schräg
i: Position des inneren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas ☐ am Rand des äußeren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas ☐ am Rand des äußeren Becherglases



A3.4 Begründe deinen Experimentaufbau in **ganzen** Sätzen!



A3.5 Erkläre in ganzen Sätzen, welche Fehler bei der Planung des Experiments **deine Ergebnisse** beeinflussen könnten.

Räume alle Materialien vom Experimentieren in die Laborschale zurück und melde dich bei der Lehrperson, damit sie dir den zweiten Teil des Laborbuches gibt.



A4. Trage zunächst deinen persönlichen Code hier ein:

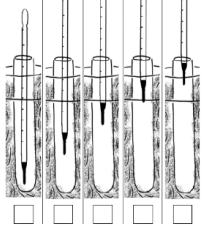
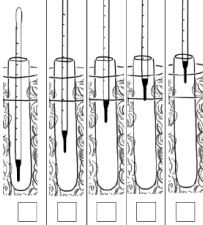


--	--	--	--	--	--

NIMM BITTE KEINE ÄNDERUNGEN MEHR AN DEINEN SKIZZEN VON EBEN VOR!

Tom hat das gleiche Experiment zur Isolationsfähigkeit von Daunen und Schafwolle durchgeführt. Er hat ein Foto seines Aufbaus und ein Protokoll darüber, wie er genau gemessen hat, an die Biologin Frau Dr. Haumann geschickt. Sie hat seinen Aufbau genau untersucht und ist zu dem Schluss gekommen, dass er das Experiment **richtig** aufgebaut und durchgeführt hat. Tom hat deshalb die Ergebnisse seines Experiments interpretiert und ist zu dem Schluss gekommen, dass **Daunen** die Wärme besser isolieren als Schafwolle.

Untersuche den Aufbau von Toms Experiment auf **Materialbeigabe 1** und kreuze in der Tabelle an, welche Materialien Tom für den Daunen- und den Woll-Ansatz verwendet hat!

Material	Daunen-Ansatz			Woll-Ansatz		
a: Größe der äußeren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß			☐ gleich groß		
b: Größe der inneren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß			☐ gleich groß		
c: Eismenge	☐ viel	☐ wenig		☐ viel	☐ wenig	
d: Isolator-Menge	☐ viel	☐ wenig		☐ viel	☐ wenig	
e: Thermometer-Position						
f: Reagenzglas-Größen	☐ unterschiedlich groß			☐ gleich groß		
g: Wasser-Menge im Reagenzglas	☐ voll	☐ halb voll	☐ leer	☐ voll	☐ halb voll	☐ leer
h: Ausrichtung des Reagenzglases	☐ gerade	☐ schräg		☐ gerade	☐ schräg	
i: Position des inneren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas	☐ am Rand des äußeren Becherglases		☐ mittig im äußeren Becherglas	☐ am Rand des äußeren Becherglases	



Tom gibt dir nun **Tipps**, was du beim Experimentieren immer beachten sollst:

Ich habe bei meinem Experiment untersucht, welchen **Einfluss Daunen** und **Schafwolle** als wärmeisolierende Materialien auf die **Abkühlgeschwindigkeit** von Wasser haben. Dabei habe ich folgendes beachtet, um ein **zuverlässiges** Ergebnis zu erhalten:

- Da ich **nur** den Einfluss von **Daunen** und **Schafwolle** auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser untersuchen möchte, müssen **alle anderen** Aspekte des Aufbaus und der Durchführung des Experiments genau **gleich** (konstant) sein. Werden mehrere Aspekte gleichzeitig verändert, kann ich nicht mit Sicherheit sagen, was davon wirklich einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Ich habe also **nur** das Isoliermaterial (Daunen und Schafwolle) als zu untersuchende **Variable** verändert.
- Wenn ich also den Einfluss **einer Variablen** (hier: Isoliermaterial) auf **eine andere Variable** (hier z.B. Temperaturänderung) **zuverlässig** untersuchen möchte, muss ich **alle** anderen Variablen des Experiments (hier z.B. Wassermenge) **gleich** (konstant) halten.
- Arians Frage kann man mit einem sehr ähnlichen Experiment beantworten. Auch hier soll der Einfluss des Isoliermaterials auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser untersucht werden. Deshalb darf auch hier **nur das Isoliermaterial (Fett/Schafwolle)** als zu untersuchende Variable verändert werden.

Das bedeutet Folgendes:

1. Verwende zur Darstellung der **kalten** Umgebung zwei **gleich große** Bechergläser, da ein Größenunterschied dazu führt, dass die Temperaturen der beiden Umgebungen **nicht** übereinstimmen (weil dann unterschiedlich viel Eis hineinpasst)



2. Verwende die **gleiche Menge Eiskwürfel** und **verteile sie gleich**, da die Umgebung sonst **unterschiedlich kalt** ist und die Temperatur in der **kälteren** Umgebung **schneller** sinkt.



3. Verwende zur Darstellung der Wärmeisolation aus Isoliermaterial zwei **gleich groß** Bechergläser, da ein Größenunterschied dazu führt, unterschiedlich viel Isoliermaterial hineinpasst.



4. Verwende die **gleiche Menge an Isoliermaterial** und **befülle die Bechergläser damit gleich hoch**, da die Isolation der Wärme sonst von der **Menge** der Materialien beeinflusst wird. Achte darauf, dass die Materialien **trocken** sind.



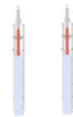
5. Verwende zur Darstellung des Körpers zwei **gleich große** Reagenzgläser, da ein Größenunterschied dazu führt, dass unterschiedlich viel Wasser hineinpasst.



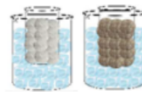
6. Verwende die **gleiche Menge Wasser**, da unterschiedliche Mengen an Wasser **unterschiedlich stark** abkühlen.



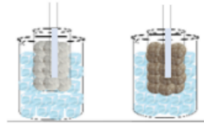
7. Das Wasser muss die **gleiche Anfangstemperatur** haben, da es sonst **unterschiedlich schnell** abkühlt.



8. Das Becherglas mit Isoliermaterial muss **mittig** in dem größeren Becherglas stehen, sodass es von **allen** Seiten und mit **gleich viel** Eiswürfeln umgeben und **einheitlich gekühlt** wird.



9. Das Reagenzglas mit Wasser muss **mittig** in dem kleineren Becherglas stehen, sodass es von **allen** Seiten und mit **gleich viel** Isoliermaterial umgeben und **einheitlich isoliert** wird.



10. Das Thermometer muss **mittig** und in der **gleichen Position** in dem Reagenzglas stehen, sodass es von **allen** Seiten und mit **gleich viel** Wasser umgeben wird.



11. Messe das Sinken der Temperatur über den **gleichen Zeitraum**, da das Wasser sich sonst **unterschiedlich lang** abkühlen kann.



z. B. 3 Minuten
(Isolation Daunen)



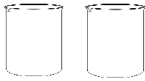
z.B. 3 Minuten
(Isolation Wolle)

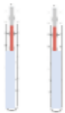
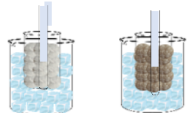
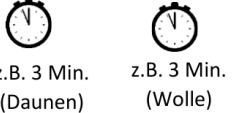
A5. Vergleiche **deine zwei** Experimente mit dem richtigen Aufbau und den Tipps von Tom:



- 1) Daunen vs. Schafwolle
- 2) Fett vs. Schafwolle

Kreuze dazu **alle** Aspekte an, die du **richtig** und **falsch** gemacht hast.

		Experiment 1: Daunen vs. Schafwolle		Experiment 2 (Planung): Fett vs. Schafwolle	
		Das habe ich richtig gemacht	Das habe ich falsch gemacht	Das habe ich richtig gemacht	Das habe ich falsch gemacht
FA1	Gleich große Bechergläser für die kalte Umgebung: 	☐	☐	☐	☐
FA2	Gleiche Menge Eiswürfel: 	☐	☐	☐	☐
FA3	Gleich große Bechergläser für die Wärmeisolation: 	☐	☐	☐	☐
FA4	Gleiche Menge Isolationsmaterial: 	☐	☐	☐	☐
FA5	Gleich große Reagenzgläser: 	☐	☐	☐	☐
FA6	Gleiche Menge Wasser in den Reagenzgläsern: 	☐	☐	☐	☐

		Experiment 1: Daunen vs. Schafwolle		Experiment 2 (Planung): Fett vs. Schafwolle	
		Das habe ich richtig gemacht	Das habe ich falsch gemacht	Das habe ich richtig gemacht	Das habe ich falsch gemacht
FA7	Gleiche Anfangstemperatur: 				
FA8	Mittige Position des kleinen Becherglases und einheitliche Umgebung von Eiswürfeln: 				
FA9	Mittige Position des Reagenzglases und einheitliche Umgebung von Isolationsmaterial: 				
FA10	Mittige Position des Thermometers und einheitliche Umgebung von Wasser: 				
FA11	Sinken der Temperatur über den gleichen Zeitraum messen: 				



A6. Erkläre in **ganzen** Sätzen, was du beachten musst, wenn du in **Zukunft** Experimente planst und durchführst.



A7. Wie fühlst du dich nach den Aufgaben? **Kreuze** bitte dazu bei **jedem** der 20 Adjektive an, was (von "überhaupt nicht" bis "sehr viel") am besten beschreibt, wie es dir im Moment geht.

		1 überhaupt nicht	2 ein bisschen	3 mäßig	4 ziemlich viel	5 sehr viel
E1	aktiv	☐	☐	☐	☐	☐
E2	bekümmert	☐	☐	☐	☐	☐
E3	interessiert	☐	☐	☐	☐	☐
E4	freudig erregt	☐	☐	☐	☐	☐
E5	verärgert	☐	☐	☐	☐	☐
E6	stark	☐	☐	☐	☐	☐
E7	schuldig	☐	☐	☐	☐	☐
E8	erschrocken	☐	☐	☐	☐	☐
E9	feindselig	☐	☐	☐	☐	☐
E10	angeregt	☐	☐	☐	☐	☐
E11	stolz	☐	☐	☐	☐	☐
E12	gereizt	☐	☐	☐	☐	☐
E13	begeistert	☐	☐	☐	☐	☐
E14	beschämt	☐	☐	☐	☐	☐

		1 überhaupt nicht	2 ein bisschen	3 mäßig	4 ziemlich viel	5 sehr viel
E15	wach	☐	☐	☐	☐	☐
E16	nervös	☐	☐	☐	☐	☐
E17	entschlossen	☐	☐	☐	☐	☐
E18	aufmerksam	☐	☐	☐	☐	☐
E19	durcheinander	☐	☐	☐	☐	☐
E20	ängstlich	☐	☐	☐	☐	☐

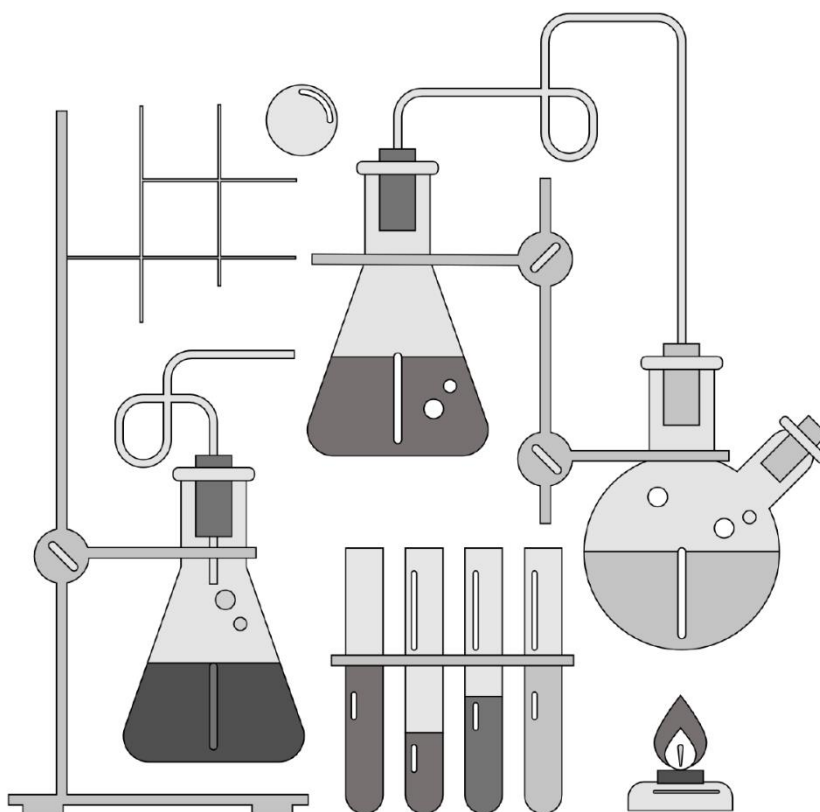
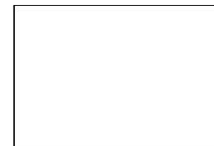


A8. Wie ist es dir bei den Aufgaben ergangen? **Kreuze** bitte dazu bei **allen** Aussagen an, was (von „überhaupt nicht“ bis „sehr wahr“) **aktuell am ehesten** zu dir passt.

		1 über- haupt nicht	2	3	4 teil- weise wahr	5	6	7 sehr wahr
M1	Während ich an der Aufgabe arbeitete, dachte ich darüber nach, wie sehr es mir Spaß gemacht hat.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M2	Ich war überhaupt nicht nervös, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M3	Ich hatte das Gefühl, dass es meine Entscheidung war, die Aufgabe zu erledigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M4	Ich denke, ich bin ziemlich gut in dieser Aufgabe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M5	Ich fand die Aufgabe sehr interessant.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M6	Ich fühlte mich angespannt, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M7	Die Aufgabe hat Spaß gemacht.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

		1 über- haupt nicht	2	3	4 teil- weise wahr	5	6	7 sehr wahr
M8	Ich denke, dass ich bei dieser Aktivität im Vergleich zu anderen Schüler*innen ziemlich gut abgeschnitten habe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M9	Ich fühlte mich entspannt, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M10	Ich habe die Aufgabe sehr genossen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M11	Ich hatte nicht wirklich die Wahl, die Aufgabe zu erledigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M12	Ich bin mit meiner Leistung bei dieser Aufgabe zufrieden.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M13	Ich war ängstlich, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M13	Ich fand die Aufgabe sehr langweilig.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M14	Ich hatte das Gefühl, das zu tun, was ich wollte, während ich an der Aufgabe arbeitete.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M15	Ich fühlte mich bei dieser Aufgabe ziemlich geschickt.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M16	Ich fand die Aufgabe sehr interessant.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M17	Ich fühlte mich unter Druck gesetzt, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M18	Ich hatte das Gefühl, dass ich die Aufgabe erledigen müsste.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M19	Die Aufgabe würde ich als sehr angenehm bezeichnen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M20	Ich habe die Aufgabe gemacht, weil ich keine Wahl hatte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M21	Nachdem ich eine Weile an dieser Aufgabe gearbeitet hatte, fühlte ich mich ziemlich kompetent.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

G3 (Advo.) – Teil 1

universität
wienUNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES

Laborbuch



universität
wien



UNIVERSITÄT
DES
SAARLANDES

Bevor es losgeht: Erstellung deines Codes

Zur Anonymisierung deiner Angaben wird ein Code verwendet. Dadurch können wir alle Arbeitsblätter zusammenführen, aber niemand kann diese mit deiner Person verbinden.

Dein persönlicher Code:

	Beispiel:	Dein Code:
1. und 2. Buchstabe vom Vornamen deiner Mutter Beispiel: ANNA	A N	
1. und 2. Buchstabe des Geburtsmonats deiner Mutter Beispiel: JUNI	J U	
1. und 2. Buchstabe deines Geburtsmonats Beispiel: MAI	M A	

Viel Spaß!



Die Anpasstheit von Tieren an kalte Temperaturen



A1. Lies den folgenden Text!

In wenigen Monaten steht bereits der Winter vor der Tür. Für Säugetiere und Vögel ist es wichtig, den Körper vor dem Unterkühlen zu schützen und die Körperkerntemperatur konstant zu halten. Man bezeichnet sie deshalb auch als *gleichwarm* oder *endotherm*. Aber wie schaffen sie es, ihre Körperkerntemperatur konstant zu halten, wenn die Umgebung sehr kalt ist?



Vögeln wachsen beispielsweise vermehrt Daunenfedern, Schafe sind durch ihre Wolle vor den kalten Wintertagen geschützt und andere Säugetierarten bekommen ein Winterfell. Aber wieso schützen Daunenfedern oder Haare wie Winterfell und Schafwolle vor Wärmeverlust?

Die Haare oder Federn halten die Luft am Körper fest, sodass diese sich durch die eigene Körperwärme der Tiere aufwärmt. Luft ist ein guter Isolator, das heißt, sie leitet Wärme sehr schlecht, weshalb diese nicht so schnell an die Umgebung abgegeben wird, sondern den Körper umgibt.

In manchen Lebensräumen sind die dort lebenden Tiere ständig extremeren Temperaturen ausgesetzt. Ein Beispiel dafür sind Tiere, die im Wasser leben, wie etwa Seehunde oder Blauwale. Tiere, die in kaltem Wasser leben, müssen sich anders vor kalten Temperaturen schützen als Tiere, die an Land leben, denn Wasser besitzt eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft. Das bedeutet, dass Wärme schneller an die Umgebung abgegeben wird. Viele Tierarten, die in kalten Gewässern leben, haben deshalb eine dicke Schicht fetthaltigen Gewebes, das sie vor der Kälte schützt.



Daunenfeder



Schafwolle



A2. Tina will durch ein Experiment herausfinden, ob **Schafwolle** oder **Daunenfedern** die Wärme besser isolieren. Finde es mir ihr gemeinsam heraus. Folge dabei Schritt für Schritt den Arbeitsaufträgen!

Forschungsfrage:

Was isoliert die Wärme besser – Schafwolle oder Daunenfedern?

Hypothesen:

Hypothese 1: Schafwolle schützt besser vor Kälte als Daunenfedern.

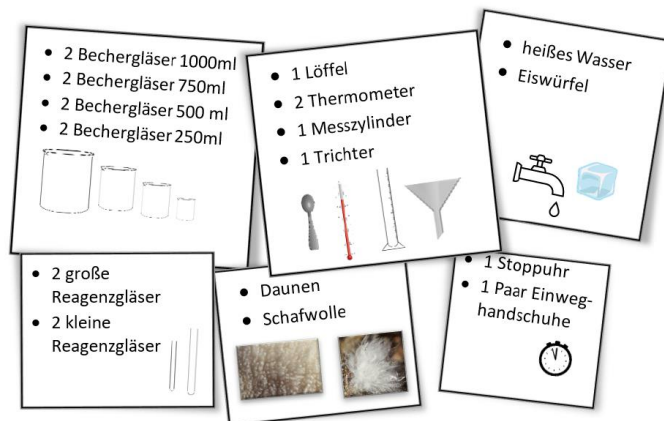
Hypothese 2: Daunenfedern schützen besser vor Kälte als Schafwolle.

Nullhypothese: Schafwolle und Daunenfedern schützen gleich gut vor Kälte.

Tina plant das Experiment:



A2.1 Tina darf sich aus dieser Materialliste die **geeigneten** Materialien auswählen, um ihr Experiment zu planen. Lies dir die **Materialliste** und die **erste Idee von Tina** durch!



Hallo, ich bin Tina.

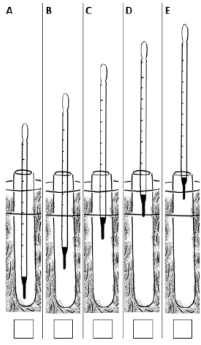
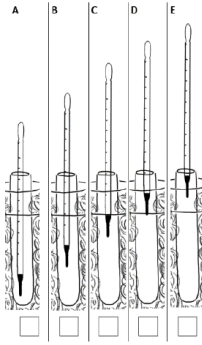
Ich habe folgende Idee für die Planung meines Experiments:

Meine Idee besteht darin, mithilfe der Materialien den Körper eines Tieres in beiden Isolatoren (Daunen/Schafwolle) in einer kalten Umgebung darzustellen.

- Ein Becherglas kann dazu genutzt werden, eine **kalte** Umgebung zu kreieren.
- Ein weiteres Becherglas kann dazu verwendet werden, die Isolationsschicht darzustellen, indem es mit **Daunen/Schafwolle** gefüllt wird.
- Ein **mit Wasser gefülltes** Reagenzglas kann zur Darstellung der **Körpertemperatur** des Tieres verwendet werden.
- Mit dem Thermometer und der Stoppuhr kann gemessen werden, wie schnell die Temperatur des Wassers über einen bestimmten Zeitraum sinkt, indem die **Anfangs- und die End-Temperatur** bestimmt werden.

Tina führt das Experiment durch:

👁️ 👁️ **A3.** Tina hat das Experiment durchgeführt, ihren Aufbau siehst du vor dir. **Untersuche** den Aufbau von Tinas Experiment und kreuze in der unten stehenden Tabelle an, welche Materialien Tina für den Daunen- und für den Woll-Ansatz verwendet hat!

Material	Daunen-Ansatz		Woll-Ansatz	
a: Größe der äußeren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß		☐ gleich groß	
b: Größe der inneren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß		☐ gleich groß	
c: Eismenge	☐ viel	☐ wenig	☐ viel	☐ wenig
d: Isolator-Menge	☐ viel	☐ wenig	☐ viel	☐ wenig
e: Thermometer-Position				
f: Reagenzglas-Größen	☐ unterschiedlich groß		☐ gleich groß	
g: Wasser-Menge im Reagenzglas	☐ voll	☐ halb voll	☐ voll	☐ halb voll
h: Ausrichtung des Reagenzglases	☐ gerade	☐ schräg	☐ gerade	☐ schräg
i: Position des inneren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas	☐ am Rand des äußeren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas	☐ am Rand des äußeren Becherglases



A3.1 Tina hat bei ihrem Aufbau ein paar Fehler gemacht. **Beschreibe** in der **linken** Spalte, was sie deiner Meinung **richtig** und was sie **falsch** gemacht hat. **Begründe** in der **rechten** Spalte in **ganzen** Sätzen, warum du ihr Vorgehen für **richtig** oder für **falsch** hältst.

Beschreibung von Tinas Vorgehen	Begründung
Das hat Tina richtig gemacht:	
Das hat Tina falsch gemacht:	

A4. Arian überlegt sich, dass sicher noch andere Faktoren einen Einfluss auf den Kälteschutz von Tieren haben. Sein Vater ist Schäfer, und auch im Winter werden die Tiere draußen gehalten. Ein Unterstand schützt die Tiere vor Nässe. Arian möchte wissen, welche Bedeutung das Körperfett sowie die Schafswolle für den Kälteschutz der Schafe haben.

Forschungsfrage:

Welche Bedeutung haben Körperfett und Wolle bei Schafen für den Schutz vor Kälte?

Hypothesen:

Hypothese 1: Wolle schützt Schafe besser vor Kälte als Körperfett.

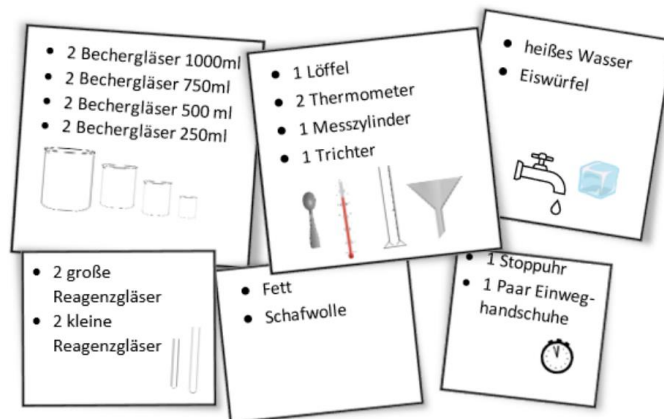
Hypothese 2: Körperfett schützt Schafe besser vor Kälte als Wolle.

Nullhypothese: Wolle und Körperfett schützen Schafe gleich gut vor Kälte.

Arian plant das Experiment:



A4.1 Arian darf sich aus dieser Materialliste die **geeigneten** Materialien auswählen, um sein Experiment zu planen. Lies dir die **Materialliste** und die **erste Idee von Arian** durch!



Hallo, ich bin Arian.

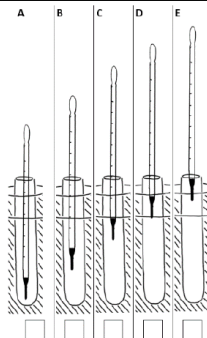
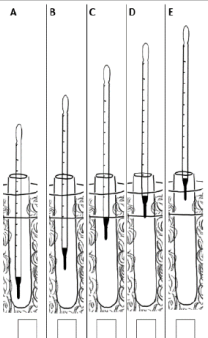
Ich habe folgende Idee für die Planung des Experiments:

Meine Idee besteht darin, mithilfe der Materialien den Körper eines Tieres in beiden Isolatoren (Fett/Schafwolle) in einer kalten Umgebung darzustellen.

- Ein Becherglas kann dazu genutzt werden, eine **kalte** Umgebung zu kreieren.
- Ein weiteres Becherglas kann dazu verwendet werden, die Isolationsschicht darzustellen, indem es mit **Fett/Schafwolle** gefüllt wird.
- Ein **mit Wasser gefülltes** Reagenzglas kann zur Darstellung der **Körpertemperatur** des Tieres verwendet werden.
- Mit dem Thermometer und der Stoppuhr kann gemessen werden, wie schnell die Temperatur des Wassers über einen bestimmten Zeitraum sinkt, indem die **Anfangs- und die End-Temperatur** bestimmt werden.

Arian führt das Experiment durch:

 **A4.2** Melde dich mit einem Handzeichen bei der Lehrperson, wenn du hier angelangt bist, damit sie dir **Materialbeilage 1** mit einem Foto von Arians Experiment-Aufbau gibt. **Untersuche** Arians Experiment-Aufbau und kreuze in der unten stehenden Tabelle an, welche Materialien Arian für den Fett- und für den Woll-Ansatz verwendet hat! Nutze die bunten Punkte auf der Materialbeilage als Hilfe.

Material	Fett-Ansatz	Woll-Ansatz
a: Größe der äußeren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
b: Größe der inneren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
c: Eismenge	☐ viel ☐ wenig	☐ viel ☐ wenig
d: Isolator-Menge	☐ viel ☐ wenig	☐ viel ☐ wenig
e: Thermometer-Position		
f: Reagenzglas-Größen	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
g: Wasser-Menge im Reagenzglas	☐ voll ☐ halb voll ☐ leer	☐ voll ☐ halb voll ☐ leer
h: Ausrichtung des Reagenzglases	☐ gerade ☐ schräg	☐ gerade ☐ schräg
i: Position des inneren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas ☐ am Rand des äußeren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas ☐ am Rand des äußeren Becherglases



A4.3 Arian hat bei seinem Aufbau ein paar Fehler gemacht. **Beschreibe** in der **linken** Spalte, was er deiner Meinung **richtig** und was er **falsch** gemacht hat. **Begründe** in der **rechten** Spalte in **ganzen** Sätzen, warum du ihr Vorgehen für **richtig** oder für **falsch** hältst.

Beschreibung von Ariens Vorgehen	Begründung
Das hat Arian richtig gemacht:	
Das hat Arian falsch gemacht:	

Melde dich bei der Lehrperson, wenn du fertig bist, damit sie dir den zweiten Teil des Laborbuches gibt.





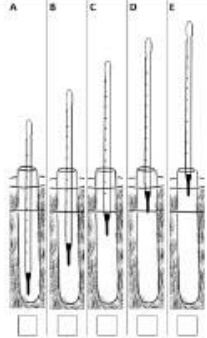
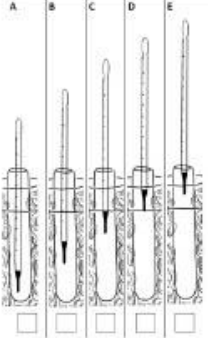
A4. Trage zunächst deinen persönlichen Code hier ein:

----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------



Tom hat das Experiment zu **Daunen und Schafwolle** durchgeführt. Er hat ein Foto seines Aufbaus und ein Protokoll darüber, wie er genau gemessen hat, an die Biologin Frau Dr. Haumann geschickt. Sie hat seinen Aufbau genau untersucht und ist zu dem Schluss gekommen, dass er das Experiment **richtig** aufgebaut und durchgeführt hat.

Untersuche den Aufbau von Toms Experiment auf **Materialbeigabe 2** und **kreuze** in der Tabelle an, welche Materialien Tom für den Daunen- und den Woll-Ansatz verwendet hat!

Material	Daunen-Ansatz	Woll-Ansatz
a: Größe der äußeren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
b: Größe der inneren Bechergläser	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
c: Eismenge	☐ viel ☐ wenig	☐ viel ☐ wenig
d: Isolator-Menge	☐ viel ☐ wenig	☐ viel ☐ wenig
e: Thermometer-Position		
f: Reagenzglas-Größen	☐ unterschiedlich groß	☐ gleich groß
g: Wasser-Menge im Reagenzglas	☐ voll ☐ halb voll ☐ leer	☐ voll ☐ halb voll ☐ leer
h: Ausrichtung des Reagenzglases	☐ gerade ☐ schräg	☐ gerade ☐ schräg
i: Position des inneren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas ☐ am Rand des äußeren Becherglases	☐ mittig im äußeren Becherglas ☐ am Rand des äußeren Becherglases

A5. Tom hat dabei folgende Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten gemessen:

Daunen & Federn:
1. Messzeitpunkt (Starttemperatur)
Temperatur nach <u>0</u>
Minuten:
<u>47</u> °C
2. Messzeitpunkt:
Temperatur nach <u>2</u>
Minuten:
<u>45</u> °C
3. Messzeitpunkt:
Temperatur nach <u>2</u>
Minuten:
<u>44</u> °C
Differenz zwischen dem 1. Und dem letzten Messzeitpunkt:
<u>3</u> °C

Schafwolle:
1. Messzeitpunkt (Starttemperatur)
Temperatur nach <u>0</u>
Minuten:
<u>47</u> °C
2. Messzeitpunkt:
Temperatur nach <u>2</u>
Minuten:
<u>44</u> °C
3. Messzeitpunkt:
Temperatur nach <u>2</u>
Minuten:
<u>42</u> °C
Differenz zwischen dem 1. Und dem letzten Messzeitpunkt:
<u>5</u> °C

Kreuze an, welche der Hypothesen Tom mit seinem Experiment bestätigen konnte:

Deutung des Experiments	
☐	Hypothese 1: Schafwolle schützt einen Körper besser vor Kälte als Daunenfedern.
☐	Hypothese 2: Daunenfedern schützen einen Körper besser vor Kälte als Schafwolle.
☐	Nullhypothese: Schafwolle und Daunenfedern schützen einen Körper gleich gut vor Kälte.

Tom gibt dir nun **Tipps**, was du beim Experimentieren immer beachten sollst:



Ich habe bei meinem Experiment untersucht, welchen Einfluss Daunen und Schafwolle als wärmeisolierende Materialien auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser haben. Dabei habe ich folgendes beachtet, um ein zuverlässiges Ergebnis zu erhalten:

- ➔ Da ich **nur** den Einfluss von **Daunen und Schafwolle** auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser untersuchen möchte, müssen **alle anderen** Aspekte des Aufbaus und der Durchführung des Experiments genau **gleich** (konstant) sein. Werden mehrere Aspekte gleichzeitig verändert, kann ich nicht mit Sicherheit sagen, was davon wirklich einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Ich habe also **nur** das Isoliermaterial (Daunen und Schafwolle) als zu untersuchende **Variable** verändert.
- ➔ Wenn ich also den Einfluss **einer Variablen** (hier: Isoliermaterial) auf **eine andere Variable** (hier z.B. Temperaturänderung) **zuverlässig** untersuchen möchte, muss ich **alle** anderen Variablen des Experiments (hier z.B. Wassermenge) **gleich** (konstant) halten.
- ➔ Ariens Frage kann man mit einem sehr ähnlichen Experiment beantworten. Auch hier soll der Einfluss des Isoliermaterials auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser untersucht werden. Deshalb darf auch hier **nur das Isoliermaterial (Fett/Schafwolle)** als zu untersuchende Variable verändert werden.

Das bedeutet Folgendes:

1. Verwende zur Darstellung der **kalten** Umgebung zwei **gleich große** Bechergläser, da ein Größenunterschied dazu führt, dass die Temperaturen der beiden Umgebungen **nicht** übereinstimmen (weil dann unterschiedlich viel Eis hineinpasst)



2. Verwende die **gleiche Menge Eiskwürfel** und **verteile sie gleich**, da die Umgebung sonst **unterschiedlich kalt** ist und die Temperatur in der **kälteren** Umgebung **schneller** sinkt.



3. Verwende zur Darstellung der Wärmeisolation aus Isoliermaterial zwei **gleich groß** Bechergläser, da ein Größenunterschied dazu führt, unterschiedlich viel Isoliermaterial hineinpasst.



4. Verwende die **gleiche Menge an Isoliermaterial** und **befülle die Bechergläser damit gleich hoch**, da die Isolation der Wärme sonst von der **Menge** der Materialien beeinflusst wird. Achte darauf, dass die Materialien **trocken** sind.



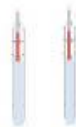
5. Verwende zur Darstellung des Körpers zwei **gleich große** Reagenzgläser, da ein Größenunterschied dazu führt, dass unterschiedlich viel Wasser hineinpasst.



6. Verwende die **gleiche Menge Wasser**, da unterschiedliche Mengen an Wasser **unterschiedlich stark** abkühlen.



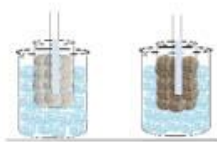
7. Das Wasser muss die **gleiche Anfangstemperatur** haben, da es sonst **unterschiedlich schnell** abkühlt.



8. Das Becherglas mit Isoliermaterial muss **mittig** in dem größeren Becherglas stehen, sodass es von **allen** Seiten und mit **gleich viel** Eiswürfeln umgeben und **einheitlich gekühlt** wird.



9. Das Reagenzglas mit Wasser muss **mittig** in dem kleineren Becherglas stehen, sodass es von **allen** Seiten und mit **gleich viel** Isoliermaterial umgeben und **einheitlich isoliert** wird.



10. Das Thermometer muss **mittig** und in der **gleichen Position** in dem Reagenzglas stehen, sodass es von **allen** Seiten und mit **gleich viel** Wasser umgeben wird.



11. Messe das Sinken der Temperatur über den **gleichen Zeitraum**, da das Wasser sich sonst **unterschiedlich lang** abkühlen kann.



z. B. 3 Minuten
(Isolation Daunen)



z.B. 3 Minuten
(Isolation Wolle)

A6. Vergleiche die Experimente **von Tina und Arian** mit dem richtigen Aufbau und den Tipps von Tom:



- 1) Tina: Daunen vs. Schafwolle
- 2) Arian: Fett vs. Schafwolle

Kreuze dazu **alle** Aspekte an, die sie **richtig** und **falsch** gemacht haben.

		Experiment 1: Tina Daunen vs. Schafwolle		Experiment 2: Arian Fett vs. Schafwolle	
		Das hat Tina richtig gemacht:	Das hat Tina falsch gemacht:	Das hat Arian richtig gemacht:	Das hat Arian falsch gemacht:
FA1	Gleich große Bechergläser für die kalte Umgebung: 	☐	☐	☐	☐
FA2	Gleiche Menge Eiskwürfel: 	☐	☐	☐	☐
FA3	Gleich große Bechergläser für die Wärmeisolation: 	☐	☐	☐	☐
FA4	Gleiche Menge Isolationsmaterial: 	☐	☐	☐	☐
FA5	Gleich große Reagenzgläser: 	☐	☐	☐	☐
FA6	Gleiche Menge Wasser in den Reagenzgläsern: 	☐	☐	☐	☐

		Experiment 1: Daunen vs. Schafwolle		Experiment 2 (Planung): Fett vs. Schafwolle	
		Das hat Tina richtig gemacht:	Das hat Tina falsch gemacht:	Das hat Arian richtig gemacht:	Das hat Arian falsch gemacht:
FA7	Gleiche Anfangstemperatur: 				
FA8	Mittige Position des kleinen Becherglases und einheitliche Umgebung von Eiswürfeln: 				
FA9	Mittige Position des Reagenzglases und einheitliche Umgebung von Isolationsmaterial: 				
FA10	Mittige Position des Thermometers und einheitliche Umgebung von Wasser: 				
FA11	Sinken der Temperatur über den gleichen Zeitraum messen:  z.B. 3 Min. (Daunen) z.B. 3 Min. (Wolle)				

A7: Melde dich mit einem Handzeichen bei der Lehrperson, wenn du hier angelangt bist, damit sie dir die Moschus-Wolle für diese Aufgabe und das passende Arbeitsblatt (Materialbeilage 3) gibt.

Lies dir den Text zu Moschus-Ochsen genau durch! Beantworte anschließend die folgenden Fragen in Stichworten:

- a) **Beschreibe**, zu welcher Familie Moschus-Ochsen gehören und welche Teile ihres Körpers **nicht** mit Fell bedeckt sind.

- b) **Nenne** die Fell-Arten, die Moschus-Ochsen über das Jahr hinweg wachsen.

- c) **Diskutiere**, warum ein so dichtes Fell bei Moschus-Ochsen von Vorteil ist.
Tipp: Beachte dabei ihren Lebensraum!

- d) **Überzeuge dich selbst:** Du hast von uns Schafwolle und Moschuswolle bekommen. Nimm sie in die Hand und fühle, rieche und schau sie dir an - erkennst du einen Unterschied? Notiere deine Beobachtungen hier:



A8. Erkläre in **ganzen Sätzen**, was du beachten musst, wenn du in **Zukunft** Experimente planst und durchführst.



A9. Wie fühlst du dich nach den Aufgaben? **Kreuze** bitte dazu bei **jedem** der 20 Adjektive an, was (von "überhaupt nicht" bis "sehr viel") am besten beschreibt, wie es dir im Moment geht.

		1 überhaupt nicht	2 ein bisschen	3 mäßig	4 ziemlich viel	5 sehr viel
E1	aktiv	☐	☐	☐	☐	☐
E2	bekümmert	☐	☐	☐	☐	☐
E3	interessiert	☐	☐	☐	☐	☐
E4	freudig erregt	☐	☐	☐	☐	☐
E5	verärgert	☐	☐	☐	☐	☐
E6	stark	☐	☐	☐	☐	☐
E7	schuldig	☐	☐	☐	☐	☐
E8	erschrocken	☐	☐	☐	☐	☐
E9	feindselig	☐	☐	☐	☐	☐
E10	angeregt	☐	☐	☐	☐	☐
E11	stolz	☐	☐	☐	☐	☐
E12	gereizt	☐	☐	☐	☐	☐
E13	begeistert	☐	☐	☐	☐	☐
E14	beschämt	☐	☐	☐	☐	☐

		1 überhaupt nicht	2 ein bisschen	3 mäßig	4 ziemlich viel	5 sehr viel
E15	wach	☐	☐	☐	☐	☐
E16	nervös	☐	☐	☐	☐	☐
E17	entschlossen	☐	☐	☐	☐	☐
E18	aufmerksam	☐	☐	☐	☐	☐
E19	durcheinander	☐	☐	☐	☐	☐
E20	ängstlich	☐	☐	☐	☐	☐



A10. Wie ist es dir bei den Aufgaben ergangen? **Kreuze** bitte dazu bei **allen** Aussagen an, was (von „überhaupt nicht“ bis „sehr wahr“) **aktuell am ehesten** zu dir passt.

		1 über- haupt nicht	2	3	4 teil- weise wahr	5	6	7 sehr wahr
M1	Während ich an der Aufgabe arbeitete, dachte ich darüber nach, wie sehr es mir Spaß gemacht hat.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M2	Ich war überhaupt nicht nervös, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M3	Ich hatte das Gefühl, dass es meine Entscheidung war, die Aufgabe zu erledigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M4	Ich denke, ich bin ziemlich gut in dieser Aufgabe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M5	Ich fand die Aufgabe sehr interessant.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M6	Ich fühlte mich angespannt, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M7	Die Aufgabe hat Spaß gemacht.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

		1 über- haupt nicht	2	3	4 teil- weise wahr	5	6	7 sehr wahr
M8	Ich denke, dass ich bei dieser Aktivität im Vergleich zu anderen Schüler*innen ziemlich gut abgeschnitten habe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M9	Ich fühlte mich entspannt, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M10	Ich habe die Aufgabe sehr genossen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M11	Ich hatte nicht wirklich die Wahl, die Aufgabe zu erledigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M12	Ich bin mit meiner Leistung bei dieser Aufgabe zufrieden.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M13	Ich war ängstlich, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M13	Ich fand die Aufgabe sehr langweilig.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M14	Ich hatte das Gefühl, das zu tun, was ich wollte, während ich an der Aufgabe arbeitete.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M15	Ich fühlte mich bei dieser Aufgabe ziemlich geschickt.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M16	Ich fand die Aufgabe sehr interessant.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M17	Ich fühlte mich unter Druck gesetzt, während ich die Aufgabe erledigte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M18	Ich hatte das Gefühl, dass ich die Aufgabe erledigen müsste.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M19	Die Aufgabe würde ich als sehr angenehm bezeichnen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M20	Ich habe die Aufgabe gemacht, weil ich keine Wahl hatte.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M21	Nachdem ich eine Weile an dieser Aufgabe gearbeitet hatte, fühlte ich mich ziemlich kompetent.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

A11. *Kreuze nun bitte bei **allen** Aussagen an, welche Ausprägung (von 1 bis 7) am **ehesten** beim Bearbeiten der Aufgaben zugetroffen hat.*

		1 absolut falsch	2	3	4	5	6	7 absolut richtig
E1	Bei der Aufgabe musste man viele Dinge gleichzeitig im Kopf bearbeiten.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E2	Diese Aufgabe war sehr komplex.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E3	Ich habe mich angestrengt, mir nicht nur einzelne Dinge zu merken, sondern auch den Gesamtzusammenhang zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E4	Es ging mir beim Bearbeiten der Lerneinheit darum, alles richtig zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E5	Die Lerneinheit enthielt Elemente, die mich unterstützten, den Lernstoff besser zu verstehen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E6	Bei dieser Aufgabe ist es mühsam, die wichtigsten Informationen zu erkennen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E7	Die Darstellung bei dieser Aufgabe ist ungünstig, um wirklich etwas zu lernen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E8	Bei dieser Aufgabe ist es schwer, die zentralen Inhalte miteinander in Verbindung zu bringen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
		1 sehr gering	2	3	4	5	6	7 sehr hoch
E9	Wie hoch war deine Motivation bei der Arbeit mit dem Lernmaterial?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E10	Wie niedrig oder hoch schätzt du deinen Lernerfolg ein?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
		1 sehr schlecht	2	3	4	5	6	7 sehr gut
E11	Wie hat dir die Lerneinheit insgesamt gefallen?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Geschafft! Melde dich bei der Lehrperson, wenn du fertig bist.

