

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Emotionale und motivationale Aspekte des Lernens aus Fehlern
beim Erwerb von Experimentierkompetenz bei Schüler*innen
der Sekundarstufe 1

verfasst von | submitted by
Lena Hofmarcher 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 199 502 523 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach Physik

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Andrea Möller

*„Fehler zu machen ist keine Schande.
Nicht aus seinen Fehlern zu lernen
aber schon.“*

John Wooden

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	- 9 -
2. Theoretischer Hintergrund	- 11 -
2.1 Experimentieren und forschendes Lernen	- 11 -
2.1.1 Charakteristika eines Experiments	- 11 -
2.1.2 Variablenkontrollstrategie	- 12 -
2.1.3 Experimentieren im Unterricht	- 13 -
2.1.4 Entdeckendes Lernen und Experimentieren	- 13 -
2.1.5 Herausforderungen und Unterstützungsmöglichkeiten beim Entdeckenden Lernen und Experimentieren	- 15 -
2.2 Lernen aus Fehlern	- 17 -
2.2.1 Fehler – Begriffsdefinition	- 17 -
2.2.2 Fehler als Lernmöglichkeit	- 17 -
2.2.3 Negatives Wissen	- 18 -
2.2.4 Ansätze des Lernens aus Fehlern	- 19 -
2.2.5 Lernen aus eigenen Fehlern	- 20 -
2.2.6. Lernen aus fremden Fehlern	- 21 -
2.2.7 Kombinationsansatz: Lernen aus eigenen und fremden Fehlern	- 23 -
2.2.8 Studienergebnisse des Lernens aus Fehlern im Vergleich	- 24 -
2.2.9 Bedingungsfaktoren beim Lernen aus Fehlern	- 24 -
2.3 Motivation	- 26 -
2.3.1 Motivation - Begriffsdefinition	- 26 -
2.3.2 Motivation in der Schule	- 26 -
2.3.3 Formen der Lernmotivation	- 27 -
2.3.4 Motivationstheorien und -förderung	- 28 -
2.4 Emotion	- 30 -
2.4.1 Emotion - Begriffsdefinition	- 30 -
2.4.2 Kontroll-Wert-Theorie der Leistungseemotionen	- 31 -
2.4.3 Einfluss von Emotionen auf das Lernen	- 32 -
2.4.4 Berücksichtigung von Emotionen im Unterricht	- 35 -
2.5 Forschungsdesiderat	- 36 -
3. Forschungsfragen und Hypothesen	- 38 -

3.1 Forschungsfragen & Hypothesen	- 38 -
4. Material und Methoden	- 40 -
4.1 Stichprobe und Studiendesign	- 40 -
4.2 Studienverlauf	- 42 -
4.3 Materialien der Intervention.....	- 43 -
4.3.1 Experiment der Intervention	- 43 -
4.3.2 Auswahl des Experiments	- 44 -
4.3.3 Weitere Lernmaterialien der Intervention	- 45 -
4.3.4 Pilotierung des Experiments und der Arbeitsmaterialien	- 47 -
4.4 Erhebungsinstrumente	- 48 -
4.4.1 Variablenkontrollstrategie-Testheft	- 48 -
4.4.2 Intrinsische Motivation	- 51 -
4.4.3 Emotionales Befinden nach der Fehleranalyse.....	- 52 -
5. Datenanalyse	- 53 -
5.1 Rasch-Skalierung	- 53 -
5.2 Reliabilitätsanalyse	- 54 -
5.3 Konstruktvalidität.....	- 54 -
5.4 Quantitative Analysen	- 55 -
6. Ergebnisse.....	- 57 -
6.1 Motivationale Unterschiede zwischen den vier Gruppen.....	- 57 -
6.2 Emotionale Unterschiede zwischen den Gruppen	- 59 -
6.3 Gruppeninterne Motivationsunterschiede bezüglich der Leistung	- 60 -
6.4 Gruppeninterne Emotionsunterschiede bezüglich der Leistung	- 61 -
7. Diskussion	- 63 -
7.1 Motivationale Unterschiede zwischen den Gruppen	- 64 -
7.2 Emotionale Unterschiede zwischen den Gruppen	- 64 -
7.3 Gruppeninterne Motivationsunterschiede hinsichtlich der Leistung	- 65 -
7.4 Gruppeninterne Emotionsunterschiede hinsichtlich der Leistung	- 65 -
8. Limitationen	- 66 -
9. Ausblick und mögliche Implikationen für die Unterrichtspraxis.....	- 67 -
10. Zusammenfassung	- 69 -
11. Abstract	- 70 -

12. Literatur	- 71 -
13. Danksagung	- 78 -
14. Anhang.....	- 79 -
14.1 Pre-Test.....	- 79 -
14.2 Post-Test	- 84 -
14.3 VKS-Items.....	- 87 -
14.4 Intrinsic Motivation Inventory (IMI)	- 143 -
14.5 Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)	- 144 -
14.6 Arbeitsmaterialien – Kombinationsgruppe (exemplarisch)	- 145 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Zusammenwirken von positivem und negativem Wissen bei der Wissensanwendung (verändert nach Klein, 2015)	- 19 -
Abbildung 2: Übersicht der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Lernmotivation (eigene Darstellung)	- 28 -
Abbildung 3: Zweidimensionale Klassifikation der Leistungsemotionen (nach Pekrun, 2006) ..	32 -
Abbildung 4: Wirkungen von Emotionen auf Lernen und Leistung (nach Pekrun, 2018)....	- 32 -
Abbildung 5: Übersicht der vier Gruppen der LeFeEx-Interventionsstudie mit Gruppennamen, Schwerpunkten und einer kurzen Beschreibung der gruppenspezifischen Materialien (eigene Darstellung)	- 41 -
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Experimentalaufbaus des Wolle-Daunen-Experiments gemäß der VKS (eigene Darstellung mit Chemix.org erstellt).....	- 44 -
Abbildung 7: Exemplarische Planungsaufgabe zum Fachkontext Chemie (Reaktionsgeschwindigkeit) aus dem VKS-Testheft (Schwichow et al., in revision)	- 50 -
Abbildung 8: Darstellung des Kompetenzerlebens der vier Interventionsgruppen. Zwischen der Eigene-Fehler Gruppe (1) und der Keine-Fehler Gruppe (4) ist ein signifikanter Unterschied zu erkennen ($p < 0,05$, $d = 0,52$).	- 58 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über das experimentelle Studiendesign der LeFeEx-Studie am Lehr-Lern-Labor AECC Biologie	- 40 -
Tabelle 2: Übersicht der im Fragebogen verwendeten Testkonstrukte, ihren Skalen und Beispielitems	- 48 -
Tabelle 3: Übersicht der im Testheft A, B und C enthaltene Items zu je einem Ankerkontext mit 4 Items.	- 49 -
Tabelle 4: Die Tabelle stellt die vier Subskalen des Intrinsic Motivation Inventory (IMI, Deci & Ryan, 2021) mit ihren 22 Items dar. Jeder Subskala sind die entsprechenden Items zugeordnet. Items mit einem (R) weisen auf Items hin, die bei der Auswertung umkodiert werden müssen.	- 52 -
Tabelle 5: Reliabilitätstabelle der genutzten Subskalen zur Motivation und Emotion mit dem McDonald's ω	- 54 -
Tabelle 6: Pearson-Korrelationen für die vier Subskalen der intrinsischen Motivation und die positiven bzw. negativen Affekte.....	- 55 -
Tabelle 7: Darstellung der statistischen Kenngrößen der Motivationsvariablen: Interesse, Druck, Wahlfreiheit und Kompetenzerleben der vier Gruppen	- 57 -
Tabelle 8: Ergebnisse der ANOVA-Varianzanalyse für die Unterschiede zwischen den Gruppen für alle Motivationsvariablen. Signifikante Unterschiede sind zur besseren Erkenntnis fett markiert und grau hinterlegt.....	- 58 -
Tabelle 9: Darstellung der statistischen Kenngrößen der Emotionsvariablen: positive und negative Affekte der Gruppen 1 bis 4.....	- 59 -
Tabelle 10: Ergebnisse der ANOVA für die Unterschiede zwischen den Gruppen für die positiven und negativen Affekte.	- 59 -
Tabelle 11: Vergleich der Leistungsindikatoren zwischen Gruppe I und Gruppe II mittels t-Test in Bezug auf verschiedene Motivationsvariablen. Mit Hilfe der Median-Split-Methode wurden für jede Motivationsvariable (Interesse, Druck, Wahlfreiheit und Kompetenz) zwei Untergruppen (I und II) gebildet. In Gruppe I sind Werte kleiner oder gleich dem Median und in Gruppe II sind die Werte größer als der Median.	- 60 -
Tabelle 12: Vergleich der Leistungsindikatoren zwischen Gruppe I und Gruppe II mittels t-Test in Bezug auf verschiedene Emotionsvariablen. Mit Hilfe der Median-Split-Methode wurden für jede Emotionsvariable (positive Affekte und negative Affekte) zwei Untergruppen (I und II) gebildet. In Gruppe I sind Werte kleiner oder gleich dem Median und in Gruppe II sind die Werte größer als der Median.....	- 61 -

1. Einleitung

Die naturwissenschaftliche Grundbildung ist international ein integraler Bestandteil des naturwissenschaftlichen Schulunterrichts. Sie zielt darauf ab, Schüler*innen grundlegende methodische Kompetenzen und Fähigkeiten in den Fächern Biologie, Umweltbildung, Physik und Chemie sowie im Bereichsfach Naturwissenschaften (häufig auch als „Science“ bezeichnet) zu vermitteln. In vielen Ländern, darunter Österreich (BMBWF, 2023), Deutschland (KMK, 2005), die Vereinigten Staaten (NGSS Lead States, 2013), Großbritannien (Department for Education, 2014) und Finnland (Finnish National Agency for Education, 2016), ist eine solide naturwissenschaftliche Grundbildung als zentrale Kompetenz in den Bildungsstandards verankert. Das österreichische Bildungssystem legt großen Wert darauf, dass alle Schüler*innen eine gute naturwissenschaftliche Grundbildung erhalten, unabhängig vom späteren Bildungsweg oder beruflichen Zielen. Nur eine gute Grundbildung ermöglicht eine aktive Teilnahme an gesellschaftlicher Kommunikation über naturwissenschaftliche Forschungserkenntnisse und technische Errungenschaften (Kremer et al., 2019; Müller et al., 2013).

Eine naturwissenschaftliche Grundbildung umfasst neben einem grundlegenden Verständnis über die Charakteristika der Naturwissenschaften (intern. *Nature of Science*, NOS), auch Kompetenzen in naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Kremer et al., 2019). Das Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung leistet einen wichtigen Beitrag zur deren Förderung. Innerhalb der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen gilt das Experiment neben anderen Methoden wie Beobachten, Vergleichen, Mikroskopieren und Modellieren als eine zentrale Methode der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Das Verständnis und die korrekte Durchführung von Experimenten sowie die Interpretation ihrer Ergebnisse sind wesentliche Ziele der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Damit in Experimenten aussagekräftige Schlussfolgerungen über kausale Hypothesen gemacht werden können, muss die Variablenkontrollstrategie (VKS) angewandt werden. Bei der VKS darf lediglich eine unabhängige Variable verändert werden, während alle anderen Variablen konstant gehalten bzw. kontrolliert werden müssen. Neben der Planung kontrollierter Experimente beinhaltet die VKS zudem die Fähigkeit solche Experimente zu identifizieren und die Ergebnisse zu interpretieren (Chen & Klahr, 1999; Schwichow et al., in revision; Schwichow & Nehring, 2018).

Obwohl die VKS das grundlegende Prinzip der experimentellen Erkenntnisgewinnung darstellt, zeigen Untersuchungen, dass Schüler*innen beim Experimentieren Fehler machen und vor allem bei der Anwendung der VKS Schwierigkeiten haben (Baur, 2018). Einen umfangreichen systematischen Überblick über die gängigen Herausforderungen und häufigen Fehler beim Verstehen und Durchführen von Experimenten findet man bei Kranz et al. (2023). Diese Fehler und Fehlerkonzepte bieten wertvolle Lerngelegenheiten, da sie das Erlernen von negativem Wissen ermöglichen, das eine zusätzliche Dimension zum positiven Wissen darstellt. Negatives Wissen bezeichnet das erlernte Verständnis darüber, was falsch ist, wie etwas nicht funktioniert oder welche Strategien nicht funktionieren (Oser & Spychiger, 2005). Es hilft

dabei, zukünftige Fehler zu vermeiden und fördert die kontinuierliche Weiterentwicklung (Kapur, 2014; Oser et al., 1999).

Beim Lernen aus Fehlern gibt es verschiedene Ansätze, darunter das Lernen aus eigenen Fehlern (Kapur, 2008), das Lernen aus fremden Fehlern (Oser & Spychiger, 2005; Stark et al., 2010), sowie eine Kombination aus beiden Ansätzen (Loibl & Leuders, 2019). Motivationale und emotionale Aspekte spielen hierbei eine zentrale Rolle und beeinflussen sowohl das Lernen aus Fehlern als auch den Prozess des Experimentierens maßgeblich. Erlebte Emotionen und Motivationen können den Lernprozess positiv oder negativ beeinflussen, weshalb es von großer Bedeutung ist, Lehr- und Lernumgebungen zu gestalten, die die Motivation und die emotionalen Zustände der Schüler*innen positiv beeinflussen (Pekrun, 2018).

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Experimentieren und forschendes Lernen

2.1.1 Charakteristika eines Experiments

Ein Experiment ist ein umfangreiches Vorgehen, das die Fragestellung, die Hypothesenbildung, die Durchführung des Experiments unter kontrollierten Bedingungen, die Datenerhebung und -auswertung, die Schlussfolgerung und anschließende Reflexion umfasst (Borchers et al., 2020; Rohrman et al., 2022). Es weist einige spezielle Merkmale auf, die es von anderen naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden, z.B. dem Versuch oder der Beobachtung unterscheidet (Rohrman et al., 2022; Schulz et al., 2012). Rohrman, Virtbauer und Baur (2022) nennen fünf Charakteristika eines Experiments: 1) Kausale Forschungsfrage, 2) Hypothese, 3) Test- und Kontrollansätze, 4) Qualitätskriterien und 5) Variablenkontrollstrategie (VKS). Experimente zielen darauf ab, kausale Forschungsfragen zu beantworten, indem sie die Auswirkungen einer unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable untersuchen (Rohrman et al., 2022; Schulz et al., 2012). Nicht-kausale Fragestellungen sind ebenfalls Teil der Forschung, werden jedoch bei anderen Methoden wie z.B. der Sektion oder Beobachtung angewandt. Neben den kausalen Forschungsfragen ist die Hypothesenbildung charakteristisch für das Experiment. Eine Hypothese ist eine begründete Vermutung über den Ausgang eines Experiments und basiert auf dem theoretischen Vorwissen bzw. auf Wissen aus vorhergehenden Experimenten. Die Forschungsfrage und die Hypothese können sowohl qualitativ als auch quantitativ ausgerichtet sein (Rohrman et al., 2022). Ein Experiment besteht immer aus mehreren Ansätzen (Testansatz und Kontrollansatz), die der experimentellen Kontrolle dienen. In diesen Ansätzen muss das Experiment nicht nur unverändert wiederholt, sondern auch verändert durchgeführt werden (Hamman et al., 2008). Nach der Durchführung des Experiments und der Datenauswertung werden die Resultate der Ansätze miteinander verglichen. Durch den Vergleich ist eine sichere Aussage über die Wirkung der unabhängigen auf die abhängige Variable möglich (Rohrman et al., 2022).

Validität, Reliabilität und Objektivität sind drei entscheidende Qualitätskriterien eines naturwissenschaftlichen Experiments (Kubbe, 2016; Rohrman et al., 2022). Sie sind die Grundlage für zuverlässige, verwertbare und eindeutige Schlussfolgerungen (Kubbe, 2016). Die Qualitätskriterien implizieren, dass das Ergebnis unabhängig von den Experimentator*innen ist (Objektivität), die Ergebnisse verlässlich, glaubwürdig und reproduzierbar sind (Reliabilität) und die gewonnenen Daten durch präzise Fragestellungen und Hypothesen sowie ausreichende Experimentwiederholungen valide (Validität) sind (Rohrman et al., 2022).

Die VKS ist eine experimentelle Vorgehensweise bei der alle Variablen, welche nicht untersucht werden, konstant gehalten werden müssen (Rohrman et al., 2022). Oftmals

können mehrere unabhängige Variablen die zu untersuchende abhängige Variable beeinflussen. Damit eine eindeutige kausale Schlussfolgerung gezogen werden kann, darf jeweils nur eine unabhängige Variable verändert werden (Chen & Klahr, 1999).

2.1.2 Variablenkontrollstrategie

Die Variablenkontrollstrategie (VKS) ist eine experimentelle Strategie, die bei der Konzipierung, Durchführung und Auswertung von Experimenten von erheblicher Bedeutung ist (Brandenburger et al., 2022; Schwichow & Nehring, 2018). Grund hierfür ist, dass die VKS eindeutige Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zulässt (Brandenburger et al., 2022). Die VKS kann auch als isolierende Variablenkontrolle bezeichnet werden (Künsting et al., 2008).

Ein Experiment kann nur valide Ergebnisse liefern, wenn die Zusammenhänge systematisch untersucht werden (Chen & Klahr, 1999). Die VKS beschreibt diese kontrollierte Vorgehensweise. Bei der VKS wird der Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable (Messvariable) untersucht (Rohrmann et al., 2022). Entscheidend hierbei ist, dass stets nur eine unabhängige Variable in ihren Ausprägungen verändert wird, während andere Variablen bzw. Faktoren, die für die Untersuchung der Hypothese irrelevant sind, konstant gehalten bzw. kontrolliert werden (Chen & Klahr, 1999; Rohrmann et al., 2022). Durch diese Vorgehensweise kann die Auswirkung der unabhängigen Variable auf die abhängige Variable unter kontrollierten Bedingungen gemessen werden (Chen & Klahr, 1999).

Es wird zum Beispiel die Wärmeleitfähigkeit von verschiedenen Metallen (unabhängige Variablen) untersucht, indem jeweils ein Wachsplättchen (abhängige Variable) zum Schmelzen gebracht wird. Der Versuchsaufbau, die Versuchsdauer, die Flammentemperatur, das Volumen der Metallplatten und der Wachsplättchen müssen konstant gehalten werden. Das Metall, z.B. Eisen, Kupfer, Messing, ist der einzige Faktor, der variiert werden darf. Wird das Experiment unter Einhaltung der VKS durchgeführt, so erhält man valide Ergebnisse (Chen & Klahr, 1999).

Chen und Klahr (1999) fassen vier Teilfähigkeiten unter der VKS zusammen: 1) Konzipieren von kontrollierten Experimenten, 2) Erkennen kontrollierter Experimente, 3) Ergebnisinterpretation kontrollierter Experimente und 4) Verständnis über die Invalidität unkontrollierter Experimente.

Unter unkontrollierten bzw. konfundierten Experimenten versteht man Experimente, bei denen unbewusst mehr als eine Variable verändert wurde. Bei konfundierten Experimenten kann ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen beobachtet werden, der jedoch auf eine dritte nicht konstant gehaltene Variable zurückgeht (Schulz et al., 2012). Aus konfundierten Experimenten können keine eindeutigen Schlussfolgerungen gezogen werden (Chen & Klahr, 1999).

In allen drei Teilkompetenzen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns kommt die VKS zum Einsatz. Sie ist bedeutend beim Formulieren von Fragestellungen und Hypothesen, bei

der Konzeption und Durchführung von Experimenten und beim Auswerten der Daten inklusiver anschließender Reflexion (Schwichow & Nehring, 2018).

2.1.3 Experimentieren im Unterricht

Die Methode des Experimentierens ist eine äußerst kontrollierte Art der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und stellt daher eine zentrale Arbeitsweise in den Naturwissenschaften dar (Brandenburger et al., 2022; Schulz et al., 2012). Sie wurde ursprünglich in den Naturwissenschaften entwickelt, wird aber auch in anderen empirischen Wissenschaften (Bildungswissenschaften, Medizin, ...) aufgrund der zuverlässigen Erkenntnisgewinnung und -prüfung angewandt (Schulz et al., 2012). Aus diesem Grund werden Experimente im schulischen Kontext insbesondere in den naturwissenschaftlichen Fächern verortet, wo sie eine außerordentliche Rolle einnehmen (Rohrmann et al., 2022). Die Naturwissenschaft als Wissenschaft zu erleben, ist ein zentrales Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Pfanger-Becker, 2010). Schüler*innen sollen durch praktische Anwendung von naturwissenschaftlichen Methoden und Prozessen erfahren, dass durch das Zusammenwirken von Theorie und Empirie neue Erkenntnisse gewonnen werden (Pfanger-Becker, 2010; Rohrmann et al., 2022). Auch in Hinblick auf die Erkenntnisgewinnung, die als Kompetenzbereich für den naturwissenschaftlichen Unterricht definiert wurde, sollte das schüler*innenzentrierte Experimentieren im Unterricht forciert werden. Der Erwerb von Wissen und Kompetenzen zur Erkenntnismethode des Experimentierens erlaubt es Schüler*innen den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn zu verstehen und selbst anzuwenden (Kremer et al., 2019). Daraus folgt, dass naturwissenschaftliche Methoden und Denkfertigkeiten in den Unterricht implementiert werden müssen (Pfanger-Becker, 2010).

2.1.4 Entdeckendes Lernen und Experimentieren

Entdeckendes Lernen (*learning by discovery*) ist ein Unterrichtskonzept, das den Erkenntnissen des Konstruktivismus folgt (Baur et al., 2022; Kollosche, 2020). In der konstruktivistischen Lerntheorie wird Lernen als konstruktiver und selbstgesteuerter Prozess verstanden, bei dem Wissen durch eigene kognitive Aktivitäten generiert wird (Baur et al., 2022; Konrad, 2014). Vorwissen und gemachte Erfahrungen spielen bei der Konstruktion von neuem Wissen eine zentrale Rolle (Baur et al., 2022; Konrad, 2014). Informationen aus der Umgebung werden aufgenommen und mit Hilfe von bereits erworbenem Wissen verarbeitet und verknüpft (Konrad, 2014). Beim Entdeckenden Lernen steht das selbstaktive Erarbeiten der Lerninhalte im Vordergrund (Baur et al., 2022; Kollosche, 2020). Durch selbstständiges Beobachten, aktives Fragen, Vermuten und Ausprobieren sollen Schüler*innen neue Lerninhalte und Arbeitsweisen erlernen (Baur et al., 2022; Kollosche, 2017). Die Lehrperson soll Lernarrangements erstellen und Entdeckungsprozesse begleiten (Kollosche, 2017). Sie hat also eine rein vorbereitende und beratende Rolle (Kollosche, 2020).

Eine Variante des entdeckenden Lernens nach Neber (2006) ist das Explorieren und Experimentieren. Er unterscheidet zwischen dem klassischen Laborexperiment mit konkreten Materialien (*hands-on* Aktivität) und der Arbeit mit computergestützten Simulationen.

Weitere Bezeichnungen für Explorieren und Experimentieren sind *inquiry based learning* (IBL) oder forschendes Lernen und Experimentieren (Neber, 2006). Das forschende Lernen wird im deutschsprachigen Raum unterschiedlich definiert und stimmt oft nicht mit dem englischsprachigen IBL-Ansatz überein (Baur et al., 2022). Im Folgenden wird die Erläuterung von Baur et al. (2022) verwendet. Sie beschreiben IBL als einen Lehr-Lern-Ansatz, bei dem neues Wissen durch selbstgesteuerte Aktivitäten, wie Beobachten, Betrachten, Experimentieren und Modellieren, generiert wird. Beim IBL beginnt der Lernprozess mit einer Frage- oder Problemstellung. Die Schüler*innen planen und führen dann Untersuchungen durch, um relevante Daten zu sammeln, wobei die Lehrperson unterstützend eingreifen kann. Anschließend gewinnen sie neues, bedeutsames Wissen, das sie begründen, um ihre Erkenntnisse zu teilen (Baur et al., 2022).

Das IBL kann in unterschiedlichen Öffnungsgraden in den Unterricht implementiert werden. Die Lehrperson kann eine gewisse Struktur im Lernprozess vorgeben und bestimmt so das Maß an Unterstützung (Riga et al., 2017). Banchi und Bell (2008) beschreiben vier verschiedene Formen des offenen Lernens, die sich in ihrer Strukturiertheit bzw. Offenheit stark voneinander unterscheiden. Die vier verschiedenen Formen sind bestätigendes (*confirmation inquiry*), strukturiertes (*structured inquiry*), geleitetes (*guided inquiry*) und offenes (*open inquiry*) forschendes Lernen (Banchi & Bell, 2008).

Die Wirksamkeit des forschenden Experimentierens wurde in einer Studie von Hof (2011) untersucht. Hierbei wurden zwei unterschiedliche Öffnungsgrade des Experimentierens mit einem Kontrollansatz verglichen. Die Ergebnisse ließen den Schluss zu, dass beim Experimentieren der Zuwachs von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen größer war als bei der Kontrollgruppe mit einem fragend-entwickelnden Unterrichtsansatz. Innerhalb der experimentellen Gruppen konnte festgestellt werden, dass der Öffnungsgrad im forschenden Lernsetting einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Förderung von Fachwissen und wissenschaftsmethodischen Kompetenzerwerb hat. Eine eher angeleitete Form des forschenden Lernens führt zu einer Zunahme des Fachwissens, während offene Formen sowohl fachwissenschaftliche als auch wissenschaftsmethodische Kompetenzen fördern (Hof, 2011). Auch Baur et al. (2022) betonen, dass Schüler*innen beim forschenden Experimentieren neben Fachwissen auch wesentliche Kompetenzen zum Erkenntnisgewinn ausbilden. Vor allem der Einsatz von Experimenten fördert das wissenschaftliche Denken und unterstützt die Schüler*innen bei der Erstellung von kausalen Zusammenhängen und Argumentation der experimentellen Ergebnisse (Schulz et al., 2012). Daher eignet sich das Konzept des forschenden Lernens und Experimentierens gut für die Vermittlung der VKS (Baur et al., 2022).

Mayer (2007) hat ein Rahmenmodell für den Kompetenzbereich des Erkenntnisgewinns entwickelt. Nach Mayer (2007) können die Kompetenzen des Erkenntnisgewinns ihren Anforderungen entsprechend aufsteigend in drei grundlegende Dimensionen unterteilt werden: 1) praktische Arbeitstechniken (*practical work*), 2) wissenschaftliche

Erkenntnismethoden (*scientific inquiry*) und 3) Charakteristika der Naturwissenschaften (*Nature of science*).

Die praktischen Arbeitstechniken umfassen überwiegend manuelle Fertigkeiten, beispielsweise das Anfertigen von mikroskopischen Schnitten oder wissenschaftlichen Zeichnungen. Der Bereich *scientific inquiry* umfasst alle fünf naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden, wie Beobachten, Vergleichen und Ordnen, Mikroskopieren, Experimentieren und Arbeiten mit Modellen. Die Dimension „Charakteristika der Naturwissenschaften (*Nature of science*)“ hingegen umfasst auf einer Metaebene das Wissen über naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Konzepte bzw. Charakteristika der Naturwissenschaften, wie z. B. die Vorläufigkeit von wissenschaftlichen Ergebnissen (Mayer, 2007).

Der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung kann als eine Art Problemlöseverfahren angesehen werden, bei der die drei zentralen Dimensionen systematisch aufeinander abgestimmt und angewendet werden. Daher wird das Problemlösen als ein gezieltes Vorgehen bezeichnet, dass sich durch die Anwendung von Wissen und bereits erworbenen Fähigkeiten in einer bestimmten Situation auszeichnet (Mayer, 2007).

2.1.5 Herausforderungen und Unterstützungsmöglichkeiten beim Entdeckenden Lernen und Experimentieren

IBL ist ein vielversprechender Ansatz (Baur et al., 2022), der Fach- und Methodenwissen sowie die Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften fördert (Hof, 2011). Dennoch gibt es auch Gegenstimmen zum Einsatz von IBL im Unterricht, die unter anderem auf unterschiedliche Definitionen und Öffnungsgrade von Entdeckendem Lernen zurückzuführen sind (Bruckermann et al., 2017). Unabhängig vom Öffnungsgrad ist IBL stets ein kognitiv komplexer Problemlöseprozess, der zu einer kognitiven Überlastung führen kann (Kirschner et al., 2006). Gegenstimmen zum IBL gehen daher unter anderem von dem Begründer der *Cognitive Load Theory* (CLT), John Sweller, aus. Er geht davon aus, dass die kognitive Kapazität begrenzt ist und IBL dazu tendiert, die kognitive Belastung zu erhöhen. Vor allem bei zu geringem Vorwissen und zu gering ausgeprägten Fähigkeiten kommt es zu einer Überlastung und der Lernprozess wird behindert. Im Vergleich zum Lernen mit direkten Instruktionen müssen mehr kognitive Ressourcen für die Problemlösung aufgewendet werden, was zu einem geringeren Wissenserwerb führen kann (Sweller et al., 1998).

Lernunterstützungen sind eine Möglichkeit, um die kognitive Belastung zu reduzieren und die Kapazitäten beim Lernen zu bündeln. Olson und Loucks-Horsley (2000) unterstützen den Einsatz von stark strukturierten Formen des entdeckenden Lernens, wie beispielsweise die Bereitstellung der Forschungsfrage, um sicherzustellen, dass weniger geübte Schüler*innen nicht überfordert werden. Mit zunehmenden Fähigkeiten im Bereich des forschenden Experimentierens, kann der Grad allmählich reduziert werden, bis die Schüler*innen in der

Lage sind, autonomes forschendes Lernen und Experimentieren durchzuführen, zum Beispiel indem sie eigenständig eine Forschungsfrage auf Basis eines Problems formulieren (Olson & Loucks-Horsley, 2000).

Die Unterstützungsmaßnahmen richten sich stets an die Herausforderungen und Schwierigkeiten, mit denen die Schüler*innen konfrontiert sind. Fehler und Schwierigkeiten können in allen Phasen des Experimentierprozesses (Fragestellung, Aufstellen einer Hypothese, Planung und Durchführung eines Experiments, ...) auftreten (Kranz et al., 2023; Rohrmann et al., 2022). Durch eine angepasste Zielsetzung und geeignete Unterstützungsangebote kann das Schülerexperiment lernförderlich im Unterricht eingesetzt werden (Wirth et al., 2008).

Beim Formulieren von Fragestellungen werden inhaltliche anstatt kausaler Fragen ausgearbeitet (Neber & Anton, 2008) und die Schüler*innen konzentrieren sich oft nicht auf eine Variable (Kuhn & Dean, 2005). Auch in der Phase der Hypothesengenerierung haben Schüler*innen Schwierigkeiten. Sie arbeiten teilweise ohne vorab generierte Hypothesen (Zhai et al., 2014), stellen nur glaubhafte Hypothesen auf (Hammann et al., 2006) oder verändern die Hypothesen während des Experimentierprozesses (Baur, 2021). Der Grund für diese Schwierigkeiten kann in falschen Präkonzepten über den Aufbau naturwissenschaftlicher Fragestellungen liegen. Um diese Fehler zu vermeiden, ist es wichtig, den Zusammenhang zwischen Fragestellung und Hypothese aufzuzeigen und das Formulieren von Fragestellungen und Hypothesen regelmäßig zu üben (Rohrmann et al., 2022).

Bei der Planung und Durchführung von Experimenten begehen Schüler*innen vielfältige Fehler, die in Bezug zur VKS stehen (Rohrmann et al., 2022; Scheuermann, 2017) bzw. wenden die VKS als experimentelle Strategie überhaupt nicht an (Hammann et al., 2008; Hammann et al., 2006). Die Schüler*innen vergessen es notwendige Variablen zu berücksichtigen (Baur, 2021), variieren mehrere Variablen gleichzeitig (Chen & Klahr, 1999) und verändern unabhängige Variablen ohne kontrollierte Bedingungen (Scheuermann, 2017). Sie planen Experimente mit nur einem Ansatz, sodass der Einfluss der abhängigen Variable nicht erfasst werden kann (Hammann et al., 2006). Die VKS umfasst neben der systematischen Vorgehensweise und Kontrolle der Variablen auch das Experimentiersetting. Der Aufbau im Test- und Kontrollansatz muss ident sein, d.h. es müssen die gleichen Laborgeräte und die gleichen Mengen verwendet werden (Rohrmann et al., 2022). Dieser Tatsache wird oft von Schüler*innen missachtet (Baur, 2021).

Bei der Dateninterpretation und Schlussfolgerung schreiben Schüler*innen unerwartete Ergebnisse einer fehlerhaften Durchführung zu (Baur, 2018) oder ignorieren sie, weil sie nicht zu den Erwartungen passen (Chinn & Brewer, 1993). Zudem werden Beobachtungen oder Vermutungen als Schlussfolgerungen aufgefasst oder falsche Schlussfolgerungen aus den Daten gezogen (Baur, 2018).

Fehler und Herausforderungen treten in allen Phasen des Experimentierprozesses auf (Rohrmann et al., 2022). Diese Fehler sollten nicht als Defizit, sondern als eine Chance des

Lernens gesehen werden. Fehler könnten konstruktiv genutzt und zur Förderung der Lernprozesse für Schüler*innen eingesetzt werden (Metcalf, 2017).

2.2 Lernen aus Fehlern

2.2.1 Fehler – Begriffsdefinition

Der Begriff Fehler ist in der Literatur keinesfalls eindeutig definiert. Es gibt verschiedene Auffassungen, warum ein Sachverhalt oder Prozess als fehlerhaft angesehen wird, durch wen es zu einem Fehler wird, welchen Grund ein Fehler hat und welche daraus resultierende Folgen damit einher gehen (Harteis et al., 2006). Sehr allgemein können Fehler als einen von der Norm abweichenden Sachverhalt oder Prozess definiert werden (Oser et al., 1999; Weimer, 1925). Anders ausgedrückt ist ein Fehler eine Abweichung eines Ist-Zustands vom Soll-Zustand.

Die oben genannte allgemeine Definition von Fehlern bietet den Vorteil, dass zwischen den Fehlern keine Unterscheidung getroffen werden und dadurch nicht kategorisiert werden müssen (Harteis et al., 2006). Für Bauer und Mulder (2007) ist es jedoch wesentlich zwischen der fehlerhaften Handlung und dem dadurch entstehenden Resultat zu unterscheiden. Der Fehler bezieht sich hierbei auf die fehlerbehaftete Handlung, unabhängig vom Resultat (Bauer & Mulder, 2007). Im Schulkontext wird eine fehlerhafte Handlung oft als Folgefehler bezeichnet. Im Physikunterricht beispielsweise führt ein falsch abgelesener Messwert, trotz richtiger Anwendung der Formel, zu einem falschen Ergebnis. Das Endergebnis enthält aber nicht den Fehler, da dieser schon zuvor begangen wurde. Das Endergebnis zeigt ein von der Lösung abweichendes Ergebnis an. Aus diesem Grund definiert James Reason eine individuelle Handlung als Fehler, wenn sie so ausgeführt wird, dass aufgrund eines fehlerhaften Prozesses oder Sachverhaltes das Erreichen übergeordneter Ziele gefährdet ist (Reason, 1990). Auch Gartmeier et al. (2008) bezeichnen Fehler als eine Hürde ein bestrebt Ziel zu erreichen.

Fehler können in unterschiedlichen Bereichen begangen werden, beispielsweise im moralischen, sozialen oder fachlichen Bereich. Im schulischen Kontext liegt der Fokus auf den fachlichen Fehlern (Althof, 1999), die beim Lernprozess eine wichtige Rolle spielen. Fachliche Fehler in diesem Kontext sind Fehler, die sich auf eine falsche, ungenaue oder unvollständige Anwendung von Fachwissen und fachspezifischen Methoden beziehen.

2.2.2 Fehler als Lernmöglichkeit

Bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts war der Fehlerbegriff in traditionellen Bildungssystemen stark negativ konnotiert. Fehler waren Belege für ungenügende Leistungen, Misserfolge und Störfaktoren auf dem Weg zum gewünschten Ergebnis. Die Fehlervermeidung stand beim Bearbeiten von Aufgaben im Vordergrund (Hammann, 2003). In der Bildungsforschung wurden Fehler als störende, aber unvermeidbare Begleiterscheinung des Unterrichts betrachtet. Dem Lernen aus Fehlern wurde wenig Bedeutung zugemessen (Oser & Spychiger, 2005). Erst in den 1980er Jahren wurde das Lernen aus Fehlern schließlich ein interessanter

Aspekt in der Forschung. Wissenschaftliche Forschungsansätze, die sich mit dem Lernen aus Fehlern im schulischen Kontext beschäftigen, waren für eine Pädagogisierung von Fehlern im Unterricht (Oser et al., 1999). Fehler werden hierbei nicht als Makel oder Defizit der Schüler*innen angesehen, sondern als wichtige Faktoren für das Lernen betrachtet (Chott, 1999).

Heutzutage stellen Fehler eine Möglichkeit für produktives Lernen dar (Althof, 1999; Prediger & Wittmann, 2009; Zhang & Fiorella, 2023). Sie sind eine Ressource im Lernprozess und haben das Potential den Wissenserwerb (Harteis et al., 2006; Oser & Spychiger, 2005) und die Selbstregulation zu fördern (Zhang & Fiorella, 2023). Die aktuelle empirische Forschung liefert entscheidende Belege für die zentrale Rolle von Fehlern beim Lernen, die sich als essenziell für den Lernfortschritt erweisen (Oser & Spychiger, 2005). Daraus resultiert die Möglichkeit Fehler bewusst als Lerngelegenheiten zu nutzen, denn Fehler sind erlaubte und wichtige Schritte im Lernprozess. Im Rahmen des Lernprozesses ist es wichtig fehlerhaftes Wissen und falsche Vorstellung zu aktivieren und in den Lernprozess miteinzubeziehen, da dieses Wissen nicht gelöscht wird, sondern im Gedächtnis als fehlerhaft gespeichert wird (Vosniadou et al., 2001). Grundlage für die heutige Betrachtung von Fehlern als Lernchance war eine sich über Jahrzehnte verändernde Fehlerkultur in der Wissenschaft und Gesellschaft.

2.2.3 Negatives Wissen

Negatives Wissen ist erworbenes Wissen darüber, was falsch ist. Der Begriff negativ impliziert im Zusammenhang mit negativem Wissen keine Wertung und darf nicht als schlechtes, nachteiliges oder hinderliches Wissen angesehen werden (Gartmeier et al., 2008). Negatives Wissen umfasst drei Komponenten: 1) negatives deklaratives bzw. konzeptuelles Wissen - Wie oder was etwas nicht ist?, 2) negatives prozedurales Wissen - Wie funktioniert etwas nicht? und 3) negatives strategisches Wissen - Welche Strategien funktionieren nicht? (Oser & Spychiger, 2005).

Das Konzept des negativen Wissens stammt von Oser, Hascher & Spychiger und wurde 1999 entwickelt (Oser et al., 1999). Es beschreibt inwiefern Fehler den Lernprozess positiv beeinflussen können. Fehler sind eine Chance für produktives Lernen (Althof, 1999; Prediger & Wittmann, 2009). Um aus Fehlern zu lernen, müssen Schüler*innen ihre eigenen fehlerhaften Vorstellungen und Denkweisen erkennen und bewusst als Lernanlass nutzen (Hamann, 2003). Bei der Umstrukturierung und Entwicklung von Fehlervermeidungsstrategien entsteht negatives Wissen. Das Ziel des Lernens aus Fehlern ist stets der Aufbau von negativem Wissen (Oser & Spychiger, 2005). Das negative Wissen stellt eine Ergänzung zum positiven Wissen, wie etwas ist, dar und hat die Funktion positives Wissen zu schützen (Schutzfunktion). Je mehr negatives Wissen erworben wird, desto klarer tritt das positive Wissen in den Vordergrund und desto wahrscheinlicher wird eine richtige Vorgehensweise (Oser et al., 1999; Prediger & Wittmann, 2009). Erst durch das Zusammenwirken von positivem und negativem Wissen können Fehlervermeidungsstrategien für die Zukunft entwickelt werden (Oser & Spychiger, 2005). In Abbildung 1 wird das

Zusammenspiel von positivem und negativem Wissen dargestellt, wodurch die korrekte Wissensanwendung ermöglicht wird.

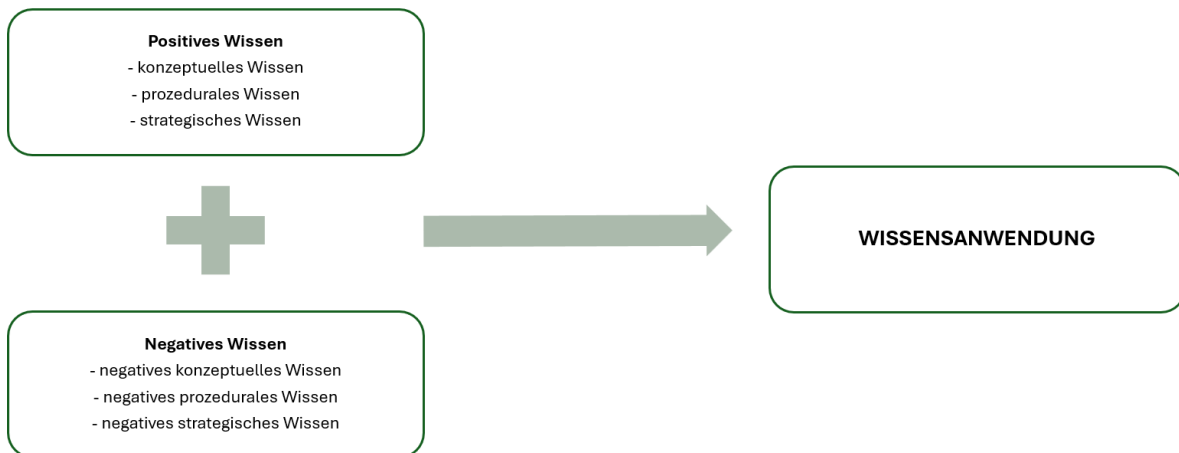


Abbildung 1: Das Zusammenwirken von positivem und negativem Wissen bei der Wissensanwendung (verändert nach Klein, 2015)

Im Zusammenhang mit negativem Wissen wurden verschiedene positive Effekte auf den Lernprozess nachgewiesen. Einer davon ist die Steigerung der Sicherheit für korrektes Verhalten in Problemsituationen. Durch die Zurückweisung zuvor als falsch erwiesener Lösungsansätze und ungünstiger Strategien kann das Wissen über richtige Lösungswege positiv gestärkt und gefestigt werden. Dieser Prozess erfordert eine intensive Reflexion, bei der bereits erworbenes Wissen gründlich überdacht und auf neue Situationen angewendet werden muss. Die Kenntnis über den positiven oder negativen Ausgang von Handlungen sowie die eigenständige Reflexion können das Bewusstsein für zukünftige Handlungen schärfen. Darüber hinaus fördert der Erwerb von negativem Wissen eine verbesserte Fehlerorganisation, die zu einer gesteigerten Handlungseffektivität führt (Gartmeier et al., 2008).

Obwohl das negative Wissen viele lernförderliche Effekte hat, wie die Förderung von Handlungssicherheit und Reflexionsprozessen sowie die Steigerung der Handlungseffektivität, ist es keine Garantie für richtiges Handeln. Es hilft jedoch bei der Vermeidung von falschem Verhalten und Anwendung von nachteiligem Wissen (Gartmeier et al., 2008; Oser et al., 1999).

Es wird deutlich, dass negatives Wissen ebenso wichtig für die Vermeidung von Fehlern ist wie positives Wissen selbst. Es schützt vor falschen Handlungsweisen und unterstützt dabei, diese zu unterdrücken (Oser et al., 1999).

2.2.4 Ansätze des Lernens aus Fehlern

Entdeckendes Lernen und das Lernen aus Fehlern sind eng miteinander verbunden, insbesondere im Rahmen eines konstruktivistischen Ansatzes, bei dem die aktive Beteiligung der Schüler*innen im Vordergrund steht (Bauer & Mulder, 2007). Während sich IBL auf den gesamten Erkundungsprozess konzentriert, der von den Interessen der Schüler*innen geleitet wird, liegt die zentrale Strategie des Lernens aus Fehlern im Erkennen und Reflektieren von

Fehlern. Im IBL können Fehler während des gesamten Forschungsprozesses auftreten und als eine von vielen Lerngelegenheiten dienen, wohingegen im Lernen aus Fehlern der Fokus gezielt auf Fehlern liegt, um tiefgehendes Verständnis und nachhaltiges Wissen zu fördern. So kann das Lernen aus Fehlern IBL-Ansätze ergänzen, indem es die Bedeutung von Fehlern als Lerninstrument hervorhebt, während das IBL einen umfassenderen Ansatz zur Wissensentdeckung bietet.

Beim Lernen aus Fehlern können vier Phasen identifiziert werden: 1) **Fehleridentifikation** – Fehlererfahrung und Offenlegung des Fehlers, 2) **Fehlerreflexion** - Rekonstruktion des Fehlers und Vergleich mit richtiger Alternative, 3) **Fehlervermeidungsstrategie** - Entwicklung von Strategien zur Fehlervermeidung und 4) **Strategieanwendung** - Evaluation der Fehlervermeidungsstrategie (Oser & Spychiger, 2005).

Die Identifizierung eines Fehlers wird von Oser und Spychiger (2005) als entscheidender Schritt für einen erfolgreichen Lernprozess angesehen. In der Regel erhalten Schüler*innen bei der Identifizierung von Fehlern externe Unterstützung, da sie diese aufgrund ihres begrenzten Vorwissens oft nicht selbst erkennen können (Oser & Spychiger, 2005). Anschließend folgt die Fehlerreflexion. In dieser Phase wird der Ursprung des Fehlers gesucht, um ihn besser zu verstehen und den Grundstein für das Erlernen richtiger Konzepte zu legen. Danach können gezielte Fehlervermeidungsstrategien entwickelt werden (Bauer & Mulder, 2007; Oser & Spychiger, 2005). Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Entwicklung von Strategien zur Fehlervermeidung. Stets spielt dabei das Konzept des negativen Wissens eine wichtige Rolle, auf das bei der Planung und Durchführung von Aufgaben zurückgegriffen werden kann (Oser et al., 1999). Nachdem Fehlervermeidungsstrategien entwickelt wurden, werden sie in einer abschließenden Phase angewendet und gegebenenfalls angepasst (Bauer & Mulder, 2007).

Beim Lernen aus Fehlern gibt es verschiedene Ansätze, das Lernen aus eigenen Fehlern (*productive failure*) (Kapur, 2008) und das Lernen aus fremden Fehlern, z.B. advokatorisches Lernen (Oser & Spychiger, 2005) oder das Lernen anhand fehlerhafter Lösungsbeispiele (Stark et al., 2010). Ebenso gibt es eine Kombination aus dem Lernen aus eigenen und fremden Fehlern (Loibl & Leuders, 2019).

2.2.5 Lernen aus eigenen Fehlern

Grundlage des Lernens aus eigenen Fehlern ist das Entdeckende Lernen (*learning by discovery*). Hierbei begegnen Schüler*innen offenen Problemstellungen, die gezielt zur Überforderung führen. Durch diese Überforderung sollen eigene Wissenslücken und Fehlkonzepte erkannt werden (Oser & Spychiger, 2005). Dieses Prinzip liegt auch dem *productive-failure*-Ansatz zugrunde (Kapur, 2008). *Productive failure* kann den PS-I (*problem-solving prior to instruction*) Ansätzen zugeordnet werden. Diese Ansätze haben gemein, dass der Lernprozess mit einer Problemlösephase bzw. Erkundungsphase startet und erst anschließend folgt eine Instruktionsphase durch die Lehrperson (González-Cabañes et al., 2023). Die Erkundungsphase dient zur Aktivierung des Vorwissens und zum Sammeln von

Ideen. Es geht über das aktuelle Wissen der Schüler*innen hinaus. In dieser Phase versuchen die Schüler*innen ein unbekanntes Problem mit ihrem vorhandenen Wissen zu lösen, was oft zu Fehlern und Misserfolgen führt – sie scheitern (*failure*). An die Phase des Scheiterns knüpft eine Phase der instruktionalen Unterstützung, in der typische fehlerhafte Lösungen besprochen werden, eine gemeinsame korrekte Lösung exemplarisch erarbeitet und Feedback gegeben wird. Der Erwerb von korrektem Wissen wird durch die Instruktionsphase (Erklärung, Anweisung oder Feedback) gewährleistet (Kapur & Bielaczyc, 2012).

Verschiedene Studien weisen auf die zahlreichen Vorteile von PS-I hin und legen nahe, dass es einen entscheidenden Einfluss auf das Lernen und die Motivation gibt (González-Cabañes et al., 2023). PS-I kann Schüler*innen dabei helfen Vorwissen zu aktivieren und abzugrenzen (Kapur & Bielaczyc, 2012), sowie eine Lernmotivation zu entwickeln (Belenky & Nokes-Malach, 2012). Studien zeigen, dass Schüler*innen, die nach dem PS-I-Ansatz unterrichtet werden, ein erhöhtes Interesse (Glogger-Frey et al., 2015; Weaver et al., 2018), ein tieferes Verständnis und einen besseren Wissenstransfer aufweisen als Schüler*innen, die mit direkten Instruktionen arbeiten (Kapur, 2014; Weaver et al., 2018). Zudem wird angenommen, dass PS-I besonders effektiv ist, wenn es in einer angeleiteten Form durchgeführt wird (González-Cabañes et al., 2023). Auch eine Studie von Kapur (2008) zum *productive-failure*-Ansatz legt nahe, dass eine stark angeleitete Form des Lernens die Problemlösekompetenz bei der konkreten Aufgabe verbessert. Die Wissensanwendung hingegen wird weniger stark gefördert. Dies bestätigt eine weitere Studie von Kapur und Bielaczyc (2012), bei der Schüler*innen im Mathematikunterricht, die Scheitern erlebten, bei den zu bearbeitenden Aufgaben schlechter abschnitten als die Gruppe der direkten Instruktion. Die Gruppe, die aus eigenen Fehlern gelernt hatte, erzielte jedoch signifikant bessere Ergebnisse im Nah- und Ferntransfer (Kapur & Bielaczyc, 2012). Loibl et al. (2017) betonen die entscheidende Rolle des Vorwissens im Lernprozess. Die Kombination aus der Aktivierung des vorhandenen Wissens und der Identifizierung von Wissenslücken führt zu besseren Lernergebnissen (Loibl et al., 2017). Laut Hartmann et al. (2020) trägt die Aktivierung des Vorwissens dazu bei, Informationen besser zu verarbeiten und sie effektiv in ähnlichen Problemsituationen abzurufen. Ein anfänglicher Misserfolg kann folglich zu einer verbesserten Identifikation, Organisation und Integration neuen Wissens führen (Hartmann et al., 2020).

2.2.6. Lernen aus fremden Fehlern

Im Gegensatz zum Lernen aus eigenen Fehlern, bei dem Schüler*innen ihre eigenen Fehler reflektieren und daraus lernen, konzentriert sich das Lernen aus fremden Fehlern darauf, aus den Fehlern anderer zu lernen, ohne sie selbst zu machen. Dieser Ansatz ermöglicht es den Schüler*innen von den Erfahrungen anderer zu profitieren, indem sie Fehler vermeiden, die bereits von anderen gemacht wurden und alternative Herangehensweisen erkennen, die zu erfolgreichen Ergebnissen führen können (Oser & Spychiger, 2005). Beim Lernen aus fremden Fehlern wird negatives Wissen aufgebaut (Spychiger, 2004). Beim Lernen aus fehlerhaften Beispielen wird den Schüler*innen schrittweise gezeigt, wie ein Problem gelöst werden kann, wobei absichtlich ein oder mehrere Schritte falsch dargestellt werden. Die Schüler werden

ermutigt, diese Fehler zu finden, zu erklären oder zu korrigieren, um den Lerninhalt zu vertiefen und entsprechende Fähigkeiten zu entwickeln (McLaren et al., 2012). Nach McLaren et al. (2012) müssen drei Bedingungen erfüllt sein, damit das Lernen aus fehlerhaften Beispielen einen positiven Effekt auf das Lernen hat. Erstens sollten die Fehler fiktive Beispiele sein, um zu verhindern, dass der Schüler bzw. die Schülerin durch Offenlegung der eigenen Fehler demotiviert wird. Überdies findet keine Bloßstellung anderer Schüler*innen statt. Zweitens sollten die fehlerhaften Beispiele interaktiv und ansprechend gestaltet sein. Dies kann beispielsweise durch computergestützte Materialien realisiert werden, die direktes Feedback geben. Schließlich ist es wichtig, dass die Beispiele an die individuellen Bedürfnisse des Schülers bzw. der Schülerin angepasst werden (McLaren et al., 2012). Die dargestellten Fehler sollten sich auf übergeordnete Fehlvorstellungen konzentrieren und nicht auf kleine Fehler (Durkin & Rittle-Johnson, 2012; McLaren et al., 2012). Das Lernen aus fremden Fehlern beinhaltet den Vergleich fehlerhafter Beispiele mit korrekten Lösungen (Oser & Spychiger, 2005). Dieser Ansatz bietet verschiedene Vorteile, wie beispielsweise die Vermeidung eigener Fehler und dadurch die Erhaltung des Selbstkonzepts der Schüler*innen (Ivancic & Hesketh, 2000). Außerdem reduziert sich durch das Zeigen häufig gemachter Fehler die Wahrscheinlichkeit, dass auch in Zukunft falsche Problemlösestrategien gewählt werden (Siegler, 2002). Eine wesentliche Bedingung für das erfolgreiche Lernen aus fremden Fehlern ist, dass die Fehler in einem relevanten Kontext für die Schüler*innen auftreten (Oser & Spychiger, 2005).

In zahlreichen Studien wurde das Lernen aus fehlerhaften Beispielen untersucht und es wurden positive Ergebnisse erzielt. In einer Studie von McLaren et al. (2012) zeigte sich, dass die Gruppe, die aus fremden Fehlern lernte, signifikant bessere Ergebnisse beim Rechnen mit Dezimalzahlen erzielte als die Kontrollgruppe, die lediglich Aufgaben lösen sollte und Feedback erhielt. Ebenso untersuchten Große und Renkl (2004), ob das Erklären von korrekten und inkorrekten Lösungsbeispielen einen Einfluss auf den Lernerfolg hat. Die Ergebnisse zeigten eine Lernwirksamkeit bei der Analyse inkorrekt gelöster Lösungsbeispiele unter der Bedingung eines ausreichend ausgeprägten Vorwissens. Da das Vorwissen eine Rolle spielt, wird empfohlen, im frühen Lernstadium mit korrekten Lösungsbeispielen und im fortgeschrittenen Lernstadium mit fehlerhaften Lösungsbeispielen zu arbeiten (Große & Renkl, 2004). Eine andere Möglichkeit, die insbesondere im frühen Lernstadium effektiv ist, ist das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen (*worked examples*) (Chen et al., 2023; Renkl, 2017). Bei diesem Ansatz erfolgt zunächst eine detaillierte Instruktionsphase, gefolgt von einer Phase, in der sich Schüler*innen mit Aufgaben und den entsprechenden Lösungsbeispielen auseinandersetzen. Dies ermöglicht es den Schüler*innen den Lösungsweg schrittweise nachzuvollziehen und fördert ein besseres Verständnis sowie kognitive Fertigkeiten. Erst danach folgt die Phase des eigenständigen Problemlösens (Renkl, 2014; Roelle et al., 2023). Im Vergleich zum Lernen aus fehlerhaften Beispielen beansprucht das Lernen mit *worked examples* weniger kognitive Ressourcen, was zu einem geringeren *Cognitive Load* führt und die Wissensspeicherung erleichtert (Chen et al., 2023; Roelle et al., 2023). Zahlreiche Studien belegen, dass das Lernen mit *worked examples* eine effektive

Lernmethode darstellt (Chen et al., 2023; Glogger-Frey et al., 2022; Renkl, 2017). Eine Möglichkeit, *worked examples* mit dem Lernen aus fehlerhaften Beispielen zu kombinieren, besteht darin, die Unterstützung durch die Lösungsbeispiele schrittweise zu reduzieren. Diese allmähliche Reduzierung leitet den Übergang zum eigenständigen Problemlösen ein (Atkinson et al., 2003; Roelle et al., 2023). Auch Renkl (2014) betont, dass es sinnvoll ist, zunächst mit *worked examples* zu arbeiten, bevor Schüler*innen zum selbstständigen Problemlösen angeregt werden.

Eine weitere Form des Lernens aus Fehlern ist das advokatorische Lernen aus Fehlern. Beim Lernen aus advokatorischen Fehlern geht es darum, aus den Fehlern, die in der Vergangenheit begangen wurden, zu lernen (Oser & Spychiger, 2005). Dies ermöglicht es beispielsweise, aus früheren, nicht rückgängig zu machenden Fehlern der Menschheit zu lernen. Diese Fehler werden oft von Generation zu Generation als Traditionswissen weitergegeben (Oser & Spychiger, 2005). Literarische Werke, z.B. Märchen, Legenden, Gedichte oder Filme spielen dabei eine entscheidende Rolle, da sie advokatorisches negatives Wissen für verschiedene Generationen aufbauen und weitergeben können. Somit ist es nicht zwingend erforderlich, die Konsequenzen aller politischen und gesellschaftlichen Fehler selbst zu erleben, da ein Lernprozess auch durch die Erfahrungen vergangener Generationen und anderer Länder stattfindet (Oser & Spychiger, 2005). Spychiger (2004) unterscheidet zwischen dem advokatorischen Lernen aus Fehlern in virtuellen Umgebungen und im realen Leben. Im virtuellen Bereich wird negatives Wissen durch die Erzählung fiktiver Geschichten erworben, während im realen Leben aus den Fehlern der unmittelbaren Erfahrungswelt gelernt wird. Ob das negative Wissen aus Fehlern in virtuellen Umgebungen oder im realen Leben stammt, ist dabei irrelevant (Klopp & Stark, 2020; Wagner et al., 2014).

2.2.7 Kombinationsansatz: Lernen aus eigenen und fremden Fehlern

Der Kombinationsansatz, der den *Produktive-Failure-Ansatz* von Kapur (2008) mit dem Lernen aus fehlerhaften Beispielen verbindet, ist ein relativ neuer Forschungsbereich, der von Loibl und Leuders (2019) untersucht wurde. In ihrer Studie analysierten sie, ob das Bearbeiten fehlerhafter Lösungsansätze und deren Vergleich mit korrekten Lösungen nach der Problemlösung das Verständnis von Brüchen im Mathematikunterricht verbessert (Loibl & Leuders, 2019). Beim Kombinationsansatz begannen die Schüler*innen zunächst eigenständig und ohne Unterstützungsangebote an einer Problemlöseaufgabe zu arbeiten. In der anschließenden Arbeitsphase sollten die Schüler*innen ihre Ergebnisse mit richtigen als auch falschen Lösungen vergleichen. Durch diese Vorgehensweise wird in der Erkundungsphase ein neutraler Raum für das Machen eigener Fehler geschaffen und in der anschließenden Phase der instruktionalen Unterstützung werden fremde Fehler analysiert (Loibl & Leuders, 2019). Die Ergebnisse der Studie von Loibl und Leuders (2019) deuten darauf hin, dass durch die Kombination des Lernens aus eigenen und fremden Fehlern der Lernerfolg gesteigert werden kann. Ihre Daten zeigen, dass der kombinierte Ansatz zu einem tieferen Verständnis grundlegender Konzepte führt als das ausschließliche Präsentieren korrekter Lösungsbeispiele (Loibl & Leuders, 2019).

2.2.8 Studienergebnisse des Lernens aus Fehlern im Vergleich

Die Ergebnisse von Studien sind nicht eindeutig, wenn es darum geht welcher der Ansätze den größeren Einfluss auf den Lernerfolg hat. Einige Studien zeigen, dass das Lernen aus eigenen Fehlern Vorteile bringt, insofern dies instruktional unterstützt wird (Hartmann et al., 2020; Kapur & Bielaczyc, 2012). Andere Studien aus dem Bereich der Lehrer*innenbildung und der Mathematik (Durkin & Rittle-Johnson, 2012; Klein et al., 2012) zeigen hingegen positive Effekte des Lernens aus fremden Fehlern auf den Lernerfolg. Eine Studie von Metcalfe und Xu (2017) untersuchte die Effekte des Lernens aus Fehlern auf den Lernerfolg anhand eines Gruppengesprächs, in der offene Fragen gestellt wurden, die von einem der drei Teilnehmer beantwortet werden sollten. Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass diejenigen, die aus eigenen Fehlern lernen, tendenziell einen höheren Lernerfolg aufweisen als diejenigen, die aus den Fehlern anderer lernen. Dies legt nahe, dass das Lernen aus eigenen Fehlern einen positiven Einfluss auf den Lernprozess hat (Metcalfe & Xu, 2017). Auch Ivancic und Hesketh führten 2020 einen direkten Vergleich beider Ansätze durch, um den Effekt von eigenen und fremden Fehlern auf das Können und die Einschätzung der eigenen Fähigkeiten zu untersuchen. Dies untersuchten sie in Settings zur Fahrsimulation. Eine Personengruppe musste einen schwierigen Trainingsparcours mit unvermeidbaren Fahrfehlern absolvieren, während die andere Gruppe anhand fehlerhafter Videobeispiele lernte. Die Gruppe, die eigene Fehler erlebte, zeigte eine verbesserte Fahrleistung und konnte Fehlervermeidungsstrategien besser nutzen, jedoch verringerte sich das Selbstvertrauen. Beim Lernen aus fremden Fehlern gab es nur eine geringfügige Verbesserung im Vergleich zur Gruppe, die fehlerfrei gelernt hat (Fahrvideos ohne Fehler). Diese Gruppe hatte jedoch Schwierigkeiten, Fehlervermeidungsstrategien auf neue Situationen anzuwenden. In Bezug auf die Selbstbewertung der eigenen Fähigkeiten gibt es keine Verminderung (Ivancic & Hesketh, 2000). Eine weitere Untersuchung zum Lernen aus Fehlern führte Kapur (2014) durch. In seiner Studie verglich er drei Schüler*innen-Gruppen. Für eine Gruppe nutzte er den *productive-failure-Ansatz*, eine andere Gruppe lernte aus fehlerhaften Beispielen und die dritte Gruppe lernte durch direkte Instruktionen. Die Ergebnisse zeigen, dass die *productive-failure-Gruppe* den größten Lernerfolg aufweist, gefolgt von der fremden Fehler Gruppe und der Instruktionsgruppe (Kapur, 2014). Sowohl die Studie von Ivancic und Hesketh (2020) als auch von Kapur (2014) zeigen, dass sowohl das Lernen aus eigenen als auch fremden Fehlern bessere Lernergebnisse erzielt als das fehlerfreie Lernen bzw. das Lernen mit der direkten Instruktion. Ivancic und Hesketh (2020) zeigen jedoch auch, dass das Lernen aus eigenen Fehlern das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten verringern kann.

In Bezug auf die Effektivität der verschiedenen Ansätze des Lernens aus Fehlern können demnach keine eindeutigen Schlüsse gezogen werden.

2.2.9 Bedingungsfaktoren beim Lernen aus Fehlern

Neben dem Erwerb von negativem Wissen beeinflussen verschiedene Faktoren, ob Fehler tatsächlich als Gelegenheiten zum Lernen genutzt werden. Die Art und Weise, wie Fehler

wahrgenommen werden - ob positiv oder negativ, ob sie motivierend oder frustrierend sind - hängt nicht nur von ihrem Auftreten in Lern- oder Leistungssituationen ab, sondern auch davon, wie das Umfeld reagiert, insbesondere Lehrpersonen und Mitschüler*innen (Prediger & Wittmann, 2009). Bisher wurde wenig Aufmerksamkeit auf die Unterschiede in den emotionalen und motivationalen Reaktionen der Lernenden auf Fehler und deren Auswirkungen auf die folgenden Lernprozesse gelegt (Oser & Spychiger, 2005; Tulis et al., 2016). Die hier vorliegende Masterarbeit hat dies zum Anlass genommen, sich näher mit diesen beiden Faktoren zu befassen und mögliche Auswirkungen zu erforschen. Schüler*innen tendieren dazu, Fehler zu vermeiden, da sie häufig mit negativen Reaktionen ihres Umfelds oder ungünstigen Konsequenzen verbunden sind, was zu einem negativen Affekt führen kann. Dies wird besonders im Moment der Fehlererkennung deutlich, da es zu verschiedenen Reaktionen wie Unsicherheit oder Scham führen kann. Diese Reaktionen sind von der Persönlichkeit und der Situation abhängig. Die Reaktion hat auch einen Einfluss auf die kognitive Verarbeitung. Enttäuschung oder Scham können lange anhalten und in extremen Fällen zu Vermeidungsverhalten oder ungünstigen Denkmustern in ähnlichen Situationen führen (Oser, 2007; Oser & Spychiger, 2005). Oser und Spychiger (2005) betonen, dass negative Emotionen beim Erwerb von negativem Wissen sehr nützlich sind. In einer Studie von Klein et al. (2005) wird der Zusammenhang zwischen der Ausschüttung von Dopamin (dem "Glückshormon") als Reaktion auf negatives Feedback und den Lernleistungen untersucht. Die Ergebnisse unterstützen die Aussage von Oser und Spychiger (2005), da eine geringere Dopaminausschüttung mit schwächeren emotionalen Reaktionen und einer geringeren Lernleistung einhergeht (Klein, 2015). Emotionen werden maßgeblich durch die eigene Reaktion oder die Reaktionen des Umfeldes beeinflusst. Oser und Spychiger (2005) unterscheiden zwei Arten von Reaktionen auf Fehler. Bei einer davon möchten Personen, die einen Fehler begangen haben, diesen in Zukunft vermeiden. Dabei ist es unerheblich, ob die Person selbst den Fehler entdeckt hat oder von anderen darauf hingewiesen wurde. Entscheidend ist vielmehr, wie mit dem Fehler umgegangen wird. Diese Handlungsweise in Bezug auf Fehlern sollte im schulischen Kontext vorrangig auftreten. Bloßstellungen, Vorwürfe oder Erniedrigungen durch Lehrpersonen oder Mitschüler*innen stellen hingegen einen unangemessenen Umgang mit Fehlern dar. Dadurch kann die Entwicklung von negativem Wissen blockiert werden. Fehler werden dann nicht mehr als Gelegenheit zum Lernen betrachtet, sondern als Anzeichen von Schwäche. Wird das Lernen aus Fehlern gezielt als Unterrichtsmethode eingesetzt, so kann dies zu starken negativen Emotionen und Vermeidungsverhalten führen, wenn Schüler*innen schlechten Vorerfahrungen haben (Oser & Spychiger, 2005). Wenn Schüler*innen befürchten, dass ihr Selbstkonzept durch eigene Fehler oder die Reaktionen anderer bedroht wird, kann der Lernprozess erschwert werden (Ivancic & Hesketh, 2000).

Um das Lernen aus Fehlern erfolgreich zu gestalten, ist ein umfassendes Feedback von entscheidender Bedeutung. Eine Studie von Mathan und Koedinger (2005) untersuchte den Einfluss metakognitiver Fähigkeiten auf das Lernen aus Fehlern. Sie kommen zu dem Schluss, dass Feedback beim Lernen aus Fehlern von entscheidender Bedeutung ist. Das Feedback soll

Schüler*innen auf die Anwendung von Fehlervermeidungsstrategien in verschiedenen Situationen vorbereiten und ihnen auch durch das Nachdenken über die Ursachen und Konsequenzen von Fehlern ein tieferes Verständnis für das Handeln vermitteln (Mathan & Koedinger, 2005).

Ein weiterer Faktor, der das Lernen aus Fehlern beeinflusst, ist die Selbstreflexion, die in einer Studie von Kopp, Stark und Fischer (2007) untersucht wurde. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass Fehler in Verbindung mit umfassendem Feedback die Informationsverarbeitung unterstützen können. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass Lernende gegen Ende des Lernprozesses möglicherweise weniger von Feedback profitieren, was zu ungünstigen emotionalen und motivationalen Reaktionen führen kann (Kopp et al., 2007).

Die kurz beleuchteten Studien bieten Hinweise für eine angemessene Integration des Lernens aus Fehlern in Ausbildungskontexten. Entscheidend für ein erfolgreiches Lernen aus Fehlern ist, dass die Lernumgebung der Anwendungssituation ähnelt. Beim Lernen aus fremden Fehlern sind authentische Problemstellungen und relevante Aufgaben wichtig, sodass eine Rollenübernahme stattfinden kann. Um sicherzustellen, dass der Fehler verstanden und die Entwicklung richtigen Wissens gefördert wird, ist es besonders wichtig, vor allem beim Lernen aus eigenen Fehlern, dass die korrekte Lösung oder ein Lösungsansatz präsentiert wird. Eine gründliche Fehleranalyse kann sicherstellen, dass verstanden wird, warum in der gegebenen Situation etwas falsch war (Klein, 2015).

2.3 Motivation

2.3.1 Motivation - Begriffsdefinition

Amann und Wipplinger (2011) definieren Motivation als einen psychischen Zustand (Bedürfnis, Impuls oder Wunsch), der uns dazu bringt etwas zu tun. Motivation ist der Antrieb für ein bestimmtes Verhalten und den nachfolgenden Handlungsprozess. Sie ist dafür verantwortlich, dass Menschen Handlungen wegen der erwarteten Auswirkungen ausführen (Amann & Wipplinger, 2011; Daumiller, 2021).

2.3.2 Motivation in der Schule

Motivation ist ein wichtiges Kriterium für den Lernerfolg, denn Lernen findet statt, wenn ausreichend Motivation zum Lernen vorhanden ist (Bosch, 2015; Daumiller, 2021). Praxisberichte und Forschungsarbeiten zeigen, einen positiven Zusammenhang zwischen Motivation und Leistungsentwicklung bzw. schulischem Erfolg (Howard et al., 2021; Murayama et al., 2013). Daumiller (2021) argumentiert, dass die Motivation und Art des Lernens, und weniger die Intelligenz, entscheidende Faktoren für die Leistungsentwicklung sind. Die Bedeutung der Motivation beim Lernen und beim Erreichen von Bildungszielen ist unbestreitbar. Sie spielt eine zentrale Rolle und ist eine der grundlegenden Bedingungen für lebenslanges Lernen. Zudem ist Motivation ein entscheidender Faktor für schulische

Leistungen, das Wohlbefinden in der Schule und die Entwicklung von Selbstbestimmung (Spinath, 2011).

2.3.3 Formen der Lernmotivation

Lernmotivation beschreibt die Bereitschaft eines Lernenden sich aktiv, beständig und wirksam mit ausgewählten Themen zu befassen, mit dem Ziel Wissen zu erweitern und Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten auszubauen (Krapp, 2003). Der Begriff Lernmotivation stellt hierbei einen Sammelbegriff für unterschiedliche Motivationsarten dar, die im Zuge des Lernprozesses von Bedeutung sind (Spinath, 2011). Motivationsformen, die nachhaltiges Lernen betreffen und somit mit einer längerfristigen Bereitschaft zum Kompetenzerwerb verbunden sind, sind für die Schule besonders interessant (Müller et al., 2009).

In der Forschung unterscheidet man grundlegend zwei Motivationsformen, die extrinsische und die intrinsische Motivation. Die Lernmotivation kann sowohl intrinsisch als auch extrinsisch motiviert sein (vgl. Abb. 2). Die **extrinsische Lernmotivation** ist eine Motivation, die durch äußere Anreize hervorgerufen wird. Die Erwartung von Belohnung (Geschenke bei guten Noten) oder das Vermeiden negativer Konsequenzen (Verbote bei schlechten Noten) sind Beispiele für Reize von außen (Müller et al., 2009; Vadlau, 2021). Bei der extrinsischen Lernmotivation steht nicht die Lernhandlung im Mittelpunkt, sondern die Aussicht auf die positiven bzw. negativen Konsequenzen. Lernende sind zum Beispiel extrinsisch motiviert, wenn Auseinandersetzungen mit den Unterrichtsthema nur dann passieren, weil negative Konsequenzen ausgehend von der Lehrperson oder den Eltern vermieden werden wollen (Deci & Ryan, 2002). Daher haben extrinsische Motivationsfaktoren meist einen stärkeren, aber kurzfristigeren Lerneffekt (Sobe, 2012). Unter der **intrinsischen Lernmotivation** versteht man das Handeln ohne die Notwendigkeit externer Reize. Die intrinsische Motivation kann auch als Freude am Handeln an sich beschrieben werden (Bosch, 2015; Müller et al., 2009). Das Interesse, das Fördern von persönlichen Entwicklungsmöglichkeiten, die Freiheit der selbstständigen Entscheidungsfindung und das Streben nach verantwortungsvollen Tätigkeiten sind Beispiele für intrinsische Faktoren (Sobe, 2012). Intrinsisch motiviert Lernende lernen, weil sie sich für das Themengebiet interessieren, ihre Fähigkeiten erweitern und Kompetenzen ausbauen möchten. Für die intrinsische Lernmotivation können sowohl Aktivitäten (Rechnen, Schreiben, ...) als auch Fächer bzw. einzelne Themengebiete von Bedeutung sein. Man spricht von Interesse, wenn eine dauerhafte intrinsische Motivation für einen Gegenstand, wie zum Beispiel ein Unterrichtsfach, besteht (Müller et al., 2009).

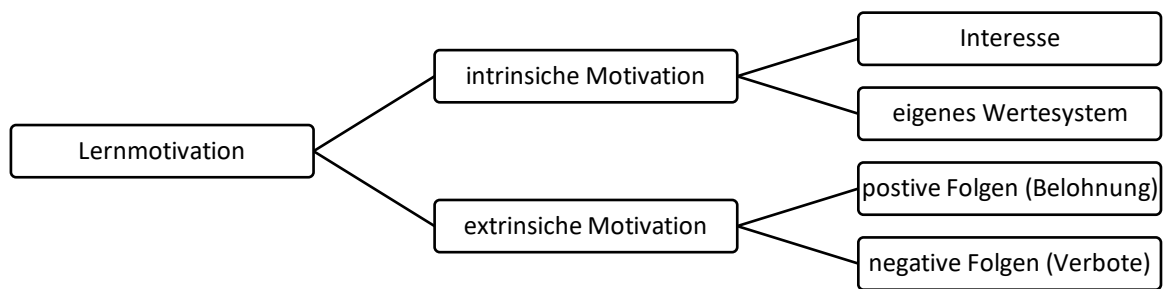


Abbildung 2: Übersicht der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Lernmotivation (eigene Darstellung)

Im schulischen Kontext und in Hinblick auf langfristige Verhaltensänderungen sollte die Förderung der intrinsischen Motivation forciert werden, da intrinsische Motivationsfaktoren von der Person ausgehen und unabhängig von äußeren Faktoren sind (Bosch, 2015).

Lernende, die aus einer intrinsischen Motivation heraus lernen sind meist zufriedener in ihrem Lernprozess (Müller et al., 2009), haben ein höheres Wohlbefinden (Howard et al., 2021; Müller et al., 2009), eignen sich das Wissen vielschichtiger und zusammenhängender an (Müller et al., 2009), weisen meist längere Behaltensleistungen auf (Deci & Ryan, 2002; Müller et al., 2009; Sobe, 2012) und wenden ihr Wissen öfter an, da sie sich als kompetenter wahrnehmen (Deci & Ryan, 2002; Müller et al., 2009).

Intrinsische Lernmotivation spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung einer fachlichen Identifikation mit schulischen Inhalten. Lernende, die langfristig ein Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern zeigen, neigen dazu, technische Berufe zu wählen oder ein Studium in naturwissenschaftlichen Bereichen anzustreben (Müller et al., 2009). Empirische Studien zeigen, dass beide Motivationsformen gemeinsam auftreten können (Deci & Ryan, 2002) und dass eine Kombination von intrinsischer und extrinsischer Motivation sogar eine positive Auswirkung auf die Leistung haben kann, insbesondere wenn ein Interesse am Lerninhalt besteht und gleichzeitig extrinsische Faktoren wie der Wunsch nach guten Noten eine Rolle spielen (Müller et al., 2009).

Es ist unwahrscheinlich, dass Schüler*innen in jedem Fach von sich aus intrinsisch motiviert sind. Daher werden im Schulsystem bzw. während des Unterrichts immer wieder externe Anreize erforderlich sein, um Motivation aufrechtzuerhalten (Müller et al., 2009).

2.3.4 Motivationstheorien und -förderung

Motivationstheorien setzen sich mit den Auslösern und Folgen von Motivation auseinander. Sie versuchen zu beantworten, warum und unter welchen Bedingungen Menschen bestimmte Handlungen setzen. Außerdem beschäftigen sie sich auch mit der Aufrechterhaltung und Förderung der Motivation (Vadlau, 2021). Die Motivationsforschung begann sich im späten 19. Jahrhundert als interdisziplinäre wissenschaftliche Disziplin zu etablieren. Aktuell lassen sich zwei große Forschungsansätze unterscheiden. Ein Ansatz umfasst kognitiv-handlungstheoretische Modelle, die darauf basieren, dass Motivation von der Erfolgserwartung und der Zielrealisierung abhängt. Das andere Forschungsparadigma umfasst

dynamische Persönlichkeitskonzepte, die annehmen, dass Motivation eng mit der Persönlichkeitsentwicklung zusammenhängt und Wechselwirkungen zwischen motivationalen und emotionalen Prozessen bestehen. Ein Beispiel hierfür ist die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (Hascher et al., 2020). Angesichts des positiven Einflusses der intrinsischen Lernmotivation auf den Lernerfolg ist es wichtig, sich Gedanken darüber zu machen, wie motivierender Unterricht gestaltet werden kann und welche allgemeinen Bedingungen dabei eine Rolle spielen. Im Folgenden wird die Selbstbestimmungstheorie genauer erläutert. Die Selbstbestimmungstheorie (*self-determination theory, SDT*) ist eine Motivationstheorie, welche von dem Psychologen Edward Deci und dem Psychiater Richard Ryan formuliert wurde. Sie beschreibt die Motivation der Menschen für das eigene Handeln (Deci & Ryan, 2002). In der Selbstbestimmungstheorie werden drei psychologische Grundbedürfnisse (*Basic needs*) für die Entstehung und Aufrechterhaltung von Motivation und Interesse als wesentlich angesehen (Müller et al., 2009). Die drei Grundbedürfnisse sind die Bedürfnisse nach Kompetenz (*competence*), Selbstbestimmung (*autonomy*) und sozialer Einbindung (*relatedness*) bzw. sozialer Zugehörigkeit (Deci & Ryan, 2002). Lernende wollen sich beim Bedürfnis nach **Kompetenz als wirksam und leistungsfähig** erleben. Sie möchten beim Lösen von Aufgabenstellungen ihre eigenen Fähigkeiten anwenden und diese erweitern (Deci & Ryan, 2002). Haben die Aufgaben ein adäquates Anforderungsniveau, so erleben die Schüler*innen nach Erledigung der Aufgabe ein Gefühl von Kompetenz. Dieses Kompetenzerleben steht im engen Zusammenhang mit der Generierung von Motivation (Linke, 2017; Müller et al., 2009). Auch informierende und lernförderliche Rückmeldung seitens der Lehrperson können das Kompetenzerleben verstärken (Deci & Ryan, 1993; Müller et al., 2009). Das **Bedürfnis nach Selbstbestimmung** umfasst das eigenständige Handeln der Schüler*innen, d.h. dass sie Initiatoren eigener Handlungen sein wollen (Bosch, 2015; Müller et al., 2009). Damit Schüler*innen im Unterricht einen möglichst hohen Grad an Autonomie erfahren, sollte man ihnen innerhalb eines begrenzten Raumes Wahlmöglichkeiten geben. Ein Beispiel hierfür wäre eine Aufgabenpool, wobei es den Lernenden selbst überlassen wird welche Aufgabe(n) sie erledigen. Die Wahlmöglichkeit trägt auch zum selbstbestimmten Handeln bei (Linke, 2017). Eine ebenfalls geeignete Unterrichtsmethode ist das forschende Lernen und Experimentieren (Müller et al., 2009), da neues Wissen durch selbstgesteuerte Aktivitäten generiert wird (Baur et al., 2022). Es wird deutlich, dass es verschiedene Wege gibt autonomiefördernde Lernumgebungen für Schüler*innen zu schaffen. Zusammenfassend kann man festhalten, dass Selbstbestimmung zur Entstehung und Aufrechterhaltung von intrinsischer Lernmotivation beitragen kann (Deci & Ryan, 1993). Der **Wunsch gut in ein soziales Umfeld eingebunden zu sein** und sich einer Gruppe zugehörig zu fühlen und von ihr anerkannt zu werden, wird als soziale Zugehörigkeit bezeichnet. Die Erfüllung dieses Bedürfnisses ist wichtig für das Wohlbefinden und für die Steuerung von Lernprozessen. Gefestigte Beziehungen innerhalb einer Gruppe und eine positive Beziehung zur Lehrperson, sowie eine freundliche Lernatmosphäre sind von großer Wichtigkeit, denn sie haben einen direkten Einfluss auf die Lernmotivation und in weiterer Folge auf die Leistung (Müller et al., 2009).

Deci und Ryan (2002) gehen davon aus, dass Lernmotivation durch diese drei Grundbedürfnisse gesteuert wird. Daher sollte ein für Lernende motivierender Unterricht so gestaltet sein, dass Schüler*innen ein gesundes Maß an Selbstbestimmung und Kompetenzerleben im Unterricht erfahren und dadurch die Lernmotivation gefördert wird (Ahmadi et al., 2023). Die Selbstbestimmungstheorie ist nicht nur für die Gestaltung von Lernsettings relevant, sondern auch weil Selbstbestimmung und Kompetenzerfahrungen Bildungsziele darstellen.

2.4 Emotion

2.4.1 Emotion - Begriffsdefinition

Zustände wie Freude, Verzweiflung, Euphorie, Ärger und Stolz begleiten uns täglich und werden unter dem Begriff Emotionen zusammengefasst. In Anbetracht der wesentlichen Rolle, die Emotionen in unserem Leben spielen würde man meinen, dass Emotionen in der Wissenschaft bestens erforscht sind (Eder & Brosch, 2017). Trotz der zentralen Rolle die Emotionen einnehmen, sind sie selten Bestandteil wissenschaftlicher Untersuchungen (Huber & Krause, 2017).

Historisch wurden Emotionen in der Wissenschaft oft als störende Einflüsse gesehen, die das rationale Denken beeinflussen und überlegtes Handeln verhindern. Diese Ansicht hat sich grundlegend geändert. Derzeit werden Emotionen als Reaktionen auf bedeutsame Herausforderungen in der Umwelt gesehen. Trotz dieser Auffassung fehlt es der Wissenschaft an einer allgemein akzeptierten, exakt definierten und einheitlichen Definition des Emotionsbegriffes (Eder & Brosch, 2017). Eder und Brosch (2017) schaffen eine Begriffsdefinition, die bewusst allgemein formuliert ist, um eine Integration verschiedener emotionspsychologischer Forschungsansätze zu ermöglichen. Zeitgleich gelingt es dieser Definition, Emotionen von ähnlichen Konzepten wie Motivation, Einstellung, emotionale Disposition klar abzugrenzen. Sie definieren Emotionen als „eine auf ein bestimmtes Objekt ausgerichtete affektive Reaktion, die mit zeitlich befristeten Veränderungen des Erlebens und Verhaltens einhergeht“ (Eder & Brosch, 2017, S. 188). Gemäß dieser Definition weisen Emotionen drei wesentliche Merkmale auf: Affektivität (Gefühlscharakter), Intentionalität (Objektgerichtetheit) und zeitliche Dynamik (Eder & Brosch, 2017). Eine Definition von Meyer und Schützwohl (1993) beschreibt Emotionen als aktuelle Zustände von Personen, die sich in ihrer Art und Intensität unterscheiden und üblicherweise auf ein Objekt gerichtet sind. Das Erleben von Emotionen ist mit charakteristischem Erleben, physiologischen Veränderungen und Verhaltensweisen verbunden (Meyer & Schützwohl, 1993). Selbst in dieser früheren Definition sind die drei wesentlichen Merkmale, wie sie von Eder und Brosch (2017) definiert wurden, erkennbar. Emotionen und Motivationen unterscheiden sich hinsichtlich der Art der Bezugsobjekte. Während Motivation sich stets auf ein Streben nach einen zukünftigen Zielzustand bezieht, können sich Emotionen auch auf vergangene Bezugsobjekte beziehen. Ein Beispiel hierfür wäre die Freude über einen zurückliegenden schulischen Erfolg. Emotionen und Motivationen können jedoch nicht klar voneinander getrennt werden, da Emotionen auch

Motivatoren sein können (Eder & Brosch, 2017). Emotionen erfüllen verschiedene Funktionen, die dazu beitragen das Verhalten und die Anpassung an die Umwelt zu steuern. Die Funktionen von Emotionen sind von persönlichen Unterschieden und dem Kontext abhängig. Eder und Brosch (2017) beschreiben vor allem drei zentrale Funktionen von Emotionen: informative Funktion, motivierende Funktion und soziale Funktion.

2.4.2 Kontroll-Wert-Theorie der Leistungsemotionen

Emotionen nehmen in schulischem Kontext eine wesentliche Rolle ein. Neben allgemeinen Emotionen wie der Freude am Schulbesuch oder am Lernen gibt es auch fachspezifische Emotionen, beispielsweise die Freude am Biologieunterricht (Gläser-Zikuda et al., 2022). Von besonderer Bedeutung sind die sogenannten Leistungsemotionen (*achievement emotions*) bei Schüler*innen (Frenzel et al., 2015). Sie beziehen sich auf unterschiedliche Emotionen, die im Zusammenhang mit lern- und leistungsbezogenen Unterrichtsaktivitäten sowie den daraus resultierenden Ergebnissen (Erfolg oder Misserfolg) erlebt werden (Gläser-Zikuda et al., 2022; Pekrun, 2006). Da die Unterrichtsaktivitäten meist Lernaktivitäten sind, werden Lernemotionen oft als ein Teil von Leistungsemotionen angesehen (Frenzel et al., 2015).

Das Vorhandensein von Emotionen hat entscheidende Auswirkungen auf Lern- und Leistungsprozesse. Emotionen haben einen Einfluss auf viele kognitive Prozesse, die zentral für das Lernen und die Leistungsfähigkeit angesehen werden. Sie lenken Aufmerksamkeit, formen Motivation, beeinflussen Prozesse im Arbeitsgedächtnis, wirken sich auf die Speicherung und den Abruf von Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis aus, unterstützen bei der Speicherung und dem Abruf von Material aus dem Langzeitgedächtnis und fördern die Anwendung von Lern- und Problemlösestrategien (Pekrun, 2018). Eine zentrale Theorie in der pädagogisch-psychologischen Forschung ist die Kontroll-Wert-Theorie der Leistungsemotionen (*Control-Value Theory of Achievement Emotions*, CVT) von Pekrun (2006). Sie stellt eine der umfangreichsten Theorien im schulischen sowie akademischen Kontext dar (Pieper, 2020). Sie basiert auf der Annahme, dass Emotionen in eine überschaubare Anzahl von diskreten Kategorien unterteilt werden kann und zielt darauf ab, die Entstehung und Wirkung von Emotionen im Zusammenhang mit Lern- und Leistungssituationen zu erklären (Pekrun, 2006; Pieper, 2020). Emotionen von Lernenden und ihre Auswirkungen sind sehr umfassend. Wenn es um das subjektive Erleben von Emotionen geht, ist der Zusammenhang von Valenz (positiv vs. negativ) und Aktivierung (aktivierend vs. deaktivierend) bedeutend. Pekrun (2006) legt diesen Zusammenhang in seiner Theorie ausführlich dar. Der enge Zusammenhang von Valenz und Aktivierung führt zu einer zweidimensionalen Klassifikation von Leistungsemotionen, die vier Kategorien von Emotionen unterscheidet. Diese Kategorien sind positiv-aktivierend, negativ-aktivierend, positiv-deaktivierend und negativ-deaktivierend. Beispiele für jede Kategorie sind in Abbildung 3 gemäß Pekrun (2006) aufgeführt.

	<i>positiv</i>	<i>negativ</i>
<i>aktivierend</i>	Freude, Hoffnung, Stolz, Aufregung	Ärger, Angst, Scham, Frustration
<i>deaktivierend</i>	Erleichterung, Entspannung, Ruhe	Langeweile, Hoffnungslosigkeit, Enttäuschung

Abbildung 3: Zweidimensionale Klassifikation der Leistungsemotionen (nach Pekrun, 2006)

2.4.3 Einfluss von Emotionen auf das Lernen

Emotionen beeinflussen Lernprozesse. So können positiv-aktivierende Emotionen die Schüler*innen dabei unterstützen weiter zu lernen, während positiv-deaktivierende Emotionen zu einer vorübergehenden Verlangsamung des Lernprozesses führen. Langfristig haben jedoch beide Kategorien einen positiven Einfluss auf das Lernen. Negativ-aktivierende Emotionen können den Lernprozess ebenfalls positiv beeinflussen, indem sie dabei helfen, Schwierigkeiten zu überwinden. Zudem motivieren sie Schüler*innen dazu, größere Bemühungen zu unternehmen, um Misserfolge zu vermeiden (Pekrun, 2018). Die Kontroll-Wert-Theorie betrachtet vier Schlüsselmechanismen als besonders relevant für Lernprozesse: Lernmotivation, Aufmerksamkeit, Gedächtnisprozesse und die Anwendung von Selbstregulation und Lernstrategien (Pekrun, 2018). In Abbildung 4 sind die Wirkungen von Emotionen auf Lernen und Leistung, die nachfolgend genauer ausgeführt werden, übersichtlich dargestellt.

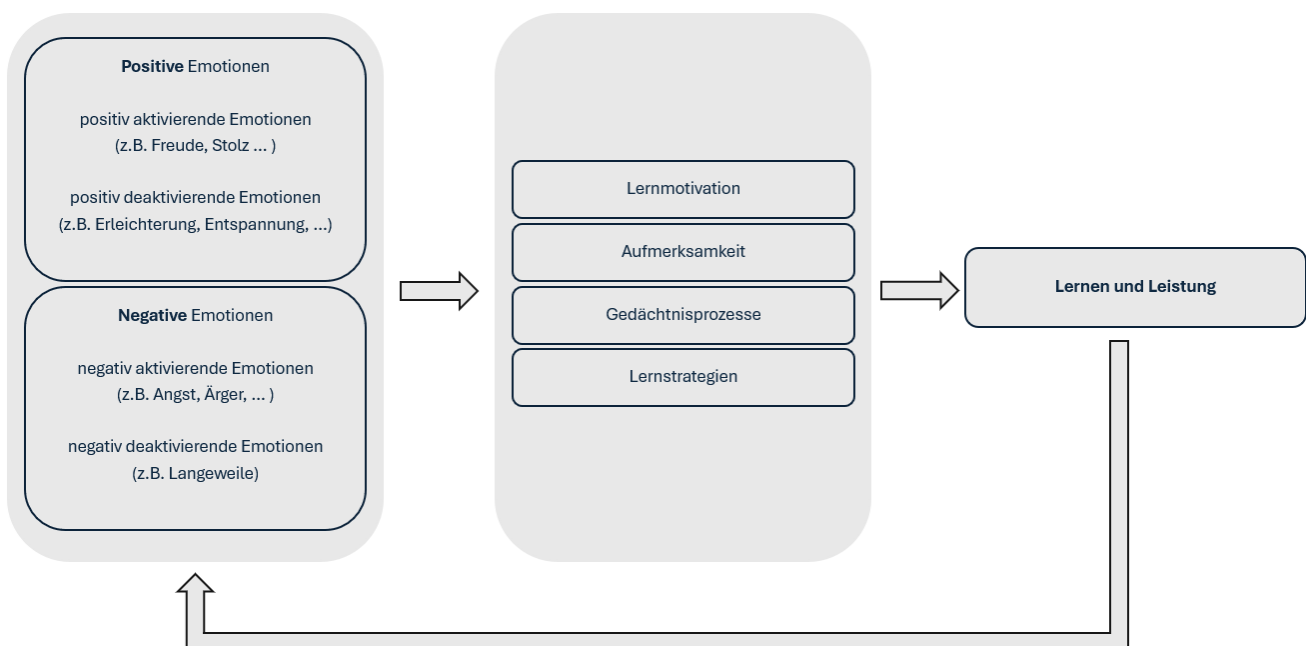


Abbildung 4: Wirkungen von Emotionen auf Lernen und Leistung (nach Pekrun, 2018)

2.4.3.1 Wirkung von Emotionen auf Lernmotivation

Emotionen haben einen entscheidenden Einfluss auf Lernprozesse. Sie beeinflussen nicht nur die intrinsische Motivation zum Lernen, die auf Interesse und Freude basiert, sondern können auch die extrinsische Motivation beeinflussen, indem sie die Bereitschaft zur Investition von Lernanstrengungen erhöhen (Frenzel et al., 2015; Pekrun, 2018). Ergebnisse aus empirischen Studien zur intrinsischen Motivation verdeutlichen, dass positive Emotionen wie Lernfreude, Hoffnung und Stolz positiv mit intrinsischer Lernmotivation und Interesse korrelieren (Pekrun et al., 2002). So können positiv-aktivierende Emotionen die Schüler*innen dabei unterstützen weiter zu lernen, während positiv-deaktivierende Emotionen zu einer vorübergehenden Verlangsamung des Lernprozesses führen. (Pekrun et al., 2002; Pieper, 2020). Langfristig haben jedoch beide Kategorien einen positiven Einfluss auf das Lernen (Pekrun, 2018). Im Gegensatz dazu zeigen negative Emotionen wie Ärger, Angst und Langeweile eine negative Auswirkung auf die intrinsische Lernmotivation (Pekrun et al., 2002). Für eine umfassende Beurteilung der Gesamtmotivation ist es entscheidend auch die extrinsische Lernmotivation in Betracht zu ziehen (Pekrun, 2006). Bei einer umfassenden Betrachtung der Motivation zeigt sich, dass negativ-aktivierende Emotionen den Lernprozess positiv beeinflussen können, indem sie dabei helfen, Schwierigkeiten zu überwinden. Zudem motivieren sie Schüler*innen dazu, größere Bemühungen zu unternehmen, um Misserfolge zu vermeiden (Pekrun, 2018; Pieper, 2020). Negativ-deaktivierende Emotionen senken die Gesamtmotivation (Pekrun, 2018). Sie vermitteln dem Lernenden das Gefühl, dass die gestellten Aufgaben die erworbenen Fähigkeiten übersteigen. Es hindert die Lernenden daran, an der Aufgabe weiterzuarbeiten oder sich weiterhin mit der Thematik auseinanderzusetzen (Pekrun, 2018; Pieper, 2020).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sowohl positive als auch negative Emotionen einen positiven Einfluss auf die Lernmotivation haben können. Die Valenz spielt im Hinblick auf die Gesamtmotivation keine ausschlaggebende Rolle. Vielmehr ist es von Bedeutung, die unterschiedlichen motivationalen Funktionen verschiedener Emotionen zu berücksichtigen. Dennoch gibt es bestimmte Emotionsgruppen, die im Regelfall positive Auswirkungen auf die Lernmotivation haben (Pekrun, 2018).

2.4.3.2 Wirkung von Emotionen auf Gedächtnisprozesse

Die Einflüsse von Emotionen auf die Speicherung und den Abruf von Informationen aus dem Gedächtnis sind komplex und abhängig vom Lernmaterial. Sowohl positive als auch negative Emotionen können konkrete Gedächtnisprozesse unterstützen, was zu einer vielseitigen Einflussnahme auf das Lernverhalten führt (Frenzel et al., 2015; Pekrun, 2018). So erinnern sich Lernende an positive sowie negative Inhalte (z.B. Bilder und Texte) als an neutrale Ereignisse (Frenzel et al., 2015). Auch kann Material leichter abgerufen werden, wenn es die gleiche Valenz hat wie die jeweiligen Emotionen. Freude begünstigt beispielsweise den Abruf optimistischer Leistungserwartungen, während negative Emotionen eher zu Misserfolgserwartungen führen. Außerdem können negative Emotionen hilfreich für das

Lernen von isolierten Informationen (z.B. Vokabeln) sein, während positive Emotionen das Lernen von kohärentem Material unterstützen (Pekrun, 2018).

2.4.3.3 Wirkung von Emotionen auf Aufmerksamkeit

Lern- und leistungsbezogene Emotionen lenken die Aufmerksamkeit auf das Objekt der Emotion und beanspruchen dabei kognitive Ressourcen (Frenzel et al., 2015; Pekrun, 2018). Positive aufgabenbezogene Emotionen wie Lernfreude oder Neugierde helfen dabei, den Fokus auf die Aufgabe zu richten und führen zu einer Leistungssteigerung (Pekrun, 2018; Frenzel, 2015). Eine Studie ergab eine positive Korrelation zwischen Lernfreude und Konzentration, was wiederum mit einer verbesserten Leistung einhergeht (Götz, 2004). Hingegen lenken negative Emotionen wie Ärger, Angst und Langeweile während des Lernprozesses die Aufmerksamkeit von der eigentlichen Aufgabe ab, sodass die beanspruchten kognitiven Ressourcen nicht für die Bearbeitung der Aufgabe genutzt werden können (Frenzel et al., 2015; Pekrun, 2018). Eine Studie von Götz (2004) bestätigte negative Korrelationen zwischen Ärger und Konzentration. Es lässt sich schlussfolgern, dass Emotionen kognitive Prozesse beim Lernen maßgeblich beeinflussen können. Grundsätzlich mindern negative Emotionen die Aufmerksamkeit, während positive Emotionen für den Lernprozess förderlich sind, sofern sie sich auf die Aufgabe beziehen. Beziehen sich positive Emotionen nicht auf die Aufgabe, so kann die Aufmerksamkeit für das Lernen reduziert sein. Daher ist es wichtig, die Freude am Lernen zu fördern; da eine gute Stimmung innerhalb der Klasse nicht genüge, insofern sie nicht auf die jeweilige Aufgabenstellung ausgerichtet ist (Pekrun, 2018). In Bezug auf den Einfluss von Emotionen auf die Aufmerksamkeit lässt sich festhalten, dass Emotionen einen wesentlichen Einfluss auf kognitive Lernprozesse ausüben können. Im Allgemeinen verringern negative Emotionen die Aufmerksamkeit, während positive Emotionen, wenn sie mit der Aufgabe in Verbindung stehen, förderlich für die Aufmerksamkeit und in weiterer Folge für den Lernprozess und die Erbringung von Leistung sind. Wenn sich positive Emotionen jedoch nicht auf die Aufgabe beziehen, kann dies die Aufmerksamkeit für das Lernen reduzieren. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die Begeisterung für das Lernen bzw. den Inhalt zu fördern; denn eine positive Stimmung während des Unterrichts reicht nicht aus, wenn sie nicht auf die jeweilige Aufgabenstellung bezieht (Pekrun, 2018).

2.4.3.4 Wirkung von Emotionen auf Lernstrategien

Auch die Anwendung von Lernstrategien wird durch das Vorhandensein von Emotionen beeinflusst (Frenzel et al., 2015; Pekrun, 2018). Positive Emotionen unterstützen die Problemlösefähigkeit und die Ideenfindung, während negative Emotionen ein detailorientiertes, analytisches und kritisches Denken fördern (Frenzel et al., 2015). Überdies beeinflussen Emotionen die Selbstregulation des Lernens. Laut Pekrun (2006) fördern positive Emotionen einen selbstregulierten Ansatz beim Lernen. Negative Emotionen hingegen begünstigen das Befolgen extern vorgegebener Regeln, z.B. durch die Lehrperson.

2.4.4 Berücksichtigung von Emotionen im Unterricht

Erfolgreiches und nachhaltiges Lernen erfordert die Berücksichtigung von Emotionen, da sie die Konzentration, Lernmotivation und Gedächtnisleistungen beeinflussen können (Pekrun, 2018). Im Folgenden werden einige Vorschläge zur Förderung positiver und Reduktion negativer Emotionen im Lernprozess vorgestellt.

2.4.4.1 Einflussnahme auf Kontrollkognitionen

Damit Schüler*innen positive subjektive Kontrollüberzeugungen entwickeln können ist wichtig, dass sie selbst Kontrolle erleben und Kontrolle über die Ergebnisse ihrer Handlungen haben. Im Unterricht kann dies durch eine klare Strukturierung des Unterrichts realisiert werden. Eine klare Strukturierung bedeutet, den Lernenden kurz- und langfristige Inhalts- und Zeitpläne vorzulegen bzw. Stundenabläufe bzw.-ziele zu kommunizieren. Auch die Gestaltung von Lerngelegenheiten ist für die positive subjektive Kontrollüberzeugung wichtig. Während freien Arbeitsphasen oder bei Projekten können die Schüler*innen z.B. selbst aussuchen, welche Themen sie bearbeiten möchten. Auch die selbstständige Strategiewahl und individuelle Zielsetzungen, sowie die klare Trennung zwischen Erarbeitungsphasen und Prüfungsphasen trägt zum Kompetenzerleben bei. Die klare und eindeutige Formulierung von Erwartungen und Zielen ist es weiterer wichtiger Aspekt des Kompetenzerlebens (Frenzel et al., 2015; Götz et al., 2007).

2.4.4.2 Einflussnahme auf Wertkognitionen

Wenn Leistungsergebnisse im Unterricht als besonders bedeutsam angesehen werden, können sie sowohl positive als auch negative Emotionen bei Schüler*innen verstärken. Daher ist es wichtig, bei Leistungsrückmeldungen primär auf kompetitive Rückmeldungen zu verzichten und stattdessen individuelle oder kriteriumsbezogene Rückmeldungen zu verwenden. Auf diese Weise stehen die konkreten Leistungen weniger im Vordergrund (Frenzel et al., 2015). Weiteres ist es für Werteüberzeugungen wichtig, die Bedeutung von Lernaktivitäten und Arbeitsprozessen stärker in den Vordergrund zu rücken. Dies fördert positive Emotionen bei den Schüler*innen. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Aufgabenstellung an der Lebenswelt der Schüler*innen zu orientieren oder Wahlmöglichkeiten beim Bearbeiten von verschiedenen Aufgaben stellen zwei Möglichkeiten dar (Frenzel et al., 2015; Götz et al., 2007).

2.4.4.3 Unterstützung bei der Emotionsregulation

Im schulischen Kontext können negative Leistungseemotionen nicht vermieden werden. Daher ist es von großer Bedeutung, dass Schüler*innen die Fähigkeit besitzen, entsprechend mit diesen Emotionen umzugehen und eine Emotionsregulationskompetenz entwickeln (Frenzel et al., 2015). Eine hohe Emotionsregulationsfähigkeit geht mit erhöhter Produktivität und besseren schulischen Leistungen einher. Angesichts der zahlreichen Einflussfaktoren von Emotionen und deren Einfluss auf den schulischen Alltag ist es wichtig, die Entwicklung emotionaler Kompetenzen im schulischen Umfeld zu fördern (Petermann & Wiedebusch, 2016). Lehrkräfte können dabei eine besonders effektive Rolle spielen, indem sie

Schüler*innen gezielt im Umgang mit Emotionen in Bezug auf schulische Herausforderungen unterstützen (Frenzel et al., 2015).

Um die Regulation von Emotionen im schulischen Kontext zu unterstützen, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Besonders im Fokus der Förderung stehen die Sensibilisierung für und der angemessene Ausdruck von Emotionen. Lehrkräfte sollten dazu ermutigen, dass Schüler*innen ihre Gefühle ausdrücken und zu offenen Gesprächen über Emotionen anregen (Petermann & Wiedebusch, 2016). Ein weiterer bedeutender Aspekt ist die Fähigkeit, emotionale Reaktionen zu kontrollieren. Des Weiteren ist die Vermittlung von Wissen über Leistungsemotionen von großer Relevanz. Dies kann beispielsweise durch die Erweiterung des Emotionsvokabulars sowie durch die Erklärung der Auswirkungen von Emotionen auf Lernprozesse und Leistung erfolgen (Götz et al., 2007).

2.4.4.4 Vorleben leistungsförderlicher Emotionen

Einen wichtigen Einfluss auf Emotionen und in weiterer Folge auf erfolgreiches Lernen und Leisten haben die Lehrpersonen. Zeigen Lehrpersonen positive Emotionen im Zusammenhang mit Lernen und Leistung, so erleben Schüler*innen vermehrt positive Emotionen beim Lernen. Götz, Frenzel und Pekrun (2007) sprechen hierbei von emotionaler Ansteckung. Das Erleben von positiven Emotionen, z.B. Freude wird Einfluss auf die Freude der Lernenden haben. Laut Götz, Frenzel und Pekrun (2007) erleben Lehrpersonen dann positive Emotionen, wenn eine Begeisterung für das Fach besteht und kontinuierlich versucht wird, die Art und Weise der Themenvermittlung, zu optimieren. Dies kann durch eine flexible und kreative Anpassung des Unterrichts an die spezifischen Anforderungen der Klasse erfolgen. Lehrkräfte haben weiteres die Möglichkeit, einen positiven Umgang mit eigenen Fehlern und Unzulänglichkeiten vorzuleben sowie ihre eigenen Bemühungen, ihre Emotionen zu regulieren, als Lernerfahrung für die Schüler*innen zu nutzen (Frenzel et al., 2015). Lehrkräfte fungieren somit als emotionale Vorbilder in vielerlei Hinsicht (Götz et al., 2007).

2.5 Forschungsdesiderat

Das praktische Experimentieren ist ein zentraler Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Rohrmann et al., 2022). Durch das Durchführen von Experimenten können Schüler*innen den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn nachvollziehen und selbst anwenden (Kremer et al., 2019). Die VKS ist beim Experimentierprozess essenziell, da sie eindeutige Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zulässt (Brandenburger et al., 2022). Schüler*innen begehen Fehler in allen Phasen des Experimentierprozesses (Rohrmann et al., 2022). Vor allem bei der Planung und Durchführung begehen die Schüler*innen verschiedene Fehler, die eng mit der Anwendung der VKS zusammenhängen (Hamman et al., 2008; Hamman et al., 2006; Rohrmann et al., 2022; Scheuermann, 2017). Fehler sind in den meisten Lernprozessen unvermeidbar (Zhang & Fiorella, 2023). Unter den richtigen Bedingungen können sie aber als Lernchance angesehen werden (Althof, 1999; Metcalfe, 2017; Prediger & Wittmann, 2009).

Beim Lernen aus Fehlern gibt es verschiedene Ansätze, wie das Lernen aus eigenen Fehlern (Kapur, 2008), das Lernen aus fremden Fehlern (Oser & Spychiger, 2005; Stark et al., 2010) oder ein kombinierter Ansatz (Loibl & Leuders, 2019). Studien zeigen, dass sowohl das Lernen aus eigenen Fehlern (Hartmann et al., 2020; Kapur & Bielaczyc, 2012) als auch das Lernen aus fremden Fehlern (Durkin & Rittle-Johnson, 2012; Klein et al., 2012) positive Auswirkungen auf den Lernerfolg haben kann. Bis dato gibt es jedoch noch keine Studien, die den Zusammenhang zwischen dem Erwerb der Experimentierkompetenz und den verschiedenen Lehr-Lern-Ansätzen z.B. Lernen aus Fehlern oder Lernen mit *worked examples* umfassend untersuchen.

Motivation und Emotion beeinflussen Lernprozesse (Deci & Ryan, 2002; Frenzel et al., 2015). Während positive Emotionen, wie Lernfreude oder Hoffnung, positiv mit Lernmotivation korrelieren, wirken sich negative Emotionen, wie Ärger, Angst und Langeweile, nachteilig auf die Lernmotivation aus (Pekrun et al., 2002). In Zusammenhang mit dem Lernen aus Fehlern wurden diese beiden Faktoren bislang wenig berücksichtigt. Zhang und Fiorella (2023) betonen, dass motivationale und emotionale Aspekte das Lernen aus Fehlern beeinflussen können. Über diese komplexen Zusammenhänge gibt es derzeit nur unzureichende empirische Arbeiten, die jedoch darauf hindeuten, dass die Motivation und Emotion der Schüler*innen eine wichtige Rolle beim Lernen aus Fehlern spielen (Zhang & Fiorella, 2023). Um ein vollständiges Bild zu erhalten und das Lernen aus Fehlern im Schulkontext effizienter zu gestalten, sollten auch motivationale und emotionale Prozesse beim Lernen aus Fehlern im Zusammenhang mit der VKS berücksichtigt werden. Diese Masterarbeit untersucht die Aspekte von Motivation und Emotion im Kontext des Lernens aus Fehlern und der Variablenkontrollstrategie. Ziel ist es, ein tieferes Verständnis für das Erlernen der Variablenkontrollstrategie durch das Lernen aus Fehlern zu entwickeln sowie die Einflussfaktoren von Motivation und Emotion genauer zu analysieren, um bestehende Forschungslücken zu schließen.

3. Forschungsfragen und Hypothesen

Die Forschungsfragen basieren auf bestehenden theoretischen Konstrukten und früheren Forschungsergebnissen. Unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstands wurden sie entwickelt, um spezifische Aspekte der Motivation und Emotion im Kontext des Lernens aus Fehlern und der Variablenkontrollstrategie zu untersuchen. Ziel ist es mit Hilfe einer experimentellen Interventionsstudie, bestehende Forschungslücken zu schließen und ein tieferes Verständnis in diesem Bereich zu ermöglichen.

3.1 Forschungsfragen & Hypothesen

1. Gibt es motivationale Unterschiede beim Lernen in der Sekundarstufe 1, abhängig davon, ob aus eigenen Fehlern, fremden Fehlern, einer Kombination aus eigenen und fremden Fehlern oder ohne spezifischen Fehlerfokus gelernt wird?
2. Gibt es emotionale Unterschiede beim Lernen in der Sekundarstufe 1, abhängig davon, ob aus eigenen Fehlern, fremden Fehlern, einer Kombination aus eigenen und fremden Fehlern oder ohne spezifischen Fehlerfokus gelernt wird?
3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen motivationalen Unterschieden beim Lernen aus eigenen und/oder fremden Fehlern sowie beim Lernen ohne Fehlerfokus und dem tatsächlichen Lernerfolg in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie?
4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen emotionalen Unterschieden beim Lernen aus eigenen und/oder fremden Fehlern sowie beim Lernen ohne Fehlerfokus und dem tatsächlichen Lernerfolg in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie?

Hypothese 1

Es gibt gruppenspezifische Unterschiede in Bezug auf die Motivation während der Intervention. Die Eigene-Fehler Gruppe und die Kombinationsgruppe, die eigenständig Experimente durchführen, haben einen größeren Lernerfolg, da das eigenständige Experimentieren eine größere Motivation bei den Schüler*innen hervorruft.

Nullhypothese 1

Die Eigene-Fehler Gruppe und die Kombinationsgruppe weisen den gleichen Lernerfolg auf, da das eigenständige Experimentieren keine größere Motivation bei den Schüler*innen hervorruft.

Hypothese 2

Es gibt gruppenspezifische Unterschiede in Bezug auf die erlebten Emotionen während der Intervention. Die Schüler*innen der Fremde-Fehler Gruppe (und der Keine-Fehler Gruppe) erleben weniger negative Emotionen während der Intervention, da sie aus fremden Fehlern lernen und somit nicht mit ihrem eigenen Misserfolg konfrontiert werden.

Nullhypothese 2

Es gibt keine gruppenspezifischen Unterschiede in Bezug auf die erlebten Emotionen während der Intervention. Die Konfrontation mit den eigenen Fehlern und dem Misserfolg in der Eigene-Fehler-Gruppe sowie in der Kombinationsgruppe führt nicht zu einem stärkeren Erleben von negativen Emotionen im Vergleich zu anderen Gruppen.

Hypothese 3

Es gibt einen Zusammenhang zwischen Motivation und tatsächlichem Lernerfolg. Schüler*innen, die während der Interventionsstudie eine höhere Motivation zeigen, erzielen einen höheren Lernerfolg in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie.

Nullhypothese 3

Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Motivation der Schüler*innen und ihrem tatsächlichen Lernerfolg während der Interventionsstudie. Die Motivation hat demzufolge keinen Einfluss auf den Lernerfolg in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie.

Hypothese 4

Es gibt einen Zusammenhang zwischen erlebten Emotionen und tatsächlichem Lernerfolg. Schüler*innen, die während der Interventionsstudie positive Affekte erleben, haben einen höheren Lernerfolg in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie.

Nullhypothese 4

Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den erlebten Emotionen und dem tatsächlichen Lernerfolg der Schüler*innen in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie während der Interventionsstudie. Das Erleben von positiven Affekten hat demnach keinen Einfluss auf den Lernerfolg in Bezug auf die Variablenkontrollstrategie.

4. Material und Methoden

Diese Arbeit ist Teil einer größeren Interventionsstudie, die im Zuge des LeFeEx-Projekts (Lernen aus eigenen und fremden Fehlern beim Erwerb von Experimentierkompetenz) im Lehr-Lern-Labor des AECC Biologie an der Universität Wien durchgeführt wurde. Neben dem tatsächlichen Lernerfolg in Bezug auf die VKS, der Motivation und Emotion, die im Rahmen dieser Arbeit ausführlicher beschrieben werden, wurden unter anderem noch Daten zum selbst empfundenen Lernerfolg und dem *Cognitive Load* erhoben, die Gegenstand einer zweiten Masterarbeit waren.

4.1 Stichprobe und Studiendesign

An der experimentellen Interventionsstudie nahmen 292 Schüler*innen aus zwölf städtischen Allgemeinbildenden höheren Schulen (AHS) der Jahrgangsstufen sieben und acht teil. Die Schüler*innen waren im Alter von 11 bis 15 Jahren ($M_{\text{Alter}} = 12,8$; $SD = 0,7$; männlich 52,06 %; weiblich 40,07 %; divers 1,71 %; keine Angabe 6,16 %).

In einem randomisierten 2x2-faktoriellen experimentellen Design wurden die Faktoren Lernen aus eigenen Fehlern und Lernen aus fremden Fehlern miteinander kombiniert, sodass die an der forschend-lernenden Unterrichtsintervention teilnehmenden Schüler*innen in vier Gruppen eingeteilt wurden. In jeder Gruppe befanden sich zwischen 63 und 73 Schüler*innen. In Tabelle 1 befindet sich eine Übersicht über das experimentelle Studiendesign, aus der die Fokuse der verschiedenen Gruppen ersichtlich werden. Bei drei Gruppen lag der Fokus auf dem Lernen aus Fehlern. Die Eigene-Fehler Gruppe („Gruppe 1“) lernte nur aus eigenen Fehlern und die Fremde-Fehler Gruppe („Gruppe 2“) lernte nur aus fremden Fehlern, während die Kombinationsgruppe („Gruppe 3“) sowohl aus eigenen als auch fremden Fehlern lernte. Bei der Keine-Fehler Gruppe („Gruppe 4“) gab es keinen Fokus auf das Lernen aus Fehlern.

Tabelle 1: Übersicht über das experimentelle Studiendesign der LeFeEx-Studie am Lehr-Lern-Labor AECC Biologie

		Lernen aus fremden Fehlern (Experimente von fiktiven Charakteren)	
		✓	X
Lernen aus eigenen Fehlern (Experiment selbst durchführen)	✓	Kombinationsgruppe (n = 66)	Eigene-Fehler Gruppe (n = 73)
	X	Fremde-Fehler Gruppe (n = 69)	Keine-Fehler Gruppe (n = 63)

Die Eigene-Fehler Gruppe (n = 73; männlich 54,43 %; weiblich 39,73 %; keine Angabe 6,85 %) arbeitete mit zwei eigens geplanten Experimenten (vgl. Abschnitt 4.3.3.1). Ein Experiment wurde aufgebaut und durchgeführt, während das zweite Experiment aus Zeitgründen ausschließlich skizziert wurde. Die Kombinationsgruppe (auch „Lernen aus eigenen und

fremden Fehlern Gruppe“; n = 66; männlich 54,55 %; weiblich 36,36 %; divers 4,55; keine Angabe 4,55 %) arbeitete sowohl mit einem eigenen Experimentaufbau als auch mit Bildmaterial eines fiktiven fehlerhaften Experiments (vgl. Abschnitt 4.3.3.3). Die Fremde-Fehler Gruppe (n = 69; männlich 52,17 %; weiblich 43,49 %; keine Angabe 4,35 %) arbeitete mit zwei fehlerhaften Aufbauten von fiktiven Charakteren, wobei es sich einmal um einen fehlerhaften Realaufbau und einmal um Bildmaterial handelte (vgl. Abschnitt 4.3.3.2). Alle drei Gruppen erhielten eine Musterlösung, die sie mit ihren eigenen bzw. den fremden Fehlern vergleichen und die Vorgehensweise analysieren sollten. Die Keine-Fehler Gruppe (n = 63; männlich 53,97 %; weiblich 41,27 %; divers 1,59 %; keine Angabe 3,16 %), bei der es keinen Fokus auf dem Lernen aus Fehlern gab, lernte mittels theoretischem Experimentierunterricht. Dieser Gruppe stand ein korrekter Realaufbau des Experiments und Bildmaterial zur Verfügung, die sie jeweils analysieren sollten (vgl. Abschnitt 4.3.3.4). In der nachstehenden Darstellung (Abbildung 5) befindet sich eine Übersicht der Gruppen.



Abbildung 5: Übersicht der vier Gruppen der LeFeEx-Interventionsstudie mit Gruppennamen, Schwerpunkten und einer kurzen Beschreibung der gruppenspezifischen Materialien (eigene Darstellung)

4.2 Studienverlauf

Die klassische Interventionsstudie im Pre-Post-Follow-Up Design setzte sich aus vier Abschnitten zusammen, die insgesamt fünf Unterrichtseinheiten à 50 Minuten umfassten. Diese Arbeit nutzt lediglich die Daten des Pre- und Post-Tests. Der Follow-up-Test sowie dessen Ergebnisse werden in der vorliegenden Masterarbeit nicht berücksichtigt.

Der Pre-Test fand etwa eine Woche vor der Intervention am Schulstandort der teilnehmenden Schulklasse statt. Er wurde im Rahmen einer 50-minütigen Unterrichtseinheit durchgeführt. Im Pre-Test wurde das Vorwissen zur Variablenkontrolle erhoben (Schwichow et al., in revision). Zudem wurden die Häufigkeiten praktischer Arbeitsweisen im Unterricht sowie die Selbsteinschätzung der eigenen Experimentierkompetenz erfragt. Darüber hinaus wurden demografische Daten wie Alter, Geschlecht und Zeugnisnoten in den naturwissenschaftlichen Fächern (Biologie und Umweltbildung, Physik und Chemie) sowie in Deutsch und Mathematik erhoben (s. Anhang S. 82 - 86).

Die Unterrichtsintervention und der anschließende Post-Test wurden im Lehr-Lern-Labor des AECC Biologie an der Universität Wien durchgeführt. Die Unterrichtsintervention dauerte zwei Unterrichtseinheiten und wurde von Lehramtsstudierenden der Universität Wien im Rahmen eines fachdidaktischen Seminars durchgeführt. Um Effekte auf die interne Validität so gering wie möglich zu halten, wurden die Lehramtsstudierenden ausführlich instruiert und mit einem detaillierten Skript ausgestattet, das alle relevanten Informationen zur Studie, wie etwa Begrüßung, Erklärungen und Ablauf sowie mögliche Antworten für antizipierte Schüler*innenfragen, enthielt. Die Studierenden wurden dazu angehalten, sich strikt an das vorgegebene Skript zu halten. Zusätzlich gab es bei jeder Interventionsgruppe eine Studienüberwachung, die Abweichungen und andere Auffälligkeiten protokollierte. Durch eine genaue Planung und detaillierte Vorbereitung wurde die Studie so durchgeführt, dass die interne Validität im Rahmen der vorgegebenen Möglichkeiten maximiert wurde.

Im Post-Test wurden die Schüler*innen erneut mithilfe eines VKS-Tests (Schwichow et al., in revision) zu ihrem Wissen in Bezug auf die VKS befragt. Im VKS-Test waren zusätzlich VKS-Items basierend auf dem in der Interventionsstudie durchgeführten Experiment integriert. Überdies wurden die intrinsische Motivation (Deci & Ryan, 2021), das emotionale Befinden nach der Fehleranalyse (Breyer & Bluemke, 2016; Watson & Clark, 1988), der *Cognitive Load* und der subjektiv empfundene Lernerfolg erhoben (s. Anhang S. 87 – 88; S. 146 - 147).

Ein Follow-up-Test fand sechs bis acht Wochen nach der Intervention am Schulstandort statt. Im Follow-up-Test waren ein gekürzter VKS-Test (Schwichow et al., in revision) und ein abgewandelter VKS-Test mit dem Experiment aus der Intervention enthalten. Außerdem wurde erneut der subjektiv empfundene Lernerfolg erhoben (nicht Gegenstand dieser Masterarbeit).

4.3 Materialien der Intervention

Grundlage für die Materialien der Intervention waren die Arbeiten von Schmidt (2016), Lui (2021) und Scholtes (2021). Schmidt (2021) befasste sich mit der Modellierung experimenteller Kompetenzen sowie ihrer Diagnostik und Förderung im Biologieunterricht. Lui (2021) und Scholtes (2021) bauten auf dieser Arbeit auf und legten den Fokus auf die Förderung der Experimentierkompetenz beim Lernen aus Fehlern. Die Materialien wurden an die Ausstattung des Lehr-Lern-Labors des AECC Biologie der Universität Wien angepasst, um einen möglichst reibungslosen Arbeitsablauf zu ermöglichen.

4.3.1 Experiment der Intervention

Im Experiment der Interventionsstudie wird die Wärmeisolierung von verschiedenen Materialien untersucht. Genauer wird die Fähigkeit zur Wärmeisolierung von Daunenfedern und Schafwolle geprüft (Wolle-Daunen-Experiment). Thematisch wird das Experiment in den Kontext der Anpasstheit von Tieren an kalte Temperaturen eingebettet. Sowohl Vögel als auch Säugetiere sind endotherm. Es ist daher wichtig, den Körper im Winter vor dem Unterkühlen zu schützen und die Körperkerntemperatur möglichst konstant zu halten. Durch diese Kontextualisierung wird die Relevanz des Themas für die Schüler*innen verdeutlicht. Zudem schafft der Bezug zu einem motivierenden Kontext einen Anreiz für das Lernen (Klauer & Leutner, 2012).

Für das Experiment müssen neun Variablen konstant gehalten werden. Es darf ausschließlich das Isoliermaterial (Wolle und Daunen) variiert werden. Durch die Konzeption des Experiments und das hohe Fehlerpotential bei der Anwendung der VKS wird eine gute Ausgangslage für das Lernen aus Fehlern geschaffen.

Bei Durchführung des Experiments gemäß der VKS wird stets darauf geachtet, dass die gleichen Becher- bzw. Reagenzgläser und die gleiche Menge an Material (Eis, Wasser, Isolationsmaterial) für beide Versuchsaufbauten verwendet wird. Weiters muss auf die Ausrichtung der Behältnisse und die Position des Thermometers bei der Messung geachtet werden. Die großen Bechergläser werden mit Eiskwürfeln gefüllt, um die kalte Umgebung darzustellen. Die kleineren Bechergläser mit Daunenfedern bzw. Schafwolle, welche die Isolationschicht der Tiere darstellten, werden mittig in die großen Bechergläser gestellt. Die mit Wasser befüllten Reagenzgläser dienen zur Simulation der Körperkerntemperatur. Die Veränderung der Körperkerntemperatur kann mit einem Digitalthermometer gemessen werden. Eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 6 abgebildet.

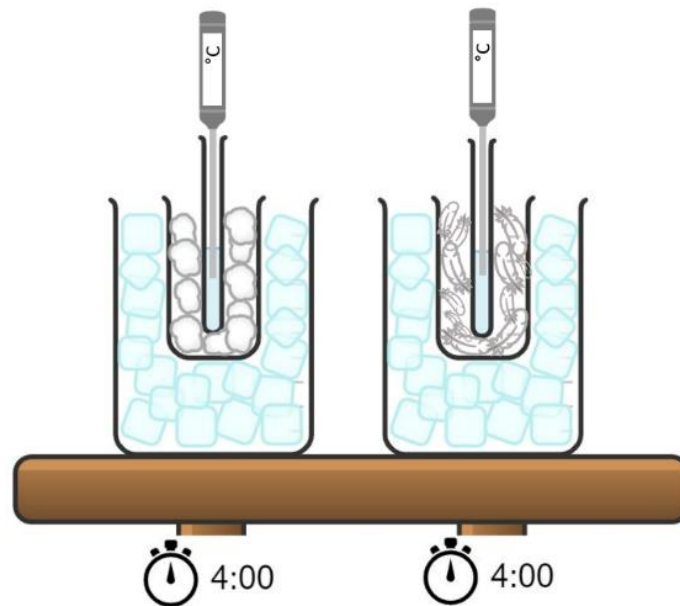


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Experimentalaufbaus des Wolle-Daunen-Experiments gemäß der VKS (eigene Darstellung mit Chemix.org erstellt)

Wird das Experiment korrekt durchgeführt, so kann beobachtet werden, dass Daunenfedern besser isolieren als Schafwolle. Grund hierfür ist, dass es zwischen den Daunenfedern mehr luftgefüllte Hohlräume als zwischen der Schafwolle gibt. Ergänzend lässt sich feststellen, dass es verschiedene erfolgreiche Strategien im Tierreich gibt, um sich an das kalte Klima anzupassen bzw. kalte Perioden zu überdauern. Das kann neben der Ausbildung von Daunenfedern, Wolle oder Fell auch eine dicke Schicht aus fetthaltigem Gewebe sein.

4.3.2 Auswahl des Experiments

Beim Experiment handelt es sich um eine angeleitete Form des forschenden Lernens, bei der Forschungsfragen, Hypothesen, eine schematische Zeichnung und Experimentmaterialien vorgegeben sind, jedoch keine Hinweise auf die VKS enthalten sind. Das Experiment ist so gestaltet, dass ein Zuwachs an experimentellen Fähigkeiten und der Fähigkeit zur Anwendung der VKS durch das Lernen aus Fehlern möglich ist.

Die Auswahl des Experiments orientiert sich an den Kriterien für geeignete Schülerexperimente von Barke et al. (2018). Die wichtigsten Anforderungen für die Interventionsstudie werden im Folgenden kurz erwähnt. Ein Experiment sollte motivierend sein und auf den vorhandenen Kenntnissen der Schüler*innen aufbauen. Zudem sollte es einen relevanten Sachverhalt behandeln und innerhalb einer angemessenen Zeitspanne durchführbar sein. Eine hohe Wahrscheinlichkeit des Gelingens und ein eindeutiges Ergebnis sind außerdem Kriterien für geeignete Schülerexperimente (Barke et al., 2018).

Schwichow et al. (2015) untersuchten in ihrer Studie mögliche Lernumgebungen, um die VKS gezielt zu fördern. Diese Kriterien wurden ebenfalls bei der Auswahl des Experiments berücksichtigt. Um die VKS gezielt zu unterstützen, sollte den Lernenden mehr Material als notwendig zur Verfügung gestellt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Schüler*innen selbstständig die Variablen und ihre Ausprägung festlegen. Des Weiteren wird betont, dass der Fokus auf der Umsetzung der VKS liegen sollte und andere vermeidbare Schwierigkeiten

vernachlässigt werden sollten. Wie auch Barke et al. (2018) betonen sie die Klarheit des Experimentausgangs (Schwichow et al., 2015).

Ein ähnliches Experiment zur Wärmeisolierung von Tieren mit Wolle und Fett wurde bereits als Schülerexperiment durchgeführt und hat sich als geeignet für die Förderung der VKS durch das Lernen aus Fehlern erwiesen (Schmidt, 2016). So konnten die Schüler*innen bei Schmidt (2016) das Experiment gut umsetzen und es kam zu einem Zuwachs experimenteller Kompetenzen.

4.3.3 Weitere Lernmaterialien der Intervention

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, erhalten die Schüler*innen der Interventionsstudie am Anfang allgemeine Anweisungen und werden in vier verschiedene Gruppen eingeteilt. Die verschiedenen Gruppen werden räumlich separiert und erhalten nun gruppenspezifische Anweisungen zur Interventionsstudie. Die Arbeitsmaterialien werden den Schüler*innen in Form von Laborbüchern ausgeteilt. Auf dem Deckblatt befindet sich eine kurze Information über die Intervention. Dort tragen die Schüler*innen auch ihren persönlichen Code ein, der zur Identifizierung der Testpersonen bei Mehrfachtestungen oder Verknüpfung mit anderen Fragebögen dient. Er soll eine möglichst hohe Anonymität der Testpersonen gewährleisten. Weiterhin erhält jede Gruppe speziell auf ihren Fokus zugeschnittene Arbeitsmaterialien. Die Arbeitsmaterialien der Gruppen bestehen stets aus zwei getrennten Arbeitsheften und hängen vom jeweiligen Fokus der Gruppen ab.

Bei der Bearbeitung des Materials begegnen die Schüler*innen verschiedenen fiktiven Charakteren. Tina ist eine fiktive Schülerin, die in ihrem experimentellen Ansatz zum Wolle-Federn-Experiment Fehler in Bezug auf die VKS macht. Der fiktive Schüler Tom hingegen hat beim Wolle-Daunen-Experiment den richtigen Ansatz und dient als Musterlösung. Arian und Medine stellen in manchen Arbeitsmaterialien Ideen zum Wolle-Fett-Experiment vor und bilden die Grundlage für weiterführende Aufgabenstellungen. In dieser Studie werden bewusst fiktive Charaktere eingesetzt, um keine realen Schülerinnen vorzuführen. Mc Laren (2012) befürwortet die Nutzung von fiktiven Charakteren beim Lernen aus fehlerhaften Beispielen, da es anderenfalls zu negativen Auswirkungen auf die Motivation und Emotion kommen kann.

4.3.3.1 Arbeitsmaterialien der Eigene-Fehler Gruppe

In diesem Abschnitt wird das Material für die Eigene-Fehler Gruppe beschrieben. Sie hat einen Fokus auf das Lernen aus eigenen Fehlern und führt das Experiment selbstständig durch.

Im Material 1 befindet sich ein einleitender Text zur Anpassbarkeit der Tiere an kalte Temperaturen. Außerdem lesen die Schüler*innen die vorformulierte Forschungsfrage und die Hypothesen. Sie verschaffen sich mit einer Materialliste einen ersten Überblick über das Experiment und lesen sich im Zuge dessen auch die Hilfestellung einer fiktiven Schülerin durch. Bevor sie das Experiment aufbauen, müssen die Schüler*innen der Eigene-Fehler Gruppe den Aufbau skizzieren und in ganzen Sätzen begründen. Beim Aufbau des Experiments können die

Schüler*innen eigenständig entscheiden, welche Materialien sie verwenden und sind daher auch verantwortlich für die Variablen(-ausprägungen). Sie führen den Versuch durch und notierten Messwerte in einer vorgegebenen Tabelle. Danach beantworten sie Fragen zur Position des Thermometers während der Messung, sie deuten das Experiment und reflektieren zum ersten Mal über mögliche Fehler. Den Schüler*innen wird noch ein weiteres Experiment eines fiktiven Schülers vorgestellt. Er stellt das Fett-Wolle-Experiment theoretisch vor. Die Schüler*innen sollen erneut einen Aufbau skizzieren, ihn begründen und über mögliche Fehler reflektieren.

Im weiteren Verlauf bekommen die Schüler*innen die Musterlösung zum Wolle-Daunen-Experiment eines fiktiven Schülers, welcher auch konkrete Tipps zur Umsetzung der VKS beim Experimentieren gibt. Sie sollen nun die Musterlösung mit dem selbst durchgeführten Wolle-Daunen-Experiment und dem ausschließlich skizzierten Wolle-Fett-Experiment vergleichen und ihre eigenen Fehler analysieren. Abschließend werden sie dazu aufgefordert Fehlervermeidungsstrategien zu entwickeln.

4.3.3.2 Arbeitsmaterialien der Fremde-Fehler Gruppe

Der Fokus der Fremde-Fehler Gruppe liegt auf dem Lernen aus fremden Fehlern. Das Lernen aus Fehlern wird in dieser Studie anhand fehlerhafter Lösungsbeispiele umgesetzt. Durkin und Rittle-Johnson (2012) oder Hammann (2003) weisen auf den Erfolg fehlerhafter Lösungsbeispiele hin.

Die Fremde-Fehler Gruppe startet sowie die Eigene-Fehler Gruppe mit dem einleitenden Text der Forschungsfrage, den Hypothesen der Materialliste und der Hilfestellung einer fiktiven Schülerin. Die Fremde-Fehler Gruppe nutzt anders als die Eigene-Fehler Gruppe anschließend einen realen, fehlerhaften Versuchsaufbau einer fiktiven Schülerin. Die Schüler*innen untersuchen den fehlerhaften Versuchsaufbau und beantworten Fragen zum Aufbau. Außerdem analysieren sie den experimentellen Aufbau der fiktiven Schülerin und arbeiten Fehler heraus. Wie in der Eigene-Fehler Gruppe lesen die Schüler*innen die Idee eines fiktiven Schülers zum Fett-Wolle-Experiment. Die Schüler*innen bekommen fehlerhaftes Bildmaterial zum Aufbau und müssen erneut Aufgaben zum experimentellen Ansatz beantworten und über Fehler reflektieren. Danach bekommen sie den richtigen Versuchsaufbau eines fiktiven Schülers (Musterlösung) inklusive seiner Messergebnisse. Sie müssen eine Aufgabe zur Deutung des Experiments lösen und bekommen Tipps zur Umsetzung der VKS beim Experimentieren. Abschließend analysieren die Schüler*innen die Korrektheit der beiden fehlerhaften Experimente von fiktiven Schüler*innen.

4.3.3.3 Spezifische Arbeitsmaterialien der Kombinationsgruppe

Die Kombinationsgruppe lernt sowohl aus eigenen als auch fremden Fehlern. Das Arbeitsmaterial enthält demnach Elemente der Arbeitsmaterialien der Eigene- und Fremde-Fehler Gruppen.

Die Kombinationsgruppe startet sowie die bereits beschriebenen Gruppen mit dem einleitenden Text, der Forschungsfrage, den Hypothesen, der Materialliste und der Hilfestellung einer fiktiven Schülerin. Anschließend skizzieren sie das Wolle-Daunen-Experiment und führen es anschließend eigenständig durch. Danach beantworten sie Fragen zur Position des Thermometers während der Messung, sie deuten das Experiment und reflektieren zum ersten Mal über mögliche Fehler. Dieser Abschnitt des Arbeitsmaterials ist identisch zu dem der Eigene-Fehler Gruppe. Nun bekommen sie ein Bild eines fehlerhaften Experimentaufbaus und werden dazu aufgefordert, den Wolle- und Federnansatz miteinander zu vergleichen und über gemachte Fehler nachzudenken. Dieser Abschnitt ist auch in der Fremde-Fehler Gruppe zu finden. Anschließend bekommen die Schüler*innen Tipps zur Umsetzung der VKS beim Experimentieren von einem fiktiven Schüler. Sie reflektieren sowohl eigene Fehler, die sie beim Experimentieren begangen haben, als auch über fremde Fehler einer fiktiven Schülerin.

4.3.3.4 Spezifische Arbeitsmaterialien der Keine-Fehler Gruppe

Die Schüler*innen der Keine-Fehler Gruppe beschäftigen sich nur theoretisch mit dem Erwerb der VKS und haben keinen Fokus auf das Lernen aus Fehlern.

Im Material 4 befindet sich ein einleitender Text zur Anpassung der Tiere an kalte Temperaturen. Außerdem lesen die Schüler*innen die vorformulierte Forschungsfrage und die Hypothesen. Sie verschaffen sich mit einer Materialliste einen ersten Überblick über das Experiment und lesen sich im Zuge dessen auch die erste Idee eines fiktiven Schülers durch. Anschließend bekommen sie den richtigen Versuchsaufbau dieses fiktiven Schülers (Musterlösung) inkl. seiner Messergebnisse. Sie müssen die Aufgaben zur Deutung des Experiments und zum experimentellen Aufbau lösen. Im Material 4 wird auch das Fett-Wolle-Experiment theoretisch vorgestellt, auch hierzu müssen die Schüler*innen Aufgaben zum experimentellen Aufbau lösen. Abschließend bekommen die Schüler*innen noch Tipps, die bei der Anwendung der VKS beim Experimentieren stets beachtet werden sollten. Die Aufgaben zum Aufbau geben Auskunft über den Kenntnisstand der Schüler*innen und ermöglichen einen Vergleich zwischen den Gruppen.

Damit die Lerneinheiten aller Gruppen zirka gleich lange dauern, beschäftigen sich die Schüler*innen der Keine-Fehler Gruppe zusätzlich mit dem Moschus-Ochsen. Der Arbeitsauftrag zum Moschus-Ochsen steht in keinem Zusammenhang mit der VKS.

4.3.4 Pilotierung des Experiments und der Arbeitsmaterialien

Eine erste Pilotierung des Experiments wurde von Lui (2021) im Rahmen eines Verbundprojekts der Universität des Saarlandes und der Universität Wien durchgeführt. Sie zieht den Schluss, dass sich das Experiment aufgrund der bereits beschriebenen Auswahlkriterien von Barke et al. (2018) und Schwichow et al. (2015) für eine Interventionsstudie eignet (Lui, 2021). Um einen reibungslosen Ablauf sicherzustellen, wurden die Interventionsmaterialien mit einer kleineren Schülerinnen- und Schüleranzahl auch am AECC Biologie getestet. An der Pilotierung nahmen 64 Schüler*innen der Jahrgangsstufen

sieben und acht teil ($M_{\text{Alter}} = 12,85$; $SD = 0,8$). Basierend auf den Ergebnissen ersetzen wir analoge durch digitale Thermometer und ergänzen schriftliche Erklärungen des Schülerexperiments mit einer Skizze.

4.4 Erhebungsinstrumente

Das Erhebungsinstrument der Studie ist ein Paper-Pencil Fragebogen, welcher im Wesentlichen das quantitative Instrument der gesamten Studie darstellt. Für diese Arbeit sind drei Testkonstrukte mit mehreren Items relevant. In Tabelle 2 sind die für diese Arbeit relevanten Testkonstrukte samt ihrer Skalen und Beispielitems angeführt. Der gesamte verwendete Fragebogen findet sich im Anhang dieser Arbeit (S. 82 - 154).

Tabelle 2: Übersicht der im Fragebogen verwendeten Testkonstrukte, ihren Skalen und Beispielitems

Testkonstrukt	Skala	Beispielitem
Variablenkontrollstrategie	Gekürzter VKS-Test nach Schwichow et al. (<i>in revision</i>)	Plane ein Experiment, mit dem sich überprüfen lässt, ob die Konzentration der Salzsäure die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst.
Intrinsische Motivation	<i>Intrinsic Motivation Inventory</i> (IMI) nach Deci und Ryan (2021)	Die Aufgabe hat mir Spaß gemacht.
Emotionales Befinden nach der Fehleranalyse	deutsche Version der <i>Positive and Negative Affect Schedule</i> (PANAS) nach Breyer und Bluemke (2016) engl. Originalversion Watson et al. (1988)	Wie fühlst du dich nach den Aufgaben? Beispielantworten: aktiv; interessiert; nervös; durcheinander

4.4.1 Variablenkontrollstrategie-Testheft

Zur Erfassung des Verständnisses der Variablenkontrolle beim Experimentieren kommt ein gekürzter Paper-Pencil-Test zur VKS zum Einsatz (Schwichow et al., *in revision*). Der ursprüngliche Test wurde von einem interdisziplinären Team, bestehend aus Fachdidaktiker*innen naturwissenschaftlicher Fächer und Psycholog*innen entwickelt. Der Test wurde im Vorfeld der Intervention so adaptiert, dass daraus drei gekürzte VKS-Testhefte für die drei Testzeitpunkte (Pre-, Post- und Follow-up-Test) entstanden sind. Jeder Schüler bzw. jede Schülerin erhält zu jedem Zeitpunkt ein anderes Testheft, wobei durch eine gewisse Anzahl von gleichen Items (sog. Anker-Items) eine Vergleichbarkeit gewährleistet ist. Eine systematische Kombination aus Fachkontexten und Teilfähigkeiten lässt die Untersuchung von Transfereffekten der Intervention über zwei Dimensionen (Fachkontexte versus Teilfähigkeiten) zu.

In dem Test sind Aufgaben zu naturwissenschaftlichen Fachkontexten (Biologie, Chemie, Physik) und zu alltagsbezogenen Situationen enthalten. In Tabelle 3 ist eine Zusammenfassung der Items in den jeweiligen Testheften zu finden. Die Testversionen A, B und C enthalten pro Testzeitpunkt vier Fachkontexte zu je vier Items, woraus sich in Summe 16 Items ergeben.

Jeder Kontext umfasst mit jeweils einem Multiple-Choice-Item eine Teilfähigkeit der VKS (Chen & Klahr, 1999): 1) Planen von kontrollierten Experimenten (PL), 2) Erkennen kontrollierter Experimente (ID), 3) Ergebnisinterpretation kontrollierter Experimente (IN) und 4) Verständnis über die fehlende Aussagekraft unkontrollierter Experimente (UN) (Chen & Klahr, 1999).

Tabelle 3: Übersicht der im Testheft A, B und C enthaltene Items zu je einem Ankerkontext mit 4 Items.

Testheft A	Testheft B	Testheft C
Photosynthese (Bio1)	Reaktionsgeschw. (Chem1)	Leitfähigkeit (Chem3)
Wasser kühlen (Phys1)	Lebensraum von Asseln (Bio2)	Lebensraum von Asseln
pH-Wert (Chem2)	Starker Strom (Phys2)	Pendel (Phys3)
Besen (Allg1)	Besen (Allg1)	Muffins backen (Allg2)

Bei jedem Item müssen die Schüler*innen die Tauglichkeit des Experiments in Bezug auf die Anwendung der VKS im entsprechenden Kompetenzbereich bewerten. Jedes Experiment wird mit einem kurzen Text eingeleitet, der sowohl wichtige Grundlagen als auch die im Experiment vorkommenden Variablen beschreibt und graphisch darstellt. Weiteres wird am Ende dieses Blattes das angenommene Grundwissen in dem Fach allgemein und spezifisch in Bezug auf den Kontext des Experiments mit einer sechsstufigen Likert-Skala abgefragt. Darauf folgend wird das Wissen zu den vier Teilfähigkeiten in der Reihenfolge ID, PL, IN und UN abgefragt. In Abbildung 7 ist eine Planungsaufgabe zum Fachkontext Chemie exemplarisch dargestellt.

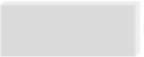
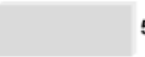
Reaktionsgeschwindigkeit		PL-CHE-1b	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob die Konzentration der Salzsäure die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst.			
Kreuze hierfür bei „Reaktion 1“ und „Reaktion 2“ an, wie du Zerteilungsgrad, Konzentration und Temperatur wählen würdest.			
Reaktion 1		Reaktion 2	
☐  5g Zinkpulver	☐  5g Zinkplatte	☐  5g Zinkpulver	☐  5g Zinkplatte
☐  niedrig konzentrierte Salzsäure	☐  hoch konzentrierte Salzsäure	☐  niedrig konzentrierte Salzsäure	☐  hoch konzentrierte Salzsäure
☐  Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C	☐  erhitzte Salzsäure mit 50°C	☐  Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C	☐  erhitzte Salzsäure mit 50°C

Abbildung 7: Exemplarische Planungsaufgabe zum Fachkontext Chemie (Reaktionsgeschwindigkeit) aus dem VKS-Testheft (Schwichow et al., in revision)

Bei den Planungsaufgaben (PL) müssen die Schüler*innen ein Experiment selbst planen. In einer Tabelle sollen sie mittels Multiple-Choice-Auswahl für drei Variablen die Variablenausprägung in zwei Telexperimenten festlegen. Es müssen sechs Entscheidungen von den Schüler*innen getroffen werden. Bei der Beantwortung der PL-Aufgaben gibt es mehrere richtige Lösungen. In Abbildung 7 ist die PL-Aufgabe Reaktionsgeschwindigkeit exemplarisch dargestellt. Die Aufgabe gilt als richtig, wenn in beiden Telexperimenten das Zinkpulver, die Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C und in einem Telexperiment die niedrig und im anderen Experiment die hoch konzentrierte Salzsäure angekreuzt wird. Ebenfalls ist das Item richtig beantwortet, wenn statt dem Zinkpulver in beiden Telexperimenten die Zinkplatte ausgewählt wird bzw. statt der Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C die erhitzte Salzsäure mit 50°C. Wichtig ist nur, dass alle Variablen, bis auf die unabhängige Variable, in beiden Telexperimenten konstant gehalten werden. Die PL-Aufgaben haben eine geringere Lösungswahrscheinlichkeit im Vergleich zu den anderen Teilfähigkeiten.

Bei den Identifikationsaufgaben (ID) werden die Schüler*innen mit einer konkreten Hypothese konfrontiert und müssen in weiterer Folge aus einer Auswahl von vier Experimenten, die graphisch und schriftlich dargestellt werden, ein Experiment auswählen, das zur Testung der Hypothese geeignet ist.

Die Aufgaben zur Ergebnisinterpretation (IN) und zum Verständnis (UN) sind immer gleich aufgebaut. In beiden Aufgaben wird der Ausgang eines Experiments dargestellt. Der einzige Unterschied ist, dass in IN-Aufgaben die Ergebnisse kontrollierter Experimente und UN-Aufgaben die Ergebnisse unkontrollierter Experimente dargestellt werden. Die Schüler*innen erhalten vier Antwortmöglichkeiten, welche stets in derselben Reihenfolge vorgelegt werden. Die Antwortmöglichkeiten sind: 1. Variable 1 hat einen Einfluss auf die unabhängige Variable (UV), 2. Variable 2 hat einen Einfluss auf die UV, 3. Variable 1 und 2 haben einen Einfluss auf die UV und 4. das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu. Im Falle der IN-Aufgaben sind die ersten beiden Antwortoptionen korrekt, während bei den UN-Aufgaben stets die letzte Antwort die richtige ist.

4.4.2 Intrinsische Motivation

Bei dem *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI) handelt es sich um ein mehrdimensionales Messinstrument, das in der Vollversion 45 Items und sieben Subkategorien aufweist. Zum Erfassen intrinsischer, tätigkeitsbezogener Motivation entwickeln Deci und Ryan (2021) ein Messinstrument mit nur 22 Items und vier Subkategorien, welches zur Erhebung der intrinsischen Motivation eingesetzt wird. Bei den Übersetzungen und Ausformulierung der Items hat man sich an der Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM) orientiert (Wilde et al., 2009).

Der Fragebogen beinhaltet 22 Items aus vier verschiedenen Subkategorien. Die Subkategorien sind Interesse/Vergnügen (*interest/enjoyment*), wahrgenommene Kompetenz (*perceived competence*), wahrgenommene Wahlfreiheit (*perceived choice*) und Druck/Anspannung (*pressure/ tension*). In Tabelle 4 sind die vier Subskalen dargestellt, wobei jedem Subskalenbereich die entsprechenden Items zugeordnet sind. Jede Subskala enthält eine bestimmte Anzahl von Items, die dazu dienen, die jeweilige Motivationsdimension zu erfassen.

Die ersten drei Subkategorien werden von Deci und Ryan (2021) als positive Anzeiger für intrinsische Motivation bezeichnet. Die Subskala Druck/Anspannung stellt hingegen einen negativen Prädiktor intrinsischer Motivation dar. Er tritt immer dann auf, wenn dem Bedürfnis nach Selbstbestimmung nicht ausreichend nachgegangen wird (Deci & Ryan, 2021). In einem siebenstufigen Antwortformat wird für jedes Item eine Antwort von 1 (= überhaupt nicht) über 4 (= teilweise wahr) bis 7 (= sehr wahr) getroffen.

Tabelle 4: Die Tabelle stellt die vier Subskalen des Intrinsic Motivation Inventory (IMI, Deci & Ryan, 2021) mit ihren 22 Items dar. Jeder Subskala sind die entsprechenden Items zugeordnet. Items mit einem (R) weisen auf Items hin, die bei der Auswertung umkodiert werden müssen.

Interesse / Vergnügen	Während ich an der Aufgabe arbeitete, dachte ich darüber nach, wie sehr es mir Spaß gemacht hat.
	Ich fand die Aufgabe sehr interessant.
	Die Aufgabe hat Spaß gemacht.
	Ich habe die Aufgabe sehr genossen.
	Ich fand die Aufgabe sehr langweilig. (R)
	Ich fand die Aufgabe sehr interessant
	Die Aufgabe würde ich als sehr angenehm bezeichnen.
wahrgenommene Kompetenz	Ich denke, dass ich bei dieser Aktivität im Vergleich zu anderen Schüler*innen ziemlich gut abgeschnitten habe.
	Ich denke, ich bin ziemlich gut in dieser Aufgabe.
	Ich bin mit meiner Leistung bei dieser Aufgabe zufrieden
	Ich fühlte mich bei dieser Aufgabe ziemlich geschickt.
	Nachdem ich eine Weile an dieser Aufgabe gearbeitet hatte, fühlte ich mich ziemlich kompetent.
Wahlfreiheit	Ich hatte das Gefühl, dass es meine Entscheidung war, die Aufgabe zu erledigen.
	Ich hatte nicht wirklich die Wahl, die Aufgabe zu erledigen. (R)
	Ich hatte das Gefühl, das zu tun, was ich wollte, während ich an der Aufgabe arbeitete.
	Ich hatte das Gefühl, dass ich die Aufgabe erledigen müsste. (R)
	Ich habe die Aufgabe gemacht, weil ich keine Wahl hatte. (R)
Druck/ Anspannung	Ich war überhaupt nicht nervös, während ich die Aufgabe erledigte. (R)
	Ich fühlte mich angespannt, während ich die Aufgabe erledigte.
	Ich war ängstlich, während ich die Aufgabe erledigte.
	Ich fühlte mich entspannt, während ich die Aufgabe erledigte. (R)
	Ich fühlte mich unter Druck gesetzt, während ich die Aufgabe erledigte.

4.4.3 Emotionales Befinden nach der Fehleranalyse

Bei der Erhebung der Emotionen nach Intervention kam die deutsche Version der *Positive and Negative Affect Schedule* zum Einsatz. Die ursprüngliche englische Version wurde von Watson, Clark und Tellegen 1988 entwickelt. Der Fragebogen besitzt 20 Adjektive die unterschiedliche Gefühle und Empfindungen erfassen. Zehn Adjektive erfassen positive Gefühlszustände (aktiv, interessiert, stark, ...) und zehn Adjektive negative Gefühlszustände (nervös, ängstlich, erschrocken, ...). Die Schüler*innen schätzen die momentane Intensität einer Emotion auf einer fünfstufigen Skala von 1 (= überhaupt nicht) bis 5 (= viel) ein (Breyer & Bluemke, 2016).

Die Dimensionen Positiver Affekt und Negativer Affekt stellen keine Gegensätze dar, sondern sind verschiedene Dimensionen desselben Konzepts. Für beide Dimensionen können bei der Auswertung Mittelwerte berechnet werden. Je nach Höhe des Mittelwerts kann man auf ein größeres Ausmaß eines positiven bzw. negativen Affekts schließen (Breyer & Bluemke, 2016).

5. Datenanalyse

5.1 Rasch-Skalierung

Der gekürzte VKS-Test wurde mithilfe des Modells der Rasch-Skalierung ausgewertet, die mit dem Programm Winsteps 3.74.0 durchgeführt wurde. Die Rasch-Skalierung ist eine statistische Methode zur Bewertung der Fähigkeiten von Personen und der Schwierigkeit von Items in Testinstrumenten. Sie wird insbesondere in der Bildungsforschung und -evaluation angewandt, z. B. in großen Schulleistungstest wie PISA oder TIMMS. Die Rasch-Skalierung bietet eine schnelle und standardisierte Möglichkeit, die Leistung zu messen (Boone et al., 2014). Durch die Rasch-Skalierung erhält man einen rasch-skalierten Leistungsindikator, der das Verständnis der VKS der teilnehmenden Schüler*innen vergleichbar macht und Gruppenvergleiche erlaubt.

Zur Überprüfung des Verständnisses der VKS wurden Items zu verschiedenen Fachkontexten eingesetzt. Bei Testheften und Fragebögen hängt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person ein Item richtig löst, sowohl von der Fähigkeit der Person als auch von dem Schwierigkeitsgrad des Items selbst ab. Ein Item, welches sehr oft richtig gelöst wird, kann entweder einfach sein oder die Schüler*innen besitzen hohe Fähigkeiten in Bezug auf die VKS. Ein systematisches Problem der klassischen Testtheorie ist, dass in der Auswertung beide Aspekte nicht deutlich voneinander abgegrenzt werden können, was zu Verzerrungen bei der Auswertung führen könnte. Dies kann durch eine Rasch-Modellierung ausgeglichen werden. Das Rasch-Modell beschreibt die Wahrscheinlichkeit eines Schülers bzw. einer Schülerin ein Item, unter der Berücksichtigung des persönlichen Fähigkeitsausmaßes und des Schwierigkeitsgrads der Aufgabe, richtig zu lösen. Je höher die Fähigkeiten, desto wahrscheinlicher sollte ein Item richtig gelöst werden (Grottko et al., 2020). Außerdem werden die Items auf ihre Misfit-Werte überprüft. Die MNSQ-Infinits geben an, wie gut die Daten zur Rasch-Skalierung passen und sollten im Bereich zwischen 0,5 und 1,5 liegen, wobei der Wert 1 als optimaler Wert für die Modellpassung normiert wird (Boone et al., 2014). Der Mittelwert des MNSQ-Infinits liegt vor dem Test bei 0,98 und nach dem Test bei 0,94.

Für unsere Überprüfung des Verständnisses der VKS ist eine breite Verteilung von Aufgabenschwierigkeiten über die Personenfähigkeiten erstrebenswert. Wright-Maps setzen die Fähigkeit einer Person und die Fähigkeit einer Aufgabe grafisch in Verbindung. Mit Hilfe von Wright-Maps kann überprüft werden, ob in einem gewissen Schwierigkeits- oder Fähigkeitsintervall zu viele bzw. zu wenige Aufgaben vorliegen (Grottko et al., 2020). Die Überprüfung unserer Daten zeigt, dass sie mit den verwendeten Modellen übereinstimmen und somit eine angemessene Anpassung an die genutzten Strukturen vorliegt.

5.2 Reliabilitätsanalyse

Zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Motivations- und Emotionsskalen wurden Reliabilitätsanalysen durchgeführt. Als Maßzahl zur Beurteilung der Reliabilität wurde das McDonald's ω herangezogen (Hayes & Coutts, 2020; Malkewitz et al., 2023). Die Reliabilitätstabelle (Tabelle 5) zeigt, dass alle genutzten Subskalen zur Motivation und Emotionen eine hohe Reliabilität ($\omega \geq 0,8$) aufweisen.

Tabelle 5: Reliabilitätstabelle der genutzten Subskalen zur Motivation und Emotion mit dem McDonald's ω

	Subskalen	Anzahl Items	Reliabilität ω
Motivation	Interesse / Vergnügen	7	0,872
	Druck / Anspannung	5	0,889
	wahrgenommene Wahlfreiheit	5	0,841
	wahrgenommene Kompetenz	5	0,858
Emotion	Positive Affekte	10	0,815
	Negative Affekte	10	0,838

5.3 Konstruktvalidität

Bei der Pearson-Korrelationsanalyse wird der lineare Zusammenhang zwischen zwei Variablen untersucht. Mit der Korrelationsanalyse kann die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen und dessen Richtung (positive oder negative Korrelation) analysiert werden. Die Pearson-Korrelationsanalyse wurde dazu verwendet, um zu überprüfen ob die gemessenen Konstrukte sinnvoll zusammenhängen und ob systematische Messfehler vorliegen. Mit dem Pearson's r (Korrelationskoeffizient) kann man die Stärke und Richtung des Zusammenhangs ablesen. Er ist ein einheitsloser Wert mit einem Wertebereich zwischen -1 und 1 (Backhaus et al., 2023).

Die statistische Signifikanz des Zusammenhangs wird durch den p-Wert angegeben. Er hilft zu überprüfen, ob aus der Stichprobe aussagekräftige Schlüsse gezogen werden können. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ angenommen. Das bedeutet: Ist der p-Wert $p < 0,05$, wird die Korrelation als signifikant bezeichnet. Das Pearson's r und der p-Wert sollten stets zusammen und nicht einzeln interpretiert werden (Backhaus et al., 2023).

In der nachstehenden Tabelle (Tabelle 6) sind die Pearson-Korrelationen für die intrinsische Motivation und die positiven und negativen Affekte angegeben. Man kann erkennen, dass die Korrelationen die theoretisch erwartbaren Zusammenhänge zwischen den Konstrukten widerspiegeln.

Tabelle 6: Pearson-Korrelationen für die vier Subskalen der intrinsischen Motivation und die positiven bzw. negativen Affekte

Variable		1	2	3	4	5	6
1. Interesse	Pearson's r	—					
	p-value	—					
2. Druck	Pearson's r	-0.196	—				
	p-value	0.003	—				
3. Wahlfreiheit	Pearson's r	0.555	-0.224	—			
	p-value	< .001	< .001	—			
4. Kompetenzerleben	Pearson's r	0.557	-0.331	0.377	—		
	p-value	< .001	< .001	< .001	—		
5. Positive Affekte	Pearson's r	0.747	-0.081	0.433	0.583	—	
	p-value	< .001	0.237	< .001	< .001	—	
6. Negative Affekte	Pearson's r	-0.085	0.543	-0.090	-0.258	-0.031	—
	p-value	0.223	< .001	0.189	< .001	0.653	—

5.4 Quantitative Analysen

Zur statistischen Analyse wurden die Programme JASP 0.18.3 und SPSS 29.0.0.0 verwendet.

Die gruppenübergreifenden Unterschiede wurden mittels Varianzanalyse (ANOVA) überprüft. ANOVA ist ein statistisches Testverfahren und überprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen vorliegen (Backhaus et al., 2023). In dieser Studie wird dieses Verfahren verwendet, um festzustellen, ob Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen vorliegen. Als Signifikanzniveau wurde für alle Analysen $\alpha = 0,05$ verwendet. Mittels Post-hoc-Tests wurde das Ausmaß der Unterschiede zwischen den Gruppen paarweise ermittelt. Die Stärke des Effekts wird mit Cohen's d angegeben, wobei $d = 0,2$ einen kleinen Effekt, $d = 0,5$ einen mittleren Effekt und $d = 0,8$ einen großen Effekt darstellt (Field, 2017).

Um festzustellen, ob Schüler*innen mit unterschiedlichen Ausprägungen in den verschiedenen Variablen (Interesse, Druck, Kompetenz, Wahlfreiheit, positive und negative Affekte) sich auch hinsichtlich des Rasch-skalierten Leistungsindikators unterscheiden, wurden die Median-Split-Methode und anschließende t-Tests angewandt (Field, 2017).

Die Median-Split-Methode wird verwendet, um eine Gruppe basierend auf dem Median eines Merkmals in zwei Teile zu teilen. Der Median ist der Wert in einer sortierten Datenreihe, der genau in der Mitte liegt, sodass die Hälfte der Werte über und die andere Hälfte unter dem Median liegt. In einer Datenreihe mit einer geraden Zahl von Werten ergibt sich der Median aus dem arithmetischen Mittel der beiden in der Mitte liegenden Werte.

Auf diese Weise werden für jede Variable zwei Untergruppen gebildet: Gruppe I, in der die Werte kleiner oder gleich dem Median sind und Gruppe II, in der die Werte größer als der Median sind. Ungleiche Gruppengrößen kommen zustande, wenn mehr Werte direkt auf dem Median liegen, da diese Werte stets Gruppe I zugeordnet werden (Field, 2017).

Um festzustellen, ob zwischen Gruppe I und Gruppe II ein signifikanter Unterschied in einer Variable in Bezug auf den Leistungsindikator vorliegt, wurden t-Tests durchgeführt. Dieses Verfahren vergleicht das arithmetische Mittel beider Gruppen und prüft, ob der Unterschied zwischen diesen beiden Mittelwerten signifikant ist. Voraussetzung für den t-Test ist die Varianzgleichheit innerhalb der beiden gebildeten Gruppen. Der Levene-Test wurde durchgeführt, um jeweils zwei Gruppen auf Varianzgleichheit im Leistungsindikator zu überprüfen. Ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ wurde verwendet. Liegt der p-Wert über 0,05, wird davon ausgegangen, dass keine signifikanten Unterschiede in den Varianzen vorliegen, und die Annahme der Varianzgleichheit wird beibehalten. Bei Varianzungleichheiten wurde die Signifikanz anhand korrigierter Freiheitsgrade geprüft (Field, 2017).

6. Ergebnisse

6.1 Motivationale Unterschiede zwischen den vier Gruppen

In der nachstehenden Tabelle (Tabelle 7) sind die statistischen Kenngrößen für die Motivationssubskalen Interesse, Druck, Kompetenzerleben und Wahlfreiheit für alle vier Gruppen übersichtlich dargestellt. Für jede Motivationsvariable und Gruppe werden die Stichprobengröße, der Mittelwert und die Standardabweichung angegeben.

Tabelle 7: Darstellung der statistischen Kenngrößen der Motivationsvariablen: Interesse, Druck, Wahlfreiheit und Kompetenzerleben der vier Gruppen

Variable / Subskala	n	M	SD
Interesse			
Eigene-Fehler Gruppe	66	5,08	1,36
Fremde-Fehler Gruppe	62	4,73	1,37
Kombinationsgruppe	57	4,70	1,51
Keine-Fehler Gruppe	55	4,60	1,37
Druck			
Eigene-Fehler Gruppe	67	2,60	1,16
Fremde-Fehler Gruppe	64	2,47	1,06
Kombinationsgruppe	64	2,61	1,21
Keine-Fehler Gruppe	60	2,43	1,08
Wahlfreiheit			
Eigene-Fehler Gruppe	61	4,66	1,35
Fremde-Fehler Gruppe	62	4,64	1,20
Kombinationsgruppe	61	4,48	1,34
Keine-Fehler Gruppe	58	4,31	1,20
Kompetenzerleben			
Eigene-Fehler Gruppe	62	3,72	1,37
Fremde-Fehler Gruppe	64	3,96	1,20
Kombinationsgruppe	61	3,96	1,32
Keine-Fehler Gruppe	57	4,38	1,25

Anmerkung: n = Stichprobengröße; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der ANOVA für die Unterschiede zwischen den Gruppen für alle Motivationsvariablen zusammengefasst. In Bezug auf das Interesse, den Druck und die wahrgenommene Wahlfreiheit konnten zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede ausgemacht werden. Die Varianzanalyse zeigt hingegen bei dem Kompetenzerleben einen signifikanten Haupteffekt.

Tabelle 8: Ergebnisse der ANOVA-Varianzanalyse für die Unterschiede zwischen den Gruppen für alle Motivationsvariablen. Signifikante Unterschiede sind zur besseren Erkenntnis fett markiert und grau hinterlegt.

Kenngrößen	F-Wert	df	df _R	p
Interesse	1,40	3	236	0,243
Druck	0,413	3	251	0,744
Wahlfreiheit	0,991	3	238	0,398
Kompetenzerleben	2,720	3	240	0,045

Anmerkung: F-Wert = Fisher-F-Test, df = Freiheitsgrade zwischen den Gruppen, df_R = Freiheitsgrade der Residuen, p = einseitige Signifikanz

Der Post Hoc Test beim Kompetenzerleben zeigt einen signifikanten Unterschied ($p = 0,027$) zwischen Eigene-Fehler Gruppe und Keine-Fehler Gruppe. Cohen's d ($d = 0,52$) zeigt einen mittelstarken Effekt. Die Keine-Fehler Gruppe, ohne Fokus auf das Lernen aus Fehlern, wies eine höhere Kompetenzwahrnehmung auf als die Eigene-Fehler Gruppe, mit dem Fokus auf dem Lernen aus eigenen Fehlern. Eine Darstellung zum Kompetenzerleben der vier Gruppen ist in Abbildung 8 dargestellt. In dieser ist auch zu erkennen, dass es zwischen den anderen Gruppen keine signifikanten Unterschiede gibt.

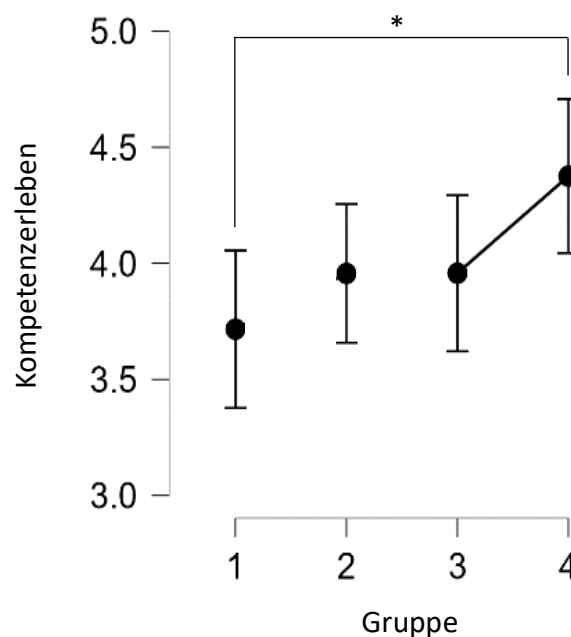


Abbildung 8: Darstellung des Kompetenzerlebens der vier Interventionsgruppen. Zwischen der Eigene-Fehler Gruppe (1) und der Keine-Fehler Gruppe (4) ist ein signifikanter Unterschied zu erkennen ($p < 0,05$, $d = 0,52$). Anmerkungen: 1 = Eigene-Fehler Gruppe; 2 = Fremde-Fehler Gruppe; 3 = Kombinationsgruppe; 4 = Keine-Fehler Gruppe

6.2 Emotionale Unterschiede zwischen den Gruppen

In der nachstehenden Tabelle (Tabelle 9) sind die statistischen Kenngrößen für die Emotionsskalen (positive und negative Affekte) für alle vier Gruppen übersichtlich dargestellt.

Tabelle 9: Darstellung der statistischen Kenngrößen der Emotionsvariablen: positive und negative Affekte der Gruppen 1 bis 4

Variable / Subskala	n	M	SD
Positive Affekte			
Eigene-Fehler Gruppe	58	2,88	0,75
Fremde-Fehler Gruppe	61	2,93	0,74
Kombinationsgruppe	55	2,80	0,83
Keine-Fehler Gruppe	53	3,01	0,70
Negative Affekte			
Eigene-Fehler Gruppe	61	1,48	0,48
Fremde-Fehler Gruppe	60	1,35	0,33
Kombinationsgruppe	58	1,43	0,51
Keine-Fehler Gruppe	53	1,34	0,31

Anmerkung: n = Stichprobengröße; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Die Auswertung der Ergebnisse aus Tabelle 10 zeigt, dass weder in Bezug auf die positiven noch auf die negativen Affekte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden können. Aufgrund dieser Tatsache werden auch keine Post Hoc Tests berichtet.

Tabelle 10: Ergebnisse der ANOVA für die Unterschiede zwischen den Gruppen für die positiven und negativen Affekte.

Kenngrößen	F-Wert	df	df _R	p
Positive Affekte	0,692	3	223	0,558
Negative Affekte	1,390	3	228	0,247

Anmerkungen: F-Wert = Fisher-F-Test, df = Freiheitsgrade zwischen den Gruppen, df_R = Freiheitsgrade der Residuen, p = einseitige Signifikanz

6.3 Gruppeninterne Motivationsunterschiede bezüglich der Leistung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten t-Tests präsentiert, um potenzielle gruppeninterne Motivationsunterschiede in Bezug auf die Leistungsindikatoren (tatsächlicher Lernerfolg der Teilfähigkeiten der VKS) zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt, um einen Überblick über die auftretenden Unterschiede zu geben.

Tabelle 11: Vergleich der Leistungsindikatoren zwischen Gruppe I und Gruppe II mittels t-Test in Bezug auf verschiedene Motivationsvariablen. Mit Hilfe der Median-Split-Methode wurden für jede Motivationsvariable (Interesse, Druck, Wahlfreiheit und Kompetenz) zwei Untergruppen (I und II) gebildet. In Gruppe I sind Werte kleiner oder gleich dem Median und in Gruppe II sind die Werte größer als der Median.

Variable	Gruppe I			Gruppe II			t-Test		
	n	M	SD	n	M	SD	t	df	p
Interesse	<= 4,82			> 4,82					
Gesamt	133	0,71	2,69	134	0,94	2,78	-0,662	265	0,254
Eigene-Fehler Gr.	30	0,82	2,60	40	1,07	2,57	-0,390	68	0,349
Fremde-Fehler Gr.	35	0,73	3,24	34	1,02	3,03	-0,375	67	0,355
Kombinationsgr.	31	0,25	2,89	35	0,92	2,83	-0,948	64	0,173
Keine-Fehler Gr.	37	0,99	2,01	25	0,65	2,82	0,576	60	0,283
Druck	<= 2,20			> 2,20					
Gesamt	134	0,74	2,62	133	0,91	2,85	-0,500	265	0,309
Eigene-Fehler Gr.	31	0,72	2,11	39	1,15	2,90	-0,697	68	0,244
Fremde-Fehler Gr.	34	1,11	2,96	35	0,64	3,29	0,613	67	0,271
Kombinationsgr.	34	0,50	2,94	32	0,71	2,80	-0,295	64	0,385
Keine-Fehler Gr.	35	0,64	2,43	27	1,14	2,26	-0,825	60	0,260
Wahlfreiheit	<= 4,60			> 4,60					
Gesamt	137	0,63	2,75	130	1,03	2,75	-1,189	265	0,118
Eigene-Fehler Gr.	34	1,07	2,69	36	0,86	2,48	0,354	68	0,362
Fremde-Fehler Gr.	34	-0,19	2,59	35	1,90	3,30	-2,933	67	0,002
Kombinationsgr.	34	0,69	3,10	32	0,51	2,61	0,262	64	0,397
Keine-Fehler Gr.	35	0,94	2,54	27	0,75	2,12	0,313	60	0,378
Kompetenz	<= 4,00			> 4,00					
Gesamt	134	0,66	2,80	133	1,03	2,66	-1,205	265	0,115
Eigene-Fehler Gr.	42	1,11	2,69	28	0,73	2,40	0,603	68	0,549
Fremde-Fehler Gr.	35	0,79	3,27	34	0,95	3,00	-0,271	67	0,414
Kombinationsgr.	34	-0,43	2,46	32	1,70	2,86	-3,252	64	<0,001
Keine-Fehler Gr.	23	1,04	2,40	39	0,75	2,35	0,473	60	0,319

Anmerkungen: signifikante Unterschiede sind fett markiert und grau hinterlegt;

n = Gruppengröße, M = Mittelwert des Leistungsindikators, SD = Standardabweichung, t = t-Test für die Mittelwertgleichheit, df = Anzahl der Freiheitsgrade, p = einseitige Signifikanz

Bei den Subskalen Interesse und Druck konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der vier Gruppen: Eigene-Fehler Gruppe, Fremde-Fehler Gruppe, Kombinationsgruppe und Keine-Fehler Gruppe festgestellt werden.

Bei der Variable der Wahlfreiheit konnten bei der Eigene-Fehler Gruppe, der Kombinationsgruppe und der Keine-Fehler Gruppe keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Leistungsindikators erkannt werden. Bei der Fremde-Fehler Gruppe konnte zwischen den Gruppen I und II ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Leistungsindikators erkannt werden. Die Gruppe II, die eine größere Wahlfreiheit empfindet (Werte oberhalb des gebildeten Medians), erzielt signifikant bessere Leistungen im Vergleich zu Gruppe I (Werte kleiner oder gleich dem Median).

Beim Kompetenzerleben gab es bei der Eigene-Fehler, Fremde-Fehler und Keine-Fehler Gruppe keine signifikanten Haupteffekte. Beim Kompetenzerleben der Kombinationsgruppe konnte zwischen den Gruppen I und II ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Leistungsindikators erkannt werden. Die Gruppe, deren Kompetenzerleben über dem Median liegt (Gruppe II), schneidet signifikant besser ab.

6.4 Gruppeninterne Emotionsunterschiede bezüglich der Leistung

Tabelle 12: Vergleich der Leistungsindikatoren zwischen Gruppe I und Gruppe II mittels t-Test in Bezug auf verschiedene Emotionsvariablen. Mit Hilfe der Median-Split-Methode wurden für jede Emotionsvariable (positive Affekte und negative Affekte) zwei Untergruppen (I und II) gebildet. In Gruppe I sind Werte kleiner oder gleich dem Median und in Gruppe II sind die Werte größer als der Median.

Variable	Gruppe I			Gruppe II			t-Test		
	n	M	SD	n	M	SD	t	df	p
Positive Affekte	<= 3,00			> 3,00					
Gesamt	148	0,84	2,77	121	0,80	2,69	0,113	267	0,455
Eigene-Fehler Gr.	41	1,04	2,30	30	0,73	2,96	0,500	69	0,309
Fremde-Fehler Gr.	41	0,72	3,15	28	1,09	3,12	-0,485	67	0,315
Kombinationsgr.	35	0,33	3,07	31	0,91	2,60	-0,817	64	0,209
Keine-Fehler Gr.	31	1,28	2,47	32	0,49	2,17	1,344	61	0,092
Negative Affekte	<= 1,30			> 1,30					
Gesamt	145	1,33	2,74	123	0,25	2,61	3,282	266	<0,001
Eigene-Fehler Gr.	33	1,02	2,56	37	0,91	2,61	0,186	68	0,426
Fremde-Fehler Gr.	40	1,60	3,26	29	-0,14	2,66	2,364	67	0,100
Kombinationsgr.	37	1,39	2,95	29	-0,40	2,43	2,634	64	0,005
Keine-Fehler Gr.	35	1,23	2,04	28	0,44	2,64	1,341	61	0,092

Anmerkungen: signifikante Unterschiede sind fett markiert und grau hinterlegt;

n = Gruppengröße, *M* = Mittelwert des Leistungsindikators, *SD* = Standardabweichung, *t* = t-Test für die Mittelwertgleichheit, *df* = Anzahl der Freiheitsgrade, *p* = einseitige Signifikanz

Aus Tabelle 12 lassen sich folgende Ergebnisse ableiten: In Bezug auf positive Affekte und Leistung konnten keine signifikanten Haupteffekte festgestellt werden. Bei der Gesamtgruppe

der negativen Affekte konnte zwischen den gebildeten Gruppen I und II ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Leistungsindikators erkannt werden. Die Gruppe, die unter dem Median liegt (Gruppe I) erzielt bessere Lernerfolge als jene Gruppe, deren Werte über dem Median liegen. Außerdem konnten bei der Fremde-Fehler Gruppe und der Kombinationsgruppe ebenfalls signifikante Unterschiede festgestellt werden.

7. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden die emotionalen und motivationalen Effekte des Lernens aus eigenen und fremden Fehlern beim Erwerb von Experimentierkompetenz untersucht. Die Interventionsstudie lieferte nicht die erwarteten Unterschiede zwischen den Gruppen und die Hypothesen konnten daher nicht bestätigt werden.

Eine Ursache für das Ausbleiben signifikanter Unterschiede zwischen den Gruppen könnte die hohe Anzahl an zu kontrollierenden Variablen des Experiments sein. Das große Fehlerpotential könnte bei den Schüler*innen zu kognitiver Überforderung (hoher *Cognitive Load*) geführt haben. Metakognitive Funktionen werden im Unterrichtsgeschehen oft durch die Lehrpersonen übernommen. Beim Experimentieren müssen die Schüler*innen die metakognitiven Anforderungen selbst und zusätzlich zur Aufgabenstellung übernehmen, was zu einer Überforderung führen kann (Wirth et al., 2008). Wenn das Lernen aus Fehlern gezielt als Unterrichtsmethode eingesetzt wird, so kann dies zu starken negativen Emotionen und Vermeidungsverhalten führen, wenn Schüler*innen schlechte Vorerfahrungen haben (Oser & Spychiger, 2005). Die kognitive Überforderung und ein mögliches Vermeidungsverhalten könnte im Rahmen der Interventionsstudie eine Auswirkung auf emotionale und motivationale Komponenten haben, die im Lernprozess eine wichtige Rolle spielen.

Ein weiterer Grund für das Nichtvorhandensein von signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen mit einem Fokus auf Lernen aus Fehlern (Eigene-Fehler Gruppe, Fremde-Fehler Gruppe, Kombinationsgruppe) und der Keine-Fehler Gruppe könnte das gut aufbereitete Material der Keine-Fehler Gruppe sein. Auch sie beschäftigt sich theoretisch mit den Experimenten und der Variablenkontrollstrategie. Die Gruppen mit einem Fokus auf Lernen aus Fehlern müssen eigene oder fremde Fehler selbstständig identifizieren, reflektieren und anwenden. Das Lernen aus Fehlern erfordert die Fähigkeit zur Selbstreflexion und Fehleranalyse, was besonders für Schüler*innen ohne Vorerfahrung schwierig sein kann, wenn sie keine gezielte Unterstützung durch die Lehrperson erhalten. Auftretende emotionale Reaktionen wie Frustration oder Unsicherheit können einen negativen Einfluss auf Motivation und Emotion haben. Glogger-Frey, Freier und Renkl (2022) betonen, dass sich offene Aufgaben nachteilig auswirken können, wenn suboptimale Lösungsversuche seitens der Schüler*innen gemacht werden. Die Gruppe ohne Fokus auf das Lernen aus Fehlern (Keine-Fehler Gruppe) lernt mit Hilfe von *worked examples*. Das Lernen mit *worked examples* beansprucht im Vergleich zum Lernen aus Fehlern weniger kognitive Ressourcen (Renkl, 2014; Roelle et al., 2023). Das Lernen mit *worked examples* kann die Unsicherheit reduzieren und sich positiv auf Motivation und Emotion auswirken. Renkl (2014) betont, dass es sinnvoll ist, zuerst mit *worked examples* zu arbeiten, bevor Schüler*innen zur selbstständigen Fehleridentifikation und -reflexion angeregt werden. Diese vielseitigen Einflussfaktoren können Gründe für das Ausbleiben von signifikanten Unterschieden sein.

7.1 Motivationale Unterschiede zwischen den Gruppen

Es wurde erwartet, dass das eigenständige Experimentieren der Eigene-Fehler und Kombinationsgruppe einen positiven Einfluss auf die Motivation (Interesse, wahrgenommene Wahlfreiheit und Kompetenzerleben) hat (Neber, 2006; Scholtes, 2021). Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass das praktische Arbeiten keinen signifikanten Anstieg der Motivation bewirkt.

Die Experimente wurden in den Kontext der Anpassung von Tieren an kalte Temperaturen eingebettet, was für die teilnehmenden Schüler*innen interessant sein könnte. Die Verknüpfung des Unterrichtskontextes mit der Lebenswelt der Schüler*innen soll Anreize zum Lernen schaffen (Klauer & Leutner, 2012), was möglicherweise erklärt, warum es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die Motivation (Subskala: Interesse) gibt. Der Kontext könnte einen positiven Einfluss auf die Motivation der Schüler*innen gehabt haben, während der konkrete Arbeitsprozess im Rahmen der Interventionsstudie einen geringeren Einfluss gehabt haben könnte.

Einzig in der Subkategorie Kompetenzerleben kann ein mittelstarker Effekt zwischen der Eigene-Fehler und der Keine-Fehler Gruppe festgestellt werden. Die Keine-Fehler Gruppe wies eine signifikant höhere Kompetenzwahrnehmung auf als die Eigene-Fehler Gruppe. Vor allem beim Lernen aus eigenen Fehlern entsteht Überforderung (Oser & Spychiger, 2005) und das Scheitern der Schüler*innen wird bewusst akzeptiert. Besonders im Moment der Fehlererkennung, die einen zentralen Aspekt der Interventionsstudie darstellt, werden Scheitern und Misserfolg für die Schüler*innen selbst sichtbar (Kapur & Bielaczyc, 2012; Oser & Spychiger, 2005). Im Rahmen der Interventionsstudie könnte dies zu negativen Affekten, wie Unsicherheit geführt oder das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten verringert haben. Negative Affekte wie Unsicherheit oder Scham können das Kompetenzerleben der Schüler*innen senken (Pekrun, 2018). Außerdem beeinflusst das Anforderungsniveau der Aufgabe die Kompetenzwahrnehmung, nur bei einer adäquaten Aufgabe erleben sich die Schüler*innen als kompetent (Deci & Ryan, 2002). Die Keine-Fehler Gruppe hat keinen Fokus auf das Lernen aus Fehlern, sondern lernt mit *worked examples* was im Vergleich zu der Eigene-Fehler Gruppe zu einem höheren Kompetenzerleben führen kann.

7.2 Emotionale Unterschiede zwischen den Gruppen

Die Hypothese, dass es Unterschiede im emotionalen Empfinden zwischen den Gruppen gibt, konnte nicht bestätigt werden. Weder in Bezug auf die positiven noch negativen Affekte konnten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Erwartet wurde, dass beim Lernen aus eigenen Fehlern (Eigene-Fehler und Kombinationsgruppe) mehr negative Affekte empfunden werden als beim Lernen aus fremden Fehlern (Fremde-Fehler Gruppe) oder der Keine-Fehler Gruppe. Grund hierfür war möglicherweise, wie einerseits von Hartmann et al. (2020) beschreiben, dass durch das Erkennen des eigenen Misserfolgs negative Emotionen, wie Ärger, Scham oder Enttäuschung ausgelöst werden können. Andererseits weisen Ivancic und Hesketh (2020) darauf hin, dass

das Selbstvertrauen von Schüler*innen abnimmt, wenn sie aus eigenen Fehlern lernen. Dies kann in weiterer Folge Unsicherheit und Zweifel an den eigenen Fähigkeiten hervorrufen. Beim Lernen aus fremden Fehlern erleben Schüler*innen tendenziell weniger negative Affekte, da sie nicht von den Fehlern betroffen sind und somit eine geringere emotionale Belastung verspüren.

Ein möglicher Grund für das Fehlen signifikanter Unterschiede könnte sein, dass die Schüler*innen in der Eigene-Fehler und der Kombinationsgruppe Schwierigkeiten bei der Identifikation und Reflexion von Fehlern hatten, was möglicherweise dazu führte, dass das Auftreten negativer Affekte unterdrückt wurde.

7.3 Gruppeninterne Motivationsunterschiede hinsichtlich der Leistung

Für jede Motivationsvariable (z.B. Wahlfreiheit) wurden mit Hilfe der Median-Split Methode zwei Untergruppen (I und II) gebildet. In Gruppe I sind Werte kleiner oder gleich dem Median und in Gruppe II sind die Werte größer als der Median. In der Fremde-Fehler Gruppe wurde ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Wahlfreiheit zwischen den Gruppen I und II in Bezug auf den Leistungsindikator festgestellt. Die Gruppe II, die eine größere Wahlfreiheit erlebt, erzielt dabei signifikant bessere Leistungen. Diese Befunde legen nahe, dass die Möglichkeit, Entscheidungen zu treffen, einen positiven Einfluss auf den Leistungserfolg haben kann. Dies steht im Einklang mit früheren Erkenntnissen in der Literatur, die das Bedürfnis nach Autonomie betonen und darauf hinweisen, dass eigenständiges Handeln sich positiv auf den Lernerfolg auswirkt (Bosch, 2015; Müller et al., 2009).

Beim Kompetenzerleben der Kombinationsgruppe wurde ebenfalls ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Leistungsindikators zwischen den Gruppen I und II festgestellt. Die Gruppe, deren Kompetenzerleben über dem Median liegt (Gruppe II), erzielt signifikant bessere Ergebnisse. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung des Kompetenzerlebens im Lernprozess. Es ist wichtig, dass Schüler*innen sich als kompetent erleben und an ihre eigenen Fähigkeiten glauben. Das Kompetenzerleben steht in engem Zusammenhang mit der Entstehung von Motivation, die wiederum nachweislich einen Einfluss auf den Lernerfolg hat (Linke, 2017; Müller et al., 2009).

In Bezug auf die Subskalen Druck und Interesse wurden keine signifikanten Haupteffekte innerhalb aller Gruppen festgestellt. Dies legt nahe, dass diese spezifischen Motivationsfaktoren keinen direkten Einfluss auf den Leistungsindikator haben.

7.4 Gruppeninterne Emotionsunterschiede hinsichtlich der Leistung

Obwohl Studien, wie die von Pekrun (2018), deutlich zeigen, dass positive Emotionen einen nachweislichen Einfluss auf den Lernerfolg haben, konnten in dieser Studie keine signifikanten

Zusammenhänge zwischen positiven Affekten und dem Lernerfolg festgestellt werden. Interessanterweise wurde jedoch ein bedeutender Einfluss negativer Affekte (z.B. Unsicherheit, Scham) auf den Lernerfolg identifiziert. Signifikante Unterschiede hinsichtlich des Leistungsindikators (Lernerfolg bei der VKS) zwischen den gebildeten Gruppen I und II wurden in der Gesamtgruppe sowie in der Fremde-Fehler Gruppe und der Kombinationsgruppe beobachtet. Diese Ergebnisse legen nahe, dass das Erleben von negativen Affekten ein bedeutender Faktor ist, der den Leistungsindikator beeinflusst. Vor allem das Erleben von negativ-deaktivierenden Emotionen korreliert mit einer Verschlechterung der Gesamtmotivation (Pekrun, 2018). Negativ-deaktivierende Affekte vermitteln dem Lernenden das Gefühl, dass die gestellten Aufgaben die eigenen Fähigkeiten übersteigen, was wiederum die Bereitschaft der Lernenden beeinträchtigen kann, an der Aufgabe weiterzuarbeiten oder sich weiterhin mit der Thematik auseinanderzusetzen (Pekrun, 2018; Pieper, 2020).

8. Limitationen

Zu den Limitationen der Interventionsstudie gehörten unter anderem kleine, unvermeidbare Einschränkungen in der internen Validität. Diese betrafen sowohl die Lehramtsstudierenden, die die Schüler*innen während der Interventionen unterrichteten, als auch den Zeitpunkt der Durchführung. Obwohl die Lehramtsstudierenden umfassend instruiert und mit einem detaillierten Skript ausgestattet wurden (s. Abschnitt 4.2), können individuelle Unterschiede im Lernprozess auftreten, die typischerweise auf unterschiedliche Lehrkräfte-Typen und die variierende Motivation der Lehrenden zurückzuführen sind. Es ist bekannt, dass die Motivation der Lehrkräfte Einfluss auf die Motivation der Schülerinnen hat (Daumiller, 2021; Götz et al., 2007).

Die Interventionsstudie wurde im Wintersemester des Schuljahres 2021/22 durchgeführt. Im März 2020 des vorhergehenden Schuljahrs war aufgrund der Covid19-Pandemie die Umstellung auf *Distance Learning* notwendig. Durch das *Distance Learning* waren die Voraussetzungen für praktisches Arbeiten, z.B. wissenschaftliches Experimentieren nur eingeschränkt gegeben. Den Schüler*innen könnte aufgrund der Covid19-Pandemie das notwendige Vorwissen für das selbständige, freie Experimentieren gefehlt haben. Aus diesem Grund waren die Materialien der Interventionsstudie stärker angeleitet, um die Schüler*innen beim selbstständigen Erwerb der Experimentierkompetenz zu unterstützen. Dies könnte jedoch die Motivation der Schüler*innen beeinträchtigt haben, da ihr selbstbestimmtes Vorgehen nur eingeschränkt möglich war (Bosch, 2015; Müller et al., 2009).

9. Ausblick und mögliche Implikationen für die Unterrichtspraxis

Das Ziel dieser Studie war es, den Einfluss motivationaler und emotionaler Aspekte auf das Lernen aus Fehlern im Kontext der Entwicklung experimenteller Kompetenzen bei Schüler*innen der Sekundarstufe 1 zu untersuchen. Basierend auf dem theoretischen Rahmen und vorangegangener Forschung, die das Potential des Lernens aus eigenen und fremden Fehlern (Kapur, 2008; Loibl & Leuders, 2019; Oser & Spychiger, 2005; Stark et al., 2010) sowie die Bedeutung von Motivationen (Bosch, 2015; Daumiller, 2021) und Emotionen (Pekrun, 2018) im Lernprozess betonen, wurde eine Interventionsstudie durchgeführt. Dabei nahmen drei Gruppen mit unterschiedlichen Schwerpunkten beim Lernen aus Fehlern (Eigene-Fehler Gruppe, Fremde-Fehler-Gruppe und Kombinationsgruppe) sowie eine Gruppe ohne Fokus auf das Lernen aus Fehlern (Keine-Fehler Gruppe) teil.

Im Rahmen der Studie konnten keine generellen motivationalen und emotionalen Unterschiede, abhängig vom Lernansatz (Lernen aus eigenen Fehlern, Lernen aus fremden Fehlern, Kombinationsansatz, kein Fehlerfokus), festgestellt werden. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass Motivation und Emotion Einfluss auf das Kompetenzerleben und die Wahlfreiheit haben. Zudem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass das Erleben negativer Emotionen den Lernerfolg verringert. In künftigen Studien wäre es interessant, die verschiedenen Klassifikationen von Emotionen zu berücksichtigen, da sowohl positive als auch negative Emotionen sich als lernförderlich erweisen können, abhängig davon, ob sie aktivierend sind oder nicht.

Motivationen und Emotionen, die Schüler*innen beim Lernen erleben, unterliegen einer komplexen Dynamik, die von einer Vielzahl von Faktoren abhängig sind. Die Herausforderungen beim Experimentieren, der hohe *Cognitive Load* beim Lernen aus Fehlern, keine Unterstützungsmöglichkeiten und zu gering ausgeprägte Fähigkeiten könnten die Motivation und die Emotion beeinflusst haben. Weitere Forschung ist vonnöten, um ein tieferes Verständnis für die spezifischen Mechanismen und den Einfluss von Emotionen und Motivationen auf die verschiedenen Formen des Lernens aus Fehlern und deren Auswirkungen auf den Lernerfolg zu erlangen. Vor allem beim Lernen aus Fehlern spielen die Lehrperson (Spychiger, 2004), eine positive Fehlerkultur (Spychiger et al., 1999) und umfassendes Feedback (Mathan & Koedinger, 2005) eine wichtige Rolle. Diese Einflussfaktoren konnten aufgrund des gewählten Studiendesigns nicht mitberücksichtigt werden. Für das Lernen aus Fehlern sind diese Faktoren entscheidend und sollten daher stärker in Studien zum Erwerb der Experimentierkompetenz berücksichtigt werden.

Möchte man das Lernen aus Fehlern im naturwissenschaftlichen Unterricht erfolgreich umsetzen, sollte man eine positive Fehlerkultur etablieren, in der Fehler als wertvolle Lernchancen betrachtet werden. Dies beinhaltet umfassendes und konstruktives Feedback, das sowohl die Fehler selbst als auch die durchgeführten Handlungen und deren Konsequenzen beleuchtet (Mathan & Koedinger, 2005). Zur gezielten Förderung der

Motivation der Schüler*innen sollten Fortschritte anerkannt, Anstrengungen gelobt und erreichbare Ziele gesetzt werden (Oser & Spychiger, 2005). Auch die Motivation der Lehrkräfte hat einen positiven Einfluss auf die Motivation der Schüler*innen (Götz et al., 2007). Daraus folgt, dass für erfolgreiches Lernen in der Schule nicht nur die Motivation der Schülerinnen, sondern auch die der Lehrkräfte von Bedeutung ist (Daumiller, 2021). Zusätzlich ist es wichtig, unterstützende Emotionen, wie Neugierde und Selbstvertrauen zu fördern, um den Schüler*innen zu helfen, Fehler als normalen Bestandteil des Lernprozesses beim naturwissenschaftlichen Experimentieren zu akzeptieren. Durch diese Maßnahmen wird die Experimentierkompetenz der Schüler*innen gestärkt, da sie lernen, Fehler gezielt zu reflektieren, die Ursachen und Auswirkungen ihrer Handlungen zu verstehen und effektive Problemlösungsstrategien für zukünftige Experimente zu entwickeln.

10. Zusammenfassung

Die naturwissenschaftliche Grundbildung ist international als auch im österreichischen Bildungssystem ein integraler Bestandteil des naturwissenschaftlichen Schulunterrichts und zielt darauf ab, Schüler*innen grundlegende Kompetenzen in den Naturwissenschaften zu vermitteln. Hier spielen insbesondere das Wissen über den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg mit seinen spezifischen Denk- und Arbeitsweisen eine wichtige Rolle. Ein zentrales Element des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns ist das Experiment, wobei die Variablenkontrollstrategie (VKS) von entscheidender Bedeutung ist. Diese Strategie erfordert, dass nur eine unabhängige Variable verändert wird, während alle anderen konstant gehalten werden. Studien zeigen, dass Schüler*innen beim Experimentieren häufig Fehler machen und ihnen insbesondere die Anwendung der VKS Probleme bereitet. Solche Fehler können jedoch wertvolle Lerngelegenheiten sein. Beim Lernen aus Fehlern existieren unterschiedliche Ansätze, darunter das Lernen aus eigenen Fehlern oder aus fremden Fehlern sowie eine Kombination beider Ansätze. Dabei spielen motivationale und emotionale Aspekte eine zentrale Rolle und beeinflussen sowohl das Lernen aus Fehlern als auch den Experimentierprozess maßgeblich. Um die komplexen, bisher wenig erforschten Zusammenhänge zwischen diesen Faktoren zu untersuchen, wurde eine experimentelle 2x2-faktorielle Interventionsstudie zur VKS-Kompetenz durchgeführt. Ziel war es, den Einfluss motivationaler und emotionaler Aspekte auf verschiedene Ansätze des Lernens aus Fehlern beim Erwerb der VKS zu erforschen. An der Interventionsstudie im Lehr-Lern-Labor des AECC Biologie an der Universität Wien nahmen 292 Schüler*innen (Schulstufe 7 und 8, $M_{\text{Alter}} = 12,8$; $SD = 0,7$; männlich 52,06 %; weiblich 40,07 %; divers 1,71 %; keine Angabe 6,16 %) aus zwölf städtischen Allgemeinbildenden höheren Schulen (AHS, Gymnasium) teil. Die Studie umfasste vier Gruppen, die mit unterschiedlichen Ansätzen zum Lernen der VKS aus Fehlern arbeiteten: eine *Eigene-Fehler-Gruppe* (G1) lernte aus eigenen Fehlern, eine *Fremde-Fehler-Gruppe* lernte aus fremden Fehlern fiktiver Schüler*innen (G2), eine *Kombinationsgruppe* lernte aus beiden Arten von Fehlern (G3) und eine *Keine-Fehler-Gruppe* (G4) erhielt theoretischen Experimentierunterricht ohne den Fokus auf Fehler. Entgegen der Hypothese, dass Schüler*innen, die eigenständig Experimente durchführen, eine höhere Motivation haben, zeigen sich keine motivationalen Unterschiede zwischen den Gruppen. Ebenso konnte die Hypothese, dass Schüler*innen, die mit fremden Fehlern arbeiten, weniger negative Emotionen erleben, nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten motivationalen und emotionalen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Lernansätzen. Allerdings deuten die Ergebnisse darauf hin, dass geringe Motivation und negative Emotionen das Kompetenzerleben und das Gefühl der Wahlfreiheit negativ beeinflussen. Insbesondere scheint das Erleben negativer Emotionen den Erfolg beim Lernen der VKS zu verringern. Weitere Forschung ist notwendig, um die komplexen Zusammenhänge zwischen dem Lernen aus Fehlern und den motivationalen sowie emotionalen Einflussfaktoren beim Erwerb der Experimentierkompetenz umfassender zu untersuchen.

11. Abstract

Scientific literacy is an integral part of science education both internationally and in the Austrian education system and is intended to provide students with basic skills in the natural sciences. Knowledge of the scientific path of discovery with its specific ways of thinking and working plays a particularly important role. A central element of gaining scientific knowledge is the experiment, whereby the control-of-variables strategy (CVS) is key. This strategy requires that only one independent variable is changed while all others are kept constant. Studies show that students often make errors when experimenting and that they struggle with the application of CVS. However, such errors can be valuable learning opportunities. There are different approaches to learning from errors, including learning from self-generated errors or from vicarious errors, as well as a combination of both approaches. Motivational and emotional aspects play a central role and have a significant influence on both learning from errors and the experimental process. An experimental 2x2 factorial intervention study on CVS competence was conducted in order to investigate the complex, previously little-researched relationships between these factors. The aim was to investigate the influence of motivational and emotional aspects on different approaches to learning from errors in the acquisition of CVS. The intervention study at the AECC Biology of the University of Vienna involved 292 students (grades 7 and 8, $M_{\text{Alter}} = 12.8$; $SD = 0.7$; male 52.06%; female 40.07%; diverse 1.71%; not specified 6.16%) from twelve urban general secondary schools (AHS, Gymnasium). The study comprised four groups that worked with different approaches to learning CVS from errors: a *self-generated error group* (G1) learnt from their own errors, a *vicarious error group* learnt from other students' fictional errors (G2), a *combination group* learnt from a combination of both approaches (G3) and a *no-error group* (G4) received theoretical experimentation lessons without a focus on errors. Contrary to the hypothesis that students who carry out experiments independently are more motivated, there were no motivational differences between the groups. Similarly, the hypothesis that students who work with other people's errors experience fewer negative emotions could not be confirmed. The results show no significant motivational and emotional differences between the different learning approaches. However, the results indicate that poor motivation and negative emotions have a negative impact on the experience of competence and the feeling of freedom of choice. Experiencing negative emotions appears to reduce success in CVS learning. Further research is needed to investigate more comprehensively the complex relationships between learning from errors and the motivational and emotional factors influencing the acquisition of experimental competence.

12. Literatur

- Ahmadi, A., Noetel, M., Parker, P., Ryan, R. M., Ntoumanis, N., Reeve, J., Beauchamp, M., Dicke, T., Yeung, A., Ahmadi, M., Bartholomew, K., Chiu, T. K. F., Curran, T., Erturan, G., Flunger, B., Frederick, C., Froiland, J. M., González-Cutre, D., Haerens, L., . . . Lonsdale, C. (2023). A Classification System for Teachers' Motivational Behaviors Recommended in Self-Determination Theory Interventions. *Journal of educational psychology*. <https://doi.org/10.1037/edu0000783>
- Althof, W. (1999). *Fehlerwelten: vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern : Beiträge und Nachträge zu einem interdisziplinären Symposium aus Anlaß des 60. Geburtstags von Fritz Oser*. Leske & Budrich. <https://ubdata.univie.ac.at/AC02614024>
- Amann, G., & Wipplinger, R. (2011). *Abenteuer Psyche* (2. Aufl., korr. Nachdr. (2.01) ed.). Braumüller. <https://ubdata.univie.ac.at/AC11026509>
- Atkinson, R. K., Renkl, A., & Merrill, M. M. (2003). Transitioning From Studying Examples to Solving Problems: Effects of Self-Explanation Prompts and Fading Worked-Out Steps. *Journal of educational psychology*, 95(4), 774-783. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.774>
- Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R., & Weiber, T. (2023). *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung* (17 Auflage ed.). Springer Fachmedien <https://doi.org/10.1007/978-3-658-40465-9>
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). THE MANY LEVELS OF Inquiry. *Science and children*, 46, 29. https://doi.org/10.2505/3/sc08_046_02
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3 ed.). Springer Spektrum.
- Bauer, J., & Mulder, R. H. (2007). Modelling learning from errors in daily work. *Learning in Health and Social Care*, 6(3), 121-133. <https://doi.org/10.1111/j.1473-6861.2007.00150.x>
- Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren: Ergebnisse einer videogestützten Beobachtung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, 129. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0078-7>
- Baur, A. (2021). Errors made by 5th-, 6th-, and 9th-graders when planning and performing experiments: Results of video-based comparisons. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie - Biologie Lehren und Lernen*, 25, 45– 63. <https://doi.org/10.11576/zdb-3576>
- Baur, A., Xenofontos, N., & Papaevripidou, M. (2022). Inquiry-based Learning (Forschendes Lernen). In A. Baur, N. Baumgartner-Hirscher, & A. Lehtinen (Eds.), *Differenzierung beim Inquiry-based Learning im naturwissenschaftlichen Unterricht: Ein Differenzierungstool für das Experimentieren im Sinne des Forschenden Lernens* (pp. 34 - 59). Beltz Juventa Verlag.
- Belenky, D. M., & Nokes-Malach, T. J. (2012). Motivation and transfer: The role of mastery-approach goals in preparation for future learning. *Journal of the Learning Sciences*, 21(3), 399-432. <https://doi.org/10.1080/10508406.2011.651232>
- BMBWF. (2023). *Lehrplan - Biologie und Umweltbildung* Retrieved 30.07.2024 from <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S. (2014). *Rasch Analysis in the Human Sciences* (2014 ed.). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4>
- Borchers, C., Ferdinand, J., & Fischer, C. (2020). *Inquiry-based Learning: Forschendes Lernen im Unterricht*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/dk9c6>
- Bosch, J. (2015). Maßnahmen zur Verbesserung der Lernmotivation in der Schule. *Zeitschrift Für Erziehungswissenschaft*, 3.
- Brandenburger, M., Salim, C. A., Schwichow, M., Wilbers, J., & Mikelskis-Seifert, S. (2022). Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28(1). <https://doi.org/10.1007/s40573-022-00140-x>

- Breyer, B., & Bluemke, M. (2016). *Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANAS (GESIS Panel)*. <https://doi.org/10.6102/zis242>
- Bruckermann, T., Arnold, J., Kremer, K., & Schlueter, K. (2017). Forschendes Lernen in der Biologie. In (pp. 11-26). https://doi.org/10.1007/978-3-662-53308-6_2
- Chen, O., Retnowati, E., Chan, B. K. Y., & Kalyuga, S. (2023). The effect of worked examples on learning solution steps and knowledge transfer. *Educational Psychology*, 43(8), 914-928. <https://doi.org/10.1080/01443410.2023.2273762>
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All Other Things Being Equal: Acquisition and Transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70, 1098 - 1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of educational research*, 63, 49. <https://doi.org/10.3102/00346543063001001>
- Chott, P. O. (1999). Ansätze zur Entwicklung einer "Fehlerkultur" in der Schule. Lernförderung in der Schule durch Fehlerprophylaxe und Fehlermanagement. *PÄD-Forum*, 27(3), 238-248.
- Daumiller, M. (2021). *Motivation in der Schule: Implikationen aus der Motivationspsychologie*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/ceb8h>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223-238. <https://doi.org/URN:urn:nbn:de:0111-pedocs-111739>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2002). Overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspective. In *Handbook of self-determination research*. (pp. 3-33). University of Rochester Press.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2021). *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*. Retrieved 9. Februar 2024 from <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Department for Education. (2014). *National Curriculum in England: Science Programmes of Study*. Department for Education. Retrieved 6.10.2024 from <https://www.gov.uk/government/collections/national-curriculum>
- Durkin, K., & Rittle-Johnson, B. (2012). The effectiveness of using incorrect examples to support learning about decimal magnitude. *Learning and instruction*, 22, 214. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.11.001>
- Eder, A. B., & Brosch, T. (2017). Emotion. In J. Müsseler & M. Rieger (Eds.), *Allgemeine Psychologie*. Springer-Verlag Berlin.
- Field, A. P. (2017). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th edition ed.). SAGE Publications. <https://app.talis.com/textbooks/9781526422989>
- Finnish National Agency for Education. (2016). *The National Core Curriculum for Basic Education 2014*. Finnish National Agency for Education. Retrieved 06.10.2024 from <https://www.oph.fi/en/statistics-and-publications/publications/new-national-core-curriculum-basic-education-focus-school>
- Frenzel, A., Götz, T., & Pekrun, R. (2015). Emotionen. In E. Wild & J. Möller (Eds.), *Pädagogische Psychologie* (2. Aufl. vollst. überarb. u. aktualisierte ed., pp. 201 - 226). Springer Verlag. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-41291-2>
- Gartmeier, M., Bauer, J., Gruber, H., & Heid, H. (2008). Negative Knowledge: Understanding Professional Learning and Expertise. *Vocations and Learning*, 1(2), 87-103. <https://doi.org/10.1007/s12186-008-9006-1>
- Gläser-Zikuda, M., Meyer, S., & Stephan, M. (2022). Emotionen aus religionspädagogischer Perspektive. *THEO-WEB*, 21, 74-91.
- Glogger-Frey, I., Fleischer, C., Grüny, L., Kappich, J., & Renkl, A. (2015). Inventing a solution and studying a worked solution prepare differently for learning from direct instruction. *Learning and instruction*, 39, 72-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.05.001>
- González-Cabañes, E., Garcia, T., Chase, C., & Núñez, J. C. (2023). PROTOCOL: Problem solving before instruction (PS-I) to promote learning and motivation in child and adult students. *Campbell*

- systematic reviews, 19 (3)(1891-1803 (Electronic)).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cl2.1337>
- Götz, T. (2004). *Emotionales Erleben und selbstreguliertes Lernen bei Schülern im Fach Mathematik*. Utz.
- Götz, T., Frenzel, A., & Pekrun, R. (2007). Emotionstrainings. In J. Zumbach & H. Mandl (Eds.), *Fallbuch Pädagogische Psychologie - Lehr- und Lernpsychologie* (pp. 255 - 264). Hogrefe.
- Große, C., & Renkl, A. (2004). Learning from worked examples: What happens if errors are included? *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning*.
- Grottko, T., Möhrke, P., & Rost, M. (2020). *Praxisorientierte Einführung in die Item-Response-Theorie mit dem Fokus auf das Rasch-Modell*. Retrieved 21.04.2024 from <https://dbuschhue.github.io/P4-Workflow/>
- Hammann, M. (2003). Aus Fehlern lernen. *Unterricht Biologie* 27.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M., & Grimm, T. (2008). Assessing pupils' skills in experimentation. *Journal of biological education*, 42, 72.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656113>
- Hammann, M., Thi, T. H. P., & Ehmer, M. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 59(5), 292-299.
- Harteis, C., Bauer, J., & Heid, H. (2006). Der Umgang mit Fehlern als Merkmal betrieblicher Fehlerkultur und Voraussetzung für Professional Learning. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28 1, 111 - 129.
- Hartmann, C., Gog, T., & Rummel, N. (2020). Do examples of failure effectively prepare students for learning from subsequent instruction? *Applied Cognitive Psychology*, 34(4), 879-889.
<https://doi.org/10.1002/acp.3651>
- Hascher, T., Sutter-Brandenberger, C. C., & Liechti, E. (2020). Motivationstheorien im schulischen Kontext. In (pp. 53-64).
- Hayes, A. F., & Coutts, J. J. (2020). Use Omega Rather than Cronbach's Alpha for Estimating Reliability. *Communication Methods and Measures*, 14(1), 1-24.
<https://doi.org/10.1080/19312458.2020.1718629>
- Hof, S. (2011). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. [Acquisition of scientific methodical competence through research learning. Development and evaluation of an intervention study.]. Kassel Univ. Press.
- Howard, J. L., Bureau, J. S., Guay, F., Chong, J. X. Y., & Ryan, R. M. (2021). Student Motivation and Associated Outcomes: A Meta-Analysis From Self-Determination Theory. *Perspectives on Psychological Science*, 16(6), 1300-1323. <https://doi.org/10.1177/1745691620966789>
- Huber, M., & Krause, S. (2017). Bildung und Emotion. In M. Huber & S. Krause (Eds.), *Bildung und Emotion* (pp. 1-13). Springer VS.
- Ivancic, K., & Hesketh, B. (2000). Learning from errors in a driving simulation: Effects on driving skill and self-confidence. *Ergonomics*, 43(12), 1966-1984.
<https://doi.org/10.1080/00140130050201427>
- Kapur, M. (2008). Productive Failure. *Cognition and Instruction*, 26, 424.
<https://doi.org/10.1080/07370000802212669>
- Kapur, M. (2014). Productive failure in learning math. *Cognitive Science*, 38, 1008 - 1022
- Kapur, M., & Bielaczyc, K. (2012). Designing for Productive Failure. *The Journal of the learning sciences*, 21, 83. <https://doi.org/10.1080/10508406.2011.591717>
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational psychologist*, 41.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Klauer, K. J., & Leutner, D. (2012). *Lehren und Lernen: Einführung in die Instruktionspsychologie* (2., überarb. Aufl. ed.). Beltz. http://content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783621279789

- Klein, D. M. (2015). *Theoretisieren für die Praxis: Dörderung anwendbaren bildungswissenschaftlichen Wissens in der Lehramtsausbildung anhand instruktionaler Fehler* [Dissertation Universität des Saarlandes]. Saarbrücken.
- Klein, M., Wagner, K., & Stark, R. (2012). Theoretisieren für die Praxis - Analyse und Förderung der Anwendung wissenschaftlichen Wissens in schulischen Kontexten. . In Krämer, Dutke, & Barenberg (Eds.), *Psychologiedidaktik und Evaluation IX* (Vol. 1). Shaker.
- Klopp, E., & Stark, R. (2020). Learning to Argue From Others' Erroneous Arguments – Fostering Argumentation Competence Through Learning From Advocatory Errors. *Frontiers in education (Lausanne)*, 5. <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.00126>
- KMK. (2005). *Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss*. Retrieved 06.10.2024 from https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Biologie_MSA.pdf
- Kollosche, D. (2017). Entdeckendes Lernen: Eine Problematisierung. *Journal für Mathematik-Didaktik (Internet)*, 38, 237. <https://doi.org/10.1007/s13138-017-0116-x>
- Kollosche, D. (2020). Entdeckendes Lernen auf dem Prüfstand. *MNU-Journal*, 4, 282-286.
- Konrad, K. (2014). *Lernen lernen - allein und mit anderen* (1 ed.). Springer VS. <https://doi.org/https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1007/978-3-658-04986-7>
- Kopp, V., Stark, R., & Fischer, M. (2007). Förderung der Diagnosekompetenz durch beispielbasiertes Lernen in der medizinischen Ausbildung: der Einfluss von Prozessorientierung und Fehlern. In G. Kundt, J. Bernauer, M. Fischer, M. Haag, R. Klar, J. Leven, H. Matthies, & F. Puppe (Eds.), *eLearning in der Medizin und Zahnmedizin* (pp. 109 - 121). Shaker.
- Kranz, J., Baur, A., & Möller, A. (2023). Learners' challenges in understanding and performing experiments: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, 59, 367. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2138151>
- Krapp, A. (2003). Die Bedeutung der Lernmotivation für die Optimierung des schulischen Bildungssystems. *Politische Studien. Zweimonatszeitschrift für Politik und Zeitgeschehen, Sonderheft 3*, 91-105.
- Kremer, K., Möller, A., Arnold, J., & Mayer, J. (2019). Kompetenzförderung beim Experimentieren. In J. Groß, M. Hamann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Eds.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (pp. 113-128). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_7
- Kubbe, I. (2016). Gütekriterien experimenteller Forschung. In I. Kubbe (Ed.), *Experimente in der Politikwissenschaft: Eine methodische Einführung* (pp. 61-76). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-09424-9_4
- Kuhn, D., & Dean, D. (2005). Is Developing Scientific Thinking All about Learning to Control Variables? *Psychol Sci*, 16, 870. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x>
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55 (1), 1-15.
- Linke, R. (2017). *Ein Michelson-Interferometer aus LEGO®-Bausteinen: Untersuchung technischer und affektiver Aspekte*. (1 st. ed.). Springer Fachmedien: Imprint: Springer Spektrum.
- Loibl, K., & Leuders, T. (2019). How to make failure productive: Fostering learning from errors through elaboration prompts. *Learning and instruction*, 62, 10. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.03.002>
- Loibl, K., Roll, I., & Rummel, N. (2017). Towards a Theory of When and How Problem Solving Followed by Instruction Supports Learning. *Educational psychology review*, 29(4), 693-715. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9379-x>
- Lui, H. (2021). *Lernen aus Fehlern beim Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht mit Fokus auf der Variablenkontrollstrategie* Universität des Saarlandes]. Saarland.
- Malkewitz, C. P., Schwall, P., Meesters, C., & Hardt, J. (2023). Estimating reliability: A comparison of Cronbach's α , McDonald's ω and the greatest lower bound. *Social Sciences & Humanities Open*, 7(1), 100368. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2022.100368>

- Mathan, S., & Koedinger, K. (2005). Fostering the Intelligent Novice: Learning From Errors With Metacognitive Tutoring. *Educational Psychologist - EDUC PSYCHOL*, 40, 257-265. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4004_7
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (pp. 177-186). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16
- McLaren, B. M., Adams, D., Durkin, K., Gogvadze, G., Mayer, R. E., Rittle-Johnson, B., Sosnovsky, S., Isotani, S., & van Velsen, M. (2012). To Err Is Human, to Explain and Correct Is Divine: A Study of Interactive Erroneous Examples with Middle School Math Students. In A. Ravenscroft, S. Lindstaedt, C. D. Kloos, & D. Hernández-Leo (Eds.), *21st Century Learning for 21st Century Skills* (pp. 235). https://doi.org/10.1007/978-3-642-33263-0_18
- Metcalfe, J. (2017). Learning from Errors. *Annual Review of Psychology*, 68(1), 465-489. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044022>
- Metcalfe, J., & Xu, J. (2017). Learning from one's own errors and those of others. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1287-7>
- Meyer, W.-U., & Schützwohl, A. (1993). *Einführung in die Emotionspsychologie*. 1 (1. Aufl. ed.). Hans Huber Verlag <https://ubdata.univie.ac.at/AC00208508>
- Müller, F., Andreitz, I., & Fussli, A. (2009). Motivationsförderung im Unterricht: Zwischen Utopie und Machbarem. In K. Krainer, B. Hanfstingl, & S. Zehetmeier (Eds.), *Fragen zur Schule – Antworten aus Theorie und Praxis* (pp. 31-49). Studienverlag.
- Murayama, K., Pekrun, R., Lichtenfeld, S., & vom Hofe, R. (2013). Predicting long-term growth in students' mathematics achievement: The unique contributions of motivation and cognitive strategies. *Child Development*, 84(4), 1475-1490. <https://doi.org/10.1111/cdev.12036>
- Neber, H. (2006). Entdeckendes Lernen. In K.-H. Arnold (Ed.), *Handbuch Unterricht*. <https://ubdata.univie.ac.at/AC05469931>
- Neber, H., & Anton, M. A. (2008). Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie (Bern, Switzerland)*, 22, 150. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.22.2.143>
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. National Academies Press. Retrieved 06.10.2024 from <https://www.nextgenscience.org/standards>
- Olson, S., & Loucks-Horsley, S. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. National Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.17226/9596>
- Oser, F. (2007). Aus Fehlern lernen In Göhlich, Wulf, & Zirfas (Eds.), *Pädagogische Theorien des Lernens* (pp. 203-212). Beltz Verlag.
- Oser, F., Hascher, T., & Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des "negativen" Wissens. In W. Althof (Ed.), *Fehlerwelten : vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (pp. 11 - 42). Leske + Budrich. <https://ubdata.univie.ac.at/AC02614024>
- Oser, F., & Spychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft: zur Theorie des negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Beltz. <https://ubdata.univie.ac.at/AC04389245>
- Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational psychology review*, 18, 341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Pekrun, R. (2018). Emotion, Lernen und Leistung. In M. Huber & S. Krause (Eds.), *Bildung und Emotion*. Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18589-3_12
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic Emotions in Students' Self-Regulated Learning and Achievement: A Program of Qualitative and Quantitative Research. *Educational psychologist*, 37, 105. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_4
- Petermann, F., & Wiedebusch, S. (2016). *Emotionale Kompetenz bei Kindern* (3., überarbeitete Auflage ed.). Hogrefe. <https://ubdata.univie.ac.at/AC13337788>

- Pfanger-Becker, U. (2010). Das Experiment im Lehr- und Lernprozess. Eine Betrachtung aus der Sicht kompetenzorientierten Lehrens und Lernens im Kontext der zweiten Ausbildungsphase. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 59(6), 40-42.
- Pieper, R. (2020). Den Emotionen auf der Spur. Grundlagen der emotionalen Entwicklung im schulischen Umfeld.
- Prediger, S., & Wittmann, G. (2009). Aus Fehlern lernen - (wie) ist das möglich? *PM - Praxis der Mathematik in der Schule*, 27, 1 - 8
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.
- Renkl, A. (2014). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. *Cognitive Science*, 38(1), 1-37. <https://doi.org/10.1111/cogs.12086>
- Renkl, A. (2017). Learning from worked-examples in mathematics: students relate procedures to principles. *ZDM*, 49. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0859-3>
- Riga, F., Winterbottom, M., Harris, E., & Newby, L. (2017). Inquiry-Based Science Education. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 247-261). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_19
- Roelle, J., Lachner, A., & Heitmann, S. (2023). Lernen aus Lösungsbeispielen. In H. M. Buhl & K. B. Klingsiek (Eds.), *Lernen. Theorien und Techniken* (pp. 115-124). utb. <https://doi.org/10.36198/9783838558981>
- Rohrmann, S., Virtbauer, L., & Baur, A. (2022). Experimente und ihr Einsatz beim Inquiry-based Learning. In A. Baur, N. Baumgartner-Hirscher, & A. Lehtinen (Eds.), *Differenzierung beim Inquiry-based Learning im naturwissenschaftlichen Unterricht : Ein Differenzierungstool für das Experimentieren im Sinne des Forschenden Lernens* (pp. 60-77). Beltz Juventa Verlag.
- Scheuermann, H. (2017). *Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten* Christian-Alberts-Universität]. Kiel.
- Schmidt, D. (2016). *Modellierung experimentieller Kompetenzen sowie ihre Diagnostik und Förderung im Biologieunterricht* Universität Trier]. Trier.
- Scholtes, K. (2021). *Lernen aus Fehlern beim Forschenden Experimentieren im Chemieunterricht* Universität des Saarlandes]. Saarland.
- Schulz, A., Wirtz, M., & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel, & A. Schulz (Eds.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht* (pp. 15-38). Waxmann.
- Schwichow, M., Brandenburger, M., Christoph, S., Edelsbrunner, P., Härtig, H., Kranz, J., Möller, A., Nehring, A., Deiglmayr, A., Peteranderle, S., & Schalk, L. (in revision). Scientific Reasoning and Expertise: Investigating the Domain Specificity of the Control of Variables Strategy. *Journal of educational psychology*.
- Schwichow, M., Christoph, S., & Härtig, H. (2015). Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 68, 346-350.
- Schwichow, M., & Nehring, A. (2018). Variablenkontrolle beim Experimentieren in Biologie, Chemie und Physik: Höhere Kompetenzausprägungen bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie durch höheres Fachwissen? Empirische Belege aus zwei Studien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, 233. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0085-8>
- Siegler, R. S. (2002). Microgenetic studies of self-explanation. In N. Granott & J. Parziale (Eds.), *Microdevelopment: Transition processes in development and learning*. (pp. 31-58). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511489709.002>
- Sobe, N. (2012). *Wege zur Mitarbeitermotivation: Extrinsisch versus intrinsische Motivationsinstrumente*. (Vol. 1. Auflage). Tectum Verlag.
- Spinath, B. (2011). Lernmotivation. In (pp. 45 - 55). https://doi.org/10.1007/978-3-531-93021-3_4
- Spychiger, M. (2004). *Bitter, edel oder leicht? Ausführungen zum biografischen Lernen aus Fehlern* Kongress für Bildungsforschung der DGfE, SGBF und ÖFEB.,

- Spychiger, M., Oser, F., Hascher, T., & Mahler, F. (1999). Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule. In (pp. 43-70). https://doi.org/10.1007/978-3-663-07878-4_2
- Stark, R., Herzmann, P., & Krause, U.-M. (2010). Effekte integrierter Lernumgebungen - Vergleich problembasierter und instruktionsorientierter Seminarkonzeptionen in der Lehrerbildung - *Zeitschrift für Pädagogik*, 56, 548 - 563. <https://doi.org/10.25656/01:7159>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational psychology review*, 10, 251. <https://doi.org/10.1023/a:1022193728205>
- Tulis, M., Steuer, G., & Dresel, M. (2016). Learning from errors: A model of individual processes. *Frontline Learning Research*, 4, 12– 26. <https://doi.org/10.14786/flr.v4i2.168>
- Vadlau, V. (2021). *Die Bedeutung der Motivation im Unterricht : Lernen in seinen zahlreichen Facetten* [Karl-Franzens-Universität Graz]. Graz.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papadimitriou, E. (2001). Designing learning environment to promote conceptual change in science. *Learning and instruction*, 11, 381-419. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00038-4)
- Wagner, K., Klein, M., Klopp, E., & Stark, R. (2014). Instruktionale Unterstützung beim Lernen aus advokatorischen Fehlern in der Lehramtsausbildung. Effekte auf die Anwendung wissenschaftlichen Wissens. *Psychologie in Erziehung und Unterricht (PEU)*, 61, 287-301. <https://doi.org/10.2378/peu2014.art23d>
- Watson, D., & Clark, L. (1988). Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative Affect: The PANAS Scales. *Journal of Personality and Social Psychology* 54 (6), 1063-1070.
- Weaver, J. P., Chastain, R. J., DeCaro, D. A., & DeCaro, M. S. (2018). Reverse the routine: Problem solving before instruction improves conceptual knowledge in undergraduate physics. *Contemporary Educational Psychology*, 52, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2017.12.003>
- Weimer, H. (1925). *Psychologie der Fehler*. Klinkhardt. <https://ubdata.univie.ac.at/AC06375123>
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A., & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15.
- Wirth, J., Thillmann, H., Küsting, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(3), 361-375. <https://www.pedocs.de/volltexte/2011/4356/>
- Zhai, J., Jocz, J. A., & Tan, A.-L. (2014). 'Am I Like a Scientist?': Primary children's images of doing science in school. *International journal of science education*, 36, 576. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.791958>
- Zhang, Q., & Fiorella, L. (2023). An integrated model of learning from errors. *Educational psychologist*, 58(1), 18-34. <https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2149525>

13. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während des Studiums und beim Schreiben dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Mein besonderer Dank gilt Univ.-Prof. Dr. Andrea Möller, die durch ihre wertvolle Unterstützung bei der Planung und Durchführung der LeFeEx-Studie sowie durch die Bereitstellung von Ressourcen maßgeblich zum Erfolg der Studie beigetragen hat. Ihre sorgfältige Korrektur und nützlichen Hinweise haben entscheidend zum erfolgreichen Abschluss meiner Masterarbeit beigetragen. Ein weiterer Dank geht an Dr. Theresa Krause-Wichmann von der Universität des Saarlandes, die als wertvolle Kooperationspartnerin zur Seite stand.

Ein herzliches Dankeschön richte ich an Linda Hämmerle. Es war eine Bereicherung, Teil deiner LeFeEx-Interventionsstudie sein zu dürfen. Ich schätze die zahlreichen Gespräche, die wir während meines langen Arbeitsprozesses geführt haben, und danke dir für dein motivierendes und konstruktives Feedback.

Mein Dank geht auch an meine Studienkolleg*innen Georg und Verena („Team Calibri“), die ihre Masterarbeiten ebenfalls im Rahmen der LeFeEx-Interventionsstudie verfassen. Euer lebhafter, offener und motivierender Austausch während des gesamten Arbeitsprozesses war für mich sehr wertvoll. Wir können wirklich stolz auf das Erreichte sein!

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem guten Freund und Studienkollegen Martin, der viel von seiner kostbaren Freizeit investiert hat, um mich bei der Datenauswertung zu unterstützen. Deine einfachen Erklärungen und zahlreichen Anmerkungen waren eine große Hilfe.

Ein weiterer Dank gilt meinen engsten Studienkolleg*innen Ines, Martin, Rafaela, Hannah und Pinar, die längst Teil meines Freundeskreises geworden sind. Die unzähligen Stunden, die wir in Seminaren oder beim Lernen verbracht haben, sind mir in bester Erinnerung geblieben.

Darüber hinaus danke ich meinen Kolleg*innen aus der „NaWi-Sammlung“ für ihre Unterstützung. Eure motivierenden und aufmunternden Worte im stressigen Schulalltag haben mir sehr geholfen. Ohne euch hätte ich meine ersten Dienstjahre nicht so erfolgreich absolvieren können.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern und meinem Partner Christoph danken. Eure Unterstützung in allen Lebenslagen und die Gewissheit, dass ihr immer an meiner Seite seid, bedeutet mir sehr viel.

14. Anhang

14.1 Pre-Test

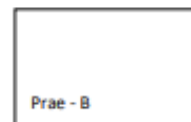
Hier finden Sie die Inhalte des Pre-Tests, die für alle Gruppen (A, B und C) identisch sind.



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).

14.2 Post-Test

Hier finden Sie die Inhalte des Post-Tests, die für alle Gruppen (A, B und C) identisch sind.



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	

Frage deine Lehrperson, in welcher Gruppe du heute bist, und schreibe sie in den

Kasten:

Viel Spaß!



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).

14.3 VKS-Items

Hier finden Sie die VKS-Items gemäß Schwichow et al. (in revision) und das VKS-Item zum durchgeführten Experiment (Isolationsfähigkeit). Die nachfolgende Tabelle bietet eine Übersicht darüber, welche Items in den Testheften (Pre- und Post-Test, Gruppen A, B, C) verwendet wurden.

Item	Pre A	Pre B	Pre C	Post A	Post B	Post C
Reaktionsgeschwindigkeit		X			X	
Asseln		X	X		X	X
Besen	X	X		X	X	
Starker Strom		X			X	
Photosynthese	X			X		
Wasser kühlen	X			X		
pH-Wert	X			X		
Pendel			X			X
Muffins backen			X			X
Leitfähigkeit			X			X
Isolation				X	X	X

Reaktionsgeschwindigkeit

Wird Zink in Salzsäure gegeben, so reagieren die beiden Stoffe zu Wasserstoff und Zinkchlorid, so lange bis alles Zink reagiert hat.

Die Reaktionsgeschwindigkeit, also die Zeit, bis alles Zink reagiert hat, hängt von verschiedenen Einflüssen ab. In Experimenten werden folgende Einflüsse überprüft:

- A) Zerteilungsgrad von Zink:** Hat es einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit, ob Zinkpulver oder eine Zinkplatte verwendet wird?



Zinkpulver

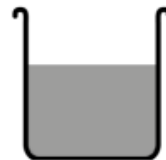


Zinkplatte

- B) Konzentration der Salzsäure:** Hat es einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit, ob hoch konzentrierte oder niedrig konzentrierte Salzsäure verwendet wird?



niedrig konzentrierte Salzsäure



hoch konzentrierte Salzsäure

- C) Temperatur:** Hat es einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit, ob die Salzsäure Zimmertemperatur besitzt oder vorher erhitzt wurde?

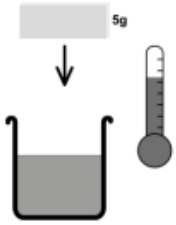
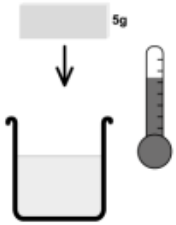
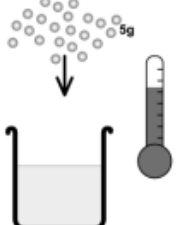
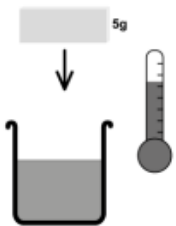


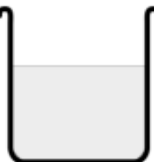
Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C

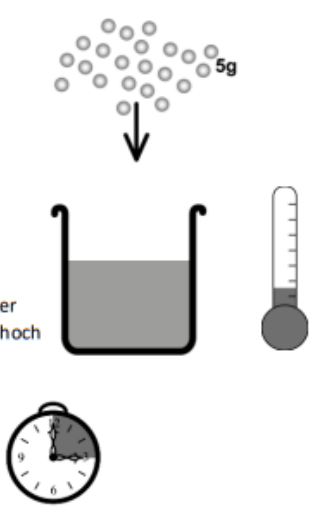
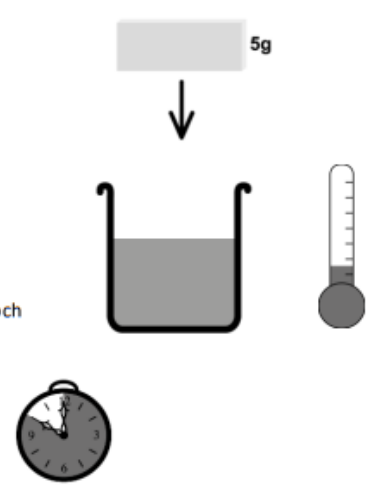


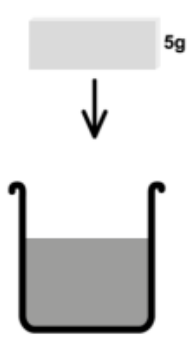
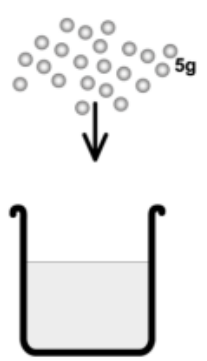
erhitzte Salzsäure 50°C

	gar nichts				sehr viel	
Wie viel weißt du über Reaktionsgeschwindigkeiten? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wie viel weißt du über Chemie? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Reaktionsgeschwindigkeit	ID-CHE-1c
Anton möchte überprüfen, ob die Temperatur einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hat. Er vermutet, dass die Reaktion schneller abläuft, wenn man erhitzte Salzsäure verwendet. Mit welchem Experiment kann er seine Vermutung prüfen?	
1a ☐ Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 20°C	1b  Zerteilungsgrad: Zinkplatte Konzentration Salzsäure: hoch Temperatur: 50°C
2a ☐ Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 50°C	2b  Zerteilungsgrad: Zinkplatte Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 50°C
3a ☐ Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 20°C	3b  Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 50°C
4a ☐ Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 50°C	4b  Zerteilungsgrad: Zinkplatte Konzentration Salzsäure: hoch Temperatur: 50°C

Reaktionsgeschwindigkeit		PL-CHE-1b	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob die Konzentration der Salzsäure die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst.			
Kreuze hierfür bei „Reaktion 1“ und „Reaktion 2“ an, wie du Zerteilungsgrad, Konzentration und Temperatur wählen würdest.			
Reaktion 1		Reaktion 2	
☐  Zinkpulver	☐  Zinkplatte	☐  Zinkpulver	☐  Zinkplatte
☐  niedrig konzentrierte Salzsäure	☐  hoch konzentrierte Salzsäure	☐  niedrig konzentrierte Salzsäure	☐  hoch konzentrierte Salzsäure
☐  Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C	☐  erhitzte Salzsäure mit 50°C	☐  Salzsäure mit Zimmertemperatur 20°C	☐  erhitzte Salzsäure mit 50°C

Reaktionsgeschwindigkeit	IN-CHE-1a
Anton hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: hoch Temperatur: 20°C Beobachtung: schnelle Reaktion	 Zerteilungsgrad: Zinkplatte Konzentration Salzsäure: hoch Temperatur: 20°C Beobachtung: langsame Reaktion
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Der Zerteilungsgrad von Zink hat einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit.	
☐ Die Konzentration der Salzsäure hat einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit.	
☐ Sowohl der Zerteilungsgrad von Zink als auch die Konzentration der Salzsäure haben einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Reaktionsgeschwindigkeit	UN-CHE-1b
Anton hat folgendes Experiment durchgeführt:	
5g  Zerteilungsgrad: Zinkplatte Konzentration Salzsäure: hoch Temperatur: 20°C  Beobachtung: langsame Reaktion	5g  Zerteilungsgrad: Zinkpulver Konzentration Salzsäure: niedrig Temperatur: 20°C  Beobachtung: schnelle Reaktion
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Der Zerteilungsgrad von Zink hat einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit.	
☐ Die Konzentration der Salzsäure hat einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit.	
☐ Sowohl der Zerteilungsgrad von Zink als auch die Konzentration der Salzsäure haben einen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Bevorzugter Lebensraum von Asseln

Die Mauerassel zählt zu den häufigsten Landasseln Europas. Sie zeichnet sich durch spezifische Verhaltensweisen aus, die durch verschiedene Experimente nachgewiesen werden können. So kann man auch herausfinden, welchen Lebensraum Mauerasseln bevorzugen. Der Lebensraum kann von verschiedenen Eigenschaften beeinflusst werden. In Experimenten können folgende Einflüsse überprüft werden:

- A) Lichteinfall:** Hat es einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln, ob der Lebensraum Helligkeit oder Dunkelheit ausgesetzt ist?



Petrischale in Dunkelheit



Petrischale in Helligkeit

- B) Temperatur:** Hat es einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln, ob der Lebensraum Kälte oder Wärme (Zimmertemperatur) ausgesetzt ist?



kühle Umgebung 10°C



Umgebung bei Zimmertemperatur 20°C

- C) Menge an Wasser:** Hat es einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln, ob der Lebensraum im Feuchten oder Trockenen liegt?

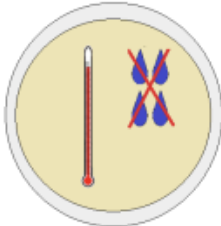
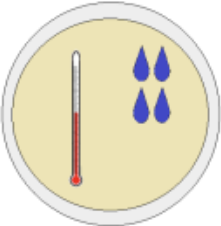


feuchte Umgebung

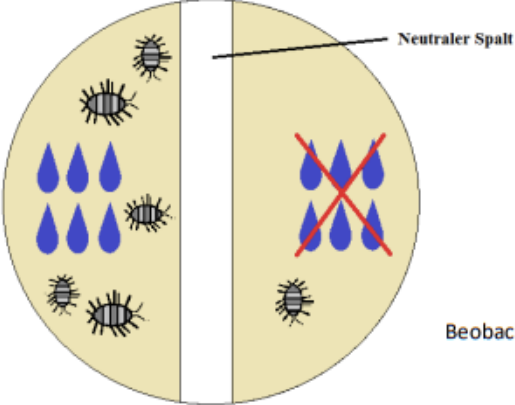


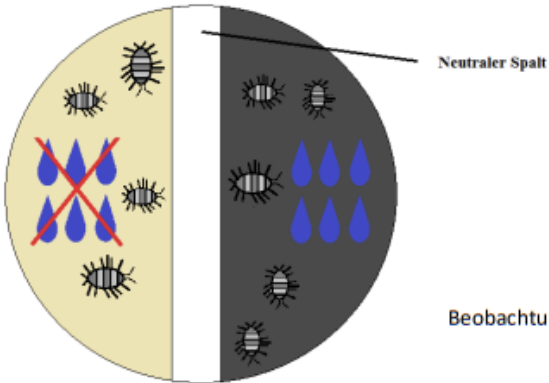
trockene Umgebung

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

Bevorzugter Lebensraum von Asseln	ID-BIO-1
Franziska möchte überprüfen, ob die Temperatur einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerrasseln besitzt. Sie vermutet, dass die Mauerrasseln eine kühlere Umgebung bevorzugen. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung überprüfen?	
Experiment 1 1a ☐ Lichteinfall: hell Temperatur: 20°C Menge an Wasser: trocken  1b ☐ Lichteinfall: dunkel Temperatur: 10°C Menge an Wasser: feucht 	
Experiment 2 2a ☐ Lichteinfall: dunkel Temperatur: 20°C Menge an Wasser: feucht  2b ☐ Lichteinfall: hell Temperatur: 10°C Menge an Wasser: feucht 	
Experiment 3 3a ☐ Lichteinfall: dunkel Temperatur: 20°C Menge an Wasser: feucht  3b ☐ Lichteinfall: dunkel Temperatur: 10°C Menge an Wasser: feucht 	
Experiment 4 4a ☐ Lichteinfall: hell Temperatur: 10°C Menge an Wasser: feucht  4b ☐ Lichteinfall: hell Temperatur: 10°C Menge an Wasser: feucht 	

Bevorzugter Lebensraum von Asseln		PL-BIO-1	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob der Lichteinfall den Aufenthaltsort der Mauerrasseln beeinflusst. Kreuze hierfür bei „Petrischale 1“ und „Petrischale 2“ an, wie du jeweils den Lichteinfall, die Menge an Wasser und die Temperatur wählen würdest.			
Petrischale 1		Petrischale 2	
☐  Lichteinfall: dunkel	☐  Lichteinfall: hell	☐  Lichteinfall: dunkel	☐  Lichteinfall: hell
☐  Feuchte Umgebung	☐  Trockene Umgebung	☐  Feuchte Umgebung	☐  Trockene Umgebung
☐  Kühle Umgebung	☐  Umgebung bei Zimmertemperatur	☐  Kühle Umgebung	☐  Umgebung bei Zimmertemperatur

Bevorzugter Lebensraum von Asseln	IN-BIO-1
Franziska hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Lichteinfall: hell Menge an Wasser: feucht	 Lichteinfall: hell Menge an Wasser: trocken
Sie hat folgendes Ergebnis erhalten:	
 Beobachtung: viele Asseln Beobachtung: wenige Asseln	
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Menge an Wasser hat einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln.	
☐ Der Lichteinfall hat einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln.	
☐ Sowohl die Menge an Wasser als auch der Lichteinfall haben einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Bevorzugter Lebensraum von Asseln	UN-BIO-1
Franziska hat folgendes Experiment durchgeführt:	
 Lichteinfall: hell Menge an Wasser: trocken	 Lichteinfall: dunkel Menge an Wasser: feucht
Sie hat folgendes Ergebnis erhalten:	
 Beobachtung: viele Asseln Neutraler Spalt Beobachtung: viele Asseln	
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Menge an Wasser hat einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln.	
☐ Der Lichteinfall hat einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln.	
☐ Sowohl die Menge an Wasser als auch der Lichteinfall haben einen Einfluss auf den Aufenthaltsort der Mauerasseln.	
☐ 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?	
☐ 1a Stiel: lang Kopf: breit Borsten: Plastik	1b Stiel: kurz Kopf: schmal Borsten: Natur
☐ 2a Stiel: kurz Kopf: breit Borsten: Natur	2b Stiel: lang Kopf: schmal Borsten: Natur
☐ 3a Stiel: lang Kopf: schmal Borsten: Natur	3b Stiel: lang Kopf: breit Borsten: Plastik
☐ 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.	

Starker Strom

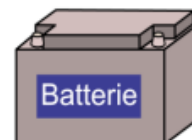
Tina führt Experimente mit einem Elektromagneten durch. Sie möchte herausfinden, wovon es abhängt, wie stark die Kraft ist, mit der ein Elektromagnet eine Masse anziehen kann.

In Experimenten können folgende Einflüsse überprüft werden:

- A) Batteriegröße:** Hat die Batteriegröße einen Einfluss darauf, wie stark ein Elektromagnet die Masse anzieht?

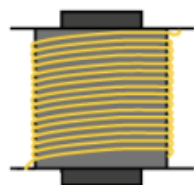


kleine Batterie

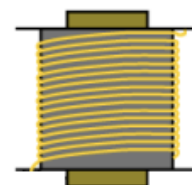


große Batterie

- B) Material für den Kern des Elektromagneten:** Hat das Material, aus dem der Kern des Elektromagneten ist, einen Einfluss darauf, wie stark ein Elektromagnet die Masse anzieht?



Kern des Elektromagneten aus Eisen



Kern des Elektromagneten aus Kupfer

- C) Material der angezogenen Masse:** Hat das Material der Masse einen Einfluss darauf, wie stark ein Elektromagnet die Masse anzieht?

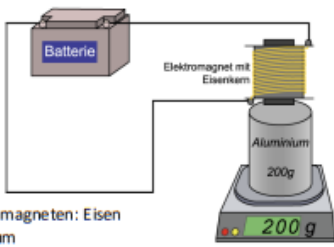
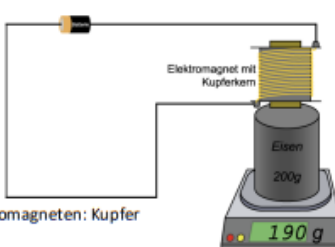
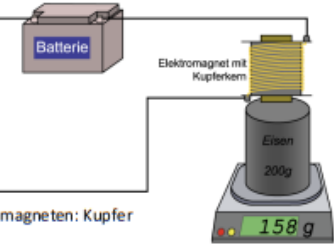
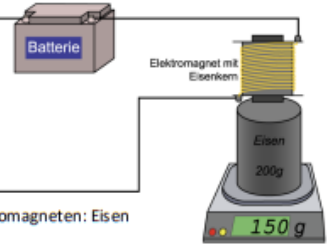
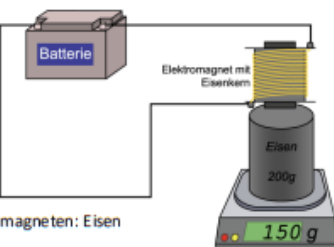
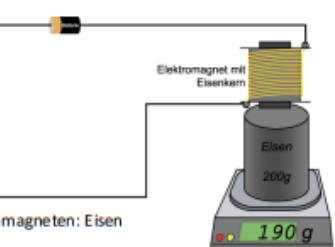
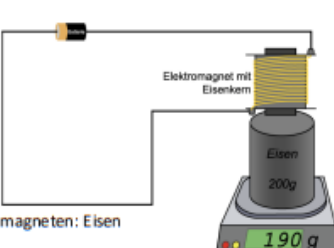
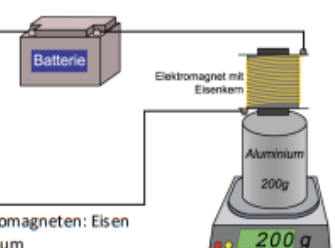


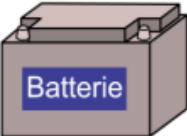
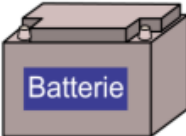
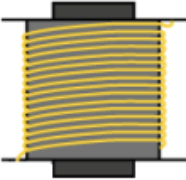
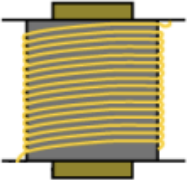
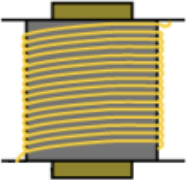
Masse aus Aluminium

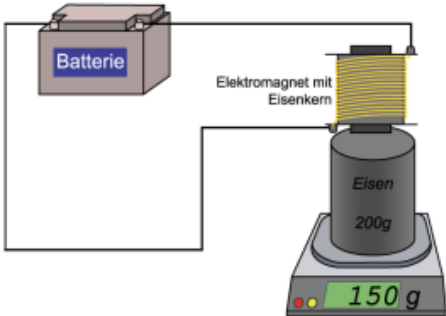
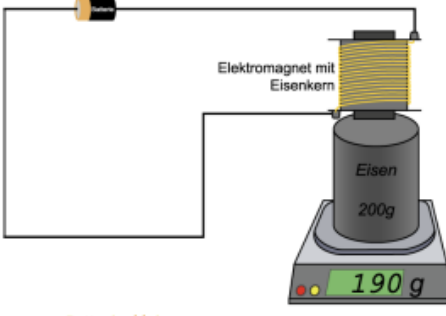


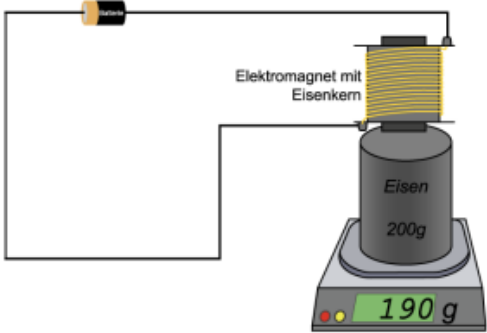
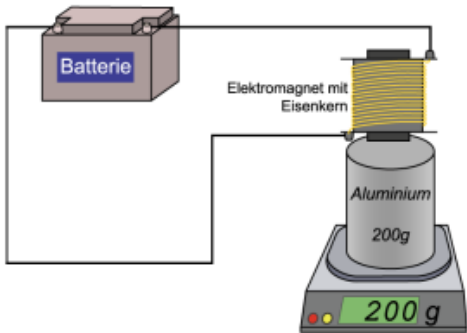
Masse aus Eisen

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

Starker Strom	ID-PHY-2
Tina möchte wissen, was die Stärke des Magnetfeldes eines Elektromagneten beeinflusst. Sie vermutet, dass die Stärke des Magnetfeldes vom Kernmaterial des Elektromagneten abhängt. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung überprüfen?	
Experiment 1 1a  Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Aluminium	1b  Batterie: klein Kern des Elektromagneten: Kupfer Masse: Eisen
Experiment 2 2a  Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Kupfer Masse: Eisen	2b  Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen
Experiment 3 3a  Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen	3b  Batterie: klein Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen
Experiment 4 4a  Batterie: klein Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen	4b  Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Aluminium

Starker Strom		PL-PHY-2	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob die Kraft eines Elektromagneten von dem Material des Massenstücks abhängt. Kreuze hierfür bei „Elektromagnet 1“ und „Elektromagnet 2“ an, welche Batterie, welches Kernmaterial und welches Gewichtsmaterial du wählen würdest.			
Elektromagnet 1		Elektromagnet 2	
☐  kleine Batterie	☐  große Batterie	☐  kleine Batterie	☐  große Batterie
☐  Kern des Elektromagneten aus Eisen	☐  Kern des Elektromagneten aus Kupfer	☐  Kern des Elektromagneten aus Eisen	☐  Kern des Elektromagneten aus Kupfer
☐  Masse aus Aluminium	☐  Masse aus Eisen	☐  Masse aus Aluminium	☐  Masse aus Eisen

Starker Strom	IN-PHY-2
Tina hat folgendes Experiment durchgeführt:  Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen  Batterie: klein Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Größe der Batterie hat einen Einfluss auf das Magnetfeld des Elektromagneten.	
☐ Das Kernmaterial hat einen Einfluss auf das Magnetfeld des Elektromagneten.	
☐ Sowohl die Größe der Batterie als auch das Kernmaterial haben einen Einfluss auf das Magnetfeld des Elektromagneten.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Magnet und Strom	UN-PHY-2
Tina hat folgendes Experiment durchgeführt:  Elektromagnet mit Eisenkern Eisen 200g 190 g Batterie: klein Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Eisen  Batterie Elektromagnet mit Eisenkern Aluminium 200g 200 g Batterie: groß Kern des Elektromagneten: Eisen Masse: Aluminium Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Größe der Batterie hat einen Einfluss auf das Magnetfeld des Elektromagneten.	
☐ Das Kernmaterial hat einen Einfluss auf das Magnetfeld des Elektromagneten.	
☐ Sowohl die Größe der Batterie als auch das Kernmaterial haben einen Einfluss auf das Magnetfeld des Elektromagneten.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Geschafft! Danke fürs Mitmachen



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

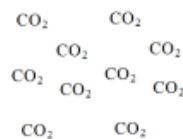
Sonnenstunden



Zwei

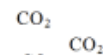
Sonnenstunden

- 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?

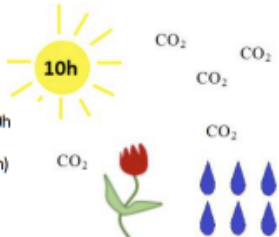
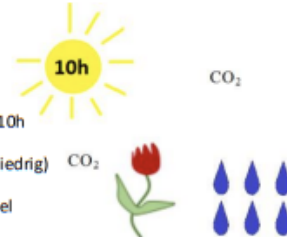
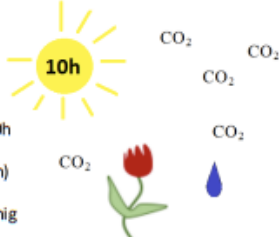
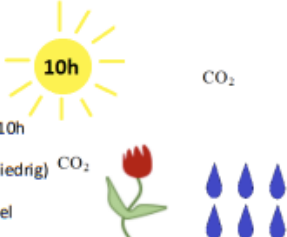
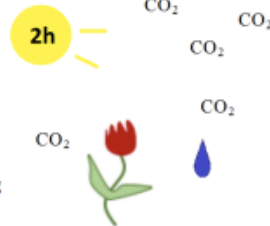
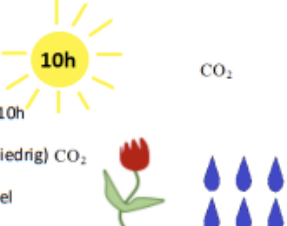
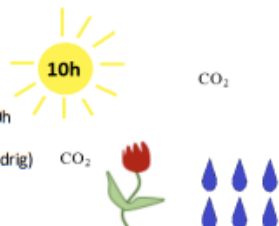
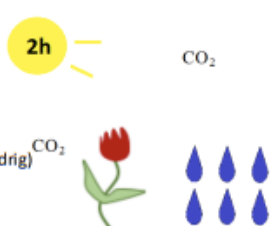


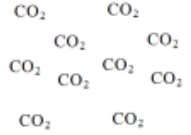
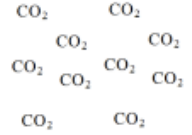
Viel Wasser

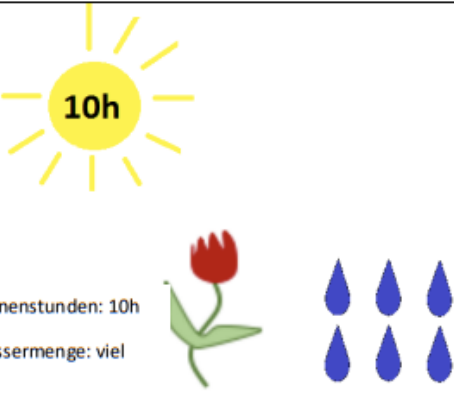
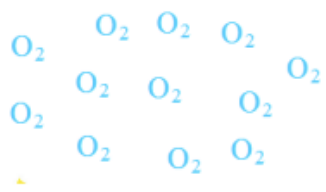


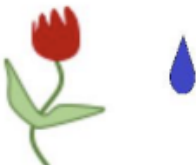
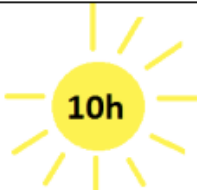
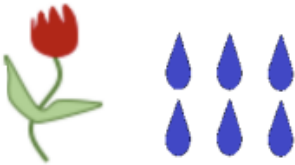
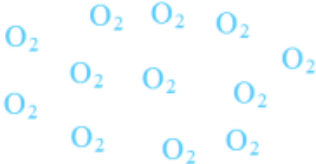
Wenig Wasser

	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 (CO₂) einen Einfluss auf die Produktmengen von Sauerstoff (O₂) und Traubenzucker (C₆H₁₂O₆) besitzt. Sie vermutet, dass mehr Sauerstoff (O₂) und Traubenzucker (C₆H₁₂O₆) gebildet werden, wenn die Tulpe einer hohen Konzentration von Kohlenstoffdioxid (CO₂) ausgesetzt ist. Mit welchem Experiment kann sie ihre Vermutung überprüfen?	
Experiment 1 1a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 10h c[CO₂] = 0,1% (hoch) Wassermenge: viel 1b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 10h c[CO₂] = 0,03% (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 2 2a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 10h c[CO₂] = 0,1% (hoch) Wassermenge: wenig 2b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 10h c[CO₂] = 0,03% (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 3 3a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 2h c[CO₂] = 0,1% (hoch) Wassermenge: wenig 3b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 10h c[CO₂] = 0,03% (niedrig) Wassermenge: viel	
Experiment 4 4a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 10h c[CO₂] = 0,03% (niedrig) Wassermenge: viel 4b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Sonnenstunden: 2h c[CO₂] = 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[CO₂] = 0,1%	☐  Niedrige Konzentration c[CO₂] = 0,03%	☐  Hohe Konzentration c[CO₂] = 0,1%	☐  Niedrige Konzentration c[CO₂] = 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?

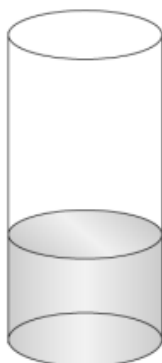
10 °C

niedrige Wassertemperatur

30 °C

hohe Wassertemperatur

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

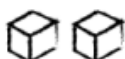


wenig Wasser



viel Wasser

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

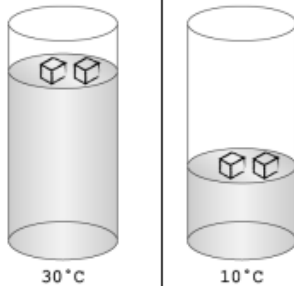
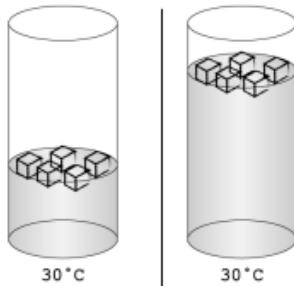
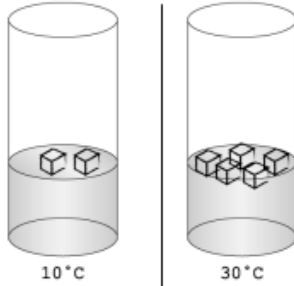
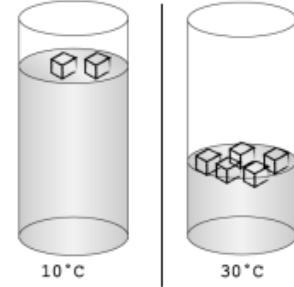


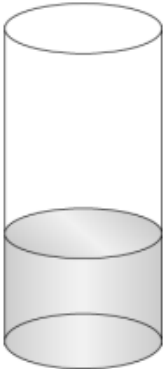
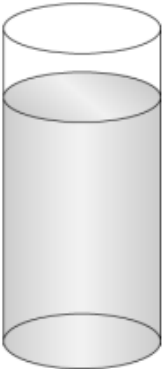
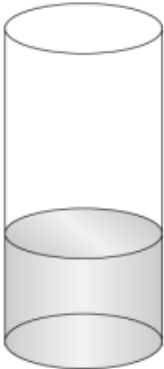
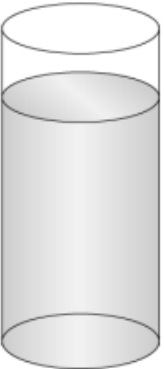
2 Eiswürfel

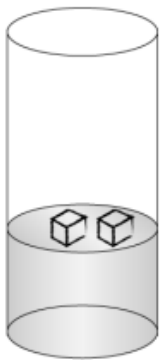
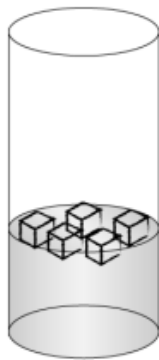
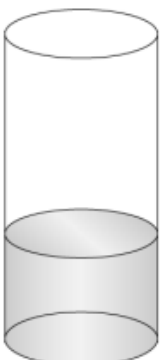
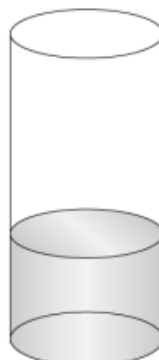


5 Eiswürfel

	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

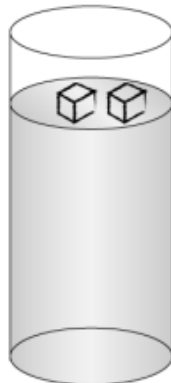
Wasser kühlen	IN-PHY-1
Sina hat folgendes Experiment durchgeführt:	
Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 2	Wassertemperatur: 10°C Wassermenge: wenig Menge an Eiswürfeln: 5
	
10 °C	10 °C
15 Minuten später...	
Wassertemperatur: 9°C	Wassertemperatur: 8°C
	
9 °C	8 °C
Was zeigt dieses 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.

Sina hat folgendes Experiment durchgeführt:

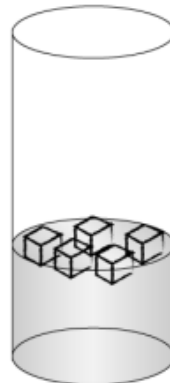
Wassertemperatur: 50°C

Wassermenge: viel

Menge an Eiswürfeln: 2



50 °C



50 °C

Wassertemperatur: 50°C

Wassermenge: wenig

Menge an Eiswürfeln: 5

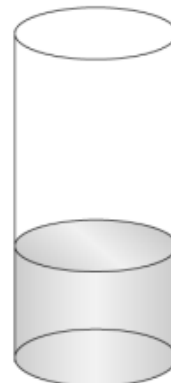
sieben Minuten später...

Wassertemperatur: 40°C



40 °C

Wassertemperatur: 15°C



15 °C

Was zeigt dieses Experiment?

☐

Die Menge an Wasser hat einen Einfluss auf das Schmelzen des Eises.

☐

Die Menge an Eiswürfeln hat einen Einfluss auf das Schmelzen des Eises.

☐

Sowohl die Menge an Wasser als auch die Menge der Eiswürfel haben einen Einfluss auf das Schmelzen des Eises.

☐

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?

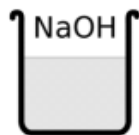


viel Salzsäure (100 ml)

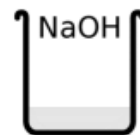


wenig Salzsäure (30 ml)

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



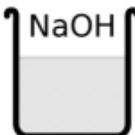
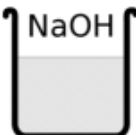
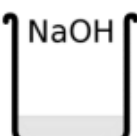
viel Natronlauge (100 ml)



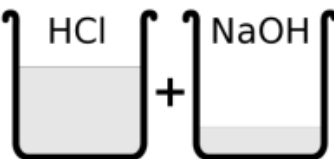
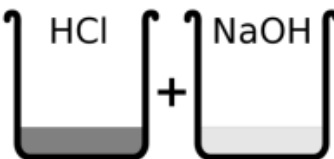
wenig Natronlauge (30 ml)

	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	
☐  HCl Salzsäure hoher Konzentration	☐  HCl Salzsäure niedriger Konzentration	☐  HCl Salzsäure hoher Konzentration	☐  HCl Salzsäure niedriger Konzentration
☐  HCl viel Salzsäure (100 ml)	☐  HCl wenig Salzsäure (30 ml)	☐  HCl viel Salzsäure (100 ml)	☐  HCl wenig Salzsäure (30 ml)
☐  NaOH viel Natronlauge (100 ml)	☐  NaOH wenig Natronlauge (30 ml)	☐  NaOH viel Natronlauge (100 ml)	☐  NaOH 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

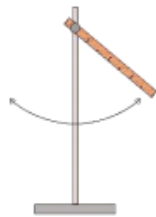


Pendel

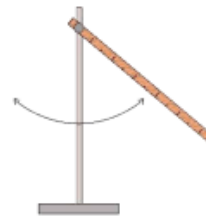
Sebastian führt Experimente mit Pendeln durch. Er möchte herausfinden, wovon die Schwingungsdauer von einer zur anderen Seite des Pendels abhängt.

In Experimenten können folgende Einflüsse untersucht werden:

- A) **Länge des Pendels:** Hat die Länge des Pendels einen Einfluss auf die Schwingungsdauer zur gegenüberliegenden Seite?

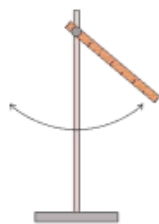


kurzes Pendel

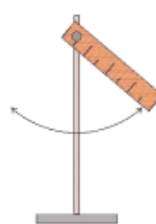


langes Pendel

- B) **Breite des Pendels:** Hat die Breite des Pendels einen Einfluss auf die Schwingungsdauer zur gegenüberliegenden Seite?

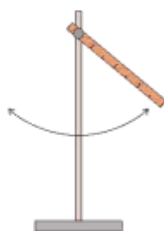


schmales Pendel

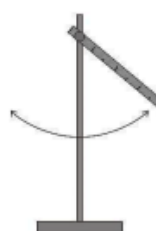


breites Pendel

- C) **Material des Pendels:** Hat das Material des Pendels einen Einfluss auf die Schwingungsdauer zur gegenüberliegenden Seite?

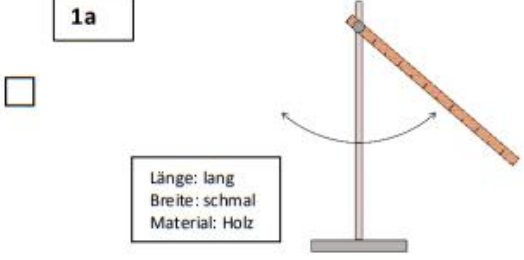
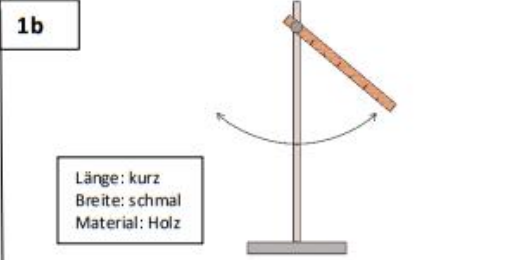
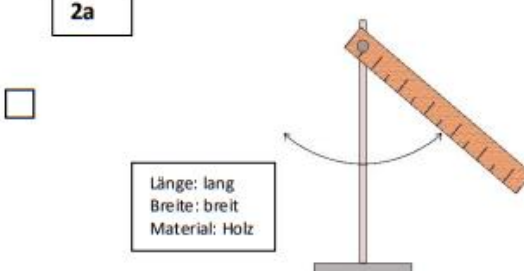
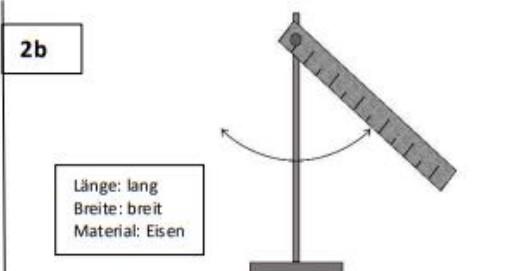
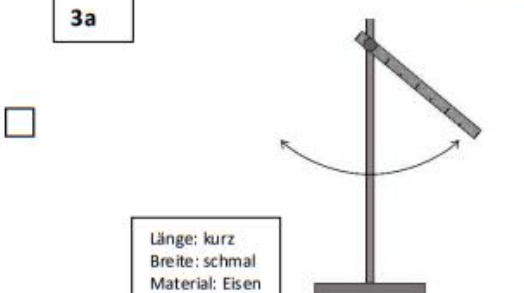
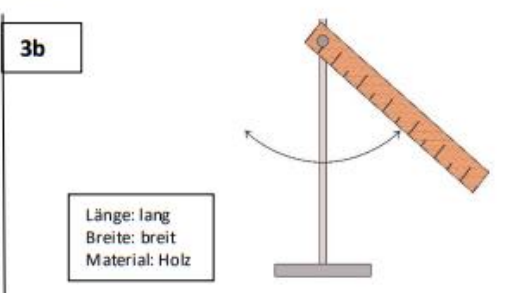
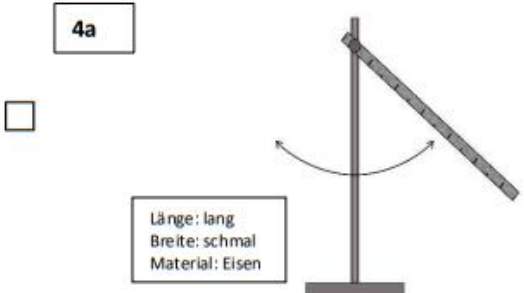
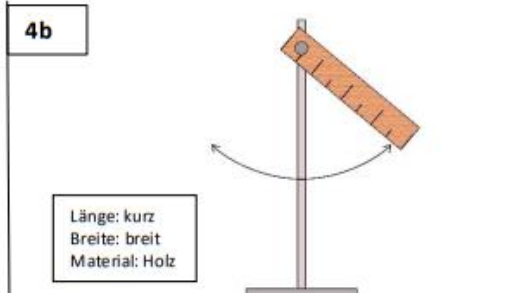


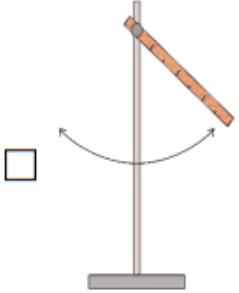
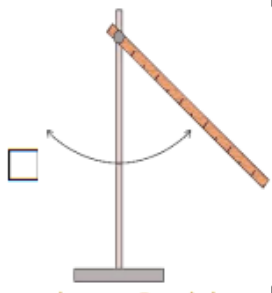
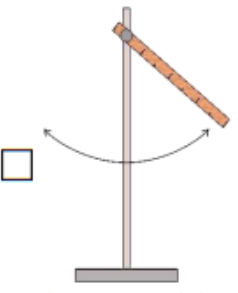
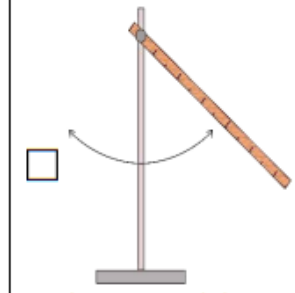
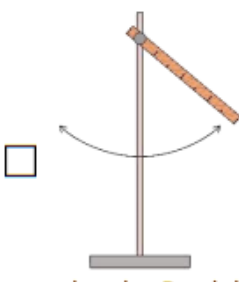
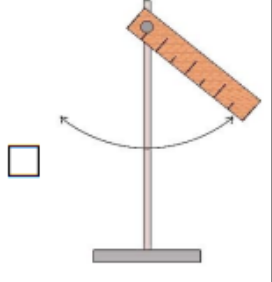
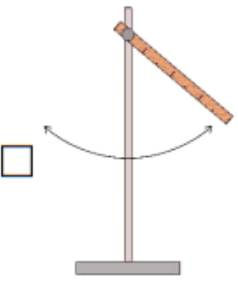
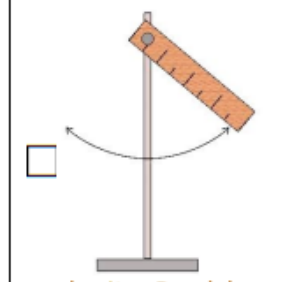
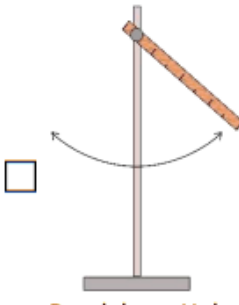
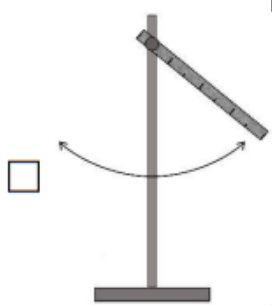
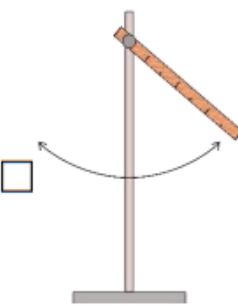
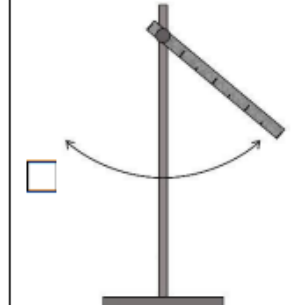
Pendel aus Holz

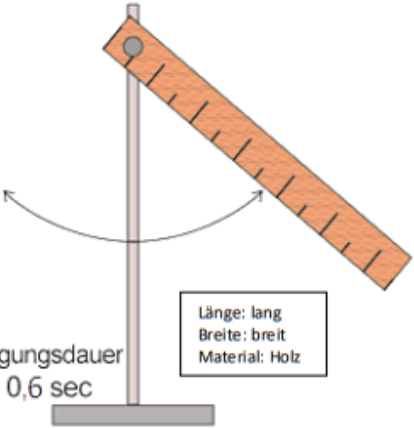


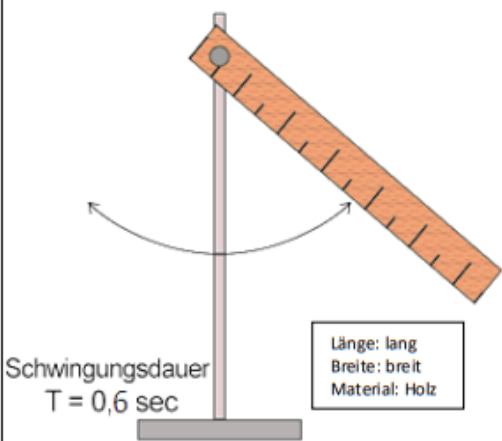
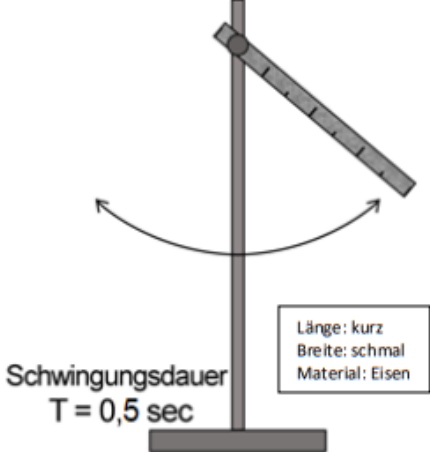
Pendel aus Eisen

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

Pendel	ID-PHY-4
Sebastian möchte ein Pendel bauen. Er vermutet, dass das Pendel eine kleinere Schwingungsdauer besitzt, wenn es aus Eisen anstatt aus Holz besteht. Mit welchem Experiment kann er seine Vermutung überprüfen?	
Experiment 1 1a  Länge: lang Breite: schmal Material: Holz 1b  Länge: kurz Breite: schmal Material: Holz	
Experiment 2 2a  Länge: lang Breite: breit Material: Holz 2b  Länge: lang Breite: breit Material: Eisen	
Experiment 3 3a  Länge: kurz Breite: schmal Material: Eisen 3b  Länge: lang Breite: breit Material: Holz	
Experiment 4 4a  Länge: lang Breite: schmal Material: Eisen 4b  Länge: kurz Breite: breit Material: Holz	

Pendel		PL-PHY-4	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob das Material eines Pendels einen Einfluss auf dessen Schwingdauer hat. Kreuze hierfür bei „Pendel 1“ und „Pendel 2“ an, welche Pendellänge, welche Pendelbreite und welches Pendelmaterial du wählen würdest.			
Pendel 1		Pendel 2	
☐  kurzes Pendel	☐  langes Pendel	☐  kurzes Pendel	☐  langes Pendel
☐  schmales Pendel	☐  breites Pendel	☐  schmales Pendel	☐  breites Pendel
☐  Pendel aus Holz	☐  Pendel aus Eisen	☐  Pendel aus Holz	☐  Pendel aus Eisen

Pendel	IN-PHY-4
Sebastian hat folgendes Experiment durchgeführt:  Schwingungsdauer $T = 0,6 \text{ sec}$ Länge: lang Breite: breit Material: Holz  Schwingungsdauer $T = 0,5 \text{ sec}$ Länge: kurz Breite: breit Material: Holz Was zeigt dieses Experiment?	
☐	Die Länge des Pendels hat einen Einfluss auf die Schwingungsdauer
☐	Die Breite des Pendels hat einen Einfluss auf die Schwingungsdauer des Pendels.
☐	Sowohl die Länge als auch die Breite des Pendels haben einen Einfluss auf die gemessene Schwingungsdauer.
☐	Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.

Pendel	UN-PHY-4
Sebastian hat folgendes Experiment durchgeführt:  Schwingungsdauer $T = 0,6 \text{ sec}$ Länge: lang Breite: breit Material: Holz  Schwingungsdauer $T = 0,5 \text{ sec}$ Länge: kurz Breite: schmal Material: Eisen Was zeigt dieses Experiment?	
☐	Die Länge des Pendels hat einen Einfluss auf die Schwingungsdauer des Pendels.
☐	Das Material des Pendels hat einen Einfluss auf die Schwingungsdauer des Pendels.
☐	Sowohl die Länge als auch das Material des Pendels haben einen Einfluss auf die gemessene Schwingungsdauer.
☐	Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.

Muffins backen

Martina und Martin backen gerne, am liebsten Muffins. Oft sind sie sich aber nicht sicher, welche Art der Zubereitung die beste ist. Sie möchten herausfinden, wie sie Muffins zubereiten sollen, damit diese möglichst schnell backen. Glücklicherweise haben Martina und Martin zwei Backöfen, mit denen sie unterschiedliche Arten ausprobieren können, Muffins zu backen.

Sie können drei Eigenschaften an der Zubereitung verändern:

- A) Art der Hitze:** Hat es einen Einfluss auf die Backdauer, ob der Backofen auf Unterhitze oder Umlufthitze eingestellt ist?



Unterhitze



Umlufthitze

- B) Teigmenge:** Hat es einen Einfluss auf die Backdauer, ob die Backformen für die Muffins mit viel oder mit wenig Teig befüllt werden?

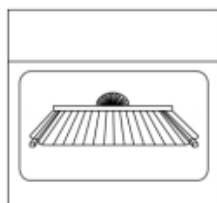


viel Teig

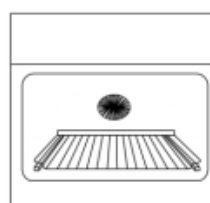


wenig Teig

- C) Position des Backblechs:** Hat es einen Einfluss auf die Backdauer, ob das Backblech oben oder unten in den Backofen geschoben wird?

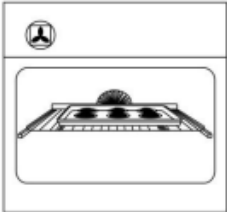
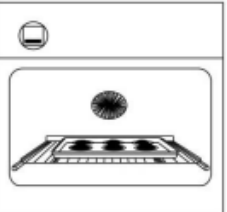
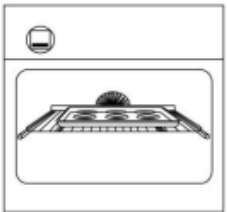


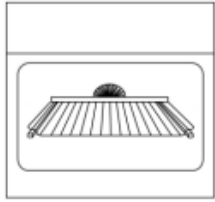
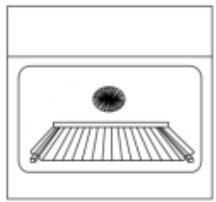
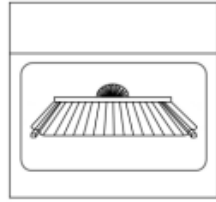
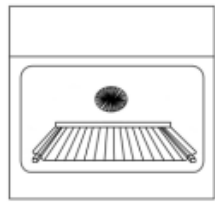
Backblech oben

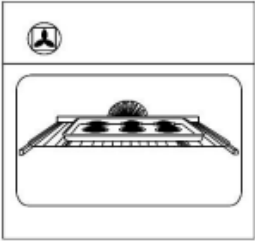


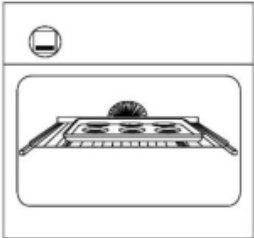
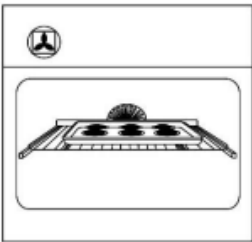
Backblech unten

	gar nichts				sehr viel	
Wie viel weißt du über das Backen von Muffins? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wie viel weißt du über Erledigungen im Haushalt und Alltag? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Muffins backen		ID-ALL-2	
Martin und Martina untersuchen, was die Backzeit von Muffins beeinflusst. Sie vermuten, dass Muffins unten im Backofen schneller backen als Muffins oben im Backofen. Mit welchem Experiment können sie das herausfinden?			
Experiment 1			
1a ☐	Hitze: Umlufthitze Menge: viel Position: oben		1b Hitze: Unterhitze Menge: wenig Position: unten
Experiment 2			
2a ☐	Hitze: Umlufthitze Menge: wenig Position: oben		2b Hitze: Umlufthitze Menge: viel Position: unten
Experiment 3			
3a ☐	Hitze: Unterhitze Menge: viel Position: unten		3b Hitze: Umlufthitze Menge: wenig Position: unten
Experiment 4			
4a ☐	Hitze: Unterhitze Menge: wenig Position: oben		4b Hitze: Unterhitze Menge: wenig Position: unten

Muffins backen		PL-ALL-2	
Martina und Martin vermuten, dass Muffins bei Unterhitze schneller backen als bei Umlufthitze. Welche zwei Zubereitungsarten sollen sie vergleichen, um herauszufinden, ob die Art der Hitze (Unter / Umluft) einen Einfluss auf die Backzeit hat? Plane ein Experiment, um diese Frage zu beantworten! Kreuze hierfür bei „Muffin 1“ und „Muffin 2“ an, welche Art der Hitze, welche Menge von Teig und welche Position des Backblechs du auswählen würdest.			
Muffin 1		Muffin 2	
☐  Unterhitze	☐  Umlufthitze	☐  Unterhitze	☐  Umlufthitze
☐  viel Teig	☐  wenig Teig	☐  viel Teig	☐  wenig Teig
☐  Backblech oben	☐  Backblech unten	☐  Backblech oben	☐  Backblech unten

Muffins backen	IN-ALL-2
Martina und Martin haben Muffins auf zwei Arten zubereitet. Sie überprüfen, wie schnell die Muffins backen. Was zeigt dieses Experiment?	
 Hitze: Umlufthitze Menge: wenig Position: oben Backzeit: 15 Minuten  Hitze: Umlufthitze Menge: viel Position: oben Backzeit: 18 Minuten	
☐ Die Art der Hitze beeinflusst die Backdauer.	
☐ Die Menge des Teiges beeinflusst die Backdauer.	
☐ Sowohl die Art der Hitze als auch die Menge des Teiges beeinflussen die Backdauer.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Muffins backen	UN-ALL-2
Martina und Martin haben Muffins auf zwei Arten zubereitet. Sie überprüfen, wie schnell die Muffins backen. Was zeigt dieses Experiment?	
Hitze: Unterhitze Menge: wenig Position: oben  Backzeit: 15 Minuten	Hitze: Umlufthitze Menge: viel Position: oben  Backzeit: 18 Minuten
☐ Die Art der Hitze beeinflusst die Backdauer.	
☐ Die Menge des Teiges beeinflusst die Backdauer.	
☐ Sowohl die Art der Hitze als auch die Menge des Teiges beeinflussen die Backdauer.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

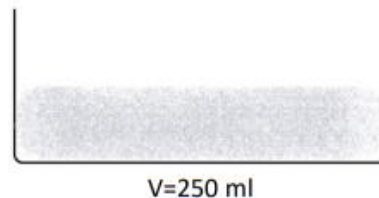
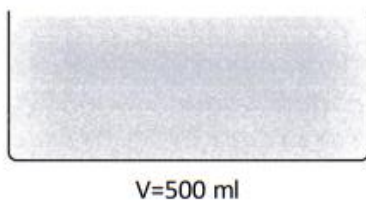
Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit von Wasser hängt von verschiedenen Einflüssen ab. In Experimenten können folgende Einflüsse überprüft werden:

- A) Menge an Kochsalz:** Hat die Menge an Kochsalz (NaCl), die im Wasser gelöst ist, einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers?



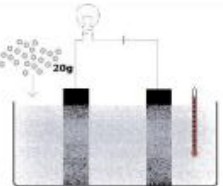
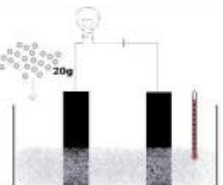
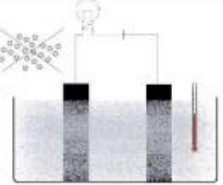
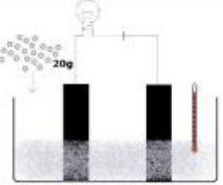
- B) Volumen Wasser:** Hat die Menge an Wasser einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers?



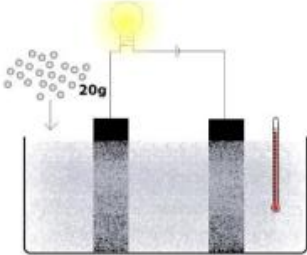
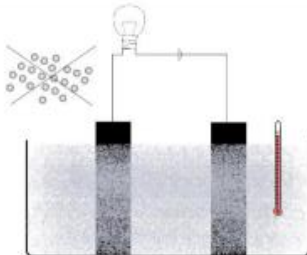
- C) Temperatur Wasser:** Hat die Temperatur des Wassers einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers?

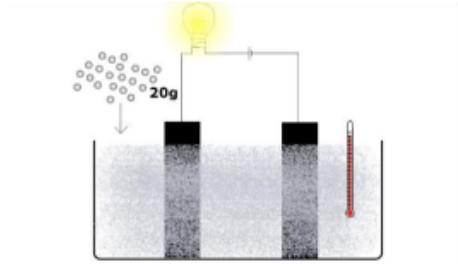
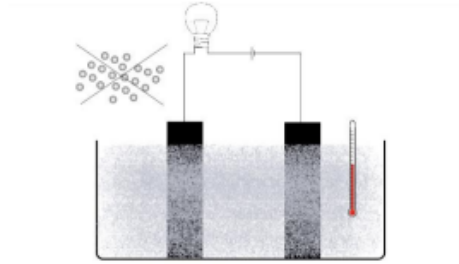


	gar nichts				sehr viel	
Wie viel weißt du über die Leitfähigkeit von Wasser? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wie viel weißt du über Chemie? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Leitfähigkeit	ID-CHE-2
Jan und Laura möchten überprüfen, ob die Menge des Wassers (H₂O) einen Einfluss auf die Leitfähigkeit von Wasser hat. Sie vermuten, dass mehr Strom fließt, wenn man mehr Wasser verwendet. Mit welchem Experiment können sie ihre Vermutung prüfen?	
1a  Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 250 ml Wassertemperatur: 50°C	1b  Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 50°C
2a  Salz-Menge: 0g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 50°C	2b  Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 250 ml Wassertemperatur: 50°C
3a  Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 250 ml Wassertemperatur: 50°C	3b  Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 20°C
4a  Salz-Menge: 0g Volumen Wasser: 250 ml Wassertemperatur: 20°C	4b  Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 250 ml Wassertemperatur: 50°C

Leitfähigkeit		PL-CHE-2	
Plane ein Experiment, mit dem sich prüfen lässt, ob die Temperatur des Wassers einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers hat.			
Kreuze hierfür bei „Aufbau 1“ und „Aufbau 2“ an, welche Menge an Salz, welches Volumen des Wassers und welche Temperatur des Wassers du wählen würdest.			
Aufbau 1		Aufbau 2	
☐  20g Kochsalz (NaCl)	☐  Kein Kochsalz (NaCl)	☐  20g Kochsalz (NaCl)	☐  Kein Kochsalz (NaCl)
☐  V=500 ml	☐  V=250 ml	☐  V=500 ml	☐  V=250 ml
☐  erhitztes Wasser 50°C	☐  Wasser mit Zimmertemperatur 20°C	☐  erhitztes Wasser 50°C	☐  Wasser mit Zimmertemperatur 20°C

Leitfähigkeit	IN-CHE-2
Jan und Laura haben folgendes Experiment durchgeführt:	
 Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 50°C Beobachtung: Lampe leuchtet (elektrischer Strom wird geleitet)	 Salz-Menge: 0g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 50°C Beobachtung: Lampe leuchtet nicht (elektrischer Strom wird nicht geleitet)
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Temperatur des Wassers (H_2O) hat einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers.	
☐ Die Menge an Salz (NaCl) hat einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers.	
☐ Sowohl die Temperatur Wassers (H_2O) als auch die Menge an Salz (NaCl) haben einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Leitfähigkeit	UN-CHE-2
Jan und Laura haben folgendes Experiment durchgeführt:	
 Salz-Menge: 20g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 50°C Beobachtung: elektrischer Strom wird geleitet (Lampe leuchtet)	 Salz-Menge: 0g Volumen Wasser: 500 ml Wassertemperatur: 20°C Beobachtung: elektrischer Strom wird nicht geleitet (Lampe leuchtet nicht)
Was zeigt dieses Experiment?	
☐ Die Temperatur des Wassers (H₂O) hat einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers.	
☐ Die Menge an Salz (NaCl) hat einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers.	
☐ Sowohl die Temperatur des Wassers (H₂O) als auch die Menge an Salz (NaCl) haben einen Einfluss auf die Leitfähigkeit des Wassers.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Geschafft! Danke fürs Mitmachen



Isolation

Die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser hängt von verschiedenen Einflüssen ab. In Experimenten werden folgende Einflüsse überprüft:

A) **Menge an Eis:** Hat die Menge an Eis einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser?



Viel Eis



Wenig Eis

B) **Menge an Wasser im Reagenzglas:** Hat die Menge an Wasser einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser?



Viel Wasser



Wenig Wasser

C) **Menge an Isoliermaterial:** Hat die Menge an Isoliermaterial einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser?

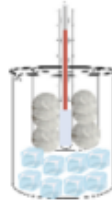
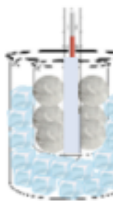
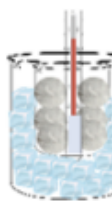
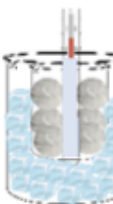
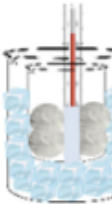


Viel Isoliermaterial



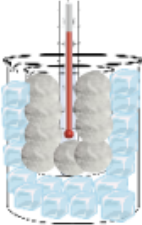
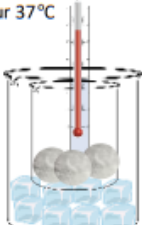
Wenig Isoliermaterial

	gar nichts					sehr viel
Wie viel weißt du über die Abkühlgeschwindigkeit von Wasser? Schätze dein Wissen ein.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Isolation		ID-NAH-1
Stefan möchte überprüfen, ob die Menge des Wassers im Reagenzglas einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit hat. Er vermutet, dass eine kleine Menge an Wasser schneller abkühlt. Mit welchem Experiment kann er seine Vermutung überprüfen?		
Experiment 1 1a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: viel Wassermenge im Reagenzglas: viel Menge an Isoliermaterial: viel 1b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: wenig Wassermenge im Reagenzglas: wenig Menge an Isoliermaterial: viel		
Experiment 2 2a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: wenig Wassermenge im Reagenzglas: wenig Menge an Isoliermaterial: wenig 2b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: viel Wassermenge im Reagenzglas: wenig Menge an Isoliermaterial: viel		
Experiment 3 3a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: viel Wassermenge im Reagenzglas: viel Menge an Isoliermaterial: viel 3b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: viel Wassermenge im Reagenzglas: wenig Menge an Isoliermaterial: viel		
Experiment 4 4a <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: viel Wassermenge im Reagenzglas: viel Menge an Isoliermaterial: viel 4b <input style="margin-right: 10px;" type="checkbox"/>  Eismenge: viel Wassermenge im Reagenzglas: wenig Menge an Isoliermaterial: wenig		

Isolation		PL-NAH-1	
Plane ein Experiment, bei dem sich prüfen lässt, ob die die Menge an Isolationsmaterial die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers beeinflusst. Kreuze hierfür bei „Becherglas 1“ und „Becherglas 2“ an, wie du die Menge der Eiswürfel, die Menge an Isoliermaterial und die Menge des Wassers im Reagenzglas wählen würdest.			
Aufbau 1: Becherglas 1		Aufbau 2: Becherglas 2	
☐  Viele Eiswürfel	☐  Wenig Eiswürfel	☐  Viele Eiswürfel	☐  Wenig Eiswürfel
☐  Viel Isolationsmaterial	☐  Wenig Isolationsmaterial	☐  Viel Isolationsmaterial	☐  Wenig Isolationsmaterial
☐  Viel Wasser	☐  Wenig Wasser	☐  Viel Wasser	☐  Wenig Wasser

Isolation	IN-NAH-1
Stefan hat folgendes Experiment durchgeführt: Wassertemperatur 37°C Eismenge: viel Isolationsmaterial: viel  Temperatur des Wassers nach 5 Minuten: 36°C Wassertemperatur 37°C Eismenge: viel Isolationsmaterial: wenig  Temperatur des Wassers nach 5 Minuten: 18°C	
Was zeigt dir dieses Experiment?	
☐ Die Menge an Eiswürfeln hat einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers.	
☐ Die Menge an wärmeisolierendem Material hat einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers.	
☐ Sowohl die Menge an Eiswürfeln als auch die Menge an Isoliermaterial haben einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers.	
☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

Isolation	UN-NAH-1
Stefan hat folgendes Experiment durchgeführt: Wassertemperatur 37°C Eismenge: viel Isolationsmaterial: viel  Temperatur des Wassers nach 5 Minuten: 36°C Wassertemperatur 37°C Eismenge: wenig Isolationsmaterial: wenig  Temperatur des Wassers nach 5 Minuten: 25°C	
Was zeigt dir dieses Experiment?	
☐ Die Menge an Eiswürfeln hat einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers. ☐ Die Menge an wärmeisolierendem Material hat einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers. ☐ Sowohl die Menge an Eiswürfeln als auch die Menge an Isoliermaterial haben einen Einfluss auf die Abkühlgeschwindigkeit des Wassers. ☐ Das Experiment lässt keine sichere Schlussfolgerung zu.	

14.4 Intrinsic Motivation Inventory (IMI)

Hier finden Sie die gestellten Fragen zur intrinsischen Motivation (IMI) nach Deci und Ryan (2021).



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. (7 Min.)

		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.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M14	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.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

14.5 Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)

Anbei die deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) nach Breyer und Bluemke (2016).



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	☐	☐	☐	☐	☐
E15	wach	☐	☐	☐	☐	☐
E16	nervös	☐	☐	☐	☐	☐
E17	entschlossen	☐	☐	☐	☐	☐
E18	aufmerksam	☐	☐	☐	☐	☐
E19	durcheinander	☐	☐	☐	☐	☐
E20	ängstlich	☐	☐	☐	☐	☐

14.6 Arbeitsmaterialien – Kombinationsgruppe (exemplarisch)

G1 (Kombi) – Teil 1



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:

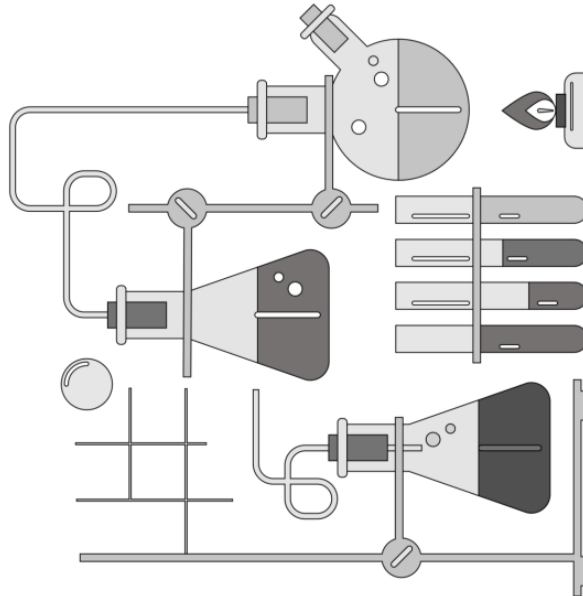
	Beispiel:	Dein Code:
1. und 2. Buchstabe vom Vornamen deiner Mutter Beispiel: ANNA	A N	
1. und 2. Buchstabe des Geburtsmonats deiner Mutter Beispiel: JUNI	J U	
1. und 2. Buchstabe deines Geburtsmonats Beispiel: MAI	M A	

Viel Spaß!



2

G1 (Kombi) – Teil 1



Laborbuch

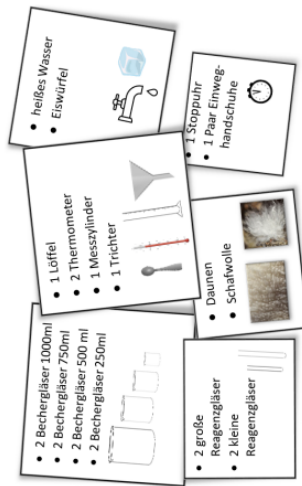
1

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.



Die Anpassbarkeit 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 Körpertemperatur konstant zu halten. Man bezeichnet sie deshalb auch als **gleichwarm** oder **endotherm**. Aber wie schaffen sie es, ihre Körpertemperatur konstant zu halten, wenn die Umgebung sehr kalt ist?



Vögel 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 extremen 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 Arbeitsschritten!

Forschungsfrage:

Was isoliert die Wärme besser – Schafwolle oder Daunenfedern?

Durchführung des Experiments



A2.4 Baue das Experiment auf. Wenn du dein Experiment aufgebaut hast, lege die grüne Foto-Karte auf den Tisch, damit eine Leihperson ein Foto von deinem Aufbau macht.



A2.5 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	



A2.2 Plane das Experiment nun weiter und **skizziere den Aufbau mit Beschriftungen** in die untere Box, wenn du deine Überlegungen beendet hast!



A2.3 Begründe deinen Experimentaufbau in **ganzen Sätzen**!



A2.7 Begründe in ganzen Sätzen, warum du das Thermometer auf diese Weise gehalten hast:

A2.8 Kreuze an, welche der Hypothesen du mit **deinem Experiment** bestätigen kannst:



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.

A2.9 Erkläre in ganzen Sätzen, welche Fehler bei der Durchführung des Experiments **deine Ergebnisse** beeinflusst haben könnten.

A2.8 Kreuze die Abbildungen an, die am ehesten zeigen, wie du das Thermometer bei deinen Temperaturmessungen gehalten hast:

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



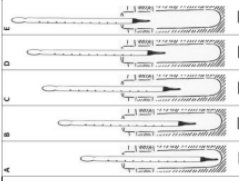
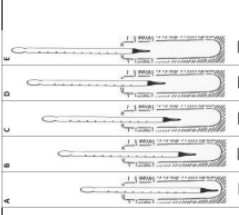
A3.1. Tina hat bei ihrem Aufbau ein paar Fehler gemacht. **Beschreibe** in der **linken** Spalte, was Tina deiner Meinung **richtig** und was sie **falsch** gemacht hat. **Begründe** in der **rechten** Spalte in **ganzen** Sätzen, warum du ihr Vorgehen für **richtig** oder für **falsch** hältst.

Beschreibung von Tinas Vorgehen	Begründung
Das hat Tina <u>richtig</u> gemacht:	
Das hat Tina <u>falsch</u> gemacht:	

Räume alle Materialien vom Experimentieren in die Laborschale zurück und melde dich bei der Lehrperson, damit sie dir das nächste Arbeitsblatt gibt.



A3. Melde dich mit einem Handzeichen bei der Lehrperson, wenn du hier angekommen bist, damit sie dir das passende Arbeitsblatt gibt. **Untersuche** Tinas Experiment-Aufbau auf dem Bild (**Materialbeilage 1**) und **kreuze** in der unten stehenden Tabelle an, welche Materialien Tina für den Daunen- und für den Woll-Ansatz verwendet hat! **Nutze** die bunten Punkte auf der Materialbeilage als Hilfe.

Material	Daunen-Ansatz	Woll-Ansatz
a: Größe der äußeren Bechergläser	☐	☐
b: Größe der inneren Bechergläser	unterschiedlich groß ☐	gleich groß ☐
c: Eismenge	unterschiedlich groß ☐ viel ☐ wenig ☐	gleich groß ☐ 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 ☐

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)



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



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



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



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.



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.



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



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



- A4. **Trage zunächst deinen persönlichen Code hier ein:**

Lies dir anschließend den folgenden Text durch.

NIMM BITTE KEINE ÄNDERUNGEN MEHR AN DEINER SKIZZE 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. Häumann 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. Seine **beiden Ansätze zum Experiment** siehst du auf **Materialbeigabe 2**. Sieh sie dir genau an!

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. Ich habe also **nur** das Isoliermaterial (Daunen und Schafwolle) als zu untersuchende **Variable** verändert.
- Wenn ich also den Einfluss **einer Variablen** (z.B. Isoliermaterial) auf **eine andere Variable** (hier: Temperaturänderung) **zuverlässig** untersuchen möchte, muss ich **alle** anderen Variablen des Experiments (hier z.B. Wassermenge) **gleich** (konstant) halten.

Bei unserem Experiment bedeutet das Folgendes:

A5. Vergleiche **dein** Experiment **und** das Experiment **von Tina** mit dem richtigen Aufbau und den Tipps von Tom. Kreuze dazu **alle** Aspekte an, die Tina und du **richtig** und **falsch** gemacht habt.

		Das habe ich richtig gemacht:	Das habe ich falsch gemacht:	Das hat Tina richtig gemacht:	Das hat Tina falsch gemacht:
PA1	Gleich große Bechergläser für die kalte Umgebung:	☐	☐	☐	☐
PA2	Gleiche Menge Eiskwürfel:	☐	☐	☐	☐
PA3	Gleich große Bechergläser für die Wärmeisolation :	☐	☐	☐	☐
PA4	Gleiche Menge Daunen und Wolle:	☐	☐	☐	☐
PA5	Gleich große Reagenzgläser:	☐	☐	☐	☐
PA6	Gleiche Menge Wasser in den Reagenzgläsern:	☐	☐	☐	☐
PA7	Gleiche Anfangstemperatur:	☐	☐	☐	☐
PA8	Mittige Position des kleinen Becherglases und einheitliche Umgebung von Eiskwürfeln:	☐	☐	☐	☐

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)

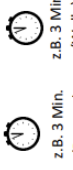


A6. Erkläre in **ganzen** Sätzen, was du beachten musst, wenn du in **Zukunft** Experimente planst und durchführst.



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	2	3	4	5
	überhaupt nicht	ein bisschen	mäßig	ziemlich viel	sehr viel
1	☐	☐	☐	☐	☐
2	☐	☐	☐	☐	☐
3	☐	☐	☐	☐	☐
4	☐	☐	☐	☐	☐
5	☐	☐	☐	☐	☐
6	☐	☐	☐	☐	☐
7	☐	☐	☐	☐	☐
8	☐	☐	☐	☐	☐
9	☐	☐	☐	☐	☐
10	☐	☐	☐	☐	☐
11	☐	☐	☐	☐	☐
12	☐	☐	☐	☐	☐
13	☐	☐	☐	☐	☐
14	☐	☐	☐	☐	☐

		Das habe ich richtig gemacht:	Das habe ich falsch gemacht:	Das hat Tina richtig gemacht:	Das hat Tina falsch gemacht:
RA9	Mittige Position des Reagenzglases und einheitliche Umgebung von Daunen/Wolle: 	☐	☐	☐	☐
RA10	Mittige Position des Thermometers und einheitliche Umgebung von Wasser: 	☐	☐	☐	☐
RA11	Sinken der Temperatur über den gleichen Zeitraum messen:  z.B. 3 Min. (Daunen) z.B. 3 Min. (Wolle)	☐	☐	☐	☐

	1 über- haupt nicht	2	3	4 teil- weise wahr	5	6	7 sehr wahr
M8	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M9	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M10	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M11	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M12	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M13	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M13	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M14	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M15	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M16	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M17	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M18	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M19	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M20	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M21	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

	1 überhaupt nicht	2 ein bisschen	3 mäßig	4 ziemlich viel	5 sehr viel
315	☐	☐	☐	☐	☐
316	☐	☐	☐	☐	☐
317	☐	☐	☐	☐	☐
318	☐	☐	☐	☐	☐
319	☐	☐	☐	☐	☐
320	☐	☐	☐	☐	☐

☐ **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. (7 Min.)

	1 über- haupt nicht	2	3	4 teil- weise wahr	5	6	7 sehr wahr
M1	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M2	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M3	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M4	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M5	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M6	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
M7	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

A9. Kreuze nun bitte bei allen Aussagen an, was am ehesten beim Bearbeiten der Aufgaben zutreffen hat (von 1-7).

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



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