

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Validierung und Verbesserung einer Unterrichtskonzeption zur
Einführung von MU über das Brückenkonzept der
Vertrauenswürdigkeit in der Sek 1

verfasst von | submitted by
Andreas Ferchländer BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2025

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

UA 199 520 523 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Mathematik Unterrichtsfach Physik

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von | Co-Supervisor:

Mag. Dr. Clemens Nagel

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Mistelbach, am 20. August 2025
Andreas Ferchländer, BEd

Ein großes Dankeschön an. . .

. . . meinen Betreuer Clemens Nagel, der mich während des gesamten Arbeitsprozesses mit großem Engagement, wertvollen Rückmeldungen und konstruktiver Unterstützung begleitet hat.

. . . das AECC für die zahlreichen hilfreichen Anregungen und fundierten Verbesserungsvorschläge, die maßgeblich zur Weiterentwicklung der Instrumente beigetragen haben.

. . . alle Kolleg*innen, die sich intensiv mit dem vorgestellten Unterrichtskonzept auseinandergesetzt und ihre Zeit und Expertise in die Erprobung, Reflexion und Weiterentwicklung eingebracht haben.

. . . Carina , Jenny , Lukas , Matthias und Paul, die mich während der Forschung tatkräftig unterstützt haben, Tests ausgewertet haben, Interviews führten, etc.

. . . Flo, Lorenz, Philipp und Rainer, die mir während des gesamten Studiums stets mit Rat, Tat und guter Laune zur Seite standen und dabei eine unverzichtbare Stütze waren.

. . . Lukas, meinem persönlichen „Tech Support“, der mir bei technischen Fragen stets geduldig und zuverlässig zur Seite stand.

. . . Katharina, für die stets angenehme und produktive Zusammenarbeit während der gesamten Masterarbeitsphase. Ob bei gemeinsamen Brainstormings, in Besprechungen oder wenn eine Zweitmeinung gefragt war – auf deinen klaren Blick und deine Verlässlichkeit war immer Verlass.

Abstract

Diese Masterarbeit widmet sich der Überarbeitung und Optimierung eines Unterrichtskonzeptes zur Einführung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe 1 und den zugehörigen Instrumenten zur Datenerhebung. Diese Unterrichtsmaterialien und Testinstrumente wurden basierend auf dem Design-Based-Research-Ansatz entwickelt. Für die Evaluierung der Überarbeitung wird ein weiterer DBR-Zyklus durchlaufen und eine methodische Triangulation durchgeführt. Hierbei werden die Lehrpersonenperspektive durch ein Leitfrageninterview, die Lernendenperspektive mit Hilfe eines Leistungstests und die Beobachter:innenperspektive mit einem Beobachtungsbogen erhoben. Ziel ist es, durch diese Perspektiven Rückmeldungen zu sammeln und die Wirksamkeit der Überarbeitungen zu bewerten. Hierbei wird das Erreichen von Lernzielen in den Vordergrund gestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die konzeptuelle und methodische Weiterentwicklung alle vier Lernziele erreicht werden konnten. Die Arbeit leistet somit einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Unterrichtskonzeptionen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung und Messunsicherheitenvermittlung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Hintergrund und Motivation	6
1.2	Ziel und Forschungsfragen	7
1.3	Lernziele und Key Ideas	8
2	Theoretischer Hintergrund	10
2.1	Design Based Research	10
2.1.1	Struktur des DBR	10
2.1.2	Weiterführen des Entwicklungsprozesses	11
2.2	Triangulation	12
3	Methodik - Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes	14
3.1	Vereinheitlichung der Konzepte	14
3.2	Fachliche Klärung	14
3.3	Tipps und Tricks	14
3.4	Hinzufügen von Unterrichtsmaterialien	14
3.5	Verbesserung der Handhabung	15
4	Methodik - Überarbeitung der Triangulation	17
4.1	Lehrer:inneninterview	17
4.1.1	Probleme der Vorgängerversion	17
4.1.2	Erste Überarbeitung	18
4.1.3	Experten Diskussion	19
4.1.4	Qualitätssicherung	19
4.2	Beobachtungsbogen	20
4.3	Leistungstest	21
4.3.1	Qualitätssicherung	21
4.4	Stichprobe	22
4.5	Gewichtung der Klassen	23
5	Ergebnisse der Triangulation	24
5.1	Gewichtung der Klassen	24
5.2	Lehrer*inneninterview	24
5.3	Beobachtungsbogen	25
5.4	Leistungstest	25
5.5	Triangulation	27
6	Interpretation der Daten	29
6.1	Lehrer:inneninterview	29
6.2	Beobachtungsbogen	29
6.3	Leistungstest	29
6.4	finale Überarbeitung Unterrichtskonzept	30
6.5	Triangulation	30
6.5.1	nach Lernzielen	31
6.5.2	nach Key Ideas	31
7	Zusammenfassung der Arbeit	32
8	Ausblick und Limitationen	33
8.1	Limitation	33
9	Verzeichnisse	34

A Unterrichtskonzept Sek 1	36
B Interviewbogen des Lehrer:innen Interviews	59
C Beobachtungsbogen	68
D Leistungstest	77
E Informationen an die Erziehungsberechtigten	84
F Einverständniserklärung	86

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Messunsicherheiten sind ein wichtiger Bestandteil des (Natur-)wissenschaftlichen Arbeitens. Diese sind entscheidend, um verschiedene Messwerte zu interpretieren und zu vergleichen. Zusätzlich geben sie Aussagen über die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Messwerten. Trotz der hohen Relevanz von Messunsicherheiten lernen viele Schüler*innen dieses Thema das erste Mal im Hochschulkontext kennen. Eine Befragung von Lehrpersonen aus Baden-Württemberg ergab, dass Messunsicherheiten im Unterricht häufig nur am Rande thematisiert werden (Möhrke, 2020). Eine weitere Erhebung unter Mitglieder:innen des Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts zeigte, dass diese das Thema Messunsicherheiten als sehr wichtig erachten, sich jedoch ein Unterrichtskonzept wünschen, welches die Einführung in dieses Themengebiet erleichtert (Nagel et al., 2021).

Vor diesem Hintergrund wurde von Clemens Nagel und Hannah Loidl ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe 1 entwickelt, welches das Thema Messunsicherheiten zugänglicher machen soll (Loidl, 2021; Loidl und Nagel, 2023; Nagel, 2023; Neumann et al., 2021). Zusätzlich wurde ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe 2 von Clemens Nagel und Rupert Bärenthaler-Pachner entwickelt (Bärenthaler-Pachner und Nagel, 2024; Bärenthaler-Pachner, 2022). Bei anschließenden Evaluationen durch Studierende des Masterseminars „E-Kompetenzen im Schulunterricht der Sek I (neu) und II“ sowie ergänzenden Studien von Eva Abl (2024) und Sophie Brasseur (2024) wurden Stärken und Schwächen der Konzepte sowie der Testinstrumente erhoben. Hierfür führte Brasseur eine Triangulationsstudie zur Validierung der Unterrichtskonzeptionen in der Praxis durch mit 13 Klassen in der Sek 1 und 10 Klassen in der Sek 2 und insgesamt 384 Schüler:innen. Diese Triangulationsstudie von Sophie Brasseur (2024) zeigte, dass es bei den Lernzielen und Key Ideas Diskrepanzen zwischen den Einschätzungen der Lehrpersonen und den Testergebnissen gab. Zusätzlich zeigte die Auswertung der Triangulation nach Lernzielen, dass in der Sekundarstufe 1 nur eines von vier Lernzielen erreicht werden konnte.

Diese Arbeit setzt an dieser Stelle an und hat den Fokus, mit Hilfe der vorherig gesammelten Daten das Unterrichtskonzept der Sekundarstufe 1 zu optimieren und zusätzlich die Testinstrumente der Triangulation weiterzuentwickeln. In der folgenden Abbildung 1 werden die vorangegangenen Arbeiten und das Ziel dieser Masterarbeit mithilfe eines Flussdiagramms dargestellt.

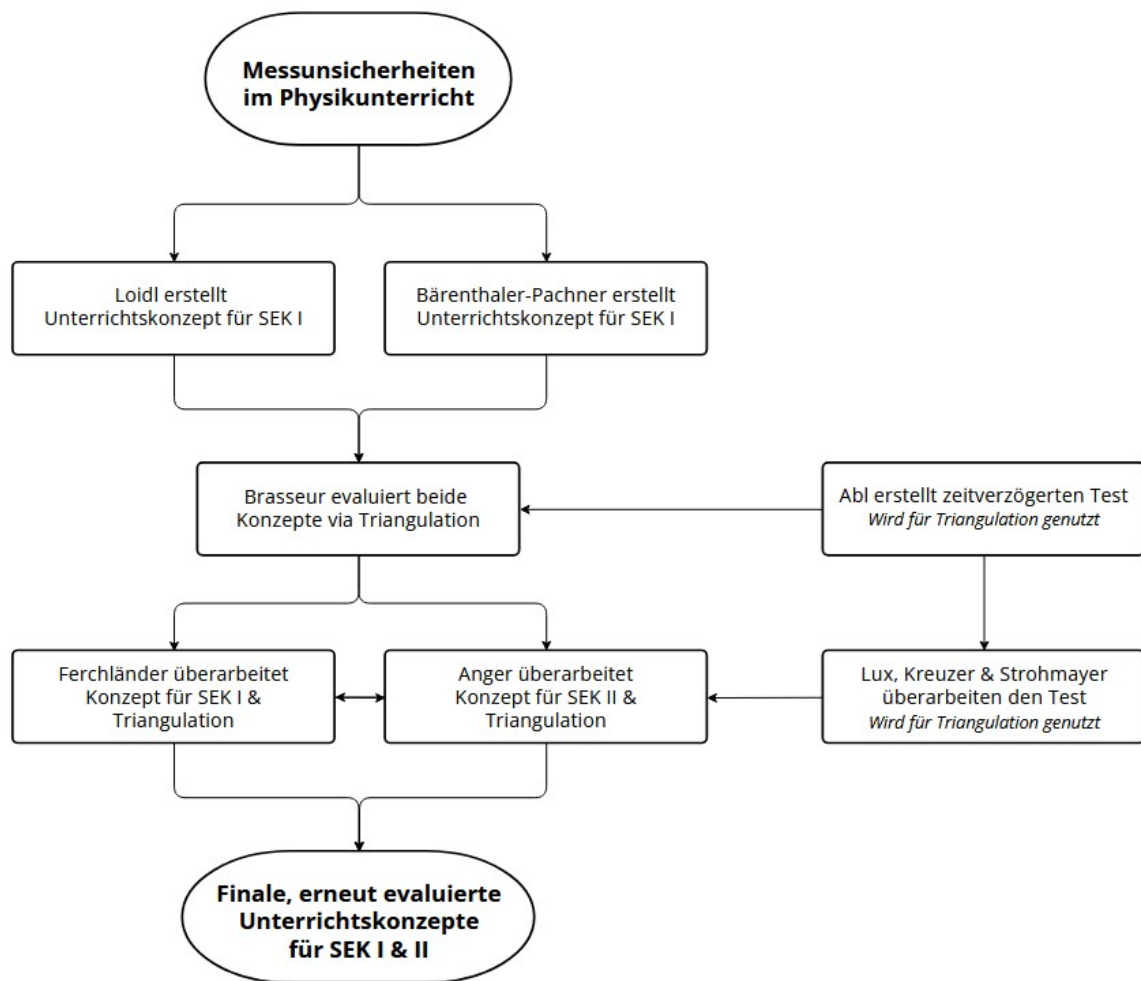


Abbildung 1: Überblick über die Entwicklung und Evaluation der Unterrichtskonzepte (Anger, 2025)

1.2 Ziel und Forschungsfragen

Vor diesem Hintergrund verfolgt diese Masterarbeit das Ziel, das Unterrichtskonzept zur Einführung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe 1 zu optimieren. Dies geschieht in zwei Abschnitten. Zuerst werden anhand der vorangegangenen Masterarbeiten und Rückmeldungen von Kolleg:innen die Unterrichtsmaterialien und Testinstrumente überarbeitet. Anschließend werden diese Optimierungen in einer zweiten Phase mit Hilfe einer Triangulationsstudie bewertet. Aus dem thematischen Kontext ergeben sich die folgenden Fragen in Anlehnung an die Strukturierung nach Bakker (Bakker, 2019):

Hauptfragen:

1. Welche Maßnahmen zur Optimierung müssen vorgenommen werden, um die Rückmeldungen der Teilnehmer:innen des E-Kompetenzen Masterseminars in das Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe I einzuarbeiten?
2. Welche Verbesserungsmaßnahmen zu Beobachtungsleitfaden und Lehrer:innenbefragung für die Sekundarstufe I lassen sich aus den Erkenntnissen der Triangulation von Brasseur (2024) ableiten?
3. Wie spiegelt sich die Optimierung des Unterrichtskonzepts für die Sekundarstufe I in den Rückmeldungen und Erfahrungen der Lernenden und Beobachtenden wider und müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden?

Unterfragen:

- Welche Optimierungen müssen vorgenommen werden, um die Erkenntnisse der Triangulation von Brasseur (2024) in das Unterrichtsmaterial für die Sekundarstufe I einzuarbeiten?
- Welche Optimierungen müssen vorgenommen werden, um die Erkenntnisse der Triangulation von Brasseur (2024) in den Beobachtungsbogen für die Sekundarstufe I einzuarbeiten?
- Welche Optimierungen müssen vorgenommen werden, um die Erkenntnisse der Triangulation von Brasseur (2024) in die Lehrpersonenbefragung für die Sekundarstufe I einzuarbeiten?
- Welche Rückmeldungen seitens der Lehrenden bzw. Beobachtenden lassen auf eine Verbesserung der Umsetzbarkeit des Unterrichtskonzepts für die Sekundarstufe I schließen?
- Welches Resultat bringt die Triangulation bezüglich des Erreichens der Lernziele und Key Ideas seitens der Lernenden hervor?

1.3 Lernziele und Key Ideas

Die Effektivität der Überarbeitungen und des Unterrichtskonzeptes wird anhand der Erreichung der Lernziele beurteilt. Diese wurden für die Sekundarstufe 1 von Loidl (Loidl, 2021) formuliert und sind die folgenden:

Die Lernenden können ...

LZ1 ... erklären, warum eine Messung immer eine gewisse Unsicherheit hat.

LZ2 ... die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messergebnisse einschätzen und vergleichen.

LZ3 ... ein Ergebnis vollständig (Mittelwert von mehreren Messergebnissen und als Streuungsmaß die Spannweite - oder die Standardabweichung, abhängig vom mathematischen Vorwissen) angeben.

LZ4 ...verschiedene Quellen für Unsicherheiten aufzählen und sie bei der Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit einer Messung miteinbeziehen.

Die drei Perspektiven der Triangulation werden jeweils klassenweise ausgewertet. Anschließend wird aus diesen Daten ein gewichteter Mittelwert berechnet. Diese Gewichtung ergibt sich aus der Konzepttreue, welche in dem folgenden Kapitel 4.5 genauer beschrieben wird. Die gewichteten Ergebnisse der drei Testinstrumente werden anschließend nach Lernzielen sortiert und es wird ein übergreifender Mittelwert für jedes Lernziel gebildet.

Loidl (Loidl, 2021) formulierte in ihrer Arbeit auch Key Ideas. Diese werden auf die gleiche Weise ausgewertet. Da jedoch die Bewertung von Key Ideas üblicherweise durch Akzeptanzbefragungen (Jung, 1992) erfolgt, werden diese nur am Ende zur Gegenüberstellung mit den Lernzielen dargestellt. Es werden nur die Ergebnisse der Lernziele klassenweise dargestellt. Die Key Ideas, welche Loidl (Loidl, 2021) formulierte lauten:

KI1 Die einzelnen Messungen einer Messreihe sind meistens nicht ident.

KI2 Der Mittelwert einer Messreihe ist der Wert, der dem wahren Wert am nächsten kommt. Je mehr Messungen man macht, desto näher kommt der Mittelwert an den wahren Wert heran.

KI3 Je kleiner die Spannweite einer Messreihe ist, desto vertrauenswürdiger ist das Ergebnis. Man sagt dann: „Die Messung hat eine kleine Messunsicherheit.“

KI4 Unsicherheiten einer Messung haben verschiedene Ursachen:

- Zufällig unterschiedliche Messergebnisse
- Genauigkeit des Messgerätes

2 Theoretischer Hintergrund

Diese Masterarbeit basiert auf den Arbeiten von Loidl (Loidl, 2021), Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022), Brasseur (Brasseur, 2024) und Abl (Abl, 2024). Diese Masterarbeiten wurden alle nach dem Konzept des Design-Based-Research durchgeführt und durchliefen einen kompletten Zyklus. Diese Arbeit nutzt die Erkenntnisse der vorherigen Arbeiten und beginnt einen neuen Zyklus. Um zusätzlich die Erreichung der Lernziele komplexer auszuwerten, wird auf das Konzept der Triangulation zurückgegriffen. Bei dieser wird ein Aspekt aus mehreren Perspektiven betrachtet, welche anschließend zusammengeführt werden. In den folgenden Kapiteln werden der theoretische Hintergrund des Design-Based-Research (Kapitel 2.1) und der Triangulation (Kapitel 2.2) näher beschrieben.

2.1 Design Based Research

Design-Based Research (DBR) ist ein forschungsbasierter Ansatz, welcher die Entwicklung von Lehr-Lern-Arrangements (LLAs) mit wissenschaftlicher Theoriebildung systematisch verknüpft. Hierbei ist das Ziel, die Bildungsinnovationen nicht nur zu entwerfen, sondern diese auch unter realen Bedingungen im Schulalltag anzuwenden, um zu verstehen, unter welchen Voraussetzungen diese wirksam sind. Hierbei geht DBR anders als traditionelle Methoden vor. Diese entwerfen zuerst ein theoretisches Curriculum und implementieren dieses anschließend. DBR hingegen verfolgt einen zyklischen Ansatz. Hierbei werden die Theorieentwicklung und die praktische Umsetzung eng aufeinander bezogen (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020; Haagen-Schützenhöfer, 2016).

2.1.1 Struktur des DBR

Wie bereits genannt besteht das DBR aus zwei Zyklen, welche miteinander verflochten sind (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020; Haagen-Schützenhöfer, 2016):

- Im **Entwicklungszyklus (EZ)** liegt der Fokus auf der Entwicklung und Optimierung von Lernumgebungen und Unterrichtskonzepten. Diese werden durch enge Zusammenarbeit mit Lehrpersonen und Lernenden im Unterricht erprobt.
- Der **Forschungszyklus (FZ)** verfolgt das Ziel, wissenschaftlich fundierte Theorien zum Lehren und Lernen zu generieren und zu validieren und Erkenntnisse über wirksame Gestaltungsprinzipien zu gewinnen.

Diese beiden Zyklen, welche während des DBR immer wieder durchlaufen werden, sind in der Abbildung 2 dargestellt.

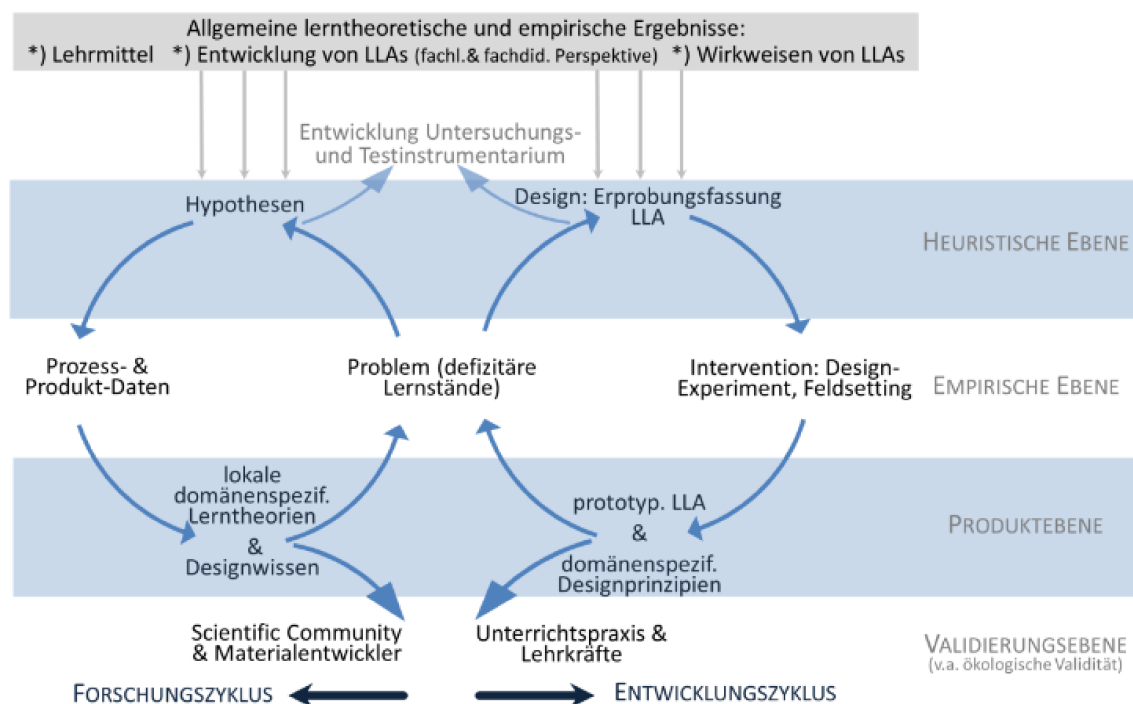


Abbildung 2: Parallele Kreisprozesse des DBR (Haagen-Schützenhöfer, 2016)

In der Abbildung 2 erkennt man auch die Verflechtung der beiden Zyklen, da diese gemeinsam die gleichen vier Ebenen durchlaufen (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020; Haagen-Schützenhöfer, 2016):

1. **Heuristische Ebene:** Aus dem Problem heraus werden Hypothesen aufgestellt (FZ) bzw. ein erster Entwurf des LLAs (EZ).
2. **Empirische Ebene:** Aus der Hypothese und dem Erstentwurf werden Daten erhoben durch eine Umsetzung des LLAs (EZ) und Forschung (FZ).
3. **Produktionsebene:** Aus den gewonnenen Daten werden Lerntheorien entwickelt (FZ) bzw. domänenspezifische Designprinzipien (EZ).
4. **Validierungsebene:** Diese werden durch eine schulische Anwendung (EZ) und die wissenschaftliche Community (FZ) validiert.

Diese Zyklen sind charakteristisch für das DBR. Hierbei führen die Erkenntnisse auf einer Phase zu neuen Hypothesen und Designentscheidungen. Diese werden als neues Problem in die Mitte des DBR gesetzt und es wird ein neuer Zyklus begonnen. Durch dieses Vorgehen entsteht ein kontinuierlicher Entwicklungsprozess, in welchem Praxis und Theorie miteinander verbunden sind (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020; Haagen-Schützenhöfer, 2016).

2.1.2 Weiterführen des Entwicklungsprozesses

Die Forschungsgruppe von Clemens Nagel durchlief bereits einen vollen Zyklus des DBR. Hierbei wurde als Ausgangspunkt das Problem bearbeitet, dass es kein Unterrichtskonzept für die Einführung von Messunsicherheiten in der Sek 1 und Sek 2 gibt. Im Rahmen ihrer Masterarbeiten entwickelte Hannah Loidl (Loidl, 2021; Loidl und Nagel, 2023) ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe 1 und Rupert Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner und Nagel, 2024; Bärenthaler-Pachner, 2022) eines für die Sek 2. In diesen Arbeiten wurden die ersten drei Phasen des DBR durchlaufen. Anschließend wurde von Sophie Brasseur (Brasseur, 2024) die vierte

Phase, die Evaluation und Validierung, bearbeitet. Diese führte im Rahmen ihrer Masterarbeit eine Triangulationsstudie mit ca. 380 Lernenden durch für welchen Eva Abl (Abl, 2024) den (zeitverzögerten) Leistungstest beisteuerte.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit lieferten, dass es einen erneuten Zyklus des DBR benötigt, da nicht alle Lernziele vermittelt werden konnten. Dieses Problem steht im Fokus dieser Masterarbeit, welche von Clemens Nagel betreut wird. Zusätzlich wird mit Katharina Anger zusammengearbeitet, welche den Fokus auf die Sekundarstufe 2 setzt. In diesem neuen Zyklus werden die Unterrichtskonzepte anhand der Triangulation und der Erprobung durch Lehrende überarbeitet. Weiters werden die Testinstrumente weiterentwickelt und optimiert. Diese Optimierungen durchlaufen einen vollständigen Zyklus einschließlich der Validierungsebene, damit diese zusätzlich an Aussagekraft und Praxisrelevanz gewinnen.

2.2 Triangulation

Der Begriff Triangulation stammt eigentlich aus der Landvermessung. Dort beschrieb er die Fixierung eines Punktes durch die Verwendung eines Netzwerkes von Dreiecken. Dieser wurde von Campell und Fiske 1959 in die Methodendiskussion eingeführt und wird in der empirischen Bildungsforschung im übertragenen Sinne verwendet. In dieser werden verschiedene Perspektiven verknüpft, um ein möglichst genaues Bild über einen Untersuchungsgegenstand zu gewinnen. (H.-H. Krüger und Pfaff, 2008)

Wie in der Einleitung des Kapitels 2 bereits genannt, beschreibt Altrichter, dass das Wesentliche der Triangulation die Gelegenheit ist, einen kontrastierenden Vergleich von verschiedenen Perspektiven zum „selben“ Schachverhalten zu erhalten. Mit Hilfe dieses Vergleichs können Unterschiede, Widersprüche und Diskrepanzen entdeckt werden (Altrichter und Posch, 2018).

Laut Krüger und Pfaff beschreibt Triangulation „die Verknüpfung von qualitativen und quantitativen Methoden und Daten“ (H.-H. Krüger und Pfaff, 2008). Diese Kombination ist wichtig, da qualitative und quantitative Ansätze unterschiedliche Funktionen erfüllen. Nach Barton und Lazarsfeld erfüllen qualitative Methoden eine hypothesengenerierende Funktion, während quantitative Methoden eine hypothesentestende Funktion einnehmen (Flick, 2011).

Denzin beschreibt vier verschiedene Arten der Triangulation. Die Datentriangulation, die Investigatortriangulation, die Theorientriangulation und die Methodentriangulation. Diese Arbeit wird der ersten Art der Datentriangulation zugeteilt, da zu verschiedenen Zeiten, an verschiedenen Orten und mit verschiedenen Personen ein Phänomen untersucht wird. Nach Denzin ist es das Ziel einer Triangulation, dass sich die Schwächen der verschiedenen Methoden und Perspektiven ausgleichen sollen und dies somit zu einer kumulativen Validierung führt (Denzin, 2009). Dies ist jedoch nur möglich, wenn laut Lamnek die forschende Person methodologisch offen arbeitet (Lamnek, 2010). Besonders das schulische Umfeld bietet viele Möglichkeiten für die Triangulation. In dieser Arbeit wurde sich für die folgenden drei Perspektiven entschieden:

- schriftlicher Nachtest mit den Schüler*innen
- Leitfrageninterview mit den Lehrpersonen
- Unterrichtsbeobachtungen von externen Beobachtern

Triangulation lässt sich auf verschiedene Weise in den Forschungsprozess integrieren. So gibt es entweder die Möglichkeit, dass qualitative und quantitative Methoden abwechselnd verwendet werden. Bei dieser Möglichkeit kann es zum Beispiel eine kontinuierliche qualitative Feldforschung geben, bei welcher immer wieder quantitative Befragungen durchgeführt werden. Oder es werden zuerst qualitativ mit Hilfe eines Interviews und anschließend quantitativ mit einem Fragebogen Daten erhoben und anschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe einer qualitativen Phase überprüft. Die zweite Möglichkeit, welche in dieser Arbeit gewählt wird,

ist jene, in welcher die qualitative und die quantitative Forschung parallel laufen. Diese werden in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben (Flick, 2011).

Dies bedeutet, dass in dieser Arbeit die qualitative Forschung nicht wie bei Barton und Lazarsfeld vorher beschrieben für die Hypothesenbildung verwendet wird, sondern für die Interpretation und Erklärung von statistisch gewonnenen Zusammenhängen (Flick, 2011). Durch die Unterrichtsbeobachtungen von externen Beobachtern lassen sich leichter Schwachstellen des Unterrichtskonzepts beobachten. Zusätzlich können diese Beobachtungen genutzt werden, um die Aussagen der Lehrpersonen und die Leistungstests einzuordnen. Dieses Vorgehen beschreibt auch Kelle (Kelle, 2008) als eine der Funktionen von Kombinationen von qualitativen und quantitativen Verfahren.

"Mit der Kombination von qualitativen und quantitativen Methoden können Forschungsergebnisse wechselseitig ergänzt werden. Die Methoden einer der beiden Forschungstraditionen erfassen nur bestimmte soziale Phänomene mit einer begrenzten Reichweite. Die Ergebnisse einer kombinierten Anwendung von qualitativer und quantitativer Forschung können ein adäquates bzw. umfassenderes Bild des Untersuchungsgegenstands ergeben, da Methoden der anderen Tradition Aspekte des Forschungsgegenstands beleuchten, die zunächst nicht oder ungenügend beschrieben werden konnten" (Kelle, 2008).

Wie am Anfang des Kapitels beschrieben, können bei Triangulationen nicht nur Gemeinsamkeiten in den verschiedenen Perspektiven auftreten, sondern auch Unterschiede, Widersprüche und Diskrepanzen. Diese sind jedoch auch ein wertvoller Ansatzpunkt für die Weiterentwicklung und die Interpretation von Unterrichtssituationen (Altrichter und Posch, 2018). Lamnek fasst dies mit dem folgenden Satz zusammen: „Durch die Triangulation kann Erkenntnisfortschritt erzielt werden.“ (Lamnek, 2010).

Wenn jedoch die verschiedenen Perspektiven übereinstimmen und die gleiche Situation ähnlich interpretieren, dann bestehen laut Altrichter und Posch (Altrichter und Posch, 2018) die folgenden Vorteile der Triangulation darin, dass:

- ein „dichteres“, ausgewogeneres Bild einer Situation entsteht;
- die Widersprüchlichkeit vieler Situationen sichtbar wird, wodurch tiefergehende Interpretationen angeregt werden;
- die problematische und erkenntnisfeindliche „Hierarchie der Glaubwürdigkeit“ durchbrochen wird, weil Perspektiven rangunterschiedlicher Personen gleichwertig nebeneinander gestellt werden

Ähnlich formuliert Kelle eine weitere Funktion von Triangulationen:

„Eine Methodenkombination ermöglicht wechselseitige Methodenkritik. Da durch die Anwendung von Verfahren der einen Tradition typische Validitätsprobleme und Fehlerquellen von Methoden der anderen Tradition identifiziert werden können, trägt eine Methodenkombination zur Validierung von Daten, Methoden und Ergebnissen bei“ (Kelle, 2008).

3 Methodik - Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes

Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben waren die ersten Ziele der Arbeit die Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes und der Triangulationsmaterialien. In diesem Kapitel wird genauer auf die Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes und der Unterrichtsmaterialien eingegangen. Die Überarbeitung der Triangulation ist im anschließenden Kapitel 4 beschrieben.

Die folgenden Optimierungen bauen auf den Arbeiten von Loidl (Loidl, 2021), Brasseur (Brasseur, 2024) und Abl (Abl, 2024) auf. Zusätzlich zu diesen Arbeiten wurde das Konzept in dem Masterseminar „E-Kompetenzen im Schulunterricht der Sek I (neu) und II“ von Masterstudent:innen mehrmals durchgeführt und beobachtet. Die Erkenntnisse aus diesen Seminaren fließen auch in die Überarbeitung mit ein. Nun werden folgende Optimierungen genauer beschrieben.

3.1 Vereinheitlichung der Konzepte

Die Unterrichtskonzepte für die Sekundarstufe 1 und die Sekundarstufe 2 wurden in unterschiedlichen Masterarbeiten entwickelt. Dies führte dazu, dass diese unterschiedlich formatiert wurden und ein unterschiedliches Design hatten. Daher wurde das Design der beiden Konzepte vereinheitlicht. Zusätzlich wurden diese in LaTeX entworfen, damit zukünftige Änderungen im gleichen Design möglich wären. Im Rahmen dieser Vereinheitlichung wurde das Konzept an den einheitlichen GUM-Sprachgebrauch angepasst (Bärenthaler-Pachner et al., 2025; Hellwig, 2012; Priemer, 2022). So wurde im vorherigen Konzept noch von „Fehlern“ und dem „wahren Wert“ geschrieben. Diese Formulierungen wurden zum Beispiel auf „systematischer Effekt“ und „Bestwert“ angepasst.

Bei dem Prozess der Vereinheitlichung fiel auch auf, dass es für das Konzept der Sek 2 eine Lösungserwartung gab, welche das Konzept der Sek 1 nicht aufwies. Daher wurde ein solches ergänzt.

3.2 Fachliche Klärung

Im Rahmen der Überarbeitung wurden auch Materialien hinzugefügt. Eines dieser Materialien ist eine fachliche Klärung. Diese dient dazu, fachfremden oder fachkundigen Lehrpersonen den Zugang zum Thema Messunsicherheiten zu vereinfachen. Die fachliche Klärung beinhaltet hierfür ein Glossar, in welchem die wichtigsten Begriffe beschrieben werden, und eine Übersicht über die wichtigsten Schüler*innenvorstellungen (Klee, 2008; Schecker et al., 2018). Hierbei wird besonders auf das Point-Verständnis und das Set-Verständnis eingegangen. Das Ziel ist es, die Schüler:innen von der Point-Vorstellung zu der Set-Vorstellung zu führen (Lubben et al., 2001).

3.3 Tipps und Tricks

Zusätzlich zu der fachlichen Klärung wurde auch eine Kategorie mit dem Namen „Tipps und Tricks“ hinzugefügt. Diese ist inspiriert von Experimentierprotokollen, in welchen nachträglich Hinweise notiert werden, welche das erneute Durchführen des Experimentes erleichtern sollen. Mit der gleichen Idee sind hier die Erkenntnisse der Lehrpersonen gesammelt, welche das Konzept im Rahmen des Masterseminars durchgeführt haben. Dies umfasst zum Beispiel das Vorbereiten des Wassers in PET-Flaschen, wodurch ein schnellerer Start möglich ist, oder das Bereithalten von Tüchern, da durch das Wasser diese schnell benötigt werden.

3.4 Hinzufügen von Unterrichtsmaterialien

Aus der Masterarbeit von Brasseur (Brasseur, 2024) lässt sich herauslesen, dass die Schüler:innen das Lernziel (LZ) 1 nicht erreicht haben. Das LZ 1 beschäftigt sich mit der generellen Existenz von Unsicherheiten. Aus der Sicht der Lehrpersonen wurden die Ziele 2 und 3 nicht erreicht. Das LZ 2 beschäftigt sich mit der Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messergebnisse und das LZ 3

mit der vollständigen Angabe eines Ergebnisses. Die Lernziele sind im Detail im Kapitel 1.3 beschrieben. In der Auswertung der einzelnen Testaufgaben von Abl (Abl, 2024) erkennt man, dass die Schüler:innen Messunsicherheiten angeben, wenn es um den Vergleich von Messungen geht, aber nicht bei einem einzelnen Ergebnis. Dies führt zu dem Schluss, dass die Schüler:innen ein Verständnis entwickelt haben, dass Messunsicherheiten wichtig für den Vergleich von Messungen sind, aber noch nicht verstanden haben, dass Messunsicherheiten auch die Vertrauenswürdigkeit eines einzelnen Ergebnisses beschreiben.

Damit die Schüler:innen auch diese LZ erreichen, wurden weitere Unterrichtsmaterialien dem Unterrichtskonzept hinzugefügt. Das erste Material, welches ergänzt wurde, ist ein Concept-Cartoon (Keogh und Naylor, 1999). Dieser legt den Fokus darauf, dass die Schüler:innen diskutieren sollen, welches dieser Ergebnisse richtig angegeben ist und welches nicht. Mit Hilfe des Concept-Cartoon sollen die Schüler:innen unterstützt werden, die LZ 1, 2 und 3 zu erreichen.

Um zusätzlich auch noch einmal das Verständnis zu fördern, wie ein Messergebnis vollständig angegeben wird, wurde ein weiteres Merkkästchen hinzugefügt, welches die einzelnen Komponenten eines Messergebnisses genau aufzählt. Um dieses Wissen anschließend noch einmal zu überprüfen und zu festigen, wurde das Arbeitsblatt „Erkenntnisse zum Thema Messunsicherheiten“ um eine weitere Aufgabe ergänzt. In dieser sollen die Schüler:innen die einzelnen Bestandteile eines vollständigen Messergebnisses beschriften. Dieses Arbeitsblatt fungiert als Zusammenfassung für die Schüler:innen und als „Take-Away-Massage“ des Konzeptes.

3.5 Verbesserung der Handhabung

In diesem Kapitel werden kleinere Änderungen beschrieben, welche zu großen Teilen von den Lehrpersonen angemerkt wurden, welche das Konzept durchgeführt haben. Diese Optimierungen dienen dazu, dass das Konzept angenehmer zum Durchführen ist.

Die erste Überarbeitung ist, dass der Wasserstand in den Behältern von 500ml auf 480ml geändert wurde. In einigen Durchführungen konnte von den Lehrpersonen und den Beobachter:innen beobachtet werden, dass die Schüler:innen bei dem finalen Wert die 500 wählten, da dies ein schöner Wert ist und dieser stimmen muss. Um diese Vorstellung zu verhindern, werden nun 480ml in die Behälter gefüllt.

Ein weiteres Problem, welches häufiger im Unterricht auftrat, war, dass es zwei Abbildungen 1 gab. Dies führte häufig zu Verwirrung. Zusätzlich gab es eine Abbildung ohne Beschriftung, welche am Anfang des Dokuments stand. In der optimierten Version sind die Abbildungen nun durlaufend nummeriert und auch alle im Fließtext beschrieben.

Damit die Bedingungen des Messens für die Schüler:innen verständlicher werden. Wurden Piktogramme hinzugefügt, welche den Schüler:innen anzeigen, welche Handlungen nicht erlaubt sind. Dies wurde optimiert, da einige Lehrpersonen anmerkten, dass die Beschreibungen für manche Schüler:innen nicht verständlich sind.

Eine weitere Überarbeitung ist auf dem Arbeitsblatt 3. Bei diesem können die Lehrpersonen nun die Werte des Messbechers eintragen, welche sie in ihrem Unterricht verwenden, wenn dieser nicht gleich ist mit den drei vorausgewählten Möglichkeiten.

Wie in dem vorherigen Kapitel beschrieben, dient das 6. Arbeitsblatt als Zusammenfassung des Konzepts. Bei diesem Lückentext gab es das Problem, dass bei zwei Lücken jeweils zwei Möglichkeiten richtig ausgefüllt werden konnten. Dies führte zu Verwirrungen. Die Sätze wurden so abgeändert, dass nun nur noch eindeutig ein Wort in die Lücken eingefügt werden kann.

In der folgenden Tabelle 1 werden die beschriebenen Optimierungen übersichtlich zusammengefasst. Die Überarbeitungen, welche getrennt dargestellt sind, wurden nach der Auswertung der Triangulation durchgeführt und sind in dem folgenden Kapitel 6.4 genauer beschrieben.

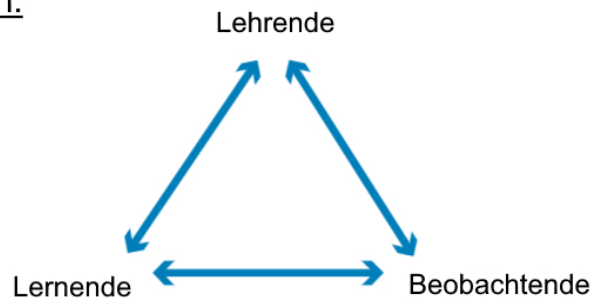
Tabelle 1: Zusammenfassung der identifizierten Probleme, Lösungen und Entdeckungsphasen

Problem	Lösung	Phase der Entdeckung
Unterschiedliches Design der Konzepte Sek 1 und Sek 2	Einheitliches LaTeX-Design für beide Konzepte; sprachliche Vereinheitlichung (z. B. „Fehler“ → „systematischer Effekt“)	Während der Überarbeitung zur Vereinheitlichung
Sek-1-Konzept hatte keine Lösungserwartung	Ergänzung der Lösungserwartung im Sek-1-Konzept	Während der Vergleichsarbeit Sek 1 / Sek 2
Fehlende fachliche Einordnung für Lehrkräfte	Hinzufügen einer fachlichen Klärung inkl. Glossar und Übersicht zu Schüler:innenvorstellungen	Im Zuge der konzeptuellen Ergänzungen
Lehrkräfte wünschten konkrete Hinweise zur Umsetzung	Ergänzung einer Rubrik „Tipps und Tricks“ mit praxisnahen Hinweisen	Aus Rückmeldungen aus dem Masterseminar
Lernziele LZ1–3 wurden nicht vollständig erreicht	Ergänzung von Materialien (Concept-Cartoon, Merkkasten, neue Aufgabe auf AB6) zur Förderung dieser Ziele	Basierend auf Auswertung von Schüler:innen- und Lehrkräftenrückmeldungen (Brasseur, Abl)
Schüler:innen wählten „schöne Werte“ (z. B. 500ml)	Wasserstand auf 480ml reduziert, um kognitive Verzerrung zu vermeiden	Rückmeldung aus Unterrichtsbeobachtungen
Zwei identische Abbildungsnummern + unbeschriftete Abbildung	Durchgehende Nummerierung und vollständige Beschriftung im Fließtext	Aus Rückmeldungen aus dem Masterseminar
Unverständliche Handlungsanweisungen	Piktogramme zur Visualisierung erlaubter/unerlaubter Handlungen eingeführt	Aus Rückmeldungen aus dem Masterseminar u. Rückmeldung von Lehrkräften
Arbeitsblatt 3 war nicht flexibel einsetzbar	Eingabefelder für eigene Werte auf AB3 hinzugefügt	Aus Rückmeldungen aus dem Masterseminar
Lückentext auf AB6 hatte Doppeldeutigkeiten	Sätze so angepasst, dass nur eine korrekte Lösung möglich ist	Aus Rückmeldungen aus dem Masterseminar
Verwirrung durch Seitenzahlen der Materialien	Seitenzahlen für Arbeitsblätter beginnen nun mit „AB 1“, Zusatzmaterialien mit „ZM 1“	Nach Auswertung der Triangulation
Begriff „Spannweite“ für 2. Klasse schwer verständlich	Hinweis im Infotext für Lehrpersonen mit Beispielen (Vögel, Flugzeuge) ergänzt	Nach Auswertung der Triangulation
Fehler beim Messen zwischen Skalenstrichen	Neue Regel eingeführt: „Nicht zwischen Skalenstrichen messen“	Nach Auswertung der Triangulation
Schüler:innen begründen ihre Einschätzung nicht	Aufforderung zur Begründung auf AB1 ergänzt (analog zu Sek-2-Konzept)	Nach Auswertung der Triangulation
Kleine inhaltliche und sprachliche Fehler im Konzept	Korrekturen auf Basis von Interview-Rückmeldungen durchgeführt	Nach Auswertung der Triangulation

4 Methodik - Überarbeitung der Triangulation

In Kapitel 2.2 wurde beschrieben, dass sich die Triangulation aus drei Perspektiven zusammensetzt. Diese sind die Perspektive der Lehrenden, der Lernenden und jene von externen Beobachtern. Für die Erfassung dieser Perspektiven wurden verschiedene methodische Instrumente verwendet. Zur Erfassung der Lehrendenperspektive wurde ein leitfragengestütztes Interview eingesetzt (Kapitel 4.1). Die Lernendenperspektive wurde mit einem schriftlichen Test erfasst (Kapitel 4.3) und die externen Beobachter hielten ihre Beobachtung mit Hilfe eines Beobachtungsbogens fest (Kapitel 4.2), dargestellt in der Abbildung 3.

Perspektiven:



Methoden:

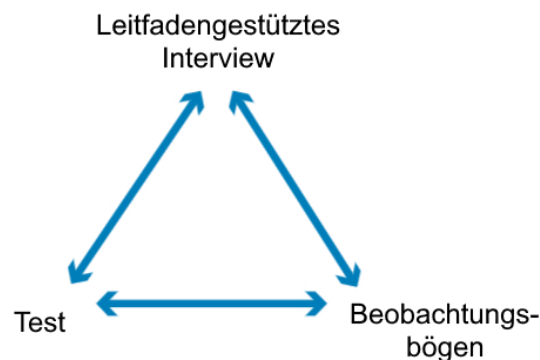


Abbildung 3: Triangulationsperspektiven und -methoden (Anger, 2025)

In der vorangegangenen Arbeit von Brasseur (Brasseur, 2024) wurden ähnliche Instrumente verwendet. Die Auswertung dieser ergab, dass es noch weiteres Optimierungspotential gibt. Daher wurden diese Instrumente im Rahmen der Masterarbeit weiterentwickelt. In den folgenden Kapiteln werden diese Überarbeitungen beschrieben.

4.1 Lehrer:inneninterview

4.1.1 Probleme der Vorgängerversion

Als Grundlage für das Lehrer:inneninterview dient die Arbeit von Brasseur (Brasseur, 2024). Diese führte für ihre Triangulation einen Online-Lehrer:innenfragebogen durch, welchen alle Lehrpersonen ausfüllten. Bei diesem Fragebogen wählte man zuerst die Klasse aus, zu welcher man die Fragen beantworten möchte. Wenn die Lehrperson das Konzept in mehreren Klassen unterrichtet hatte, dann wählte sie hintereinander die verschiedenen Klassen aus und beantwortete für jede die Fragen. Hierbei gab es jedoch ein technisches Problem, wodurch die Daten von vorherigen Klassen gelöscht wurden, wenn eine neue Klasse ausgewählt wurde. Dieses führte zu einem großen Datenverlust. Das zweite Problem, welches aufgetreten ist, war, dass die Key Ideas der Sekundarstufe 1 und der Sekundarstufe 2 vertauscht wurden, da diese ähnlich formuliert sind.

Um diese Probleme zu verhindern, wird die Methodik des Instruments geändert und der Lehrer:innenfragebogen wird durch ein leitfragengeführtes Lehrer:inneninterview ersetzt. Das Abändern des Formates führt zu den folgenden Vorteilen. Der erste, welcher der ausschlaggebende ist, ist, dass durch das Interview es nicht zu einer Überschreibung von Daten kommen kann. Doch das Interview führt noch weitere positive Aspekte mit sich. So gibt es in einem Interview die Möglichkeit, dass die Lehrpersonen an bestimmten Stellen die Möglichkeit haben, auf das Unterrichtsmaterial zu verweisen. Auf der anderen Seite kann die interviewende Person auch Nachfragen stellen, wenn bestimmte Antworten unklar oder nicht ausführlich genug sind. Ein weiterer positiver Effekt ist, dass durch das persönliche Gespräch auch eine wertschätzendere Atmosphäre geschaffen wird. Dies ist besonders wichtig, da die Lehrpersonen zwei ihrer Unterrichtsstunden für die Erprobung des Konzeptes verwenden und dieses Interview in ihrer Freizeit führen.

4.1.2 Erste Überarbeitung

Bei der Wahl des Interviewstils wurde sich für ein stark leitfragengeführtes Interview entschieden. Dies hat den Grund, dass es durch die Leitfragen die Möglichkeit gibt, die Antworten der Lehrpersonen zu vergleichen. Zusätzlich gibt der Interviewbogen dem Interview eine Struktur, wodurch verhindert werden kann, dass während des Interviews zu stark von der ursprünglichen Frage abgewichen wird oder eine Frage vergessen wird. Des Weiteren gibt es durch die Leitfragen die Möglichkeit, dass das Interview von verschiedenen Personen durchgeführt werden kann.

Für die Erstellung des Leitfragenbogens wurden die Fragen von Brasseur (Brasseur, 2024) analysiert und es wurde versucht, dieselben Aspekte abzufragen. Am Anfang des Bogens gibt es eine kurze Einführung in das Interview. Diese dient dazu, dass die Lehrpersonen aufgeklärt werden, über welches Thema das anschließende Interview handeln wird. Zusätzlich wird auch versichert, dass alle Daten vertraulich behandelt und anonymisiert werden. Zusätzlich wird in diesem einleitenden Teil auch die Erlaubnis der Lehrperson erteilt, dass das Interview mit aufgezeichnet werden darf. Diese Erlaubnis wird anschließend zu Beginn des Interviews nach Start der Aufzeichnung noch einmal von der Lehrperson wiederholt.

Bevor das Interview begonnen wird, werden die Lehrpersonen gebeten, einen kurzen Fragebogen auszufüllen. Dies beinhaltet nur Angaben zu der Lehrperson und der Schule. Dieser Fragebogen wird ausgeteilt, damit diese Fragen nicht während des Interviews gestellt werden müssen. Dies soll gewährleisten, dass während des Interviews sich vollständig auf die Unterrichtskonzepte fokussiert werden kann.

Das Raster, welches für die Leitfragen verwendet wurde, wurde aus dem Buch „Methoden in der naturwissenschaftlich-didaktischen Forschung“ von Krüger und Parchmann (2014) entnommen. Bei diesem wird der Leitfaden in drei Spalten geteilt. In der ersten Spalte „Interventionen“ sind die Fragen formuliert, welche der Lehrperson gestellt werden. Diese Fragen sind im Wortlaut aufgeschrieben und sind erzählgenerierend. Dies bedeutet, dass die Person, welche das Interview führt, die Fragen direkt aus dem Leitfaden vorlesen kann. In der zweiten Spalte werden die zu erwartenden Antworten beschrieben. Diese sind grob beschrieben und dienen der interviewenden Person dazu, einzuschätzen, ob die interviewte Person sich gerade zu der Frage äußert oder vielleicht von dieser abschweift. Dies kann auch genutzt werden, um abzuschätzen, ob ein weiteres Nachfragen notwendig ist oder alle notwendigen Antworten gegeben wurden. Zusätzlich helfen diese Antworten der Person, welche das Interview führt, dabei, vorbereiteter auf die Antworten zu sein. Hierdurch kann das Interview flüssiger gestaltet werden. In der dritten Spalte befinden sich Bemerkungen, welche für das Interview nützlich sind. In diesen ist zum Beispiel notiert, wenn bestimmtes Material ausgehändigt werden soll oder ob bei bestimmten Fragen ein genaueres Nachfragen notwendig ist. In dieser Spalte steht auch, wenn bestimmte Fragen übersprungen werden sollen, wenn zuvor bestimmte Antworten gegeben wurden. Diese Spalte soll der inter-

viewführenden Person die Durchführung und die Handhabung des Leitfadens erleichtern.

Bei der Erstellung des Interviewbogens wurde darauf geachtet, dass dieser in der Sekundarstufe 1 und 2 angewendet werden kann. Dies hat den Vorteil, dass der Bogen nicht gewechselt werden muss, wenn eine Lehrperson das Unterrichtskonzept der Unterstufe und jenes der Oberstufe unterrichtet hat. Da sich jedoch die Lernziele und die Key Ideas der beiden Konzepte unterscheiden, wurde dies bei den Fragen 4 und 5 berücksichtigt. Bei diesen wird der Lehrperson ein Zettel ausgehändigt, auf welchem die Lernziele und die Key Ideas des jeweiligen Konzeptes stehen. Dies hat den Vorteil, dass die Lehrperson immer die genaue Beschreibung vor Augen hat und leichter auf diese eingehen kann. Zusätzlich wird auch das Unterrichtskonzept der Lehrperson vorgelegt, damit diese an bestimmten Stellen Anmerkungen machen kann oder auf bestimmte Stellen hinweisen kann. Da es bei der Arbeit von Brasseur (Brasseur, 2024) zu einer Verwechslung der Lernziele gekommen ist, wurde bei diesem Zettel besonders darauf geachtet, dass die Sekundarstufe in großer Schrift notiert ist. Zusätzlich befindet sich auf der einen Seite nur die Sekundarstufe 1 und auf der anderen die Sekundarstufe 2. Dies soll zusätzlich ein Verwechseln verhindern. Die Fragen 4 und 5 werden von der Lehrperson für jede Klasse einzeln beantwortet. Die restlichen Fragen können gesamt beantwortet werden, da diese sich allgemein auf das Thema Messunsicherheiten fokussieren. Am Ende des Interviewbogens befindet sich eine große leere Box, welche für Notizen gedacht ist. Die zweite Seite des Interviewbogens ist absichtlich leer gehalten, damit es möglich ist, diesen doppelseitig auszudrucken. Weil sonst die erste Hälfte der Leitfragen auf der Rückseite der Einführung wäre.

Der vollständige Interviewbogen ist im Anhang B einzusehen.

4.1.3 Experten Diskussion

Anschließend an die Überarbeitung des Leitfrageninterviews wurde der Leitfragenbogen am 17.12.2024 im Rahmen einer Präsentation einer Expertengruppe des AECC Physik vorgestellt. Ziel dieser Präsentation und anschließenden Diskussion war es, externe Einblicke von Fachleuten und Personen mit spezifischem Wissen und Erfahrungen zu erhalten. Diese fachliche Expertise liefert hilfreiche Informationen, da diese Experten ihr Wissen und ihre Erfahrungen aus der Praxis mit einbringen. Zusätzlich bringen externe Beobachter Perspektiven in die Diskussion mit ein, welche durch eine Betriebsblindheit übersehen werden können (Bogner, 2002; Liebold und Trinczek, 2009).

Daher wurde bei der Expertendiskussion auch folgende konkrete Frage gestellt:

„Ist der Leitfaden für Personen nachvollziehbar, die nicht an seiner Erstellung beteiligt waren?“.

Der zweite Punkt, auf welchen in der Diskussion ein Fokus gelegt wurde, war der folgende:

„Klingt die folgende Frage wertfrei? Wenn dem nicht so ist, wie könnte man sie wertfrei formulieren? Frage: „Gibt es bestimmte Gründe, wieso sie es nicht versucht haben?“ “.

Die Diskussion mit der Expertengruppe ergab, dass der Leitfragenbogen des Interviews auch für externe Personen verständlich und nachvollziehbar ist. Es gab in diesem Kontext auch keine Anmerkung einer Überarbeitung oder Verbesserung. Die Expertengruppe kam auch zu dem Beschluss, dass die Frage 8, welche genauer diskutiert werden sollte, wertfrei ist und auch diese keine Überarbeitung benötigt.

4.1.4 Qualitätssicherung

Um eine hohe Reliabilität und Validität sicherzustellen, wurden im Rahmen der Qualitätssicherung mehrere Maßnahmen umgesetzt. Kai Nibert und Harald Gropengießer (D. Krüger et al., 2014) formulieren in Anlehnung an Mayring (Mayring, 2010) folgende Gütekriterien für die Sicherstellung der Validität der Datenerhebung:

- Verfahrensdokumentation

- Datendokumentation
- Mitwirkung der Probanden
- Interne Triangulation

Die Verfahrensdokumentation beschreibt, dass die Erhebung, Aufbereitung und Auswertung der Daten nachvollziehbar und detailliert dargestellt werden muss. Die Erhebung und die Aufbereitung der Daten werden in dem folgenden Kapitel 5.2 genau beschrieben. Auf die Auswertung wird im Kapitel 6 detaillierter eingegangen.

Bei der Datendokumentation wurde sich dafür entschieden, alle Interviews aufzuzeichnen, um somit die Validität zu erhöhen. Daher wurden alle teilnehmenden Lehrpersonen gebeten, ihre Zustimmung für die Aufzeichnung des Interviews zu erteilen. Da während der Interviews keine Gegenstände hergezeigt werden und alle Dokumente, über welche gesprochen wird, vorliegen, wurde sich nur für eine Audioaufzeichnung entschieden.

Das Mitwirken der Probanden wurde im Vorhinein bei der Anfrage für die Durchführung des Konzeptes abgefragt. Hierbei wurde transparent beschrieben, dass auf die Durchführung des Konzeptes ein 30-minütiges Interview folgt. Um das Mitwirken zu erhöhen, wurde den Lehrpersonen auch die Möglichkeit gegeben, das Interview online zu führen. Zusätzlich wurden alle Fragen in Alltagssprache formuliert, damit das Interview natürlicher und offener abläuft.

Bei der internen Triangulation wird mehrmals auf das Thema Messunsicherheiten eingegangen, jedoch immer wieder aus verschiedenen Blickwinkeln. Zusätzlich wird versucht, durch unterschiedliche Fragen zu eruieren, inwieweit die Lernziele und Key Ideas aus der Sicht der Lehrperson erreicht wurden. So greift die Frage 11 noch einmal auf, welche Konzepte die Schüler:innen noch nicht verstanden haben könnten, aus der Sicht der Lehrperson, oder die Frage 13 gibt der Lehrperson die Möglichkeit, noch extrige Anmerkungen zu machen.

Um die Reliabilität und die Validität noch zusätzlich zu erhöhen, wurde die interviewende Person einer Schulung unterzogen. In dieser wurde der Person der Leitfragenbogen erklärt und es wurden die wichtigsten Aspekte des Interviews besprochen. In dieser Schulung wurde auch auf die verschiedenen Gütekriterien der Validität eingegangen, damit diese während des Interviews berücksichtigt werden.

4.2 Beobachtungsbogen

Der Lehrer:innen-Interviewbogen und der Beobachtungsbogen wurden beide für die komplette Sekundarstufe entwickelt. Dies soll die Verwendung dieser erleichtern und ermöglicht auch eine bessere Vergleichbarkeit. Bei der Überarbeitung dieser Instrumente wurde mit Frau Anger zusammengearbeitet, welche sich auf die Sekundarstufe 2 fokussiert. Um Überschneidungen bei der Überarbeitung zu vermeiden, wurde die Optimierung der Testinstrumente aufgeteilt. Während der Überarbeitung wurden regelmäßige Besprechungen durchgeführt mit Feedforward. Diese Arbeit fokussiert sich wie in Kapitel 4.1 beschrieben auf das Lehrer:inneninterview. In der Arbeit von Anger (Anger, 2025) wird ausführlich auf die Optimierung des Beobachtungsbogens eingegangen. In diesem Kapitel werden diese Überarbeitungen kompakt beschrieben.

Die Beobachtungsbögen wurden besonders auf der Grundlage von Rückmeldungen der Teilnehmer:innen des Masterseminars E – Kompetenz und der eigenen Erfahrung überarbeitet. Hierbei hatte die Version von Brasseur (2024) besonders das Problem, dass diese als unübersichtlich empfunden wurde. Um dies zu verbessern, wurde sich auf die Vereinfachung des Layouts fokussiert. Hierfür wurden Ankreuzfelder hinzugefügt und der Notzibereich wurde vergrößert. Zudem kamen Felder für das Ankreuzen von Fehlern hinzu.

Zusätzlich zu der Veränderung des Layouts wurden auch die Kategorien besser an die Lernziele angepasst. Eine Kategorie, welche keinem Lernziel zugeordnet werden konnte („Ausprobie-

ren und Optimieren“), wurde entfernt. Die übrigen drei Hauptkategorien wurden jeweils klar getrennt und auf einer eigenen Seite dargestellt. Zusätzlich wurden alle Operatoren überprüft und, wenn nötig, gestrichen. Dies war dann der Fall, wenn Operatoren in der Sek 1 nie beobachtet wurden. Bei der Sekundarstufe 2 wurden zusätzliche Operatoren hinzugefügt. Selten auftretende Operatoren wurden kursiv gestaltet, um den Fokus der Beobachtungen zu verbessern.

Diese ersten Überarbeitungen wurden am 17.12.2024 der gleichen Expert:innen-Gruppe vorgestellt, welche im Kapitel 4.1.3 beschrieben wurde. Durch die Diskussion flossen weitere Verbesserungen ein. Es wurde eine Umbenennung vorgenommen, von „Kategorie“ zu „Arbeitsschritt“. Zusätzlich wurde der Operator „diskutieren“ genauer unterteilt nach Dauer der Diskussion. Um eine höhere Qualität der Beobachtungen zu gewährleisten, wurden auch die zu beobachtenden Gruppen von drei auf zwei reduziert. Um die Qualität der Beobachtungen zusätzlich zu verbessern, wurde eine Beobachtungsschulung vorgeschlagen. Für die Sekundarstufe 2 wurden Hinweise zu typischen Einsatzphasen der Operatoren hinzugefügt.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden auch eine Anleitung und eine Sammlung von Beispielen erstellt, welche dazu führen sollen, dass die verschiedenen Arbeitsschritte einheitlich verstanden werden. Um dies zu schulen, wurde die zuvor vorgeschlagene Beobachtungsschulung durchgeführt. Bei dieser wurden von den Beobachtern verschiedene videografierte Unterrichtssequenzen analysiert. Hierbei wurden konkrete Operatoren behandelt oder häufige Abgrenzungsschwierigkeiten (z. B. „beurteilen“ vs. „begründen“) thematisiert. Zusätzlich wurde auch auf den Umgang mit Fehlern genauer eingegangen.

Der finale Beobachtungsbogen ist im Anhang C beigefügt.

4.3 Leistungstest

Den dritten wichtigen Bestandteil dieser Triangulation stellt der Leistungstest dar. Diese dient zur Erhebung des Lernzuwachses und zur Überprüfung der vermittelten Key Ideas und Lernziele. Die Arbeiten von Abl (Abl, 2024) und Brasseur (Brasseur, 2024) zeigten auf, dass der Leistungstest funktioniert und Lernerfolg messen kann (Nagel, 2025). Die Überarbeitung des Tests erfolgte jedoch nicht im Rahmen dieser Masterarbeit, da dies bereits im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten durchgeführt wurde (Nagel und Holmes, 2025). Dieser optimierte Test liegt im Anhang D vor und wird unverändert verwendet.

4.3.1 Qualitätssicherung

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde für die Zuordnung der Kategorien auch die Inter-coder-Reliabilität ausgerechnet. Für dies wurde ein kategorienweises Cohen’s Kappa verwendet. Dies ist notwendig, da mehrere Kategorien pro Antwort gewählt werden konnten, wodurch ein klassisches Cohen’s Kappa nicht möglich ist. Für die Berechnung wurde eine Stichprobe von 31 Tests ausgewählt. Dies entspricht bei 200 Tests von Sekundarstufe 1 und 2 insgesamt einem Prozentsatz von 15,5% was im Richtwert von O’Connor und Joffe liegt. Diese Tests wurden von 2 Auswerter:innen kategorisiert (Cohen, 1960; O’Connor und Joffe, 2020). Cohen’s Kappa lässt sich mit der folgenden Formel 1 berechnen:

$$\kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (1)$$

Hierbei beschreibt p_e die erwartete Übereinstimmung und p_o die beobachtete Übereinstimmung. Für die Berechnung von p_o wird eine Tabelle erstellt, in welcher die Anzahl der Übereinstimmungen gezählt wird. Hierbei zählt als eine Übereinstimmung, wenn beide Rater die Kategorie gewählt haben bei der Antwort oder wenn beide diese nicht gewählt haben. Diese Übereinstimmung wird anschließend durch die Anzahl der Tests dividiert. Die erwartete Übereinstimmung

berechnet man mit der Formel 2:

$$p_e = (p_{1=1} \cdot p_{2=1}) + (p_{1=0} \cdot p_{2=0}) \quad (2)$$

Hierbei beschreibt $p_{1=1}$ die Wahrscheinlichkeit, dass die erste ratende Person diese Kategorie zuordnet bzw. bei $p_{1=0}$ diese nicht zuordnet. Die Standardabweichung lässt sich mit der folgenden Formel 3 berechnen. Hierbei steht n für die Anzahl der Tests, welche von beiden Rater:innen ausgewertet wurden (Cohen, 1960; O'Connor und Joffe, 2020).

$$\sigma_\kappa = \sqrt{\frac{p_o(1 - p_o)}{n(1 - p_e)^2}} \quad (3)$$

In der nachfolgenden Tabelle 2 ist Cohen's Kappa für jede wichtige Kategorie angegeben. Hierbei wurden jene Kategorien weggelassen, welche wie in der Tabelle 10 zu sehen so selten zugeteilt wurden, dass es nicht möglich war, ein Cohen's Kappa zu berechnen.

Tabelle 2: Cohen's Kappa zur Einschätzung der Inter-coder-Reliabilität je Kategorie

Kategorie	Cohen's Kappa	Standardabweichung
Aufgabe 6a		
2.2	0.808	0.105
2.3	0.450	0.202
Aufgabe 6b		
1.3	0.652	0.113
2.2	0.868	0.122
2.3	0.832	0.121

Für die Interpretation der Werte werden Landis und Kochs Kennwerte herangezogen. Diese in der folgenden Tabelle 3 dargestellt (Landis und Koch, 1977).

Tabelle 3: Landis und Kochs Kennwerte für die Interpretation von Cohen's Kappa

Kappa Statistik	Maß der Überschneidung
< 0,00	mangelhaft
0,00 - 0,20	gering
0,21 - 0,40	mäßig
0,41 - 0,60	moderat
0,61 - 0,80	substanziell
0,81 - 1,00	fast perfekt

Bei der Auswertung der Tabelle 2 zeigt sich, dass bei Aufgabe 6a die Kategorie 2.3 hervorsticht. Diese lässt sich nach Landis und Koch nur als „moderat“ einordnen. Die im Vergleich zu den anderen Kategorien hohe Standardabweichung lässt darauf schließen, dass sich die Rater bei dieser Kategorie uneinig waren. Die restlichen Kategorien weisen eine hohe Zuverlässigkeit bei der Kategorisierung auf, da diese eine „substanzielle“ oder „fast perfekte“ Übereinstimmung haben.

4.4 Stichprobe

Die Triangulationsstudie wurde in 5 Klassen durchgeführt. Diese Klassen sind in der folgenden Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Übersicht der teilnehmenden Klassen

Klasse	Schultyp	Bundesland	Klassenstufe	Anzahl SuS	Ausgefüllte Tests
051428	AHS	Wien	2.	27	25
101324	AHS	Wien	2.	26	25
091125	AHS	Wien	2.	27	27
091125	AHS	Wien	3.	21	21
091125	AHS	Wien	3.	26	26

Wie in der Tabelle 4 zu erkennen ist wurden die Klassen codiert um die Anonymität zu wahren. Diese Codierung wird in den folgenden Kapiteln beibehalten.

4.5 Gewichtung der Klassen

Ein wichtiger Faktor bei der Auswertung der verschiedenen Messinstrumente war die Konzepttreue. Diese beschreibt, wie exakt sich eine Lehrperson an das vorgegebene Konzept gehalten hat oder ob diese Abänderungen vorgenommen hat. Zu der Konzepttreue zählt auch, wenn eine Lehrperson bestimmte Bereiche übersprungen hat oder diese nicht in den angesetzten zwei Stunden erreicht hat. Um diese Konzepttreue festzustellen, wurden alle Beobachter:innen geschult, während den Beobachtungen zu notieren, wenn Bereiche übersprungen wurden oder nicht gemacht wurden.

Für die Berechnung der Konzepttreue wurde das Konzept in die wichtigsten Bereiche unterteilt. Jedem dieser Bereiche wurde eine Prozentzahl zugewiesen, je nach Relevanz für das Erreichen der Lernziele. Diese Unterteilung und Gewichtung erfolgte in Absprache mit Katharina Anger. In der folgenden Tabelle 5 werden die sechs Bereiche und die zugehörigen Seiten wie Prozent angegeben:

Tabelle 5: Verteilung der Themenbereiche des Unterrichtskonzepts mit Prozentanteilen

Fokus des Bereichs	Seiten	Prozentanteil
Messen	AB 1	22%
Unsicherheit Typ-B	AB 2	22%
Spannweite (Streuung)	AB 3 u. AB 4	16%
Angabe von Messergebnissen	AB 5	11%
Wiederholung des Gelernten	AB 6	16%
Vertrauenswürdigkeit von Messungen	AB 8	13%

Eine Lehrperson, welche dem Konzept vollständig folgt und alle Arbeitsblätter in der Unterrichtsstunde bespricht, würde eine Konzepttreue von 100% erhalten. Wenn ein Bereich von der Lehrperson nicht besprochen wurde, dann werden diese Prozent von der Maximalanzahl abgezogen. Bei einem Abweichen von den Vorgaben des Konzeptes werden 16% abgezogen. In der Aufzählung der Tabelle 5 wird das Arbeitsblatt 7 nicht genannt, da dieses nur als Ergänzung und Förderung für Fortgeschrittene dient.

5 Ergebnisse der Triangulation

In den folgenden Unterkapiteln werden die Daten dargestellt, welche im Rahmen der Triangulation erhoben und ausgewertet wurden. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit den Teilnehmern des Masterseminars „E-Kompetenzen im Schulunterricht der Sek I (neu) und II (2025S 267005-1)“, Jennifer Altmann¹, Paul Postl² und Katharina Anger³.

Für eine bessere Visualisierung wurden in den folgenden Kapiteln die Ergebnisse der Lernziele eingefärbt. Ein Lernziel gilt als „erreicht“ (grün), wenn dieses zu 60% oder mehr beobachtet wurde. Bei einem Prozentsatz im Intervall [50%; 60%) wird das Lernziel als „teilweise erreicht“ (orange) eingestuft, wenn weniger als 50% beobachtet wurden, dann gilt das Lernziel als „nicht erreicht“ (rot).

5.1 Gewichtung der Klassen

Nach der Auswertung der Beobachtungsbögen ergibt sich folgende Tabelle 6 in welcher die jeweilige Konzepttreue der verschiedenen Klassen angegeben ist und der daraus resultierende Gewichtungsfaktor. Dieser wurde wie in Kapitel 4.5 beschrieben, berechnet.

Tabelle 6: Gewichtung der Klassen

Klasse	Konzepttreue	Gewichtungsfaktor
051428	100%	1
101324	60%	0.6
091125	87%	0.87
091126	71%	0.71
091127	87%	0.87

5.2 Lehrer*inneninterview

Die Lehrer:inneninterviews wurden anschließend an die durchgeführten Unterrichtseinheiten von Paul Postl im Rahmen seiner Bachelorarbeit durchgeführt. Um den Arbeitsaufwand auf den Rahmen einer Masterarbeit zu reduzieren, wurde Herr Postl als unterstützender Beitragender in die Forschungsarbeit eingebunden. Dieser wurde im Vorhinein bei der Interviewschulung auf die wichtigsten Aspekte des Interviewbogens geschult und eingewiesen. Diese Interviews wurden anschließend von Paul Postl ausgewertet. Hierbei wurde als Auswertungsmethode die interpretative reduktive Inhaltsanalyse (D. Krüger et al., 2014; Mayring, 2010) angewendet.

Während des Interviews wurde erhoben ob die Lehrpersonen die Lernziele als „erreicht“, „teilweise erreicht“ oder „nicht erreicht“ wahrgenommen haben. Diese Einschätzungen wurden in Prozent umgewandelt um eine Vergleichbarkeit mit den anderen Messinstrumenten zu schaffen, da die Ergebnisse dieser auch in Prozent angegeben sind. Hierbei wurde „erreicht“ als 100% gerechnet, „teilweise erreicht“ als 50% und „nicht erreicht“ als 0%. Diese Prozente nach Klassen sortiert sind in der Tabelle 7 dargestellt.

Aus diesen Angaben wird der gewichtete Mittelwert ($\bar{x}_w$) berechnet für jedes Lernziel. Hierbei wird die folgende Formel 4 verwendet. In dieser beschreibt x_i den jeweiligen Wert und w_i den dazugehörigen Gewichtungsfaktor. Dieser Gewichtungsfaktor ist in der Tabelle 6 beschrieben.

$$\bar{x}_w = \frac{\sum(x_i \cdot w_i)}{\sum w_i} \quad (4)$$

¹im Zuge ihrer Bachelorarbeit

²im Zuge seiner Bachelorarbeit

³im Zuge ihrer Masterarbeit

Tabelle 7: Einschätzungen der Lehrpersonen zur Lernzielerreichung in Prozent

	051428	101324	091125	091126	091127	gewichteter Mittelwert
LZ 1	100%	100%	50%	100%	100%	89%
LZ 2	100%	50%	50%	100%	100%	82%
LZ 3	50%	50%	100%	100%	100%	80%
LZ 4	100%	50%	50%	100%	100%	82%

5.3 Beobachtungsbogen

Für eine einheitliche Auswertung der Beobachtungsbögen wurde in Zusammenarbeit mit Katharina Anger eine Excel-Datei erstellt. Diese Datei ist nach Lernzielen sortiert. Neben den Lernzielen stehen die Arbeitsschritte, welche diesem Ziel zugeordnet sind. Die geschulten Beobachter:innen kreuzen in jedem Arbeitsschritt die beobachteten Operatoren und Fehler pro Gruppe an und notieren zusätzlich die beobachteten Fehler.

Die Zuordnung der Arbeitsschritte zu den Lernzielen wurde der Arbeit von Brasseur (Brasseur, 2024) entnommen. Hierbei fiel jedoch auf, dass diese überarbeitet werden müssen. Daher wurden bei zwei Lernzielen und einer Key Idea Änderungen vorgenommen. Bei der Key Idea 1 wurde zu dem Arbeitsschritt K-2.2 der Schritt K-1.2 hinzugefügt, da sich das Konzept der Sekundarstufe 1 besonders auf die Streuung im Rahmen der Spannweite fokussiert und nur passiv auf die Typ-A-Messunsicherheit. Der Key Idea 3 wurde der Arbeitsschritt K-1.3 ergänzt, da die Key Idea die Vertrauenswürdigkeit anspricht und der Schritt K-1.3 diese behandelt. Dem Lernziel 3 wurde neben dem Arbeitsschritt K-1.1 auch K-1.2 hinzugefügt, da das Lernziel direkt das Streuungsmaß anspricht. Eine zusätzliche Veränderung, welche im Vergleich zu Brasseur (Brasseur, 2024) vorgenommen wurde ist, dass die Operatoren nach Gruppen ausgewertet werden. Brasseur nennt hierbei nur ob ein Operator in einer Klasse beobachtet wurde.

Aus den gekreuzten Operatoren wird in Prozent berechnet, wie häufig diese in der Klasse beobachtet wurden. Anschließend wird für jede Klasse pro Lernziel ein Mittelwert berechnet. Diese Mittelwerte sind in der Tabelle 8 dargestellt. Anschließend wurden aus den klassenweise ausgerechneten Prozentsen ein gewichteter Mittelwert mit der Formel 4 und der Tabelle 6 berechnet.

Tabelle 8: Beobachtete Operatoren nach Lernzielen und Klassen

	Arbeitsschritte	051428	101324	091125	091126	091127	gewichteter Mittelwert
LZ 1	K 2.1	42%	33%	67%	75%	75%	59%
LZ 2	K 1.3	75%	50%	88%	88%	50%	71%
LZ 3	K 1.1 K 1.2	65%	60%	80%	80%	80%	73%
LZ 4	K 2.1	42%	33%	67%	75%	75%	59%

5.4 Leistungstest

Nachdem die beiden Stunden des Unterrichtskonzeptes durchgeführt worden waren, wurde der Leistungstest in einer der folgenden Physikstunden ausgefüllt. Die Lehrpersonen erhielten hierfür Kuverts, in welchen die Testbögen vorbereitet waren. Diese Kuverts wurden anschließend an Jennifer Altmann geschickt, welche diese auswertete. Für die Auswertung wurden pro Aufgabe alle Punkte einer Klasse addiert und anschließend berechnet, wie viel Prozent der maximalen Punktezahl erreicht wurden. Dies wurde für jede Aufgabe durchgeführt. Bei den Aufgaben 6a und 6b gibt es zusätzlich offene Fragen, bei welchen die Schüler:innen Verbesserungsvorschläge oder Begründungen schreiben sollen. Diese wurden getrennt ausgewertet und die Antworten

wurden acht möglichen Kategorien zugeteilt. Diese Kategorien sind die gleichen wie die Arbeitsschritte des Beobachtungsbogens. Hierbei konnten pro Antwort auch mehrere Kategorien gewählt werden.

Zusätzlich zu der Auswertung der Tests wurde auch berechnet, wie viele Prozent der Punkte die Schüler:innen erreichen könnten durch zufälliges Kreuzen. Hierfür wurde der Erwartungswert jeder Aufgabe berechnet und anschließend dieser in Prozentpunkte umgerechnet. Hierfür wird der Erwartungswert (EW) durch die maximale Punktzahl der Aufgabe dividiert. Dieser Wert ist in der Sekundarstufe besonders bei den Aufgaben 3 und 4 wichtig, da diese nicht direkt während des Unterrichtskonzeptes besprochen werden. Die Aufgaben 3 und 4 prüfen das Verständnis der Schüler:innen zu Typ A und Typ B Messunsicherheiten ab. Diese werden im Unterrichtskonzept mit Hilfe der Spannweite besprochen, jedoch wird nie der Begriff Typ A oder Typ B Messunsicherheit verwendet. In der Tabelle 9 sind die Prozentpunkte der Klassen pro Aufgabe dargestellt und zusätzlich der Erwartungswert bei Zufallswahl.

Tabelle 9: Testergebnisse der Schüler:innen pro Aufgabe mit Erwartungswert bei Zufallswahl

	EW	051428	101324	091125	091126	091127	gewichteter Mittelwert
Aufgabe 1	25%	44%	32%	70%	67%	96%	63%
Aufgabe 2	50%	74%	48%	87%	62%	83%	73%
Aufgabe 3	13%	32%	24%	37%	50%	44%	38%
Aufgabe 4	13%	20%	10%	15%	19%	10%	15%
Aufgabe 5	20%	32%	16%	33%	33%	42%	32%
Aufgabe 6a	-	78%	28%	80%	64%	75%	68%
Aufgabe 6b	-	57%	16%	51%	44%	58%	48%

In der Tabelle 10 wird dargestellt, welche Kategorien die Schüler:innen bei den Aufgaben 6a und 6b genannt haben.

Tabelle 10: Häufigkeit der genannten Kategorien bei den offenen Aufgaben 6a und 6b

Kategorien	6a	6b
1.1	6%	5%
1.2	1%	0%
1.3	0%	2%
2.1	8%	6%
2.2	24%	19%
2.3	66%	15%
3.1	4%	9%
3.2	5%	8%

Für eine Vergleichbarkeit der Lernziele in der Triangulation wurden die Testaufgaben auch nach Lernzielen sortiert und der Mittelwert pro Klasse wurde berechnet. Anschließend wurde der gewichtete Mittelwert berechnet. Die Testergebnisse nach Lernzielen aufgeschlüsselt sind in der Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Testergebnisse pro Lernziel und Klasse

	Testaufgaben	051428	101324	091125	091126	091127	gewichteter Mittelwert
LZ 1	3 6b	45%	20%	44%	47%	51%	43%
LZ 2	2	74%	48%	87%	62%	83%	73%
LZ 3	1 5 6a 6b	53%	23%	59%	52%	68%	53%
LZ 4	6a	78%	38%	80%	64%	75%	69%

5.5 Triangulation

In den folgenden Tabellen wurden alle Ergebnisse der Messinstrumente zusammengefasst. Hierbei wird von jedem Instrument der gewichtete Mittelwert angegeben. Aus diesen gewichteten Mittelwerten wird ein finaler Mittelwert berechnet. Dies wird für die Lernziele und Key Ideas durchgeführt. Die Ergebnisse der Key Ideas wurden auch klassenweise gewichtet berechnet, da jedoch der Fokus auf den Lernzielen liegt, werden nur die finalen Werte der Key Ideas dargestellt. In der Tabelle 12 ist die Triangulation der Lernziele dargestellt und in der Tabelle 13 die Triangulation nach Key Ideas.

Tabelle 12: Triangulation der Lernziele: Vergleich der drei Perspektiven

	Leistungstest der Lernenden		Lehrer:inneninterview	Beobachtungsleitfaden		Mittelwert
	Testaufgaben	Testergebnis		Kategorie	Häufigkeit der Operatoren	
LZ 1	3 6b	43%	89%	K 2.1	59%	64%
LZ 2	2	73%	82%	K 1.3	71%	75%
LZ 3	1	53%	80%	K 1.1 K 1.2	73%	69%
	5					
	6a					
LZ 4	6b	69%	82%	K 2.1	59%	70%
	6a					

Tabelle 13: Triangulation der Key Ideas: Vergleich der drei Perspektiven

	Leistungstest der Lernenden		Lehrer:inneninterview	Beobachtungsleitfaden		Mittelwert
	Testaufgaben	Testergebnis		Kategorie	Häufigkeit der Operatoren	
KI 1	6b	48%	100%	K 1.2 K 2.2	54%	67%
KI 2	6a	69%	71%	K 1.1 K 2.2	65%	68%
KI 3	1	63%	100%	K 1.2 K 1.3	68%	77%
KI 4	3	26%	40%	K 2.1 K 2.3	49%	38%
	4					

6 Interpretation der Daten

Für die Forschungsfrage 3 ist entscheidend, ob die gesteckten Lernziele erreicht wurden oder nicht. In den folgenden Unterkapiteln wird auf Besonderheiten bei den verschiedenen Messinstrumenten eingegangen und anschließend die gesamte Triangulation ausgewertet.

6.1 Lehrer:inneninterview

Aus der Sicht der Lehrpersonen wurden wie in der Tabelle 7 dargestellt alle Lernziele erreicht. Das Interview ergab zusätzlich, dass in keiner Klasse eine Lehrperson angegeben hat, dass ein Lernziel nicht erreicht wurde. Wenn eine Lehrperson angab, dass ein Lernziel nur teilweise erreicht wurde, wurde als Begründung häufig genannt, dass das Konzept ein bisschen zu schwierig für die 2. Klasse sei. Besonders der Begriff der Spannweite scheint für die 2. Klasse noch ein bisschen schwierig zu sein, da dieser noch nicht im Mathematikunterricht besprochen wurde.

Zusätzlich wurden die Lehrpersonen gefragt, welche Verbesserungen sie sich für das Unterrichtskonzept wünschen würden. Hierbei war die häufigste Antwort, dass es für die Schüler:innen verwirrend sei, dass die Seitenzahlen nicht bei 1 anfangen. Sonstige Anmerkungen umfassten kleinere Änderungen bei Formulierungen oder den Wunsch, mehr Stunden für das Konzept einzuplanen.

6.2 Beobachtungsbogen

Bei der Auswertung der Beobachtungsbögen nach den Lernzielen in der Tabelle 8 kann angenommen werden, dass alle Lernziele erreicht wurden. Alle Lernziele erreichen einen gewichteten Mittelwert von über 50%. Die Lernziele 2 und 3 erreichen sogar einen Prozentwert von über 70%.

Zusätzlich zu den beobachteten Operatoren wurden auch die Fehler ausgewertet. Hierbei wurde bei einem Operator sehr häufig (70%) ein Fehler angekreuzt. Bei diesem handelt es sich um den Operator „messen“. Diese Auswertung der Notizen zu diesem Fehler ergab, dass die Schüler:innen zwischen den Strichen des Messbechers abgelesen hatten, wodurch die Fehlerkategorie gekreuzt wurde. Dieser Fehler sollte eigentlich durch die Hinweiskarte 1 verhindert werden, jedoch zeigten die Beobachtungsbögen, dass diese selten geholt wird. Schüler:innen, welche diese holten, korrigierten diesen Fehler häufig oder machten diesen nicht. Die Auswertung zeigte auch, dass, wenn die Lehrperson diesen Fehler sah, sie diesen ansprach und mit der Klasse diskutierte, wodurch dieser auch nicht mehr anschließend beobachtet wurde.

Ein Operator, welcher bei der Auswertung der Operatoren besonders selten vorkam, war der Operator „interpretieren“. Je nach Arbeitsschritt wurde dieser zwischen 16% und 28% beobachtet. Auch der Operator „begründen“ wurde selten beobachtet (47%). Dies steht besonders im Kontrast zu dem Operator „beurteilen“, welcher im gleichen Arbeitsschritt zu beobachten ist.

6.3 Leistungstest

Die Auswertung des Leistungstests nach Lernzielen in der Tabelle 11 ergibt, dass drei von vier Lernzielen erreicht wurden. Nur das Lernziel 1 wurde hier nur teilweise erreicht. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Aufgabe 3 in das Lernziel 1 hineinzählt. Bei dieser werden die verschiedenen Komponenten der Typ B Messunsicherheit angefragt. Diese werden im Unterrichtskonzept nie direkt genannt. Bei der Auswertung der Aufgabe 3 in der Tabelle 9 zeigt sich, dass die Schüler:innen 38% erreicht haben. Dies ist größer als der Erwartungswert bei Zufallszahl. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Schüler:innen ein Verständnis für die Bestandteile von Messunsicherheiten erlangt haben. Die Auswertung der Aufgabe 4 zeigt, dass die erreichten Prozente nur gering (15%) über dem Erwartungswert bei Zufallszahl (13%) liegen,

wodurch hier nicht von einem Verständnisgewinn ausgegangen werden kann.

Die Auswertung der Tabelle 10 zeigt, dass bei den Aufgaben 6a und 6b besonders häufig die Kategorien 2.2 und 2.3 genannt wurden. Die Schüler:innen nennen somit als Verbesserungsvorschläge besonders das Verbessern des Messgeräts für eine geringe Typ B Messunsicherheit und ein häufigeres Durchführen des Experiments. Besonders aus den 66% bei 6a lässt sich schließen, dass die Schüler:innen ein Verständnis für die Wahl des richtigen Messinstruments gewonnen haben und der Relevanz der Messunsicherheit des Messinstruments.

6.4 finale Überarbeitung Unterrichtskonzept

Anschließend an die Durchführung der Triangulation wurde das Unterrichtskonzept final überarbeitet. Hierbei wurde besonders auf das Feedback der Lehrpersonen und der externen Beobachter eingegangen. Aufgrund der häufigen Nennung im Interview wurden die Seitenzahlen des Unterrichtskonzeptes angepasst. Diese beginnen nun mit AB 1 und die Zusatzmaterialien beginnen mit der Seitenzahl ZM 1. Dies soll Verwirrung bei den Schüler:innen verhindern, wenn die Arbeitsblätter besprochen werden. Eine weitere Optimierung ist, dass im Informationsteil der Lehrpersonen hinzugefügt wurde, dass der Begriff der Spannweite für die 2. Klasse schwierig sein kann. Hier kann die Spannweite von Vögeln und Flugzeugen als Hilfe genommen werden. Diese Idee stammt aus der Aufnahme der Beobachtungsschulung, in welcher ein Schüler der 1. Klasse fragte, ob die Spannweite das Gleiche sei wie bei Adlern. Zusätzlich wurden kleine Fehler korrigiert, welche im Interview genannt wurden.

Eine häufige Beobachtung der Beobachter waren Fehler während des Messens. Hierbei besonders das Ablesen zwischen zwei Skalenstrichen. Da dieser Fehler häufig verhindert wurde, nachdem die Lehrperson diesen erklärt hatte, wurde eine zusätzliche Regel am Anfang des Unterrichtskonzeptes hinzugefügt. Diese erlaubt es den Schüler:innen nicht zwischen den Strichen zu messen. Wenn die Schüler:innen dies hinterfragen, ergibt sich die Möglichkeit für die Lehrperson, genauer auf dieses Thema einzugehen. Die zweite Beobachtung, welche gemacht wurde, ist, dass die Schüler:innen häufig nur beurteilten und nicht begründeten. Um das Begründen der Schüler:innen zu fördern, wurde auf dem ersten Arbeitsblatt bei der Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit die Aufforderung zur Begründung hinzugefügt. Dies ist inspiriert durch das Unterrichtskonzept der Sek 2, in welchem dies bei jeder Vertrauenswürdigkeits-Einschätzung gefordert wird.

Die finale Version des Unterrichtskonzeptes ist im Anhang A beigelegt.

6.5 Triangulation

In diesem Kapitel werden die einzelnen Messinstrumente zusammengefasst nach Lernzielen und Key Ideas untersucht. Für den Vergleich dient hierbei die Tabelle 14 in welcher die Auswertung der Lernziele und Key Ideas von Brasseur (Brasseur, 2024) und dieser Triangulation dargestellt sind.

Tabelle 14: Vergleich der Zielerreichung von Brasseur (Brasseur, 2024) und dieser Triangulation

	Triangulation 2023	Triangulation 2025
Lernziel 1	nicht erreicht	erreicht
Lernziel 2	teilweise erreicht	erreicht
Lernziel 3	teilweise erreicht	erreicht
Lernziel 4	erreicht	erreicht
Key Idea 1	teilweise vermittelt	vermittelt
Key Idea 2	teilweise vermittelt	vermittelt
Key Idea 3	teilweise vermittelt	vermittelt
Key Idea 4	teilweise vermittelt	nicht vermittelt

6.5.1 nach Lernzielen

Die Auswertung der Tabelle 12 zeigt, dass alle Lernziele in der Triangulation erreicht wurden. Hierbei erreichten alle Lernziele gemittelt über alle drei Messinstrumente über 50%. Das Lernziel mit den geringsten Prozentpunkten ist das Lernziel 1 mit 64%. Dieses ist das einzige Lernziel, bei welchem ein Messinstrument nur teilweise erreicht wurde. Es lässt sich daher davon ausgehen, dass die Überarbeitung des Konzeptes erfolgreich war. Im Vergleich zu Brasseur (Brasseur, 2024) verbesserten sich die Lernziele 1,2 und 3.

6.5.2 nach Key Ideas

Bei der Auswertung der Key Ideas aus Tabelle 13 ergibt sich, dass 3 von den 4 Key Ideas vermittelt wurden. Die Key Idea 4 wurde nicht vermittelt. Bei dieser ergab auch kein Messinstrument eine Vermittlung. Ein Grund für das „nicht vermitteln“ kann sein, dass diese Key Idea nur mit der Aufgabe 4 des Leistungstests zusammenhängt, welcher im Unterrichtskonzept nicht direkt angesprochen wird. Weiters spielt bei diesem der Operator begründen eine wichtige Rolle, welcher nur selten beobachtet wurde. Wenn dies mit der Tabelle 14 verglichen wird, zeigt sich, dass sich die Key Ideas 1, 2 und 3 verbessert haben, aber die Key Idea 4 verschlechtert hat.

7 Zusammenfassung der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das bestehende Unterrichtskonzept zur Einführung von Messunsicherheiten in der Sek 1 von Loidl (Loidl, 2021) überarbeitet. Zusätzlich wurden die eingesetzten Instrumente zur Triangulation optimiert und validiert mit Hilfe der Erkenntnisse und Rückmeldungen aus früheren Arbeiten von Brasseur (Brasseur, 2024) und Abl (Abl, 2024).

In der Triangulationsstudie wurden die Perspektiven der Lehrpersonen, der Lernenden sowie externer Beobachter kombiniert. Mit Hilfe der methodischen Vielfalt konnten Schlüsse über die Wirksamkeit der Überarbeitungen gezogen werden. Hierbei lag der Fokus auf dem Erreichen von vier Lernzielen. Zusätzlich wurde die Vermittlung von vier Key Ideas überprüft. Die folgende Tabelle 15 stellt die finale Auswertung der Triangulation dar.

Tabelle 15: Übersicht der Interpretation der Lernziele und Key Ideas nach Triangulation

Lernziel 1	erreicht
Lernziel 2	erreicht
Lernziel 3	erreicht
Lernziel 4	erreicht
Key Idea 1	vermittelt
Key Idea 2	vermittelt
Key Idea 3	vermittelt
Key Idea 4	nicht vermittelt

Aus dieser Tabelle ergibt sich, dass alle vier Lernziele durch das optimierte Konzept erreicht wurden. Im Vergleich zur Arbeit von Brasseur (Brasseur, 2024), bei welcher nur ein Lernziel als „erreicht“ angegeben wurde. Dies stellt eine Verbesserung des Konzeptes dar. Auch die Key Ideas 1 bis 3 konnten vermittelt werden. Nur die vierte Key Idea, welche sich mit den Ursachen für Messunsicherheiten beschäftigt, wurde nicht erreicht.

Die Forschungsfragen, welche im Kapitel 1.2 formuliert wurden, konnten somit beantwortet werden. Die Rückmeldungen der Lehrpersonen und die Ergebnisse der Beobachtungsbögen und Leistungstest zeigen eine positive Entwicklung des Unterrichtskonzeptes. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes zu einer höheren Zielerreichung führte. Durch das Vorgehen im Rahmen des Design-Based-Research wurde eine Verknüpfung von Theorie, Unterrichtspraxis und empirischer Forschung sichergestellt.

8 Ausblick und Limitationen

Das Ergebnis der Triangulationsstudie zeigt, dass alle vier Lernziele erfolgreich erreicht werden konnten. Doch trotz dieser positiven Bilanz besteht weiter Optimierungspotenzial. So wurde zum Beispiel die vierte Key-Idea nicht vermittelt. Hier könnte das Konzept weiter angepasst werden.

Eine mögliche Optimierung wäre es, das Unterrichtskonzept um eine Aufgabe zu erweitern, welche der S-Kompetenz (Hopf et al., 2017) zuzuordnen ist und zusätzlich das Unterrichtskonzept um eine Unterrichtsstunde zu erweitern. Durch diese Erweiterung könnte der Operator „interpretieren“ stärker bearbeitet werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass das Unterrichtskonzept von zwei auf drei Unterrichtsstunden erweitert wird. Die Auswertung der Beobachtungsbögen zeigte, dass sich der Inhalt der ersten Stunde gut in einer Unterrichtsstunde ausgeht, jedoch in der zweiten Einheit der letzte Concept-Cartoon häufig nicht mehr geschafft wird. Diese extra Stunde könnte dieses Problem beheben.

8.1 Limitation

Die Stichprobengröße dieser Masterarbeit wurde limitiert durch die Anzahl der Teilnehmer:innen des E-Kompetenzen-Seminars 2025. In den letzten Jahren besuchten ca. 15 Student:innen dieses Seminar. Dieses Semester meldeten sich nur 3 Student:innen an. Dies limitierte die Anzahl an Klassen, welche beobachtet werden konnten. Es konnten somit nur 5 Klassen beobachtet werden. Wie in der Tabelle 4 dargestellt, handelt es sich bei diesen fünf Klassen nur um AHS-Klassen im Wiener Raum. Die Stichprobe ist daher nicht repräsentativ. Zusätzlich besteht eine Beeinflussung durch die Auswahl der Lehrpersonen, welche das Konzept durchgeführt haben. Der Großteil von diesen besuchte selbst in vergangenen Semestern das E-Kompetenzen-Seminar oder arbeitete mit Herrn Nagel zusammen. Diese sind daher offener dem Thema gegenüber bzw. haben sie ein größeres Verständnis im Bereich Messunsicherheiten.

9 Verzeichnisse

Literatur

- Abl, E. (2024). *Klärung des alltagsweltlichen Konzeptes der Vertrauenswürdigkeit (von Messdaten) bei Lernenden der Sekundarstufe 1 und Prüfung der Langzeitwirksamkeit von darauf basierenden Unterrichtskonzeptionen* [Magisterarb., Universität Wien].
- Altrichter, H., & Posch, P. (2018). *Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht* (5., grundlegend überarbeitete Auflage). Verlag Julius Klinkhardt UTB.
- Anger, K. (2025). *Validierung und Verbesserung einer Unterrichtskonzeption zur Einführung von MU über das Brückenkonzept der Vertrauenswürdigkeit in der Sek 2* [Magisterarb., Universität Wien].
- Bakker, A. (2019). *Design research in education : a practical guide for early career researchers* (First edition). Routledge, an imprint of Taylor; Francis.
- Bärentaler-Pachner, R., & Nagel, C. (2024). Development and evaluation of a GUM-based curriculum on measurement uncertainty for upper secondary. *Progress in Science Education (PriSE)*, 7(1), 56–77. <https://doi.org/10.25321/prise.2024.1428>
- Bärentaler-Pachner, R. (2022). *Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung zum Thema Messunsicherheit in der Sekundarstufe II* [Magisterarb., Universität Wien].
- Bärentaler-Pachner, R., Boczianowski, F., Heinicke, S., Hellwig, J., Holz, C., Kardaş, E., Kok, K., Musold, W., Loidl, H., Ludwig, T., Mauch, J., Maut, C., Mayer, S., Möhrke, P., Nagel, C., zur Nedden, M., Neumann, I., Neumann, S., Priemer, B., ... Wagner, S. (2025). *Messunsicherheiten im Physikunterricht* (B. Priemer & K. Kok, Hrsg.). Humboldt-Universität zu Berlin. <https://doi.org/10.14279/depositonce-21608>
- Bogner, A. (2002). *Das Experteninterview: Theorie, Methode, Anwendung* (A. Bogner, B. Littig & W. Menz, Hrsg.; 2002. Aufl.). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Brasseur, S. (2024). *Validierung zweier Unterrichtskonzeptionen zur Einführung von Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I und Sekundarstufe II* [Magisterarb., Universität Wien].
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Denzin, N. K. (2009). *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods* (1st). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315134543>
- Flick, U. (2011). *Triangulation : Eine Einführung* (3., aktualisierte Auflage). VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.
- Haagen-Schützenhöfer, C., & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020152. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020152>
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2016). *Kumulative Habilitationsschrift mit dem Schwerpunkt Lehr- und Lernprozesse im Anfangsoptikunterricht der Sekundarstufe I* [Habilitationsschrift]. Karl-Franzens-Universität Graz.
- Hellwig, J. (2012). *Messunsicherheiten verstehen. Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik* [Diss., Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Physik und Astronomie].
- Hopf, M., Kapelari, S., & Lembens, A. (2017). Naturwissenschaftliche Grundbildung – Welchen Beitrag kann kompetenzorientierter Unterricht dazu leisten? *PlusLucis Messunsicherheiten - KOMPETENZ*, (1).
- Jung, W. (1992). Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties [Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, March 4–8, 1991]. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (S. 278–295, Bd. 131). IPN.

- Kelle, U. (2008). *Die Integration qualitativer und quantitativer Methoden in der empirischen Sozialforschung: Theoretische Grundlagen und methodologische Konzepte* (2. Auflage). VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH.
- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept Cartoons, Teaching and Learning in Science: An Evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446. <https://doi.org/10.1080/095006999290642>
- Klee, A. (2008). Fachliche Klärung. In *Entzauberung des Politischen Urteils* (S. 39–120). VS Verlag für Sozialwissenschaften GmbH.
- Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Berlin Heidelberg.
- Krüger, H.-H., & Pfaff, N. (2008). Triangulation quantitativer und qualitativer Zugänge in der Schulforschung. In *Handbuch der Schulforschung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lamnek, S. (2010). *Qualitative Sozialforschung : Lehrbuch* (5., überarb. Aufl.). Beltz.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Liebold, R., & Trinczek, R. (2009). Experteninterview. In *Handbuch Methoden der Organisationsforschung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Loidl, H. (2021). *Entwicklung und Evaluation von Unterrichtseinheiten zum Thema Messunsicherheiten* [Magisterarb., Universität Wien].
- Loidl, H., & Nagel, C. (2023). Introduction to Measurement Uncertainties for Middle School Classes. *International Research Group on Physics Teaching (GIREP)*.
- Lubben, F., Campbell, B., Buffler, A., & Allie, S. (2001). Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. *Science Education*, 85(4), 311–327. <https://doi.org/10.1002/sce.1012>
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Beltz.
- Möhrke, P. (2020). Messunsicherheiten im Physikunterricht – Befragung von Lehrkräften in Baden-Württemberg. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 876). Universität Duisburg-Essen.
- Nagel, C. (2023). Trustworthiness as Central Design Principle for Introducing Uncertainties of Measurements to Students. *International Research Group on Physics Teaching (GIREP)*.
- Nagel, C., Lux, B., & Steindl, S. (2021). Die Thematisierung von Messunsicherheiten im Physikunterricht - Eine Umfrage. *PlusLucis Messunsicherheiten - Sicher ist sicher!*, (4).
- Nagel, C. (2025). Trustworthiness as Central Design Principle for Introducing Uncertainties of Measurements to Students [GIREP-EPEC Conference 2023 ; Conference date: 03-07-2023 Through 07-07-2023]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2950. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2950/1/012016>
- Nagel, C., & Holmes, N. G. (2025). A Short Test for Investigating Knowledge and Skills Concerning Measurement Uncertainties of Secondary Level Students. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*(submitted).
- Neumann, S., Nagel, C., & Loidl, H. (2021). Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht: Ein Unterrichtsentwurf zur ersten Annäherung an das Thema. *Plus Lucis*, (4/2021), 14–17.
- O'Connor, C., & Joffe, H. (2020). Intercoder Reliability in Qualitative Research: Debates and Practical Guidelines. *International Journal of Qualitative Methods*, 19, 1609406919899220. <https://doi.org/10.1177/1609406919899220>
- Priemer, B. (2022). *Unsicherheiten, aber sicher! : Vom kompetenten Umgang mit ungenauen Daten* (1st ed. 2022). Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (1. Aufl.). Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55899-5>

Da LaTeX, mit dem diese Masterarbeit verfasst wurde, über kein integriertes Rechtschreib-

prüfungsprogramm verfügt, wurde zur Unterstützung der sprachlichen Korrektheit ChatGPT (OpenAI, GPT-4, 2025) als Hilfsmittel zur Rechtschreib- und Grammatiküberprüfung herangezogen. Die inhaltliche Ausarbeitung erfolgte ausschließlich eigenständig.

Abbildungsverzeichnis

1	Überblick über die Entwicklung und Evaluation der Unterrichtskonzepte (Anger, 2025)	7
2	Parallele Kreisprozesse des DBR (Haagen-Schützenhöfer, 2016)	11
3	Triangulationsperspektiven und -methoden (Anger, 2025)	17

Tabellenverzeichnis

1	Zusammenfassung der identifizierten Probleme, Lösungen und Entdeckungsphasen	16
2	Cohen's Kappa zur Einschätzung der Intercoder-Reliabilität je Kategorie	22
3	Landis und Kochs Kennwerte für die Interpretation von Cohen's Kappa	22
4	Übersicht der teilnehmenden Klassen	23
5	Verteilung der Themenbereiche des Unterrichtskonzepts mit Prozentanteilen . . .	23
6	Gewichtung der Klassen	24
7	Einschätzungen der Lehrpersonen zur Lernzielerreichung in Prozent	25
8	Beobachtete Operatoren nach Lernzielen und Klassen	25
9	Testergebnisse der Schüler:innen pro Aufgabe mit Erwartungswert bei Zufallswahl	26
10	Häufigkeit der genannten Kategorien bei den offenen Aufgaben 6a und 6b	26
11	Testergebnisse pro Lernziel und Klasse	27
12	Triangulation der Lernziele: Vergleich der drei Perspektiven	28
13	Triangulation der Key Ideas: Vergleich der drei Perspektiven	28
14	Vergleich der Zielerreichung von Brasseur (Brasseur, 2024) und dieser Triangulation	30
15	Übersicht der Interpretation der Lernziele und Key Ideas nach Triangulation . .	32

A Unterrichtskonzept Sek 1



Mit der Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit von Wasservolumen-Messungen die Basiskonzepte der Messunsicherheiten kennenlernen.

Eine Unterrichtskonzeption zur Einführung von Messunsicherheiten nach GUM-Vorschrift für die Sekundarstufe 1. Dauer: 2 Unterrichtseinheiten à 50 Min.

Loidl, Hannah
Nagel, Clemens

Fakultät für Physik, Universität Wien, 2021



*Überarbeitete Version vom März 2025 unter Mitarbeit von
Katharina Anger, Andreas Ferchländer und Sophie Brasseur*

1 Vorstellung des Unterrichtskonzepts

Der Unterrichtsentwurf wurde für die Sekundarstufe I entworfen, kann aber durchaus auch zu Beginn der Sekundarstufe II als einführende Einheit in das wissenschaftliche Arbeiten (z.B. im Zuge eines Laborunterrichts) eingesetzt werden. Es umfasst zwei Unterrichtsstunden, die gleichzeitig als zwei Phasen gesehen werden können, siehe auch Tabelle 2.

Tabelle 2: Übergeordnete und vertiefte Lernziele in den beiden Unterrichtseinheiten zum Thema Messunsicherheiten. Die Key Ideas sollen die Learning-Outcomes am Ende konkret verbalisieren.

	Übergeordnetes Ziel	Vertiefende Lernziele	Key Ideas
Phase 1 (Einheit 1)	Thematisieren der Vertrauenswürdigkeit einer Messung (Einführung in das Konzept Messunsicherheiten)	• Erklären können, warum eine Messung immer eine gewisse Unsicherheit hat. • Die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messergebnisse einschätzen und vergleichen können.	✓ Die einzelnen Messungen einer Messreihe sind meistens nicht ident. ✓ Der Bestwert einer Messreihe ist der Wert, der dem wahren Wert am nächsten kommt. Je mehr Messungen man macht, desto näher kommt der Bestwert an den wahren Wert heran. ✓ Je kleiner die Spannweite einer Messreihe, desto vertrauenswürdiger ist das Messergebnis. Man sagt dann: „Die Messung hat eine kleine Messunsicherheit.“ ✓ Unsicherheiten einer Messung haben verschiedene Ursachen: – zufällig unterschiedliche Messergebnisse – Genauigkeit des Messgerätes
Phase 2 (Einheit 2)	Festigen der Erkenntnisse und Ergebnissicherung	• Ein Messergebnis vollständig (Bestwert + Streuung) angeben können. • Verschiedene Quellen für Unsicherheiten aufzählen und sie bei der Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit miteinbeziehen können.	

In der ersten Phase sollen die Schüler*innen anhand eines Experiments, welches in Form von Gruppenarbeiten durchgeführt wird, auf die Vertrauenswürdigkeit ihrer Messung hingeführt werden. Dadurch sollen erste Überlegungen in Richtung eines Konzepts von Messunsicherheiten angestoßen werden. Mittels gezielt gestellter Aufgaben werden die Schüler*innen auf Typ A- und Typ B- Unsicherheiten und bei leistungsstärkeren Klassen auch auf die Korrektur eines systematischen Effekts geführt. In der zweiten Phase wird auf das Experiment zurückgegriffen und dadurch die Bedeutung des Mittelwerts und die Notwendigkeit der Angabe einer Messunsicherheit konkret erarbeitet. Bei der Auswertung und mathematischen Lösung der Aufgaben, kann durch geschicktes Eingreifen der Lehrperson, welche über Schwierigkeiten und den Leistungsstand ihrer Schüler*innen Bescheid weiß, der Fokus auf die Bedeutung des Mittelwerts, beispielsweise für den

Vergleich verschiedener Messungen, beibehalten werden. Lückentexte zwischendurch sollen das Gelernte festigen und ein Concept Cartoon am Ende der Unterrichtseinheiten eine Anwendung des neuen Wissens ermöglichen.

Die beiden finalen Unterrichtseinheiten sollen in den nächsten beiden Kapiteln näher beleuchtet werden. Alle erstellten Arbeitsblätter können dem Anhang dieser Arbeit entnommen und für die Durchführung der Unterrichtseinheiten in der eigenen Klasse kopiert werden. Die Detailplanung in Rasterform wird ebenfalls zur Verfügung gestellt.

1.1 Beschreibung der ersten Einheit

In der Vorbereitung für die erste Unterrichtsstunde müssen von der Lehrperson die notwendigen Unterrichtsmaterialien vorbereitet werden. Auf einem großen Poster (z. B. Flipchart Papier) wird ein Zahlenstrahl, siehe Abbildung 15, gezeichnet und dieses verdeckt im Klassenzimmer oder in einer angrenzenden Physiksammlung aufgehängt. Pro Gruppe wird ein Gefäß, bereits gefüllt mit 480 ml Wasser, ein extra Behälter für abgeschöpftes Wasser sowie ein kleiner Messbecher auf den Arbeitstischen benötigt, siehe dazu auch Abbildung 13.



Abbildung 13: Plastikgefäß mit 480 ml Wasser und kleinem Messbecher als Versuchsaufbau für jede Schülergruppe.

Pro Schüler*in wird außerdem eine Kopie des Arbeitsblatts Messunsicherheiten – Experiment benötigt. Weiters müssen die Hinweiskärtchen von der Lehrperson ausgedruckt und am Lehrer:innentisch bereitgestellt werden (ca. 3 Stück pro Kärtchen). Die Hinweiskärtchen können selbstständig von den Schüler*innen eingesetzt werden, wenn sie bei einer Aufgabenstellung nicht weiter wissen. Zu Stundenbeginn erklärt die Lehrperson kurz das zu bearbeitende Experi-

ment, sodass ab dem Zeitpunkt der Gruppenarbeiten möglichst alle Fragen geklärt sind und die Schüler*innen eigenständig arbeiten können. Ziel des Experiments ist es, die Menge des Wassers im Plastikbehälter zu bestimmen. Durch Abschöpfen und Ablesen der Wassermenge im Messbecher fertigen die Schüler*innen eine Messreihe an. Die einzige Bedingung für die Durchführung ist, dass das Plastikgefäß nicht über die Tischkante gekippt werden darf und mit mindestens einer Ecke den Tisch berühren muss. Nachdem das Wasser aus dem ursprünglichen Behälter geschöpft wurde, soll die Menge an Wasser berechnet werden. Anschließend bewerten die Schüler*innen auf einer Skala am Arbeitsblatt, einzeln oder in der Kleingruppe, wie vertrauenswürdig ihre Messung ist, siehe Abbildung 14. Die nächsten beiden Aufgaben führen die Schüler*innen auf die Messunsicherheit des Messbechers, ehe das Ergebnis der Wassermenge der Gruppe auf dem präparierten Zahlenstrahl-Poster eingezeichnet wird. Die unterschiedlichen Ergebnisse am Zahlenstrahl sollen die Lernenden zum Nachdenken über verschiedene Ursachen für die variierenden Ergebnisse anregen und damit auf Quellen für Unsicherheiten der Messung hinführen. Abschließend verknüpft ein „Je-Desto Satz“ die Vertrauenswürdigkeit einer Messung mit dem Begriff Messunsicherheit. Besonders schnelle Schüler*innen können als Zusatzaufgabe auch die Menge an übrig gebliebenem Wasser abschätzen (= Messfehler), die Bedeutung des gemachten Messfehlers diskutieren und überlegen, wie man ihn am Zahlenstrahl korrigieren könnte (Skala wird durch den geschätzten Messfehler verbessert).

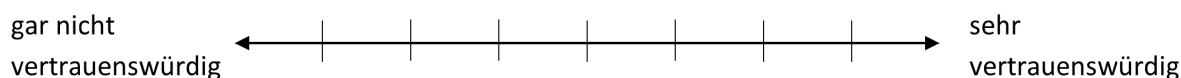


Abbildung 14: Skala zur Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit einer Messung.

Nach Beendigung der Einzelarbeiten und wenn alle Gruppen ihre Ergebnisse am Zahlenstrahl eingezeichnet haben, werden im Plenum Überlegungen zum Experiment und zur Auswertung angestellt. Dazu wird der Zahlenstrahl am Poster nun mit der Klasse besprochen und der Bestwert diskutiert. An dieser Stelle wird den Lernenden außerdem verraten, dass sich am Anfang des Experiments die ‚exakt‘ gleiche Menge an Wasser in den Gefäßen jeder Gruppe befand. Optimalerweise führen die Überlegungen auf den geschätzten Mittelwert der Messwerte, welcher am Zahlenstrahl mit einem Farbstift markiert werden soll. Im Zuge dessen wird außerdem eine Glockenkurve von der Lehrperson eingezeichnet, siehe Abbildung 15.

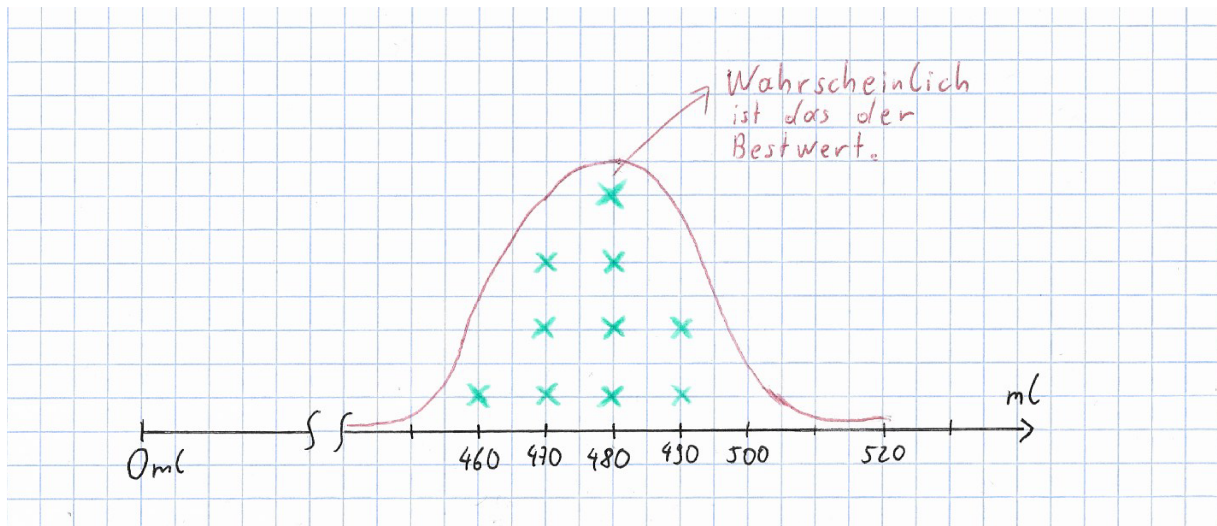


Abbildung 15: Zahlenstrahl mit beispielhaften Ergebnissen. Der Bestwert liegt wahrscheinlich in der Mitte der Glockenkurve.

1.1.1 Didaktische Anregungen zur ersten Einheit

Für das Unterrichtsgespräch im Plenum können die folgenden Leitfragen herangezogen werden:

- Warum haben wir nun X unterschiedliche Ergebnisse?
- Wer hat recht? Haben alle recht? Hat keiner recht?
- Welcher Wert ist wahrscheinlich der Bestwert?

Sollte auch der systematische Effekt (systematischer Fehler) von einigen Gruppen entdeckt und thematisiert worden sein, so könnten die nachfolgenden Leitfragen auch diesen aufgreifen:

- Hat eine Gruppe einen systematischen Effekt (bzw. systematischer Fehler) bei der Messung entdeckt?
- Ist einer Gruppe Wasser im Gefäß übriggeblieben?
- Wie könnte man diesen systematischen Effekt (bzw. systematischer Fehler) korrigieren?

Eine Kopie des Posters mit den Ergebnissen aller Gruppen, dem eingezeichneten Mittelwert und ggf. systematischen Effekt stellt in der nächsten Einheit die Basis für die weiteren Aufgaben dar.

1.2 Beschreibung der zweiten Einheit

Die zweite Einheit knüpft direkt an die Ergebnisse und den Zahlenstrahl der letzten Stunde an. Eine kurze Wiederholung des eingezeichneten Bestwerts leitet auf die Berechnung des Mittelwerts als Bestwert aller erhaltenen Ergebnisse über. Je nachdem in welcher Schulstufe und wie leistungstark die Klasse ist, kann der Mittelwert gemeinsam oder in Kleingruppen errechnet und

verglichen werden. Dieser nun mathematisch bestimmte Mittelwert wird anschließend ebenfalls auf der Kopie des Zahlenstrahls am Arbeitsblatt eingezeichnet. Man erkennt, dass die Messwerte der Gruppen um den Mittelwert streuen und gleichzeitig der Mittelwert dadurch dem Bestwert am nächsten kommt. Der Vergleich des eigenen Messwerts in der Gruppe mit dem berechneten Mittelwert der Klasse stößt Überlegungen zur Vertrauenswürdigkeit der eigenen Messung an. Bevor die Unsicherheit Typ A in die Überlegungen miteinbezogen wird, soll noch einmal die Messunsicherheit des Messgeräts in einem Item wiederholt werden. Die nächste Aufgabe erklärt die Spannweite anhand einer Abbildung am Arbeitsblatt. Mithilfe der Erklärung sollen die Schüler*innen selbstständig die Spannweite aller Ergebnisse der Klasse ermitteln. Darauf folgend soll ein Item die Spannweite mit der Messunsicherheit bzw. Vertrauenswürdigkeit einer Messreihe verknüpfen. Die Lernenden überlegen hierbei, ob eine kleinere Spannweite zu einer größeren oder kleineren Messunsicherheit führt. Das vorletzte Beispiel dieses Arbeitsblattes zeigt die Ergebnisse, also die Mittelwerte, die Typ A- und die Typ B-Unsicherheit dreier anderer Klassen, die das gleiche Experiment durchgeführt haben. Zu ergänzen sind der Mittelwert, die Messunsicherheit des Messgeräts und der Messreihe der eigenen Klasse. Die Schüler*innen betrachten die Messergebnisse, ordnen anschließend die Messungen der Klassen nach ihrer Messunsicherheit und bestimmen diejenige Klasse, die das vertrauenswürdigste Messergebnis hat. Durch dieses Beispiel soll den Schüler*innen bewusst werden, dass nur die Angabe von Messunsicherheiten einen fundierten Vergleich von Messergebnissen verschiedener Forschungsgruppen zulässt. Die bloße Angabe eines Bestwerts sagt noch nichts über die Vertrauenswürdigkeit einer Messung aus und ist damit im wissenschaftlichen Sinne unbrauchbar. In einem Merkkästchen am Ende des Arbeitsblattes wird festgehalten, dass das Messergebnis einer Messung daher immer eine Messgröße, ein Bestwert mit Einheit und eine Messunsicherheit mit Einheit beinhaltet. Es wird besonders betont, dass ein Messergebnis nie ohne Messunsicherheit angegeben werden darf. Als letztes wird ein Concept Cartoon bearbeitet, bei diesem wird der Fokus auf die Wichtigkeit von Messunsicherheiten besprochen. Die Schüler*innen sollen argumentieren, dass ein Ergebnis erst Aussagekräftig ist, wenn eine Messunsicherheit und die Einheiten angegeben werden. Nachdem die Arbeitsblätter durchgearbeitet wurden, können sich die Schüler*innen einen Lückentext zur Selbstkontrolle abholen. Dieser fasst die Key Ideas der Stunde zusammen und soll einerseits der Wiederholung dienen und andererseits das Verständnis einzelner Punkte vom vorherigen Arbeitsblatt überprüfen. Es empfiehlt sich, den Lückentext und evtl. ausgewählte Aufgaben vom Arbeitsblatt im Plenum zu vergleichen, bevor der ausgeteilte Concept Cartoon die Unterrichtseinheiten abschließt. Im Concept Cartoon stehen sich je zwei Schüler*innen gegenüber und treffen Aussagen über die Vertrauenswürdigkeit ihrer Messung. Dabei nehmen sie Bezug auf die verschiedenen Typen von Messunsicherheiten. Die Lernenden wiederum sollen beurteilen, welche der gegenübergestellten Schüler*innen das vertrauenswürdigere Messergebnis haben und ihre getroffene Auswahl mithilfe des neuen Wissens begründen.

2 Material

- Messunsicherheiten – Experiment (Arbeitsblatt - 1. Einheit)
- Messunsicherheiten (Arbeitsblatt - 2. Einheit)

- Erkenntnisse zum Thema Messunsicherheiten (Lückentext)
- Messunsicherheiten für Fortgeschrittene (Zusatzaufgabe für leistungsstarke Klassen/Schüler*innen)
- Vertrauenswürdigkeit von Messungen (Concept Cartoon)
- Hinweiskärtchen zum Ausschneiden und Aneinanderkleben bzw. folieren (ZM 1 u. ZM 2)
- Lösungserwartung (ZM 3)
- Detailplanungen (ZM 4 u. ZM 5)

Fachliche Klärung

Glossar

Bestwert - ist ein Wert mit Einheit, der die beste Schätzung der Messgröße auf Grund des Messwertes bzw. der Messwerte darstellt. Bei einmaligem Messen ist dies der Messwert selbst. Bei wiederholten Messungen ist dies oft ein Mittelwert (arithmetisches Mittel, Median oder Modus).

Messfehler - treten auf, wenn eine Person bei einem Experiment etwas selbstverschuldet falsch gemacht hat (z. B. ein Messgerät falsch bedient hat), was vermeidbar gewesen wäre und hätte korrigiert werden müssen. Messfehler sind somit von Messunsicherheiten zu unterscheiden. Messunsicherheiten sind im Gegensatz zu Messfehler unvermeidbar, können aber abgeschätzt werden.

Systematischer Effekt - ist ein Effekt, der durch die experimentellen Bedingungen verursacht ist und zu einer Messabweichung führt. Ist ein solcher Effekt bekannt, kann er im Modell der Messung kompensiert werden, indem eine Korrektur zu den Messwerten addiert bzw. von ihnen subtrahiert wird.

Unsicherheit Typ A - bezeichnet die Unsicherheit eines Messergebnisses, die man durch eine statistische Analyse der Messwerte gewonnen hat.

Unsicherheit Typ B - bezeichnet die Unsicherheit eines Messergebnisses, die man durch andere Methoden als bei Typ A erhalten hat. Diese können z.B. mit Abschätzungen, Informationen aus Datenblättern, persönliche Erfahrung usw. gewonnen werden.

Wahrer Wert - ist der gedachte ideale Wert einer Messgröße, der durch ein Experiment möglichst gut bestimmt werden soll. Er könnte nur durch eine perfekte Messung (perfekte Bedingungen, perfekte Messinstrumente, perfekt kontrollierte Umgebung, vollständige theoretische Beschreibung der Messgröße und perfekt vollständige Beschreibung des Experiments) bestimmt werden. Da diese Bedingungen nie erfüllt werden können, existiert der wahre Wert nicht.

Schüler*innenvorstellungen

Die vorgestellten Schüler*innenvorstellung können häufiger bei der Behandlung der Themen Messunsicherheit und Vertrauenswürdigkeit auftreten. Sie sind übernommen aus dem Werk „Schülvorstellungen und Physikunterricht“ von Schecker, Wilhelm, Hopf und Duit (Hrsg.) aus dem Jahr 2018.

„Zufällige Ereignisse sind unstrukturiert.“ - In der Physik wird eine unstrukturierte Verteilung von Messwerten als wahrscheinlicher angenommen als eine Häufung von Messwerten um einen Punkt. Ergibt sich ein Muster in einem Datensatz, so kann das zugrundeliegende Ereignis, so die Schülvorstellung, nicht zufällig gewesen sein. Das stellt ein besonderes Problem bei Messungen dar. Schülerinnen und Schüler erwarten dort, dass die einzelnen Messwerte möglichst gleichmäßig über ein Intervall verteilt sein sollten. Kommt ein einzelner Messwert

mehrmals vor, so wird geschlossen, dass es sich dabei um den „wahren“ Wert handeln muss.

„Eine einzelne Messung gibt einen wahren Wert.“ - Die Vorstellungen vom Experiment umfassen auch Vorstellungen vom Messen und der Rolle von Messwerten. Es zeigt sich eine Spannbreite von Vorstellungen von der naiven Vorstellung, der Messprozess sei prinzipiell völlig unproblematisch und ein einziger Messwert könne im Prinzip bereits ein wahres und „richtiges“ Ergebnis hervorbringen (Point-Verständnis), bis zu einem statistischen Verständnis vom Messprozess und von Messdaten (Set-Verständnis). Zwar kann man davon ausgehen, dass mit zunehmendem Alter der Schülerinnen und Schüler ihr Verständnis vom Messprozess und von Messdaten zunehmend elaboriert ist, aber es wissen z. B. nur wenige Jugendliche, dass die Qualität eines Mittelwerts von der Streubreite der Daten abhängt. Im Laufe der Schulzeit scheint sich das ein wenig zu verbessern. Allerdings bleiben selbst Physikstudierende, zumindest wenn sie noch ganz am Anfang ihres Studiums stehen, einem Point-Verständnis von Messwerten verhaftet. Dabei konnten Zusammenhänge zwischen der Vorstellung vom Messwert im Sinne des Point-Verständnisses und der generellen Vorstellung festgestellt werden, dass es in der Natur feststehende Gesetze gebe, die man nur „entdecken“ müsse. Nach dieser Vorstellung repräsentieren einzelne Messwerte gleichsam wahre Werte, mit deren Hilfe man eine in der Natur verborgene Wahrheit aufdecken kann. Der Wahrheitswert einzelner Messungen wird dann deutlich überschätzt.

Tipps & Tricks

In diesem Abschnitt finden sich Tipps zur Durchführung des Unterrichtskonzeptes, die in der didaktischen Anregungen keinen Platz gefunden haben.

Eine effiziente Vorbereitung kann den Ablauf des Versuchs erheblich erleichtern. Um einen schnelleren Start zu ermöglichen, sollten die 480 ml Wasser bereits im Vorhinein in Wasserflaschen abgefüllt werden. Dadurch entfällt das zeitaufwendige Abmessen während des Unterrichts, und der Versuch kann zügiger beginnen.

Beim Abschöpfen des Wassers stellt sich oft die Frage, wohin das überschüssige Wasser gegossen werden kann. Hierfür wird ein geeigneter Behälter benötigt. Besonders praktisch ist es, das Wasser direkt in das Waschbecken des Physiksaals zu entleeren, um unnötige Umstände oder Verschmutzungen zu vermeiden.

Da die Hinweiskarten während des Versuchs mit Wasser in Kontakt kommen könnten, sollten sie im Vorfeld laminiert werden. So bleiben sie trocken und können über mehrere Unterrichtseinheiten hinweg verwendet werden, ohne beschädigt zu werden.

Trotz sorgfältiger Durchführung kann es immer wieder vorkommen, dass Wasser verschüttet wird. Daher sollten ausreichend Tücher bereitliegen, um entstandene Pfützen sofort aufzuwischen und den Arbeitsplatz trocken zu halten.

Inbesondere der Begriff „Spannweite“ kann bei Schüler:innen der 2. Klasse zu Missverständ-

nissen führen. Um den Zugang zu erleichtern, kann im Informationsteil auf die Spannweite von Vögeln oder Flugzeugen verwiesen werden – ein alltagsnaher Bezug, der das Verständnis fördert. Diese Veranschaulichung kann auch zu Beginn der Einheit im Plenum gemeinsam besprochen werden, um eine einheitliche Vorstellung sicherzustellen.

Name: _____

Messunsicherheiten - Experiment

1) Auf eurem Tisch findet ihr einen Behälter mit Wasser. Eure Aufgabe ist es zu messen, wie viel Wasser sich darin befindet. Verwendet dazu den nebenstehenden kleinen Messbecher, indem ihr nach und nach Wasser aus dem Behälter schöpft. Auf der Skala des Messbechers könnt ihr ablesen, wie viel Wasser ihr erwischt habt. Der Aufbau des Experiments ist in der Abbildung 1 dargestellt. Notiert jeden einzelnen Wert in der untenstehenden Tabelle, um zum Schluss alle Werte zu addieren, um euren Messwert zu erhalten.

Bedingungen:

- Der Behälter muss immer mit zumindest einem Punkt den Tisch berühren!
- Der Behälter darf nicht über die Tischkante gekippt werden!
- Abgeschöpftes Wasser darf nicht zurückgeschüttet werden!
- Es darf nicht zwischen der Skala abgelesen werden!

Hinweis: Falls ihr in der Gruppe nicht mehr weiterwisst, könnt ihr vom Lehrer:innentisch Hinweiskärtchen ausborgen. Alle Bedingungen sind in der Abbildung 2 zusammengefasst.



Abbildung 1: Skizze des Wasserbehälters.

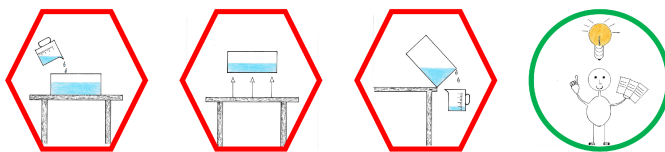


Abbildung 2: Zusammenfassung der Bedingungen.

1	ml	11	ml
2	ml	12	ml
3	ml	13	ml
4	ml	14	ml
5	ml	15	ml
6	ml	16	ml
7	ml	17	ml
8	ml	18	ml
9	ml	19	ml
10	ml	20	ml

Es befanden sich _____ ml Wasser im Behälter.

Übriggebliebenes Wasser: ca. _____ ml

2) Wie vertrauenswürdig glaubst du, ist eure Messung?

Begründe:

gar nicht vertrauenswürdig ← | | | | | | | → sehr vertrauenswürdig

3) Wie groß ist die kleinste Menge, die ihr am Messbecher noch ablesen könnt?

_____ml

Die Messunsicherheit einer Größe wird in der Physik mit einem Δ „delta“ abgekürzt.

4) Wie groß ist daher die **Messunsicherheit des Messbechers**?

Überlege zur Beantwortung dieser Frage, was der maximale Wert ist, um den du nach oben oder unten runden kannst.

$\Delta V =$ _____ml

5) Zeichnet euer Ergebnis (in ml) auf dem Zahlenstrahl am vorbereiteten Poster bei der Lehrkraft ein. **Vergleicht** dann euren Messwert mit den Messwerten der anderen Gruppen.

6) Welche **Messunsicherheiten** könnten dazu beigetragen haben, dass die Messwerte der verschiedenen Gruppen **auf dem Zahlenstrahl verstreut** sind?

- _____
- _____
- _____

7) Wie wirken sich Messunsicherheiten auf die Vertrauenswürdigkeit einer Messung aus?

Je _____ die Messunsicherheit,
desto höher ist die Vertrauenswürdigkeit einer Messung.

größer

kleiner

*) Zusatzaufgabe: Deiner Gruppe ist Wasser im Behälter übriggeblieben, das ihr unter der genannten Bedingung nicht mehr abschöpfen konntet. Dadurch ist euer Messwert immer kleiner als er sein sollte. Ein systematischer Effekt (bzw. systematischer Fehler) liegt vor!

Geschätzter Effekt(Fehler): _____ml.

Was könnte dies für die Messwerte am Zahlenstrahl bedeuten?

Name: _____

Messunsicherheiten

FOTO TAFELBILD

Diese Messwerte wurden in der Klasse ermittelt:

1	ml	6	ml	11	ml
2	ml	7	ml	12	ml
3	ml	8	ml	13	ml
4	ml	9	ml	14	ml
5	ml	10	ml	15	ml

Ursprünglich wurde in jeden Behälter die gleiche Menge an Wasser (480ml) von der Lehrkraft eingefüllt. Messunsicherheit des verwendeten Messgeräts: $\pm 1\text{ml}$

1) Der **Bestwert** einer Messreihe kommt dem **wahren Wert** einer Größe am nächsten. Daher berechnen wir den Mittelwert der Messwerte aller Gruppen.

Der errechnete **Mittelwert** des Volumens = _____ ml.

2) Vergleiche deinen Messwert mit dem berechneten Mittelwert. Zeichne dazu den Mittelwert am Zahlenstrahl ein.

Wie viele ml liegt dein Messwert vom Mittelwert entfernt? _____ ml

3) Überlege, welcher Hinweis für die **Messunsicherheit einer einzelnen Messung** mit dem Messbecher herangezogen werden könnte!

- Wie groß war die Messunsicherheit deines Messwertes?

☐ $\pm 1\text{ml}$, weil der Abstand zwischen zwei Strichen 2ml groß war.

☐ $\pm 5\text{ml}$, weil der Abstand zwischen zwei Strichen 10ml groß war.

☐ $\pm$ _____ weil der Abstand zwischen zwei Strichen _____ groß war.

4) Zur Bestimmung der **Messunsicherheit des Messergebnisses (der ganzen Klasse)** ziehen wir als einfachste Methode die **Spannweite** heran. Die Spannweite beinhaltet die Messwerte aller Gruppen und wird aus der **Differenz des größten und kleinsten Wertes** einer Messreihe berechnet. Schaue dir dazu die untere beispielhafte Abbildung 3 an. Berechne die Spannweite der Messreihe eurer Klasse!

Die Spannweite des Volumens = _____ ml.

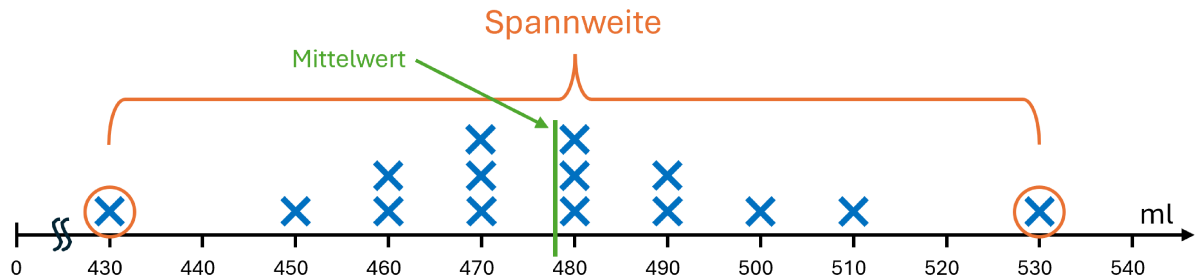


Abbildung 3: Zahlenstrahl mit ausgedachten Werten.

5) Schaue dir noch einmal den Zahlenstrahl aus Abbildung 3 an und stelle dir vor, dass die beiden **eingekreisten Werte nicht** zur Messreihe gehören.

Wäre die **Spannweite** der Messreihe dann größer oder kleiner?

- ☐ Die Spannweite der Messreihe wäre **größer**.
- ☐ Die Spannweite der Messreihe wäre **kleiner**.

Was bedeutet das für die **Vertrauenswürdigkeit** und **Messunsicherheit** der Messreihe?

- ☐ Die Messreihe hat eine kleinere Messunsicherheit und ist somit vertrauenswürdiger.
- ☐ Die Messreihe hat eine größere Messunsicherheit und ist somit weniger vertrauenswürdig.

6) Messunsicherheiten ermöglichen es uns, Messergebnisse vergleichen zu können. Stelle dir vor, dass eure Parallelklassen das gleiche Experiment durchgeführt haben. Die Messergebnisse kannst du in der folgenden Tabelle finden:

Klasse	Bestwert (Mittelwert)	Messunsicherheit d. Messreihe	Messunsicherheit d. Messgeräts
Klasse X	478 ml	100 ml	5 ml
Klasse Y	485 ml	70 ml	5 ml
Klasse Z	485 ml	80 ml	5 ml
Deine Klasse			

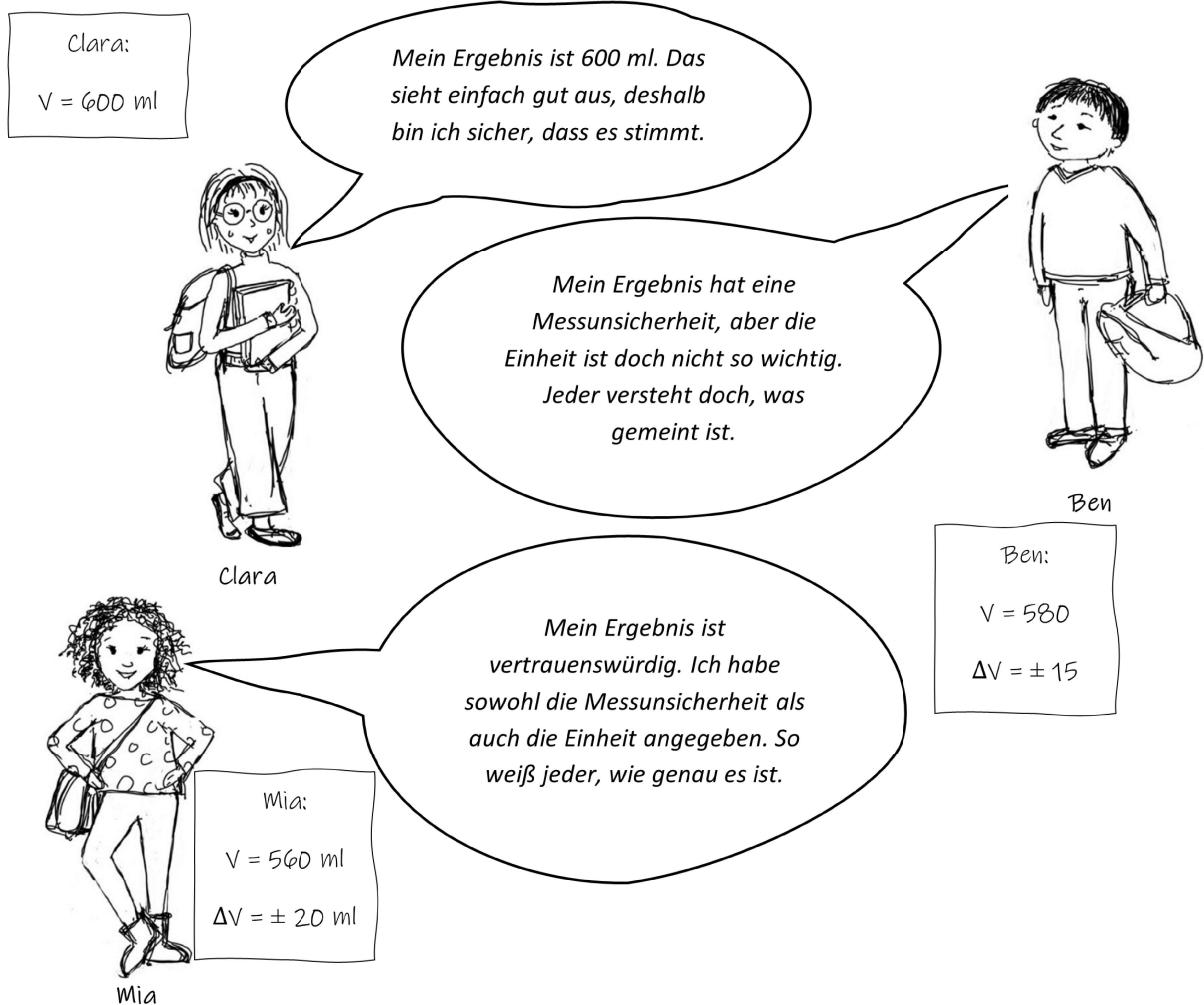
- Ordne die Messungen der Klassen nach ihrer Messunsicherheit. Beginne mit der größten Messunsicherheit: _____
- Welche Klasse hatte das vertrauenswürdigste Messergebnis? _____

Ein **Messergebnis** darf **NIE ohne Messunsicherheit** angegeben werden.

Das **Messergebnis** einer Messung beinhaltet immer

- eine Bezeichnung der **Messgröße** und
- einen **Bestwert** mit **Einheit** und
- eine zugehörige **Messunsicherheit** mit **Einheit**.
- zum Beispiel $V = 505\text{l} \pm 10\text{l}$

Szene 1: Ben, Clara und Mia haben alle das gleiche Experiment durchgeführt und ihre Ergebnisse notiert. Nun diskutieren sie darüber, welche Messung die vertrauenswürdigste ist. **Diskutiere** mit deiner*deinem Sitznachbar*in, welches der drei Ergebnisse am aussagekräftigsten ist. Überlege, welche Rolle der Bestwert, die Einheit und die Messunsicherheit spielen. **Begründe** deine Vermutungen!





Erkenntnisse zum Thema Messunsicherheiten

Beschrifte die einzelnen Bestandteile dieses vollständig angegebenen Messergebnisses.

$$\underset{\text{Bestwert}}{V} = \underset{\text{Messwerte}}{510 \text{ ml}} \pm \underset{\text{Messunsicherheit}}{30 \text{ ml}}$$

Vervollständige den Text und streiche falsche Möglichkeiten (getrennt durch ein „/“) durch.

- ✓ Die einzelnen _____ einer Messreihe sind meistens nicht ident.
- ✓ Der Bestwert einer Messreihe ist jener besondere Wert, der dem _____ am nächsten kommt.
- ✓ Je mehr/weniger Messungen man macht, desto näher kommt der _____ an den wahren Wert heran.
- ✓ Die Messunsicherheit gibt Auskunft über die _____ einer Messung.
- ✓ Je größer/kleiner die Messunsicherheit ist, desto vertrauenswürdiger ist die Messung.
- ✓ Die Vertrauenswürdigkeit einer Messreihe kann man z.B. mit der _____ (Differenz von Maximum zu Minimum) angeben.
- ✓ Je größer/kleiner die Spannweite einer Messreihe, desto weniger vertrauenswürdig ist das Messergebnis.
- ✓ Messunsicherheiten haben verschiedene Ursachen:
 - _____ z.B. wegen der Geschicklichkeit der experimentierenden Person (dargestellt durch die _____ einer Messreihe)
 - _____ (ablesbar z.B. an der Skala)
- ✓ Ein wissenschaftliches Messergebnis besteht immer aus einem _____ und seiner _____ (z.B. Streuung der Messreihe, Unsicherheit des Messgeräts, ...).

Bestwert

Messwerte

Genauigkeit des Messgeräts

Vertrauenswürdigkeit

Spannweite

Bestwert

Messunsicherheit

Spannweite

wahren Wert

zufällig unterschiedliche Messwerte

Messunsicherheiten für Fortgeschrittene

Aus den einzelnen Werten für das Volumen wurde bereits der **Mittelwert** berechnet. Der Mittelwert einer Größe wird mit einem „ $\bar{V}$ “ gekennzeichnet. Man spricht es, im Falle des Volumens zum Beispiel, „**V quer**“ aus.

$\bar{V} =$ _____ ml

☞ Die **einzelnen Messwerte** einer Messreihe **streuen um** diesen **Mittelwert**!

Die Spannweite dient nur als erste Abschätzung für die Messunsicherheit einer Messreihe und ist meist zu groß. Besser geeignet ist die Standardabweichung.

☞ Die **Standardabweichung** gibt an, **wie weit die einzelnen Werte einer Messreihe durchschnittlich vom Mittelwert entfernt** sind.

So kannst du die Standardabweichung berechnen:

$$s = \sqrt{\frac{(V_1 - \bar{V})^2 + (V_2 - \bar{V})^2 + (V_3 - \bar{V})^2 + \dots + (V_n - \bar{V})^2}{n}}$$

Das n in der Formel ist die Anzahl der Werte einer Messreihe. Dein **Taschenrechner** hat diese Formel eingespeichert, sodass du nur die Daten eintippen musst. Auch mit einem Computerprogramm (z.B. Excel) lässt sich die Standardabweichung schnell berechnen.

Berechne nun die Standardabweichung mit deinem Taschenrechner.

Die **Standardabweichung** beträgt $s =$ _____ ml.



Überlege

Das Messergebnis einer Messung beinhaltet immer einen Bestwert und eine zugehörige Messunsicherheit.

a. Welche **Messunsicherheit** war im Falle dieses Experiments größer? Kreuze an:

- ☐ Die Messunsicherheit der Messreihe (Standardabweichung) war am größten.
- ☐ Die Messunsicherheit des Messgeräts (Messbecher) war am größten.

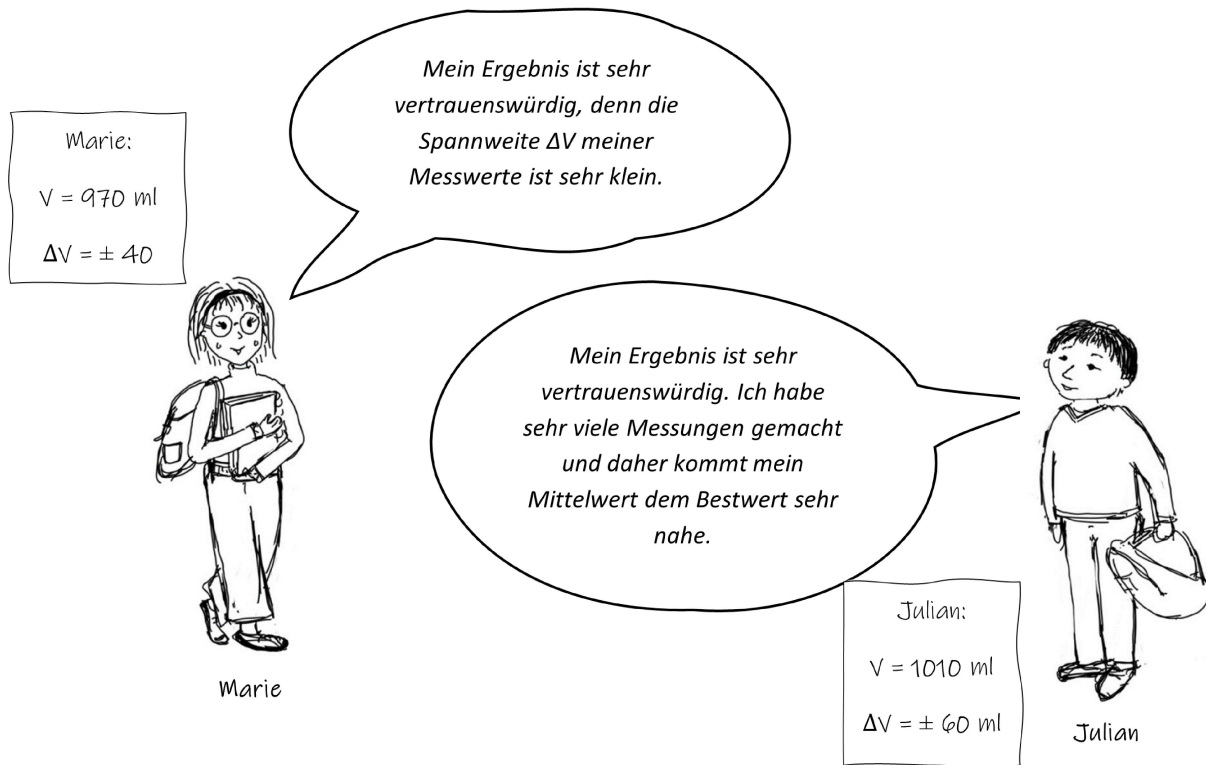
b. Überprüfe, ob sich dein Messwert mit dem Mittelwert **überschneidet**, wenn du...

- ☐ ...die Messunsicherheit des Messgeräts dazuzählst oder abziehst.
- ☐ ...die Messunsicherheit der Messreihe dazuzählst oder abziehst.

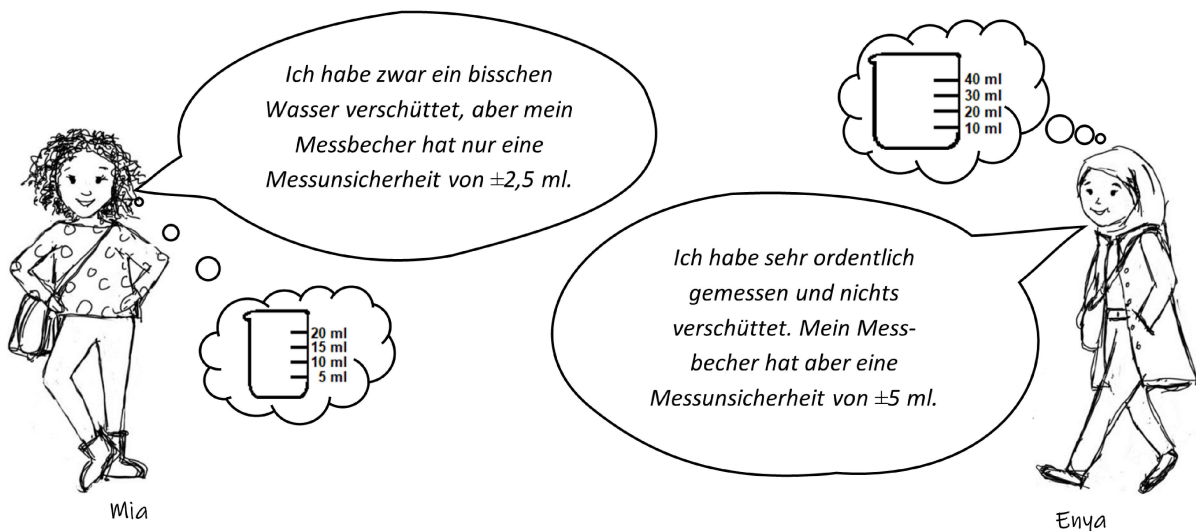
☞ Beim **Endergebnis** wird immer die **größere** Messunsicherheit angegeben!

Vertrauenswürdigkeit von Messungen

Szene 2: Julian und Marie haben beide das gleiche Experiment durchgeführt und vergleichen nun ihre Messergebnisse. **Diskutiere** mit deiner*deinem Sitznachbar*in, ob Marie oder Julian das vertrauenswürdiger Messergebnis hat. **Begründe** deine Vermutungen!



Szene 3: Mia und Enya haben beide das gleiche Experiment durchgeführt und vergleichen nun ihre Messergebnisse. **Diskutiere** mit deiner*deinem Sitznachbar*in, wer die vertrauenswürdiger Messung hat. Denke auch darüber nach, ob jemand einen **systematischen Effekt** (systematischen Fehler) entdeckt hat. **Begründe** deine Vermutungen!



Hinweis 1

Was ist zu tun, wenn das Wasser zwischen zwei Strichen steht?



Du kannst nur so gut messen, wie dein Messgerät erlaubt. Daher musst du dich entscheiden, ob sich das Wasser näher bei der oberen oder der unteren Linie befindet.

Die größte Unsicherheit deiner Messung ist dann plus oder minus 5ml.

Hinweis 2

Was ist zu tun, wenn zum Schluss noch Wasser im Behälter ist?

Kann abgeschätzt werden, wie viel Wasser im Behälter übrig geblieben ist?

Wenn ja, wie könntet ihr vorgehen?

Was fällt dir auf, wenn du die Ergebnisse am Zahlenstrahl betrachtest und die abgeschätzte Menge Wasser im Behälter in deine Überlegungen miteinbeziehst?



Lösungserwartungen

Messunsicherheiten - Experiment

7) Wie wirken sich Messunsicherheiten auf die Vertrauenswürdigkeit einer Messung aus?

Antwort: größer

Messunsicherheiten

5) Wäre die Spannweite der Messreihe dann größer oder kleiner?

Antwort 2 / kleiner

5) Wäre die Spannweite der Messreihe dann größer oder kleiner?

Antwort 1 / vertrauenswürdiger

Erkenntnisse zum Thema Messunsicherheiten

Messergebnis

Messgröße, Bestwert, Einheit (oben), Messunsicherheit

Lückentext

Messwerte , wahren Wert , mehr , Bestwert , Vertrauenswürdigkeit , kleiner , Spannweite , kleiner , zufällig unterschiedliche Messwerte , Spannweite , Genauigkeit des Messgeräts , Bestwert , Messunsicherheit

Detailplanung 1. Einheit		
Zeit	Beschreibung des Ablaufs	Material
20'	- Vorbereitung des Experiments: pro Arbeitsblatt wird 1 Behälter mit 480 ml Wasser, 1 großer Behälter und 1 Messbecher bereitgestellt - Das Experiment wird kurz erklärt und auf Hinweiskärtchen verwiesen, falls Schüler*innen nicht mehr weiterwissen. - Schüler*innen erhalten die Arbeitsblätter und können selbstständig in Kleingruppen zu arbeiten beginnen	- AB Messunsicherheiten - Experiment - Hinweiskärtchen <i>Pro Gruppe:</i> 1 Gefäß mit 480ml Wasser 1 leeres Gefäß 1 Messbecher
10'	Sobald eine Gruppe mit den Punkten 1 bis 4 fertig ist, zeichnen die Schüler*innen das Ergebnis ihrer Gruppen am Zahlenstrahl ein (Aufgabe 5). → Lehrperson zeigt den Schüler*innen den vorgefertigten Zahlenstrahl am Poster evtl. in einem anderen Raum/Physiksammlung. *) Zusatzaufgabe: Besonders schnelle Schüler*innen schätzen übriges Wasser im Behälter ab – Was könnte diese Abschätzung für die Ergebnisse am Zahlenstrahl bedeuten? Evtl. Verweis auf Hinweiskärtchen.	- Poster mit Zahlenstrahl - Permanentmarker - Hinweiskärtchen 2
20'	- Alle Ergebnisse sind am Zahlenstrahl eingetragen → Diskussion der Ergebnisse im Plenum: - Was fällt den Schüler*innen bei Betrachtung des Zahlenstrahls mit den verschiedenen Ergebnissen auf? - Welche Punkte sind den Schüler*innen bei Aufgabe 5) eingefallen? - Welche Messunsicherheit hat der Messbecher? - Lehrperson verrät: Alle Gruppen hatten die gleiche Menge an Wasser in ihren Behältern! Mögliche Leitfragen - Warum haben wir nun XY unterschiedliche Ergebnisse? - Wer hat recht? Haben alle recht? Hat keiner recht? - Welcher Wert ist wahrscheinlich der Bestwert? Optional - Hat eine Gruppe einen systematischen Effekt (systematischen Fehler) bei der Messung entdeckt? - Bzw. ist einer Gruppe Wasser im Gefäß übriggeblieben? - Wie könnte man den gemachten Effekt(Fehler) korrigieren? Weitere Auffälligkeiten beim Experimentieren: - Wurden kreative Lösungen bei der Durchführung gefunden? - Wurden genauere Messwerte, als das Messgerät erlaubt, angegeben? - Vertiefende Fragestellungen: Messunsicherheiten von anderen Messbechern/Messgeräten erfragen, ... - Gemeinsam wird der Mittelwert am Zahlenstrahl eingezeichnet (je nach Zeit nur der geschätzte oder schon der errechnete Mittelwert).	
Die Arbeitsblätter und das Poster sollen in der nächsten Unterrichtsstunde wieder mitgebracht werden.		

B Interviewbogen des Lehrer:innen Interviews

1 Einführung für das Interview

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei Ihnen bedanken, dass Sie sich die Zeit genommen haben, an diesem Interview teilzunehmen.

Mein Name ist [Name] und ich bin Masterstudent*in im Bereich Lehramt Physik an der Universität Wien. Im Rahmen meiner Forschung beschäftige ich mich mit der Evaluation und Optimierung von Unterrichtskonzepten sowie der Wahrnehmung von Lehrkräften zu diesen Konzepten. Dafür benötige ich Ihre Unterstützung, um wertvolle Rückmeldungen zu erhalten.

Wie bereits im Vorfeld angekündigt, wird das Interview völlig anonym durchgeführt. Die einzigen Daten, die ich verwenden werde, sind der Schultyp (z.B. AHS-Sek I, Sek II oder HTL) sowie die Schulstufe (z. B. 9. Klasse). Ihre persönlichen Daten oder Namen bleiben dabei zu jeder Zeit geschützt.

Wenn es für Sie in Ordnung ist würde ich das Interview aufzeichnen um die Auswertung des Gesprächs zu ermöglichen. Bitte bestätigen Sie, dass Sie mit der Aufzeichnung des Gesprächs einverstanden sind, sobald die Aufnahme startet. Sollte während der Aufzeichnung Ihr Name oder andere persönliche Informationen genannt werden, werde ich diese selbstverständlich aus der schriftlichen Transkription entfernen.

Im Interview werde ich Sie gezielt nach verschiedenen Aspekten des Unterrichts und der Evaluation von Unterrichtskonzepten fragen. Ich bitte Sie, Ihre Gedanken so offen und ausführlich wie möglich zu teilen. Sie sollen nichts zurückhalten, sondern Ihre Überlegungen, Einschätzungen und auch Kritik laut und verständlich formulieren.

Ich werde Sie dabei nicht unterbrechen, sondern nur gezielt nachfragen, wenn ich mehr über bestimmte Punkte erfahren möchte. Wenn Ihnen etwas unklar ist oder Sie Schwierigkeiten haben, eine Frage zu beantworten, bitte ich Sie, dies ebenfalls laut auszusprechen.

Bevor wir mit dem eigentlichen Interview beginnen, möchte ich Sie bitten, einen kurzen Fragebogen mit einigen grundlegenden Informationen auszufüllen. Dieser Fragebogen erfasst Daten wie den Schultyp, die Schulstufe, Ihre Fächerkombination und Ihre Berufserfahrung. Diese Angaben helfen mir, die Ergebnisse des Interviews besser einzuordnen und verschiedene Perspektiven zu berücksichtigen.

Ich möchte betonen, dass alle Daten vertraulich behandelt werden. Der Fragebogen wird separat vom Interview aufbewahrt, sodass keine Rückschlüsse auf Ihre Person möglich sind. Wenn Sie bei einer Frage unsicher sind oder diese nicht beantworten möchten, können Sie diese selbstverständlich offen lassen.

Falls Sie Fragen zum Fragebogen haben, stehe ich Ihnen natürlich zur Verfügung. Sobald Sie mit dem Ausfüllen fertig sind, sammeln wir den Fragebogen ein, und wir können mit dem Interview beginnen.

Vielen Dank schon vorab für Ihre Unterstützung!

Ausgabe des Fragebogens und Lehrperson füllt diesen aus. (Fragebogen ist am Ende des Dokuments bei den Zusatzmaterial angehängt)

Anschließend einsammeln des Bogens und Kontrolle ob alles verständlich ausgefüllt wurde.

Falls Sie noch Fragen haben, bevor wir beginnen, stehe ich gerne zur Verfügung. Ansonsten starte ich nun die Aufzeichnung und wir können mit dem Interview beginnen, sobald Sie ihre Einverständnis ausgesprochen haben.

Interviewbeginn:

Ich starte nun die Aufzeichnung
Kontrollieren ob die Aufzeichnung funktioniert
Einwilligung aufzeichnen
Beginn mit Bereich 1

Interventionen	Erwartete Antworten	Bemerkungen
Bereich 1: Fragen zum Unterrichtskonzept in der Sekundarstufe 1/2		
1) Wie gut passt das Unterrichtskonzept Ihrer Meinung nach in Ihren Physikunterricht? Welche Anpassungen könnten notwendig sein?	Anmerkungen zu Stundenanzahl, Schwierigkeitsgrad oder Materialaufbereitung; Vorschläge für Verbesserungen	Offene Formulierung nutzen
2) Wie viele Stunden haben Sie für die Umsetzung benötigt? Würden Sie diese Zeitspanne als angemessen bewerten?	Einschätzung der Stundenanzahl (z.B. zu lang, angemessen, zu kurz) und Vorschläge für alternative Zeitpläne	Zweite Frage nur stellen, wenn es nicht von alleine genannt wird.
3) Wie gut kamen Sie mit den bereitgestellten Materialien zurecht?	Positive/negative Rückmeldungen zur Materialnutzung	Falls es nicht genannt wird um Verbesserungsvorschläge bitten. Unterrichtsmaterial des Unterrichtskonzepts bereitliegen haben falls die Lehrperson auf diesem etwas zeigen möchte.
4) „Auf dem ausgehändigten Bogen finden Sie die zentralen Key Ideas des Unterrichtskonzepts. Gehen Sie bitte auf jede Key Idea und jede Klasse einzeln ein. Glauben Sie, dass Ihre Schüler*innen die darin enthaltenen Kernideen verstanden haben? Woran machen Sie das fest?	Einschätzung des Verständnisses; Gründe für Verständnisprobleme, falls vorhanden	Material: Key Idea Bogen aushändigen. Darauf achten, dass richtige Sekundarstufe aufgedeckt wird. Darauf achten, dass Antworten für alle Klassen und jede Key Idea gegeben werden.
5) „Ebenfalls auf dem Bogen sind die Lernziele des Unterrichtskonzepts aufgeführt. Wie schätzen Sie ein, ob Ihre Schüler*innen diese Lernziele erreicht haben? Gehen Sie dabei bitte, wie bei den Key Ideas vor.	Einschätzung des Verständnisses; Gründe für Verständnisprobleme, falls vorhanden	Material: Key Idea Bogen umdrehen um Lernziele aufzudecken. Darauf achten, dass Antworten für alle Klassen und jedes Lernziel gegeben werden.
6) Würden Sie das Unterrichtskonzept erneut in einer anderen Klasse anwenden?	Bestätigung oder Ablehnung der Frage mit einer Begründung	Begründung erfragen falls diese nicht genannt wird.
Notizen		

Interventionen	Erwartete Antworten	Bemerkungen
Bereich 2: Allgemeine Fragen zu Messunsicherheiten		
7) Haben Sie das Thema Messunsicherheiten schon vor dem Einsatz dieses Konzepts im Unterricht behandelt? In welcher Form?	Beschreibung bisheriger Unterrichtsansätze (Rechenübungen, Diskussionen etc.); „Nein“	Je nach Antwort eine andere Folgefrage auswählen
8) Gibt es bestimmte Gründe wieso sie es nicht versucht haben?	Nennung von Gründen wieso MU im Unterricht nicht behandelt wurden.	Diese Frage nur stellen, wenn in der vorherigen mit "Nein"geantwortet wurde. Sonst überspringen
9) Wie oft thematisieren Sie Messunsicherheiten generell in Ihrem Unterricht?	Angaben zur Häufigkeit (z.B. regelmäßig, selten)	Diese Frage nur stellen, wenn MU im Unterricht bereits behandelt wurden.
10) Gibt es Unterschiede in der Behandlung des Themas zwischen der Ober- und Unterstufe? Falls ja, inwiefern unterscheiden sich Ihre Ansätze?	Beschreibung der Unterschiede z.B. in Tiefe und methodischer Vorgehensweise	Diese Frage nur stellen, wenn MU im Unterricht bereits behandelt wurden. Frage überspringen bei reinen Unter- oder Oberstufenschulen
11) Gibt es nach Ihrer Erfahrung bestimmte Begriffe oder Konzepte, die Schüler*innen auch nach der Durchführung noch nicht vollständig verstehen?	Beschreibung unklarer Begriffe/Konzepte und möglicher Ursachen für Unverständnis	Diese Frage wieder unabhängig von der ersten stellen.
12) Welche Veränderungen würden Sie für die nächste Durchführung empfehlen?	spezifischen Vorschlägen zur Optimierung	Neben dem Unterrichtsmaterial einen Stift zur Hand haben um Anmerkungen in diesen zu machen.
13) Gibt es noch etwas, das Sie anmerken möchten, das bisher nicht angesprochen wurde, und das Sie in Bezug auf das Unterrichtskonzept oder die Lernziele für wichtig halten?	Nennung von Themen, welcher der Lehrperson noch wichtig sind	Bei Ausschweifungen an Fragestellung orientieren.
Notizen		

Angaben zur Person

1. Geschlecht

- ☐ Weiblich
- ☐ Männlich
- ☐ Divers
- ☐ Keine Angabe

2. Alter

- ☐ 20-29
- ☐ 30-39
- ☐ 40-49
- ☐ 50-59
- ☐ 60+

3. In welchem Dienstjahr unterrichten Sie?

- ☐ 0-4
- ☐ 5-9
- ☐ 10-14
- ☐ 15-19
- ☐ 20-24
- ☐ 25-29
- ☐ >30

4. In welchen Fächern sind Sie geprüft?

1. Fach: _____

5. Höchster Abschluss des akademischen Grades für 1. Fach:

- ☐ Bachelor
- ☐ Master
- ☐ Magister
- ☐ Dipl.Ing.
- ☐ PhD/Doktor/und höheres

6. In welchen Fächern sind Sie noch geprüft?

2. Fach: _____

7. Höchster Abschluss des akademischen Grades für 2. Fach:

- ☐ Bachelor
- ☐ Master
- ☐ Magister
- ☐ Dipl.Ing.
- ☐ PhD/Doktor/und höheres

8. In welchen Fächern sind Sie noch geprüft?

3. Fach: _____

- ☐ Ich habe kein drittes Fach

9. Höchster Abschluss des akademischen Grades für 3. Fach:

- ☐ Bachelor
- ☐ Master
- ☐ Magister
- ☐ Dipl.Ing.
- ☐ PhD/Doktor/und höheres

10. In welcher Schulform unterrichten Sie?

- ☐ MS
- ☐ PTS
- ☐ AHS (BG, BRG, BORG)
- ☐ BHS
- ☐ HTL
- ☐ HAK
- ☐ Andere: _____

11. In welchem Bundesland ist Ihr Schulstandort zu finden?

- ☐ Burgenland
- ☐ Kärnten
- ☐ Niederösterreich
- ☐ Oberösterreich
- ☐ Salzburg
- ☐ Steiermark
- ☐ Tirol
- ☐ Vorarlberg
- ☐ Wien
- ☐ Ich unterrichte nicht in Österreich

12. An welcher Schule haben Sie das Unterrichtskonzept/ die Unterrichtskonzepte unterrichtet?

13. In welchen unterschiedlichen Klassen haben Sie das Unterrichtskonzept/ die Unterrichtskonzepte unterrichtet?

- ☐ Ich habe es in der Klasse _____ unterrichtet.
- ☐ Ich habe es in der Klasse _____ unterrichtet.
- ☐ Ich habe es in der Klasse _____ unterrichtet.

Key Ideas der Sekundarstufe 1

- KI1** - Die einzelnen Messungen einer Messreihe sind meistens nicht ident.
- KI2** - Der Mittelwert einer Messreihe ist der Wert, der dem wahren Wert am nächsten kommt. Jemehr Messungen man macht, desto näher kommt der Mittelwert an den wahren Wert heran.
- KI3** - Je kleiner die Spannweite einer Messreihe ist, desto vertrauenswürdiger ist das Ergebnis.
Man sagt dann: „Die Messung hat eine kleine Messunsicherheit.“
- KI4** - Unsicherheiten einer Messung haben verschiedene Ursachen:
- Zufällig unterschiedliche Messergebnisse
 - Genauigkeit des Messgerätes

Lernziele der Sekundarstufe 1

Die Lernenden können...

- LZ1** ...erklären, warum eine Messung immer eine gewisse Unsicherheit hat.
- LZ2** ...die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messergebnisse einschätzen und vergleichen.
- LZ3** ...ein Ergebnis vollständig (Mittelwert von mehreren Messergebnissen und als Streuungsmaß die Spannweite - oder die Standardabweichung, abhängig vom mathematischen Vorwissen) angeben.
- LZ4** ...verschiedene Quellen für Unsicherheiten aufzählen und sie bei der Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit einer Messung miteinbeziehen.

Key Ideas der Sekundarstufe 2

- KI1** - Die einzelnen Messungen einer Messreihe sind meistens nicht ident.
- KI2** - Messunsicherheiten können nach der Methode A und B bestimmt werden.
- KI3** - Ergebnisse können sich bezüglich ihrer Vertrauenswürdigkeit unterscheiden.
- KI4** - Ein Messwert soll immer mit der passenden Messunsicherheit angegeben werden.
- KI5** - Eine Messgröße wird mit Zahlenwert und passender Einheit angegeben.

Lernziele der Sekundarstufe 2

Die Lernenden...

- LZ1** ...beschreiben Schritte bei der Herstellung und Verwendung eines Messgeräts, die zu Typ-B Messunsicherheiten führen.
- LZ2** ...können Messungen auf Basis ihrer Vertrauenswürdigkeit bewerten. Dabei können sie verschiedene Messungen nach ihrer Messunsicherheit ordnen und Vergleiche bezüglich der Vertrauenswürdigkeit ziehen.
- LZ3** ...geben Messergebnisse richtig an (Mittelwert $\pm$ Messunsicherheit) und unterscheiden zwischen korrekten und falschen Angaben wissenschaftlicher Messwerte.
- LZ4** ...können den Mittelwert und die Standardabweichung des Mittelwerts für eine gegebene Messreihe berechnen.
- LZ5** ...unterscheiden Messunsicherheiten nach Typ-A und Typ-B.

C Beobachtungsbogen

1 Beobachtungsschulung

1.1 Allgemeines Verhalten bei Beobachtungen

- Die Beobachtung die Sie durchführen werden ist eine offene, nicht-teilnehmende Fremdbeobachtung.
- Sie wird in einem natürlichen Setting, dem Klassenraum, stattfinden.
- Für die Beobachtung gilt, dass die Situation so wenig wie möglich beeinflusst werden soll.
- Das bedeutet keine Interaktion oder Intervention.
- Um Diskretion zu zeigen, empfiehlt es sich Platz, im Raum zu suchen, der erlaubt, gut zu beobachten, aber nicht im Mittelpunkt des Geschehens steht.
- Machen Sie sich im Vorhinein mit dem Beobachtungsbogen vertraut, um präzise und schnell Notizen machen zu können.
- Unbedingt auf Leserlichkeit achten!
- Versuchen Sie so objektiv wie möglich zu bleiben. Keine voreiligen Interpretationen!

1.2 Anleitung zum Beobachtungsbogen

- Es ist pro Klasse und pro benötigter Unterrichtseinheit ein eigener Beobachtungsbogen auszufüllen.
- Es sollen maximal zwei Gruppen beobachtet werden, wenn dies sinnvoll möglich ist und die Qualität der Beobachtung nicht darunter leidet.
- Wird ein Verhalten beobachtet, dass auf einen Operator schließen lässt, so ist dieser für die entsprechende Gruppe anzukreuzen.
- Beim Operator "Diskutieren" ist zwischen langen und kurzen Diskussionen zu unterscheiden.
- Neben den Operatoren gibt es eine F-Spalte. Diese soll ermöglichen schnell zu notieren, wenn der Operator zwar ausgeführt, aber zu einem falschen Ergebnis oder einer fehlerhaften Handlung geführt hat.
- Jeder Operator, der gekreuzt wird, ist mit einer Notiz zu versehen.
- Dabei soll schlüssig sein welches Verhalten, das die Erreichung des Operators rechtfertigt, beobachtet wurde.
- Wurde ein F gekreuzt, so ist dieses auf der dritten Seite genauer auszuführen.
- Die kursiven Verweise auf die Arbeitsblätter können ein guter Anhaltspunkt sein, wann die gewünschten Operatoren auftreten könnten. Das bedeutet jedoch nicht, dass sie ausschließlich dort aufkommen werden.
- Um die Anonymität zu sichern, werden die Schüler*innen in den Notizen nie namentlich genannt.

1.3 Empfohlene Abkürzungen:

- Stabw. und Spw.: Standardabweichung und Spannweite
- MU: Messunsicherheit
- Vw.: Vertrauenswürdigkeit
- MW: Mittelwert
- Str.v.Mw.: Streuung von Messwerten
- Messger.: Genauigkeit des Messgeräts

1.4 Beispiele aus der Praxis

Nehmen Sie den Beobachtungsleitfaden zur Hand und vergleichen Sie mögliche Beobachtungseinträge mit den genannten Beispielen. Vergleichen Sie diese auch mit der Unterrichtskonzeption um sich in die konkrete Situation hineinzuversetzen.

K-1.1 Messen	"schüttet Wasser aus dem Messbecher wieder zurück um genau auf 40ml zu kommen" (SEK I); "abmessen der Papierstreifen" (SEK II)
K-1.1 Berechnen	"versuchen direkt das Volumen zu berechnen" (SEK I); "berechnen den Mittelwert" (SEK II)
K-1.2 Interpretieren	"Gruppe 2: interpretiert ihr Messergebnis als falsch: Wir können doch nicht wissen, wie viel Restwasser übrig blieb und wie viel wir verschüttet haben. (SEK I)
K-1.2 Untersuchen	"SuS untersuchten die Streuung der Messwerte am Zahlenstrahl" (SEK I)
K-1.2 Vergleichen	"vergleichen ihren Messwert mit dem der anderen Gruppen am Zahlenstrahl" (SEK I); "Die Gruppen vergleichen ihre Streumaße untereinander" (SEK II)
K-1.3 Begründen	"Wasserstand im Messbecher war nie genau bei einer Markierung, das hat die Vertrauenswürdigkeit verringert." (SEK I); "Nicht vertrauenswürdig, weil Unterschied zwischen alle Teillängen addieren und gemessen an der zusammengelegten Länge." (SEK II)
K-1.3 Beurteilen	"Ist jede Messung zu 100% richtig?" (SEK II)
K-2.1 Diskutieren	"Strich der Anzeige auf dem Messbecher ist zu dick" (SEK I)
K-2.1 Vergleichen	"Die Genauigkeit einzelner Messungen wird verglichen" (SEK I); "Typ-B ist größer" (SEK II)
K-2.1 Interpretieren	"Das ist ja voll ungenau, wenn wir nicht dazwischen abschätzen" (SEK I)
K-2.2 Interpretieren	"Gruppe 2 interpretiert den Mittelwert als jenen Wert, der dem wahren Wert am nächsten kommt" (SEK I)
K-2.2 Deuten	"Zu den Messwerten an der Tafel: Da kommen ja ganz unterschiedliche Werte raus." (SEK I); Mittelwert wird als bester Schätzer erkannt" (SEK II)
K-2.2 Untersuchen	SuS untersuchen zwei Messreihen bzgl. Vertrauenswürdigkeit" (SEK I)
K-2.3 Diskutieren	"Viele SuS betonen die Ungenauigkeit des Messgeräts (zu wenige Skalemarkierungen am Messbecher)" (SEK I); "Der Hersteller ist wurst" (SEK II)
K-2.3 Interpretieren	"Wenn Messgerät genauer misst, ist Messung vertrauenswürdiger" (SEK I)
K-2.3 Begründen	"Geodreick kann genauer messen, weil kleinere Schritte" (SEK II)
K-3.1 Handlung ohne Ziel	"Eine Gruppe fragt nach Strohalm" (SEK I); "Eine Gruppe lügt, die eigentlich 38" gemessen hat, da alle Gruppen davor 40" hatten und sagt: Wir haben auch 40." (SEK II)
K-3.2 Rechenfehler	"Beide Gruppen verrechnen sich beim Addieren der Einzelmesswerte in der Tabelle" (SEK I); "1/16 ist etwa 0.1 mm selbst korrigiert" (SEK II)
K-3.2 Fehlerhafte Schlussfolgerung	" $\Delta V = 10ml$ statt $\Delta V = 5ml$ " (SEK I)
K-3.2 Fehler beim Experimentieren	"Abmessen von Skalenteilen" (SEK I); "Gruppe 3 lest auf halbe Zoll genau ab" (SEK II)

Unterrichtskonzept: SEK I			Unterrichtseinheit: ○ 1. Einheit / ○ 2. Einheit / ○ 3. Einheit				
BeobachterIn:		Schule:	Klasse:		Lehrperson:		Datum:
Arbeitsschritt	Leseart	Operator	Gruppen				Beobachtungsnotizen
K-1 Arbeitsstrategien			Gr. 1	F	Gr. 2	F	
K-1.1 Messreihe anfertigen; Mittelwert, Spannweite und/oder andere statistischen Größen berechnen	Lernende berechnen aus den Messergebnissen Mittelwert und Streumaß (=Spannweite).	messen,	☐	☐	☐	☐	
		berechnen,	☐	☐	☐	☐	
K-1.2 Streuungsmaß untersuchen	Das Streuungsmaß wird untersucht und auf Vertrauenswürdigkeit geprüft.	interpretieren,	☐	☐	☐	☐	
		untersuchen,	☐	☐	☐	☐	
		vergleichen,	☐	☐	☐	☐	
K-1.3 Vertrauenswürdigkeit beurteilen	Die Vertrauenswürdigkeit wird aufgrund von vor- angegangenen Über- legungen zu Messgeräten oder Messergebnissen beurteilt und begründet. Bestenfalls fließen MU in die Beurteilung mit ein.	begründen,	☐	☐	☐	☐	
		beurteilen,	☐	☐	☐	☐	

Arbeitsschritt	Leseart	Operator	Gruppen				Beobachtungsnotizen
K-2 Denkprozesse			Gr. 1	F	Gr. 2	F	
K-2.1 Messunsicherheiten diskutieren	Diskussion über Messunsicherheiten anhand von gemessenen Werten. Ursachenfindung von Messunsicherheiten.	diskutieren, kurz	☐	☐	☐	☐	
		lang	☐		☐		
		vergleichen,	☐	☐	☐	☐	
		interpretieren,	☐	☐	☐	☐	
K-2.2 Streuung von Messwerten (Typ A-MU)	Die Streuung von Einzel- messwerten wird erkannt und dass dies um einen Mittelwert passiert.	interpretieren,	☐	☐	☐	☐	
		untersuchen,	☐	☐	☐	☐	
K-2.3 Genauigkeit des Messgeräts (Typ B-MU)	Es wird laut über die Genauigkeit des Messgeräts diskutiert und eine Einschätzung der Vertrauens- würdigkeit gemacht	diskutieren,		☐		☐	
		kurz	☐		☐		
		lang	☐		☐		
		interpretieren,	☐	☐	☐	☐	

K-3 keine Zielerreichung				
K-3.1 Handlung ohne Ziel	Lernende setzten Handlungen, die nicht auf die Erreichung der gestellten Aufgabenziele führen. (z.B. Erraten von Ergebnissen,...)			
Gesetzte Handlung	Gr.1	Gr.2	Gründe (Verdacht)	Beobachtungsnotizen
K-3.2 Fehlerhafte Handlungen	Lernende entschließen sich für eine fehlerhafte Handlung bzw. ziehen fehlerhafte Schlussfolgerungen. Bitte auch vermerken, ob den Lernenden die gemachten Fehler auffallen oder nicht und ob sie diese korrigieren.			
Fehlerart	Gr.1	Gr.2	Beobachtungsnotizen	
Rechenfehler				
Fehlerhafte Schlussfolgerung:				
Fehler beim Experimentieren (Fehlerhaftes Ablesen vom Messgerät):				
Allgemeine Beobachtungen: (z.B. Hatten die S irgendwo unerwartete Schwierigkeiten?, gab es Auffälligkeiten?,...)				

Unterrichtskonzept: SEK II				Unterrichtseinheit: ○ 1. Einheit / ○ 2. Einheit / ○ 3. Einheit			
BeobachterIn:		Schule:		Klasse:		Lehrperson:	
Datum:							
Arbeitsschritt	Leseart	Operator	Gruppen				Beobachtungsnotizen
K-1 Arbeitsstrategien			Gr. 1	F	Gr. 2	F	
K-1.1 Messreihe anfertigen; Mittelwert, Spannweite und/oder andere statistischen Größen berechnen	Lernende berechnen aus den Messergebnissen Mittelwert und Streumaß (=Spannweite). <i>(Experiment - Längenmessung)</i>	messen,	☐	☐	☐	☐	
	<i>(Wie kann man eine Messreihe auswerten)</i>	berechnen,	☐	☐	☐	☐	
K-1.2 Streuungsmaß untersuchen	Das Streuungsmaß wird untersucht und auf Vertrauenswürdigkeit geprüft. <i>(Experiment - Längenmessung)</i>	interpretieren,	☐	☐	☐	☐	
		untersuchen,	☐	☐	☐	☐	
		vergleichen,	☐	☐	☐	☐	
K-1.3 Vertrauenswürdigkeit beurteilen	Die Vertrauenswürdigkeit wird aufgrund von vor- angegangenen Über- legungen zu Messgeräten oder Messergebnissen beurteilt und begründet. Bestenfalls fließen MU in die Beurteilung mit ein. <i>(Experiment - Längenmessung)</i>	begründen,	☐	☐	☐	☐	
		beurteilen,	☐	☐	☐	☐	
		<i>diskutieren</i>		☐		☐	
		kurz	☐		☐		
		lang	☐		☐		

Arbeitsschritt	Leseart	Operator	Gruppen				Beobachtungsnotizen
K-2 Denkprozesse			Gr. 1	F	Gr. 2	F	
K-2.1 Messunsicherheiten diskutieren	Diskussion über Messunsicherheiten anhand von gemessenen Werten. Ursachenfindung von Messunsicherheiten. <i>(Mehr zum Thema Auswertung)</i>	diskutieren, kurz lang vergleichen, <i>interpretieren,</i>		☐		☐	
			☐		☐		
			☐		☐		
			☐	☐	☐	☐	
K-2.2 Streuung von Messwerten (Typ A-MU)	Die Streuung von Einzel- messwerten wird erkannt und dass dies um einen Mittelwert passiert. <i>(Wie kann man eine Messreihe auswerten)</i>	<i>interpretieren,</i> <i>deuten,</i> <i>untersuchen,</i>	☐	☐	☐	☐	
			☐	☐	☐	☐	
			☐	☐	☐	☐	
			☐	☐	☐	☐	
K-2.3 Genauigkeit des Messgeräts (Typ B-MU)	Es wird laut über die Genauigkeit des Messgeräts diskutiert und eine Einschätzung der Vertrauens- würdigkeit gemacht. <i>(Mehr zum Thema Auswertung)</i>	diskutieren, kurz lang <i>interpretieren,</i> <i>begründen</i>		☐		☐	
			☐		☐		
			☐		☐		
			☐	☐	☐	☐	
			☐	☐	☐	☐	
			☐		☐		
			☐		☐		
			☐	☐	☐	☐	

K-3 keine Zielerreichung				
K-3.1 Handlung ohne Ziel	Lernende setzten Handlungen, die nicht auf die Erreichung der gestellten Aufgabenziele führen. (z.B. Erraten von Ergebnissen,...)			
Gesetzte Handlung	Gr.1	Gr.2	Gründe (Verdacht)	Beobachtungsnotizen
K-3.2 Fehlerhafte Handlungen	Lernende entschließen sich für eine fehlerhafte Handlung bzw. ziehen fehlerhafte Schlussfolgerungen. Bitte auch vermerken, ob den Lernenden die gemachten Fehler auffallen oder nicht und ob sie diese korrigieren.			
Fehlerart	Gr.1	Gr.2	Beobachtungsnotizen	
Rechenfehler				
Fehlerhafte Schlussfolgerung:				
Fehler beim Experimentieren (Fehlerhaftes Ablesen vom Messgerät):				
Allgemeine Beobachtungen: (z.B. Hatten die S irgendwo unerwartete Schwierigkeiten?, gab es Auffälligkeiten?,...)				

D Leistungstest

Schriftlicher Test - Messunsicherheiten

Aufgabe 0.

- ☐ Es **wurde** im Unterricht an dem Konzept *Messunsicherheiten* weitergearbeitet.
- ☐ Es **wurde nicht** im Unterricht an dem Konzept *Messunsicherheiten* weitergearbeitet.

Aufgabe 1.

Ordne die folgenden Zeitmessgeräte nach ihrer Vertrauenswürdigkeit, beginnend mit der geringsten Vertrauenswürdigkeit.

- A Stoppuhr auf einem Smartphone ($\pm 0,01$ s)
- B Armbanduhr mit einem Sekundenzeiger
- C Digitale Stoppuhr, die auf Zehntelsekunden genau misst ($\pm 0,1$ s)
- D Atomuhr die auf 10^{-18} s (Trillionstel Sekunde) genau misst.

Kreuze die richtige Reihenfolge an. [1 aus 4]

A-C-D-B	☐
B-C-A-D	☐
A-B-C-D	☐
C-B-A-D	☐

Aufgabe 2.

Vier Schüler*innen haben die Länge unterschiedlicher Werkstücke abgemessen und folgende Ergebnisse notiert:

Markiere in der untenstehenden Tabelle die beiden Ergebnisse, die wissenschaftlich korrekt angegeben sind.

Darstellung des Ergebnisses	
$l = 47$ cm	A
$l = (34,0234 \pm 5,2353444223)$ cm	B
$l = (40,1 \pm 0,1)$ cm	C
$l = 52$ cm ± 1 cm	D

Überlege, welche zwei der Ergebnisse wissenschaftlich korrekt angegeben sind und kreuze in der unteren Tabelle das richtige Paar an. [1 aus 4]

A, B	☐
A, C	☐
C, D	☐
B, D	☐

Aufgabe 3.

Welche der folgenden angeführten Beispiele tragen zur Messunsicherheit bei?
Kreuze die zutreffende(n) Aussage(n) an. *[n aus 5]*

Beim Skalieren wird zufälligerweise eine Markierung zu weit rechts eingezeichnet	☐
Der Beifahrer in einem Auto soll eine Geschwindigkeit ablesen, die sich genau zwischen zwei Skalenteilen des Tachometers befindet.	☐
Die Firma, die Eichnormale für eine Masse von 10 kg herstellt, ändert deren Form von Kugeln auf Würfel.	☐
Durch Zufall wird eine Eichlänge etwas zu kurz übertragen.	☐
Die Firma, die Längenmessgeräte herstellt, ändert das Design der Anzeige eines Messgerätes.	☐

Aufgabe 4.

Welche der folgenden Beispiele gehören zu der Messunsicherheit, die durch die Unsicherheit des Messgerätes beeinflusst wird? (Typ-B-Messunsicherheit)
Kreuze die zutreffende(n) Aussage(n) an. *[n aus 5]*

Auf einer Waage steht $\pm 0,5$ kg.	☐
Berechnung der Spannweite.	☐
Eine Stoppuhr kann auf 1,5 Sekunden genau messen.	☐
Die Abstände der Markierungen auf einem Lineal sind nicht alle gleich weit voneinander entfernt.	☐
Mit einem selbstgebastelten Lineal wird immer um 1 cm zu lang gemessen	☐

Aufgabe 5.

Welches der folgenden Ergebnisse ist das Vertrauenswürdigste?
Kreuze die zutreffende Aussage an. *[1 aus 5]*

$m = (0,340 \pm 0,001) \text{ kg}$	☐
$m = (340,0 \pm 0,1) \text{ g}$	☐
$m = (340 \pm 10) \text{ g}$	☐
$m = (0,34 \pm 0,01) \text{ kg}$	☐
$m = (340 \pm 1) \text{ g}$	☐

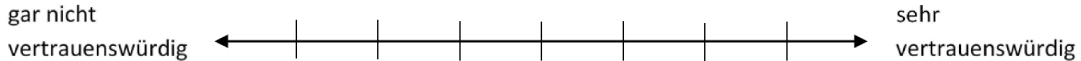
Aufgabe 6.

Martins Klasse soll im Physikunterricht folgendes Experiment durchführen:

Lasse einen Tennisball von zwei Metern Höhe zu Boden fallen und stoppe die Zeit. Wie lange braucht der Ball, bis er am Boden aufprallt?

- a) Martin lässt den Ball aus zwei Metern Höhe fallen und stoppt die Zeit mit dem Sekundenzeiger seiner Armbanduhr. Die gestoppte Zeit beträgt **2 s**.

Wie vertrauenswürdig ist die Messung von Martin deiner Meinung nach?



Was könnte Martin an seiner Messung verbessern?

- 1) _____
- _____

- 2) _____

- 3) _____

- b) Martin führt nun das Experiment mit verbesserten Methoden durch und vergleicht seine neu gemessene Zeit von **1,77 s** mit der gemessenen Zeit seiner Sitznachbarin Lisa. Lisa hat **2,23 s** gestoppt. Beide haben das Experiment unter denselben Bedingungen durchgeführt.

Wer von den beiden hat das vertrauenswürdiger Ergebnis?

- ☐ Lisa hat das vertrauenswürdiger Ergebnis.
- ☐ Martin hat das vertrauenswürdiger Ergebnis.
- ☐ Das kann ich so nicht beantworten.

Begründe bitte deine Antwort:

Könnten die beiden noch etwas an ihrem Experiment verbessern? Wenn ja, was zum Beispiel?

Lösungsschlüssel - Schriftlicher Test

Aufgabe 1.

Ordne die folgenden Zeitmessgeräte nach ihrer Vertrauenswürdigkeit, beginnend mit der geringsten Vertrauenswürdigkeit.

- A Stoppuhr auf einem Smartphone ($\pm 0,01$ s)
- B Armbanduhr mit einem Sekundenzeiger
- C Digitale Stoppuhr, die auf Zehntelsekunden genau misst ($\pm 0,1$ s)
- D Atomuhr die auf 10^{-18} s (Trillionstel Sekunde) genau misst.

Kreuze die richtige Reihenfolge an. [1 aus 4]

A-C-D-B	☐
B-C-A-D	☒
A-B-C-D	☐
C-B-A-D	☐

→ SuS können Messungen auf Basis ihrer Vertrauenswürdigkeit bewerten. Dabei können sie verschiedene Messungen nach ihrer Messunsicherheit ordnen und Vergleiche bezüglich der Vertrauenswürdigkeit ziehen.

Aufgabe 2.

Vier Schüler*innen haben die Länge unterschiedlicher Werkstücke abgemessen und folgende Ergebnisse notiert:

Markiere in der untenstehenden Tabelle die beiden Ergebnisse, die wissenschaftlich korrekt angegeben sind.

Darstellung des Ergebnisses	
$l = 47$ cm	A
$l = (34,0234 \pm 5,2353444223)$ cm	B
$l = (40,1 \pm 0,1)$ cm	C
$l = 52$ cm ± 1 cm	D

Überlege, welche zwei der Ergebnisse wissenschaftlich korrekt angegeben sind und kreuze in der unteren Tabelle das richtige Paar an. [1 aus 4]

A, B	☐
A, C	☐
C, D	☒
B, D	☐

→ SuS geben Messergebnisse richtig an (Mittelwert $\pm$ Messunsicherheit) und unterscheiden zwischen korrekten und falschen Angaben wissenschaftlicher Messwerte.

Aufgabe 3.

Welche der folgenden angeführten Beispiele tragen zur Messunsicherheit bei?
Kreuze die zutreffende(n) Aussage(n) an. *[n aus 5]*

Beim Skalieren wird zufälligerweise eine Markierung zu weit rechts eingezeichnet	☒
Der Beifahrer in einem Auto soll eine Geschwindigkeit ablesen, die sich genau zwischen zwei Skalenteilen des Tachometers befindet.	☒
Die Firma, die Eichnormale für eine Masse von 10 kg herstellt, ändert deren Form von Kugeln auf Würfel.	☐
Durch Zufall wird eine Eichlänge etwas zu kurz übertragen.	☒
Die Firma, die Längenmessgeräte herstellt, ändert das Design der Anzeige eines Messgerätes.	☐

→ SuS beschreiben Schritte bei der Herstellung und Verwendung eines Messgeräts, die zu Typ-B-Messunsicherheiten führen.

Aufgabe 4.

Welche der folgenden Beispiele gehören zu der Messunsicherheit, die durch die Unsicherheit des Messgerätes beeinflusst wird? (Typ-B-Messunsicherheit)
Kreuze die zutreffende(n) Aussage(n) an. *[n aus 5]*

Auf einer Waage steht $\pm 0,5$ kg.	☒
Berechnung der Spannweite.	☐
Eine Stoppuhr kann auf 1,5 Sekunden genau messen.	☒
Die Abstände der Markierungen auf einem Lineal sind nicht alle gleich weit voneinander entfernt.	☒
Mit einem selbstgebastelten Lineal wird immer um 1 cm zu lang gemessen.	☐

→ SuS können die Messunsicherheiten Typ-B und Typ-A voneinander unterscheiden und entsprechenden Unsicherheiten zuordnen.

Aufgabe 5.

Welches der folgenden Ergebnisse ist das Vertrauenswürdigste?
Kreuze die zutreffende Aussage an. *[1 aus 5]*

$m = (0,340 \pm 0,001) \text{ kg}$	☐
$m = (340,0 \pm 0,1) \text{ g}$	☒
$m = (340 \pm 10) \text{ g}$	☐
$m = (0,34 \pm 0,01) \text{ kg}$	☐
$m = (340 \pm 1) \text{ g}$	☐

→ SuS können Messungen auf Basis ihrer Vertrauenswürdigkeit bewerten. Dabei können sie verschiedene Messungen nach ihrer Messunsicherheit ordnen und Vergleiche bezüglich der Vertrauenswürdigkeit ziehen.

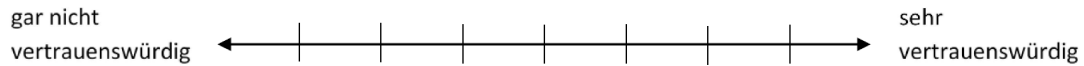
Aufgabe 6.

Martins Klasse soll im Physikunterricht folgendes Experiment durchführen:

Lasse einen Tennisball von zwei Metern Höhe zu Boden fallen und stoppe die Zeit.
Wie lange braucht der Ball, bis er am Boden aufprallt?

- a) Martin lässt den Ball aus zwei Metern Höhe fallen und stoppt die Zeit mit dem Sekundenzeiger seiner Armbanduhr. Die gestoppte Zeit beträgt **2 s**.

Wie vertrauenswürdig ist die Messung von Martin deiner Meinung nach?



Was könnte Martin an seiner Messung verbessern?

- 1) Genauigkeit des Messgeräts erhöhen (Lichtschranken, genauere (Stopp-)Uhr, Videoaufzeichnungen, Sensoren,...) → Genauigkeit des Messgeräts
- 2) Öfter messen und einen Durchschnitt ausrechnen. → Messreihe und Mittelwert
Genauer stoppen, schneller reagieren, ... → Streuung der Messwerte (Typ A-Unsicherheit)
- 3) Mit zweiter Person arbeiten, richtige Wahl der Perspektive, Verwenden eines Sessels,...
→ Verbesserung der Versuchsanordnung

- b) Martin führt nun das Experiment mit verbesserten Methoden durch und vergleicht seine neu gemessene Zeit von **1,77 s** mit der gemessenen Zeit seiner Sitznachbarin Lisa. Lisa hat **2,23 s** gestoppt. Beide haben das Experiment unter denselben Bedingungen durchgeführt.

Wer von den beiden hat das vertrauenswürdiger Ergebnis?

- ☐ Lisa hat das vertrauenswürdiger Ergebnis.
☐ Martin hat das vertrauenswürdiger Ergebnis.
☒ Das kann ich so nicht beantworten.

Begründe bitte deine Antwort:

Die einmalige Messung der Zeit liefert kein aussagekräftiges Ergebnis.

Messunsicherheit ist nicht angegeben.

Könnten die beiden noch etwas an ihrem Experiment verbessern? Wenn ja, was zum Beispiel?

Siehe Item a)

→ SuS können verschiedene Quellen für Unsicherheiten aufzählen und sie bei der Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit miteinbeziehen.

→ SuS können die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messergebnisse einschätzen und vergleichen.

E Informationen an die Erziehungsberechtigten

Sehr geehrte Eltern,

wir, eine Gruppe von Studierenden der Universität Wien, möchten Sie über eine bevorstehende Forschungsarbeit zum Thema *Messunsicherheiten* informieren. Im Rahmen dieser Forschung wird eine Unterrichtsstunde zu diesem Thema gehalten, die zu Forschungs- und Schulungszwecken aufgezeichnet wird. Die Aufzeichnung dient ausschließlich der Analyse und Weiterentwicklung von Unterrichtskonzepten sowie der Lehrkräfteausbildung.

Wir versichern Ihnen, dass die Aufnahmen **nicht veröffentlicht** und ausschließlich intern zu Forschungs- und Schulungszwecken verwendet werden. Alle erhobenen Daten werden vertraulich behandelt, anonymisiert ausgewertet und spätestens **Ende Juni vollständig gelöscht**.

Wir sind überzeugt, dass diese Forschungsarbeit zur Verbesserung des Physikunterrichts beitragen kann, und danken Ihnen im Voraus für Ihre Unterstützung.

Mit freundlichen Grüßen

Andreas Ferchländer, BEd
(im Auftrag von Dr. Clemens Nagel)

Dr. Clemens Nagel
Senior Lecturer
Experimentelle Grundausbildung und Hochschuldidaktik
Fakultät für Physik, Universität Wien
Porzellangasse 4, 1090 Wien
+43 1 4277 73605
+43 650 3931098
clemens.nagel@univie.ac.at

F Einverständniserklärung

Ich, (NAME) _____ , geb. am _____

Erziehungsberechtigte/r von _____

gestatte, dass o.g. mj. Person am Forschungsprojekt zur Evaluation von Unterricht zu
Messunsicherheiten teilnehmen darf.

(ORT, DATUM) _____

(UNTERSCHRIFT) _____

Ich, (NAME) _____ , geb. am _____

Erziehungsberechtigte/r von _____

gestatte, dass o.g. mj. Person am Forschungsprojekt zur Evaluation von Unterricht zu
Messunsicherheiten teilnehmen darf.

(ORT, DATUM) _____

(UNTERSCHRIFT) _____