

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Validierung und Verbesserung einer Unterrichtskonzeption zur Einführung von Messunsicherheiten über das Brückenkonzept der Vertrauenswürdigkeit in der SEK II

verfasst von | submitted by
Katharina Anger 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 199 504 523 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach Chemie Unterrichtsfach Physik

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von | Co-Supervisor:

Mag. Dr. Clemens Nagel

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne die Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle aus fremden Quellen – sei es wörtlich oder sinngemäß – übernommenen Inhalte sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt noch veröffentlicht.

Bad Deutsch-Altenburg, am 31.07.2025

Katharina Anger, BEd

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich herzlich bei meinem Betreuer Clemens Nagel für die fachliche Unterstützung, die wertvollen Anregungen sowie die zuvorkommende Begleitung während der Entstehung dieser Arbeit bedanken.

Ein großer Dank gilt auch allen Studienkolleg_innen, die bei der Forschung und deren Auswertung mitgewirkt haben. Danke an Jennifer und Paul für die Übernahme der Auswertung der Tests und Interviews und danke an Obi, Carina und Matthias für die tatkräftige Unterstützung beim Beobachten in den Schulen.

Ebenso danke ich dem AECC Physik für hilfreiche Anregungen und umfassende Verbesserungsvorschläge, die die Triangulationsinstrumente deutlich aufgewertet haben, sowie für das Zurverfügungstellen ihrer Räumlichkeiten für unsere Schulungszwecke.

Ganz besonders danken möchte ich Poschi, der während der intensiven Arbeitsphasen stets für mein leibliches Wohl gesorgt hat und mir mit Geduld und Verständnis zur Seite stand – ganz gleich, wie groß die Sorgen waren.

Ein spezieller Dank geht an Eva, die mich bei unzähligen Fragen angehört und mich mit Materialien, Ideen und Brainstormings jederzeit unterstützt hat.

Nicht zuletzt gilt mein tief empfundener Dank Andreas. Die Zusammenarbeit mit dir hat diese Masterarbeit in dieser Form erst möglich gemacht. Ob bei Brainstormings, LaTeX-Problemen, statistischen Auswertungen oder wenn ich einfach eine Zweitmeinung brauchte – auf dich war immer Verlass. Danke dafür.

Vielen Dank!

Abstract

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde das Unterrichtskonzept zu Messunsicherheiten für die Sekundarstufe II nach Bärenthaler-Pachner und Nagel optimiert und in einem weiteren Zyklus des Design-Based Research mit dem Brückenkonzept der Vertrauenswürdigkeit als zentrales domänenspezifisches Designprinzip auf seine Wirksamkeit hin untersucht. Ziel war es, sowohl das didaktische Material als auch die Erhebungsinstrumente der vorangegangenen Triangulationsstudie von Brasseur weiterzuentwickeln. Dazu wurden drei Perspektiven, jene der Lehrenden, Lernenden und Beobachtenden, mittels leitfragengestützter Interviews, eines überarbeiteten Beobachtungsbogens und standardisierter Tests erhoben und trianguliert. Grundlage der Analyse bildeten die fünf Lernziele und Key Ideas nach Bärenthaler-Pachner.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Verbesserung in der Vermittlung der zentralen Konzepte, mit Ausnahme des Lernziels fünf bzw. der Key Idea zwei, die sich auf die Unterscheidung zwischen Messunsicherheiten Typ A und Typ B beziehen. Dieses konnte in vier von fünf Klassen nicht durch die dafür entwickelte Lernaufgabe geschult werden, da deren Umsetzung ausblieb. Die übrigen Lernziele wurden erreicht, ebenso wie die Key Ideas.

Trotz methodischer Limitationen, wie einer kleinen Stichprobe und der teilweisen Voreingenommenheit der involvierten Lehrpersonen, liefert die Arbeit belastbare Hinweise auf die Wirksamkeit der überarbeiteten Materialien. Eine weitere Überarbeitung des Unterrichtskonzepts erscheint derzeit nicht notwendig. Für die abschließende Evaluation der neuen Lernaufgabe zu Lernziel fünf wird jedoch eine weiterführende Untersuchung empfohlen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Hintergrund und Motivation	6
1.2	Ziel und Forschungsfragen	6
2	Theoretischer Hintergrund	9
2.1	Design Based Research	9
2.2	Triangulation	10
3	Methodik - Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes	12
3.1	Unterrichtskonzept	12
4	Methodik - Triangulationsinstrumente	15
4.1	Beobachtungsbögen	15
4.1.1	Erste Überarbeitung	16
4.1.2	Expertendiskussion	17
4.1.3	Finale Version und Schulung	17
4.1.4	Qualitätssicherung	18
4.2	Leitfragengestütztes Interview	19
4.2.1	Erste Überarbeitung	19
4.2.2	Expertendiskussion	19
4.2.3	Qualitätssicherung	20
4.3	Tests	20
4.3.1	Qualitätssicherung	20
4.4	Stichprobe	21
5	Ergebnisse der Triangulation	22
5.1	Gewichtung	22
5.2	Auswertung der Beobachtungsbögen	23
5.3	Auswertung der Lehrer_inneninterviews	24
5.4	Auswertung der Tests	24
5.5	Triangulation	26
6	Interpretation der Triangulation und Diskussion	28
6.1	Nach Lernzielen	28
6.1.1	Erhebungsebenen	28
6.1.2	Triangulationsebene	29
6.2	Nach Key Ideas	30
7	Zusammenfassung und Fazit	31
7.1	Zusammenfassung	31
7.2	Fazit und Ausblick	31
A	Unterrichtskonzept SEK II	36
B	Leitfragengestütztes Lehrer_inneninterview	79
C	Beobachtungsbogen	88
D	Test	98
E	Informationen an die Erziehungsberechtigten	105
F	Einverständniserklärung	107

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Messungen sind ein fundamentaler Bestandteil unseres alltäglichen Lebens und prägen zahlreiche Entscheidungen und Handlungen. Ein dabei häufig vernachlässigter, aber didaktisch bedeutsamer Aspekt ist die Messunsicherheit. Obwohl sie für ein grundlegendes Verständnis empirischer Prozesse unerlässlich ist, wird das Thema im schulischen Physikunterricht meist nur am Rande behandelt. Dies zeigt auch eine Studie von Möhrke (Möhrke, 2020), in der 114 Physiklehrkräfte aus allgemeinbildenden Gymnasien in Baden-Württemberg befragt wurden. Die Ergebnisse belegen, dass dem Thema im Unterricht selten eigenständige Stunden gewidmet werden.

Gleichzeitig betont die Umfrage von Nagel, Lux und Steindl (Nagel et al., 2021), dass Lehrkräfte die Vermittlung von Messunsicherheiten für wichtig erachten. Als zentrale Hürden gelten vor allem Zeitmangel sowie das Fehlen didaktisch aufbereiteter Unterrichtsmaterialien und Konzepte in Schulbüchern. Dabei existieren bereits fundierte Ansätze, wie etwa die Arbeiten von Priemer (Priemer, 2022) und Hellwig (Hellwig, 2012), die sich explizit mit Messunsicherheiten im schulischen Kontext befassen.

Hannah Loidl (Neumann et al., 2021; Loidl, 2021; Loidl und Nagel, 2023) und Rupert Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022; Bärenthaler-Pachner und Nagel, 2024) versuchten unter Betreuung von Clemens Nagel dieses Angebot im Rahmen ihrer Masterarbeiten zu erweitern. Sie stützten sich dabei auf den Ansatz des Design-Based Research (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020; Bakker, 2019). Während Loidls Konzept die Sekundarstufe I adressiert, richtet sich das von Bärenthaler-Pachner entworfene Konzept an die Sekundarstufe II. Aufbauend darauf führten Eva Abl (Abl, 2024) sowie Sophie Brasseur (Brasseur, 2024) evaluierende Studien durch, um die langfristige Wirkung und Validität der Konzepte zu überprüfen. Unterstützt wurden sie dabei von den Teilnehmenden des Masterseminars zur E-Kompetenz (LV-Nr. 2023S 267005-1). Die Ergebnisse dieser Studien und insbesondere der Triangulation von Brasseur zeigen zwar eine positive Tendenz, insbesondere hinsichtlich der angestrebten „Key Ideas“, weisen jedoch für die Sekundarstufe II eine eingeschränkte Datenbasis auf, unter anderem durch einen Umsetzungsfehler in der Testphase. Das im nächsten Jahr darauffolgende Masterseminar zur E-Kompetenz (LV-Nr. 2024S 267005-1) führten die Studierenden Reflexionen zu den Unterrichtskonzepten durch und sammelten Verbesserungsvorschläge.

1.2 Ziel und Forschungsfragen

Vor diesem Hintergrund verfolgt die vorliegende Masterarbeit das Ziel, das bestehende Unterrichtskonzept zur Thematisierung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe II weiterzuentwickeln. Dabei werden insbesondere qualitative Rückmeldungen aus dem Masterseminar zur E-Kompetenz (LV-Nr. 2024S 267005-1), unter der Leitung von Clemens Nagel, berücksichtigt, in dem das Konzept erprobt und beobachtet wurde.

In einem zweiten Schritt soll das überarbeitete Konzept mithilfe einer weiterentwickelten Triangulationsstudie erneut evaluiert werden. Die Untersuchung fokussiert sich auf das Erreichen der definierten Lernziele sowie die Vermittlung zentraler Key Ideas durch Einschätzung des Lehrkörpers, externe Beobachtungen durch Masterstudierende und eine Überprüfung der Lernenden im Rahmen eines Tests. Eine Darstellung der vorangegangenen Arbeiten sowie das Ziel dieser Arbeit ist in Abbildung 1 zu sehen.

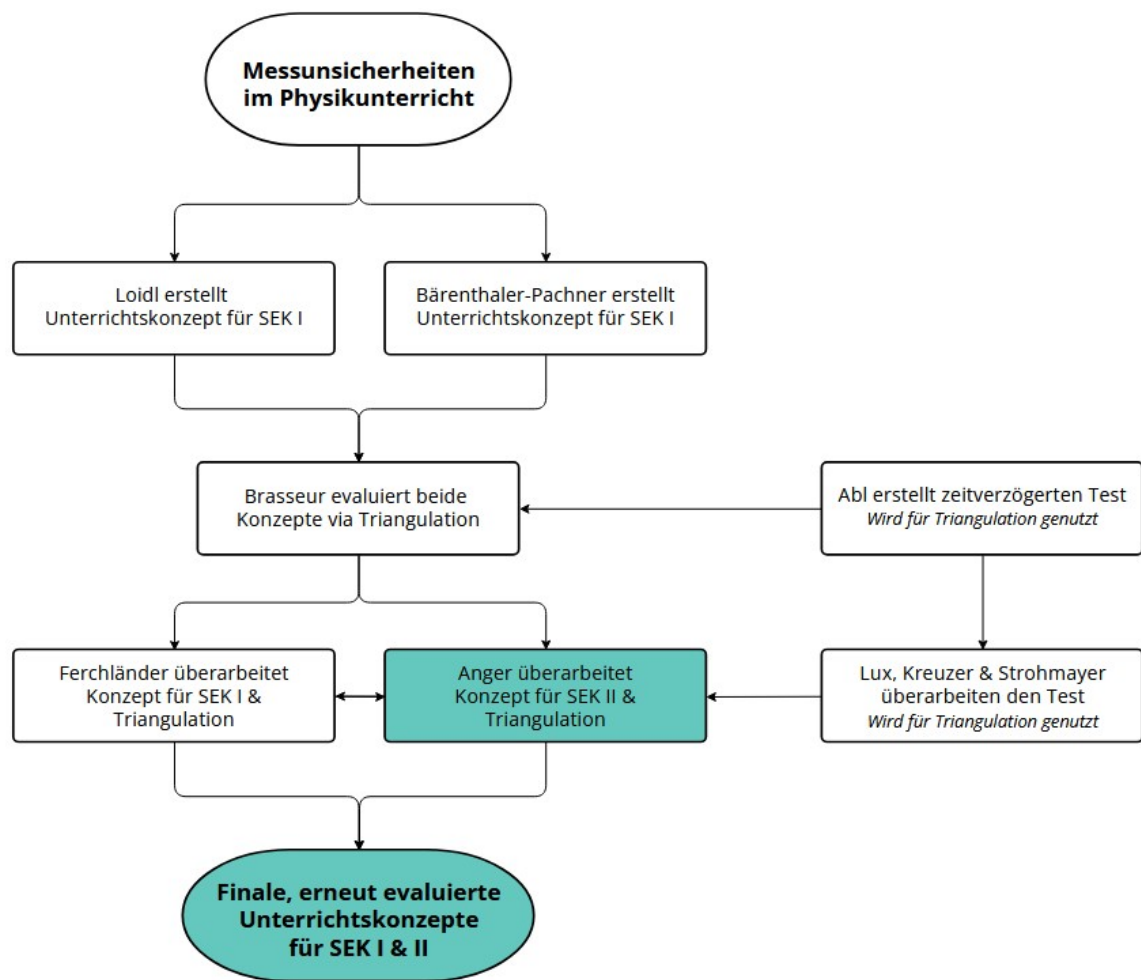


Abbildung 1: Eigene Darstellung: Überblick über die Entwicklung und Evaluation der Unterrichtskonzepte

Aus diesem Ziel ließen sich folgende Fragestellungen, in Anlehnung an die Strukturierung nach Bakker (Bakker, 2019) ableiten:

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 II einzuarbeiten?
2. Welche Verbesserungsmaßnahmen zu Beobachtungsleitfaden und Lehrer*innenbefragung für die Sekundarstufe II lassen sich aus Erkenntnis der Triangulation von Brasseur (Brasseur, 2024) ableiten?
3. Wie spiegelt sich die Optimierung des Unterrichtskonzepts für die Sekundarstufe II in den Rückmeldungen und Erfahrungen der Lehrenden und Beobachtenden wider und müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden?

Unterfragen:

- Welche Optimierungen müssen vorgenommen werden, um die Erkenntnisse der Triangulation von Brasseur (Brasseur, 2024) in das Unterrichtsmaterial für die Sekundarstufe II einzuarbeiten?

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

Die Unterfragen konkretisieren die übergeordneten Forschungsfragen und gliedern die geplanten Optimierungsschritte entlang der verschiedenen Erhebungsinstrumente. Eine Überarbeitung des Leistungstests erfolgt im Rahmen dieser Arbeit nicht, da diese bereits im Zuge einer Bachelorarbeit von Kommiliton_innen vorgenommen wurde.

Diese Arbeit soll sich nun der Beantwortung der Forschungsfragen widmen. Sie ist in enger Zusammenarbeit mit Andreas Ferchländer (Ferchländer, 2025) entstanden, der sich denselben Fragestellungen für das Unterrichtskonzept der Sekundarstufe I von Loidl (Loidl, 2021) widmet. Dazu werden die von Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022) definierten Lernziele und Key Ideas herangezogen:

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.

LZ6 ...können Einheiten von Messgrößen unterscheiden.

LZ7 ...können Einheiten entsprechenden Messgrößen richtig zuordnen.

Da das erweiterte Unterrichtskonzept für die Sekundarstufe II nicht im Unterricht erprobt wurde, sind die Lernziele LZ6 und LZ7 in der Übersicht der Lernziele zwar aufgeführt, werden jedoch im weiteren Verlauf weder näher analysiert noch in die Datenauswertung miteinbezogen.

KI1 Die einzelnen Messungen einer Messreihe sind meistens nicht ident. (Loidl, 2021)

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.

2 Theoretischer Hintergrund

Diese Masterarbeit stützt sich auf die Vorarbeiten von Loidl (Loidl, 2021), Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022) und Brasseur (Brasseur, 2024), die gemeinsam einen vollständigen Forschungszyklus im Sinne des Design-Based Research (DBR) durchlaufen haben. In diesen Arbeiten wurden Unterrichtskonzepte entwickelt, erprobt, überarbeitet und mithilfe der Methode der Triangulation evaluiert. Bei dieser Methode wird ein Untersuchungsaspekt aus verschiedenen Perspektiven betrachtet, um ein möglichst umfassendes Verständnis des Lernprozesses zu ermöglichen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird in der vorliegenden Arbeit ein neuer DBR-Zyklus initiiert, mit dem Ziel, das bestehende Unterrichtskonzept für die SEK II weiterzuentwickeln, empirisch zu fundieren und für den praktischen Einsatz im Unterricht nachhaltig zu optimieren.

Die theoretischen Grundlagen von Design-Based Research (Kapitel 2.1) sowie das methodische Vorgehen der Triangulation (Kapitel 2.2) werden in den folgenden Kapiteln ausführlich erläutert.

2.1 Design Based Research

Design-Based Research (DBR) ist ein Ansatz, der empirische Bildungsforschung mit theoriebasierter Gestaltung von Lernumgebungen verbindet, mit dem Ziel herauszufinden

“how, when, and why educational innovations work in practice” (Collective, 2003)

Im Gegensatz zu klassischen Ansätzen der Curriculum-Entwicklung, bei denen ein Curriculum zunächst theoretisch entworfen und anschließend verbreitet wird, verfolgt DBR einen zyklischen Prozess, bei dem Theorien und Unterrichtskonzepte parallel entwickelt werden und sich gegenseitig beeinflussen. Dabei wird zwischen zwei miteinander verflochtenen Zyklen unterschieden (vgl. Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020):

Entwicklungszyklus (Development Cycle, DC): Fokus auf die Entwicklung und Optimierung konkreter Lehr-Lern-Arrangements (Teaching and Learning Environments, TLEs) für den schulischen Einsatz, mit starker Einbindung von Lehrenden und Lernenden.

Forschungszyklus (Research Cycle, RC): Ziel ist die Generierung und Validierung lokaler Theorien über domänenspezifisches Lehren und Lernen sowie Designwissen, mit wissenschaftlicher Veröffentlichung.

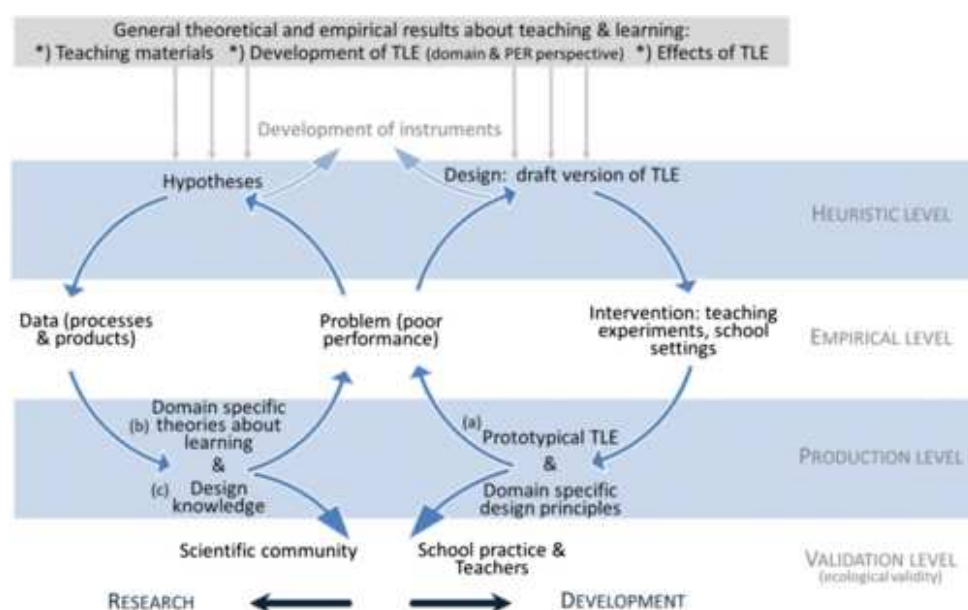


Abbildung 2: Parallele Kreisprozesse des DBR (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020)

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, durchlaufen beide Zyklen vier Prozessebenen:

- **Heuristische Ebene:** Vom Problem zur Hypothese (RC) bzw. zum ersten Entwurf des TLE (DC).
- **Empirische Ebene:** Von der Hypothese (RC) bzw. dem Erstentwurf (DC) zu Datenerhebung durch Umsetzung des TLEs (DC) und Forschung (RC).
- **Produktebene:** Von Daten (RC) bzw. Forschung (DC) zu Entwicklung von Theorien (RC) und Artefakten (DC)
- **Validierungsebene:** Von den Theorien (RC) bzw. den Artefakten (DC) zur wissenschaftliche Validierung (RC), sowie Prüfung und Anwendung in der Schule (DC)

Die Zyklen sind, wie zwei Seiten einer Medaille, eng miteinander verknüpft und werden mehrfach durchlaufen. Ergebnisse aus einem Zyklus beeinflussen direkt den anderen. Diese enge Verzahnung ist charakteristisch für den DBR-Ansatz.

In der Forschungsgruppe von Clemens Nagel wurde der Design-Based-Research-Zyklus (DBR) bereits vollständig durchlaufen. Ausgangspunkt war die Problemstellung, das Thema Messunsicherheiten in der Sekundarstufe I und II zielführend zu unterrichten. Im Rahmen ihrer Masterarbeiten entwickelten Hannah Loidl (Loidl und Nagel, 2023) und Rupert Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner und Nagel, 2024) erste Unterrichtskonzepte und führten die ersten drei Phasen des DBR-Zyklus durch: die Problemdefinition, die Entwicklung erster Prototypen sowie deren Erprobung und Überarbeitung auf Basis einschlägiger didaktischer Theorien. Die vierte Phase, die Evaluation und Validierung, wurde im Rahmen der Masterarbeit von Sophie Brasseur (Brasseur, 2024) durchgeführt. Hierfür wurde eine umfassende Triangulationsstudie mit etwa 380 Lernenden umgesetzt, um die Wirksamkeit der entwickelten Konzepte empirisch abzusichern.

Diese Masterarbeit, ebenfalls betreut von Clemens Nagel und in Zusammenarbeit mit Andreas Ferchländer, initiiert nun einen neuen Zyklus, da hervorging, dass nicht alle Lernziele ausreichend erreicht werden konnten. In diesem werden die Unterrichtskonzepte anhand der Erprobung durch Lehrpersonen und den Triangulationsergebnissen überarbeitet sowie mit einer erneuten, ebenfalls optimierten, Triangulation evaluiert. Demnach sollten die Unterrichtskonzepte sowohl für die Sekundarstufe I als auch für die Sekundarstufe II zwei vollständige Zyklen des DBR-Modells durchlaufen haben und sollten somit fundiert und einsatzbereit sein für die schulische Praxis.

2.2 Triangulation

Der Begriff Triangulation war vor bis zur ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ausschließlich in der Landvermessung anzufinden. Erst 1959 übertrugen Campbell und Fiske diesen Begriff erstmals sinngemäß auf die Methodendiskussion in den Sozialwissenschaften. In der empirischen Bildungsforschung wird er heute verwendet, um die Verknüpfung verschiedener Perspektiven zu beschreiben, mit dem Ziel, ein möglichst genaues Bild eines Untersuchungsgegenstandes zu gewinnen (H.-H. Krüger und Pfaff, 2008).

Die zentrale Idee der Triangulation ist es, durch kontrastierenden Vergleich unterschiedlicher Perspektiven neue Erkenntnisse zu gewinnen. Dabei können Übereinstimmungen ebenso wie Widersprüche oder Diskrepanzen zwischen Datenquellen erkannt werden – beides liefert wertvolle Hinweise zur Weiterentwicklung von Unterricht und didaktischen Konzepten. Die Vorteile einer Triangulation liegen laut Altrichter und Posch in (Altrichter et al., 2018):

- Einem „dichteren“, ausgewogeneren Bild einer Situation.
- Der Sichtbarmachung von Widersprüchen als Ausgangspunkt für tiefere Interpretationen.
- Der Durchbrechung der „Hierarchie der Glaubwürdigkeit“, da alle Perspektiven gleichwertig behandelt werden.

Laut Kelle bezeichnet Triangulation insbesondere die Verknüpfung qualitativer und quantitativer Methoden und Daten (Kelle, 2008):

„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).“

Dabei können qualitative und quantitative Phasen entweder nacheinander oder parallel ablaufen. In der vorliegenden Arbeit wurde ein paralleler Ablauf gewählt. Das bedeutet, dass qualitative und quantitative Daten zeitgleich erhoben und anschließend miteinander verglichen wurden (Flick, 2011). Die gewählten Methoden dafür sind:

- externe Beobachtung des Unterrichtskonzept durch Beobachtende.
- Leitfrageninterview mit den Lehrenden.
- Schriftliche Überprüfung der Lernenden.

Weiters unterscheidet Denzin vier Typen der Triangulation (vgl. Denzin, 2009):

- Daten-Triangulation (verschiedene Zeiten, Orte, Personen).
- Investigator-Triangulation (verschiedene Forschende).
- Theorien-Triangulation (unterschiedliche theoretische Perspektiven).
- Methoden-Triangulation (verschiedene Methoden).

Werden die in dieser Arbeit eingesetzten Methoden mit den Typen nach Denzin verglichen, so liegt hier eine Daten-Triangulation vor, bei der unterschiedliche Gruppen, Lernende, Lehrende und Beobachtende, zu verschiedenen Zeitpunkten und an verschiedenen Orten forschen oder beforscht werden.

3 Methodik - Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes

Sowohl die Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes von Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022), als auch die Optimierung der Triangulationsinstrumente von Brasseur (Brasseur, 2024) sind Teil dieser Arbeit. Ersteres soll in diesem Kapitel dargestellt werden, zweiteres findet sich im nachfolgenden Kapitel 4.

3.1 Unterrichtskonzept

Am Ende dieses Kapitels fasst die Übersichtstabelle 1 die in diesem Abschnitt beschriebenen Optimierungen zusammen.

Die erste Maßnahme im Rahmen der Überarbeitung des Unterrichtskonzeptes bestand in der Anpassung der fachsprachlichen Terminologie an die bundesdeutsche Notation sowie in der Vereinheitlichung des gestalterischen Layouts beider Konzepte für die Sekundarstufen I und II. Die ursprüngliche Version enthielt einzelne Begriffe, die nicht der in Deutschland gebräuchlichen Terminologie entsprachen. Dabei wurde sich an den Werken von Hellwig (Hellwig, 2012) und Priemer und Kok (Hrsg.) (Priemer und Kok, 2025) orientiert. So wurde beispielsweise im ursprünglichen Material von einer „Messunsicherheit Typ B“ sowie einem „systematischen Fehler“ gesprochen, während gemäß deutscher Notation die korrekten Begriffe „Unsicherheit Typ B“ bzw. „systematischer Effekt“ lauten. Die Neugestaltung des Designs wurde in enger Zusammenarbeit mit Andreas Ferchländer vollzogen. So wurde sich auf eine gleiche Reihung der theoretischen Kapitel, ein einheitliches Layout und zusätzliche kleine Anpassungen geeinigt.

Nach der ersten gestalterischen Überarbeitung erfolgte eine inhaltliche Optimierung des Unterrichtskonzeptes. Diese umfasste sowohl eigene Ergänzungen, die in einem Experteninterview (D. Krüger et al., 2014) mit Clemens Nagel besprochen wurden, als auch Änderungen, die auf Rückmeldungen aus einem Masterseminar zur E-Kompetenz unter der Leitung von Clemens Nagel basierten. Auch bei dieser Überarbeitung wurde konsequent darauf geachtet, die Konzepte für die Sekundarstufen I und II in Struktur und Gestaltung möglichst einheitlich zu halten. So wurde beispielsweise beiden Konzeptversionen eine Materialliste hinzugefügt, aus der ersichtlich wird, welche Arbeitsmittel in welcher Unterrichtseinheit benötigt werden. Darüber hinaus erfolgten kleinere Anpassungen in der Erläuterung zentraler Fachbegriffe. Es zeigte sich, dass insbesondere die Begriffe „wahrer Wert“ und „systematischer Effekt“ für eine gänzlich eigenständige Erarbeitung durch Schüler_innen nicht hinreichend erklärt waren und daher präzisiert werden mussten.

Im Rahmen der Rückmeldungen aus dem Masterseminar wurden zwei wesentliche Schwachstellen identifiziert: Zum einen wurden in den Lösungserwartungen zwei Rechenfehler festgestellt, zum anderen kritisierten mehrere Lehrpersonen, dass die Arbeitsblätter übermäßig viel ungenutzte Freifläche enthielten, was als ineffizient und ressourcenverschwendend wahrgenommen wurde. Infolgedessen wurden die fehlerhaften Lösungen korrigiert und das Seitenlayout überarbeitet. Durch eine kompaktere Gestaltung konnte der Umfang der Arbeitsblätter von ursprünglich 22 auf 15 Seiten reduziert werden.

In einer weiteren Diskussionsrunde, bestehend aus Clemens Nagel, Andreas Ferchländer und mir, wurde das Unterrichtskonzept auf Basis der Ergebnisse der Triangulationsstudie von Sophie Brasseur (Brasseur, 2024) hinsichtlich der Erreichung der formulierten Lernziele analysiert. Dabei zeigte sich, dass das fünfte Lernziel nicht erfolgreich vermittelt wurde. Der Abgleich mit dem Unterrichtsmaterial ergab, dass in den Arbeitsblättern keine Aufgabe enthalten war, die gezielt auf die Unterscheidung zwischen der Unsicherheit Typ A und Typ B eingeht – ein zentrales Element dieses Lernziels. Infolgedessen wurde beschlossen, eine spezifische Lernaufgabe zu entwickeln, die die Bearbeitung dieses Aspekts sicherstellen soll.

Da das Lehrkräftefeedback darauf hinwies, dass der zeitliche Umfang des Unterrichtskonzeptes für zwei Unterrichtseinheiten knapp bemessen sei, konnte das neue Material nicht ohne Kürzungen ergänzt werden. Um die Länge des Konzeptes von zwei Unterrichtsstunden beizubehalten, wurde die Diskussion, die als thematischer Einstieg dient, aber keinem spezifischen Lernziel zu-

geordnet ist, als optional gekennzeichnet. Auf diese Weise können Lehrkräfte bei Bedarf Zeit sparen, ohne relevante inhaltliche Schwerpunkte zu vernachlässigen.

Die Konzeption der neuen Lernaufgabe orientierte sich an den fachdidaktischen Leitlinien zur Gestaltung von Lernaufgaben im Physikunterricht (Hopf et al., 2022). Zur Kontextualisierung wurde gemeinsam mit Eva Abl – einem ehemaligen Mitglied der Forschungsgruppe – ein Brainstorming durchgeführt. Beim Formulieren der Aufgabe wurde außerdem entschieden, den gewählten Kontext zu nutzen, um zusätzlich den Unterschied zwischen systematischen Effekten und Messfehlern zu thematisieren. Mit der Einbindung dieser neuen Lernaufgabe sowie der Kennzeichnung des Einstiegs als optional wurden auch die Detailplanung und die Vorstellung des Unterrichtskonzeptes entsprechend überarbeitet.

Zusätzlich wurde vorgeschlagen, eine fachliche Klärung für Lehrpersonen in das Material aufzunehmen, um insbesondere fachfremden oder weniger vertrauten Lehrkräften einen einfacheren Zugang zum Thema zu ermöglichen. Diese Ergänzung umfasst ein Glossar mit zentralen Fachbegriffen, typischen Vorstellungen von Schüler_innen zum Thema sowie Tipps und Tricks zur Umsetzung des Konzepts. Die Erweiterung wurde in beide Versionen des Unterrichtskonzepts, für die Sekundarstufen I und II, übernommen.

Nach der Triangulationsphase zeigten sich zwei kleinere Aspekte, die im Rahmen einer abschließenden Optimierung des Unterrichtskonzepts angepasst wurden. Zum einen wurde von zwei Lehrpersonen angemerkt, dass eine fortlaufende Nummerierung der Arbeitsblätter, beginnend bei eins, die Handhabung erleichtern würde. Zum anderen fiel sowohl den Beobachtenden als auch den Lehrpersonen auf, dass einige Schüler_innen die Aufgabenstellung zur Herstellung des Messgeräts missverstanden und die zwölf Teilstücke mithilfe eines Geodreiecks abmaßen, anstatt sie, wie vorgesehen, zu falten. Infolgedessen wurde die Anleitung zum Falten präziser formuliert und die Arbeitsblätter fortlaufend mit „AB 1“ beginnend, beziehungsweise das Zusatzmaterial für Lehrpersonen mit „ZM 1“ beginnend, nummeriert.

Die finale Version des Unterrichtskonzeptes ist im Anhang A zu finden.

Problemstellung	Lösung	Forschungsprozess
Unterschiedliches Design der Konzepte für Sek I und Sek II	Einheitliches LaTeX-Design für beide Konzepte;	Während erster Vereinheitlichung
Andere Fachbegriffe als in deutscher Fachliteratur	Anpassung der Terminologie	Während erster Vereinheitlichung
Fehlende Übersicht der Materialien und wann diese zum Einsatz kommen	Hinzufügen einer Materialenliste	Nach Experteninterview mit Clemens Nagel
Nicht ausreichend definierte Fachbegriffe	Ergänzung von konkreten Definitionen	Nach Experteninterview mit Clemens Nagel
Fehler in den Lösungserwartungen	Ausbessern der Fehler	Basierend auf Rückmeldungen der Teilnehmer_innen des Masterseminars zur E-Kompetenz (LV-Nr. 2024S 267005-1)
Ressourcenverschwendende Arbeitsblätter (viel ungenutzte, freie Fläche)	Kürzen der Arbeitsblätter von 22 auf 15 Seiten	Basierend auf Rückmeldungen der Teilnehmer_innen des Masterseminars zur E-Kompetenz (LV-Nr. 2024S 267005-1)
Unterscheidungsfähigkeit der Schüler_innen bzgl. Unsicherheiten Typ A und Typ B als nicht ausreichend befunden	Erstellen einer neuen Lernaufgabe, die diese Kompetenz schult	Nach erneuter Diskussionsrunde mit Clemens Nagel mitsamt Vergleich der vorhergehenden Triangulation (Brasseur, 2024)
Länge des Unterrichtskonzeptes nicht mit neuer Lernaufgabe kompatibel	Optionalisierung der Diskussion zum Einsteig des Themas	Nach erneuter Diskussionsrunde mit Clemens Nagel mitsamt Vergleich der vorhergehenden Triangulation (Brasseur, 2024)
Fehlende fachliche Übersicht über das Thema für Lehrpersonen	Ergänzung der fachlichen Klärung, des Glossars und der Tipps & Tricks	Nach erneuter Diskussionsrunde mit Clemens Nagel mitsamt Vergleich der vorhergehenden Triangulation (Brasseur, 2024)
Kritik an nicht fortlaufenden Seitenzahlen auf den Arbeitsblättern	Seitenzahlen für Arbeitsblätter beginnend mit „AB 1“, Zusatzmaterialien mit „ZM 1“	Nach Auswertung der Triangulation
Oftmalige falsche Umsetzung der Herstellung des Messgerätes	Konkretere Formulierung der Faltanleitung	Nach Auswertung der Triangulation

Tabelle 1: Übersicht der Optimierungsschritte

4 Methodik - Triangulationsinstrumente

Wie in Kapitel 2.2 erläutert, fließen in die Triangulation insgesamt drei Perspektiven ein: jene der Lehrenden, der Lernenden sowie der Beobachtenden. Zur Erfassung dieser Perspektiven werden drei methodische Instrumente herangezogen: Beobachtungsbögen (Kapitel 4.1), ein leitfadengestütztes Lehrer_inneninterview (Kapitel 4.2) sowie schriftliche Tests (Kapitel 4.3), ersichtlich in Abbildung 3.

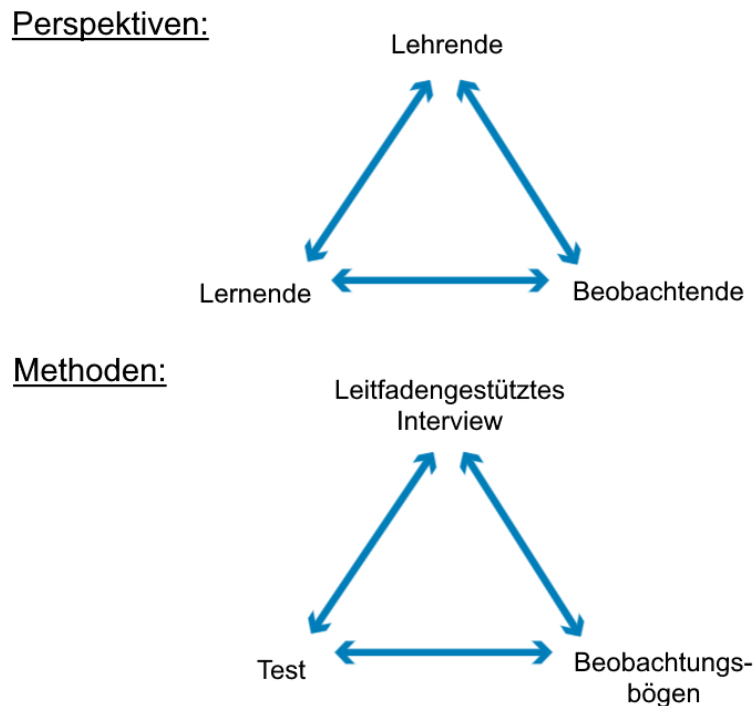


Abbildung 3: Eigene Darstellung: Triangulationsperspektiven und -methoden

Diese Instrumente wurden bereits in der vorangegangenen Triangulationsstudie von Sophie Brasseur (Brasseur, 2024) eingesetzt, zeigten jedoch in der praktischen Umsetzung Optimierungspotenzial. Im Rahmen dieser Masterarbeit und der Masterarbeit von Andreas Ferchländer wurden die Instrumente daher überarbeitet und weiterentwickelt. Der genaue Verlauf dieser Überarbeitungen wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

4.1 Beobachtungsbögen

Sowohl Loidl als auch Bärenthaler-Pachner testeten ihre entwickelten Unterrichtskonzepte empirisch und erstellten hierfür eigene Kategoriensysteme. Die Kategorien wurden teils deduktiv, teils induktiv während der Datenauswertung gebildet. Die jeweiligen Kategoriensysteme sind in den Arbeiten von Loidl (Loidl, 2021) und Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022) dokumentiert.

Um die Aktivitäten der Lernenden beim Unterrichten der Konzepte von Loidl und Bärenthaler-Pachner untersuchen zu können, entwickelte Brasseur (Brasseur, 2024) ein einheitliches Beobachtungsinstrument. Grundlage dafür bildete ein Vergleich und eine Zusammenführung der bestehenden Kategorien beider Konzepte. Die Kategorien des Beobachtungsleitfadens sind in drei übergeordnete Bereiche gegliedert: Arbeitsstrategien, Denkprozesse und keine Zielerreichung.

Um eine einheitliche Anwendung durch alle beobachtenden Personen zu gewährleisten, wurde jeder Kategorie eine Lesart hinzugefügt. Diese beschreibt die der Kategorie zugeordnete operationalisierte Handlung und sorgt für eine eindeutige Interpretation der Kategorien. Im Zentrum

des Beobachtungsleitfadens stehen die Operatoren, also die beobachtbaren Handlungen der Lernenden. Für jede Kategorie wurden mehrere mögliche Operatoren definiert, die als Indikatoren für das jeweilige Verhalten dienen.

Der Beobachtungsleitfaden kam bereits erfolgreich in der Triangulationsstudie von Brasseur zum Einsatz, offenbarte dabei jedoch einige Schwächen im praktischen Einsatz und der Aussagekraft. Um eine höhere Zuverlässigkeit und eine bessere Handhabung zu gewährleisten, wurde der Leitfaden im Rahmen dieser Masterarbeit überarbeitet und weiterentwickelt. Die finale Version des Beobachtungsbogens findet sich in Anhang C.

4.1.1 Erste Überarbeitung

Für die Überarbeitung der Beobachtungsbögen wurden in erster Linie Rückmeldungen aus dem Masterseminar zur E-Kompetenz unter der Leitung von Clemens Nagel sowie eigene Erfahrungen im Umgang mit dem Leitfaden herangezogen. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Handhabung des ursprünglichen Bogens von den Beobachtenden als unnötig kompliziert wahrgenommen wurde. So wurde etwa bemängelt, dass sich die Kategorien über mehrere Seiten verteilten und die Vielzahl an unübersichtlichen Kästchen das schnelle Eintragen von Beobachtungen erschwerte. Darüber hinaus war das Anfertigen von Notizen bei der Beobachtung mehrerer Gruppen kaum praktikabel, da für jede Gruppe mehrere Operatoren abgeglichen und dokumentiert werden mussten. Der vorhandene Platz für Notizen wurde ebenfalls als unzureichend bewertet.

Ziel der ersten Überarbeitung war daher eine Vereinfachung und bessere Strukturierung des Bogens. Das Layout wurde grundlegend angepasst: Um den Zeitaufwand beim Ausfüllen zu reduzieren, wurden die möglichen Operatoren mit kreisförmigen Ankreuzfeldern versehen. Der dadurch gewonnene Platz wurde zur Erweiterung des Notizbereichs genutzt. Zusätzlich wurde eine Spalte mit dem Buchstaben „F“ (für „Fehler“) eingeführt, die durch einfaches Ankreuzen gekennzeichnet werden kann, falls den Gruppen eine fehlerhafte Schlussfolgerung unterlaufen sollte. Die genaue Beschreibung des jeweiligen Fehlers erfolgt weiterhin auf der letzten Seite des Bogens.

Ein weiterer Schritt der Überarbeitung betraf die inhaltliche Strukturierung der Kategorien. Zunächst wurde geprüft, ob alle Kategorien in direktem Bezug zu den formulierten Lernzielen stehen. Ein Abgleich mit den Daten aus der Triangulationsstudie von Sophie Brasseur ergab, dass die Kategorie 1.4 „Ausprobieren und Optimieren“ keinem Lernziel oder keiner Key Idea eindeutig zugeordnet werden konnte. Diese Kategorie wurde daher entfernt, um den Fokus der Beobachtung stärker auf lernzielrelevante Aspekte zu lenken. Durch diese Reduktion war es möglich, jede der drei Hauptkategorien auf einer eigenen Seite unterzubringen: So befand sich die erste Kategorie „Arbeitsstrategien“ auf der ersten Seite, die zweite Kategorie „Denkprozesse“ auf der zweiten Seite und die dritte Kategorie „Keine Zielerreichung“ auf der letzten Seite. Zwar wurde der Platz für Letztere dadurch eingeschränkt, eine Auswertung der Beobachtungsbögen aus dem Masterseminar zur E-Kompetenz aus dem Sommersemester 2023 ergab jedoch, dass pro Bereich durchschnittlich nur 1.5 Sätze verfasst wurden. Daher wurde es als vertretbar erachtet, diesen Bereich zugunsten der Übersichtlichkeit zu kürzen.

Zu guter Letzt wurde die Auswahl und Differenzierung der Operatoren geprüft. Hierbei sollte zusätzlich eine genauere Unterscheidung der Beobachtungsbögen für die Sekundarstufen I und II erfolgen. Der Abgleich mit den Beobachtungsdaten von Brasseur zeigte, dass bestimmte Operatoren ausschließlich in der Sekundarstufe II beobachtet wurden. Entsprechend wurden jene Operatoren aus dem Bogen für die Sekundarstufe I entfernt, die dort nicht ein einziges Mal beobachtet wurden. Umgekehrt wurde der Bogen für die Sekundarstufe II um relevante Operatoren ergänzt, die in der Auswertung der Beobachtungsbögen zusätzlich identifiziert wurden.

Darüber hinaus wurde ein deutliches Ungleichgewicht in der Häufigkeit bestimmter Operatoren innerhalb der Sekundarstufe II festgestellt. Beispielsweise wurden die Operatoren „beurteilen“ und „begründen“ in der Kategorie 1.3 „Vertrauenswürdigkeit beurteilen“ in zehn bzw. neun von zehn Fällen beobachtet, während der Operator „diskutieren“ derselben Kategorie nur ein einziges Mal zur Anwendung kam. Um den Fokus der Beobachtung auf besonders lernzielrele-

vante Operatoren zu lenken, wurden jene mit geringer Auftretenshäufigkeit durch kursive Schrift als selten gekennzeichnet. Als Schwellenwert wurde ein Anteil von höchstens einem Sechstel ($\leq 16\%$) festgelegt. Dies entspricht einer statistischen Beobachtung in einem von insgesamt sechs Fällen, basierend auf zwei Durchführungen des Unterrichtskonzepts mit jeweils drei beobachteten Gruppen.

4.1.2 Expertendiskussion

Die erste Überarbeitung der Beobachtungsbögen sowie des Lehrer_inneninterviews wurde am 17.12.2024 im Rahmen einer Präsentation einer Expertengruppe des AECC Physik vorgestellt. Ziel der Präsentation war es, die vorgenommenen Änderungen am Beobachtungsbogen transparent darzulegen, Rückmeldungen zu bekommen und potenzielle weitere Verbesserungsvorschläge einzuholen. Im Anschluss an die Präsentation entwickelte sich eine etwa 30-minütige Diskussion, aus der sich fünf zentrale Aspekte herauskristallisierten, die in die weitere Überarbeitung einfließen.

Zunächst wurde empfohlen, das Wording an einzelnen Stellen des Beobachtungsbogens zu überarbeiten. So sollte beispielsweise der Begriff „Kategorie“ durch „Arbeitsschritt“ ersetzt werden, um eine klarere Zuordnung zur Unterrichtspraxis zu ermöglichen. Diese Änderungen wurden entsprechend umgesetzt.

Ein weiterer Punkt betraf den Operator „Diskutieren“. Die Expertengruppe schlug vor, künftig zwischen kurzen und langen Diskussionen zu differenzieren. Die Begründung dazu war, dass sowohl kurze Diskussionen sehr gewinnbringend als auch lange Diskussionen ohne Zielführung sein können und dies die Nachvollziehbarkeit der Beobachtungsbögen erhöhen würde. Um dies umzusetzen, wurde der entsprechende Operator mit den Auswahlmöglichkeiten „kurz“ und „lang“ ergänzt.

Ebenso wurde angemerkt, dass es eine Überlegung wert wäre, ob drei Gruppen beobachtet werden sollten oder ob hier nicht Qualität über Quantität gehen sollte. Nach der Expertendiskussion wurde entschieden, es auf zwei Gruppen zu reduzieren, dafür zwei Beobachter pro Klasse einzusetzen. Die entsprechende Spalte der dritten Gruppe wurde somit aus dem Beobachtungsbogen entfernt.

Zur Erhöhung der Reliabilität und Validität der Beobachtungen wurde darüber hinaus empfohlen, eine Schulung der Beobachtenden vorzusehen. Diese soll auf Grundlage videografierten Unterrichtsdurchführungen an der Universität erfolgen und gezielt auf die Anwendung des Beobachtungsbogens vorbereiten. Der konkrete Ablauf dieser Maßnahme wird in Kapitel 4.1.4 ausführlich beschrieben.

Ein weiterer Aspekt, der in der Diskussion thematisiert wurde, betraf ebenfalls die Schulung der Beobachtenden. Es wurde angeregt, den Beobachtungsbogen so zu gestalten, dass ersichtlich wird, in welchen Phasen des Unterrichts bestimmte Operatoren typischerweise zu erwarten sind, um die Aufmerksamkeit zielgerichteter zu lenken. Für den Beobachtungsbogen der Sekundarstufe I wurde auf eine solche Ergänzung verzichtet, da die Operatoren des ersten Arbeitsschritts überwiegend in der ersten, jene des zweiten Arbeitsschritts in der zweiten Unterrichtsstunde zu erwarten sind – die zeitliche Struktur des Konzepts ist hier also weitgehend selbsterklärend. Im Fall der Sekundarstufe II hingegen wurde in der Spalte „Leseart“ jeweils in Klammern angegeben, in welchen Abschnitten des Unterrichtskonzepts die jeweiligen Operatoren voraussichtlich auftreten. Diese Ergänzung soll insbesondere im Rahmen von Schulungen zur besseren Orientierung beitragen und die Anwendung des Beobachtungsinstruments unterstützen.

4.1.3 Finale Version und Schulung

Im finalen Überarbeitungsschritt wurden die Rückmeldungen aus der Expertendiskussion herangezogen, um abschließende Anpassungen vorzunehmen und ein Schulungskonzept für die Anwendung des Beobachtungsleitfadens zu entwickeln.

Zur Fokussierung auf lernzielrelevante Operatoren wurden selten beobachtete Operatoren durch kursive Kennzeichnung hervorgehoben, sowie um zusätzliche Hinweise ergänzt, in welchen Abschnitten des Unterrichtskonzepts bestimmte Operatoren typischerweise auftreten. Diese Maßnahmen sind ausführlich in den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 beschrieben.

Die Anleitung zum Beobachtungsbogen gliedert sich in drei Abschnitte: Der erste Teil enthält allgemeine Hinweise zum Beobachtungsverhalten (Baur und Blasius, 2022), der zweite erläutert den Aufbau und die Anwendung des Bogens, und der dritte bietet einheitliche Abkürzungen zur effizienteren Dokumentation während der Beobachtung.

Zur besseren Einordnung der Operatoren wurde eine Liste mit konkreten Beispielsituationen aus der Praxis erstellt. Für jeden Operator wurde eine passende Szene aus der Triangulationsstudie von Sophie Brasseur (Sekundarstufe I, II oder beide) ausgewählt und beschrieben.

Ergänzend dazu wurde eine Schulung in Form von Videobeispielen entwickelt, um die korrekte Anwendung des Beobachtungsbogens zu trainieren. Grundlage dafür war eine Unterrichtsdurchführung des Konzeptes der Sekundarstufe I durch Andreas Ferchländer in den Räumlichkeiten des AECC Physik, die videografiert wurde. Selbstverständlich wurden die Erziehungsberechtigten der teilnehmenden Schüler_innen darüber informiert und ihre Erlaubnis eingeholt. Die Elterninformation ist in Anhang E und die Einverständniserklärung in Anhang F zu finden. Aus dem Material wurden Schulungseinheiten, in denen typische Beobachtungssituationen gezeigt und analysiert wurden, erstellt. Die Beispiele der Schulung folgten in der Regel demselben Aufbau: Zunächst wurde eine Unterrichtsszene einer Schüler_innengruppe gezeigt, wobei erläutert wurde, welche Notizen in dieser Situation auf dem Beobachtungsbogen zu machen wären. Anschließend wurde eine vergleichbare Szene einer zweiten Gruppe gezeigt, zu der die Beobachtenden selbst angeben sollten, welche Eintragungen sie vorgenommen hätten.

Das erste Beispiel diente dem Ziel, das korrekte Erkennen eines Operators zu schulen. Dazu wurden zwei Situationen von rechnenden Schüler_innen gezeigt, bei denen es um die Identifikation der passenden Operatoren ging. Die zweite Aufgabe widmete sich der Unterscheidung zwischen den Operatoren „begründen“ und „beurteilen“, da diese in der Praxis oft schwer voneinander abzugrenzen sind. In den gezeigten Szenen gaben die Schüler_innen keine validen Begründungen für ihre Einschätzungen zur Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse an, sie beurteilten diese lediglich. Das dritte Beispiel thematisierte den Umgang mit Fehlern. In der dargestellten Situation verstieß ein Schüler gegen die Regeln des Experiments und wurde daraufhin lautstark von seiner Gruppe darauf hingewiesen. Entsprechend war sowohl der Operator als auch das „Fehlverhalten“ anzukreuzen. In den Notizen sollte vermerkt werden, was genau vorgefallen war und dass die Korrektur innerhalb der Gruppe erfolgte. Die vierte Aufgabe zeigte Beispiele für Handlungen ohne klar erkennbares Ziel. Hier sollte den Beobachtenden vermittelt werden, dass nicht jede kurze, vom Thema abweichende Unterhaltung dokumentiert werden muss. Stattdessen sollten nur gravierende Störungen oder länger andauernde Phasen der Inaktivität festgehalten werden. Im fünften Beispiel sollten zwei unterschiedliche Situationen jeweils einer passenden Kategorie zugeordnet werden. In beiden Fällen war der Operator „interpretieren“ zutreffend; einmal in der Kategorie „Messunsicherheiten diskutieren“, einmal unter „Genauigkeit des Messgeräts“. Abschließend wurde noch eine Szene gezeigt, die nicht über die Operatorenstruktur, sondern im Bereich der allgemeinen Notizen festgehalten werden sollte. Ziel war es, das Bewusstsein der Beobachtenden für ergänzungswürdige Beobachtungen zu schärfen, die sich nicht eindeutig einer Kategorie zuordnen lassen, aber dennoch relevante Informationen über das Unterrichtsgeschehen liefern.

Die Beobachtungsbögen, inklusive Praxisbeispielen und Link zum Schulungsvideo, sind in Anhang C einsehbar.

4.1.4 Qualitätssicherung

Um eine hohe Reliabilität und Validität der Beobachtungen sicherzustellen, wurden im Rahmen der Qualitätssicherung mehrere Maßnahmen umgesetzt: strukturelle Anpassungen des Beobachtungsbogens, Verfassen einer Anleitung, Aufschlüsselung von Beispielen aus der Praxis und

Erstellen einer Schulung.

Diese Maßnahmen zur Qualitätssicherung kamen im Masterseminar zur E-Kompetenz unter der Leitung von Clemens Nagel im Sommersemester 2025 zum Einsatz. Die Teilnehmenden wurden gezielt auf die Beobachtung der Unterrichtseinheiten der Sekundarstufe I vorbereitet. Die Beobachtungen in der Sekundarstufe II übernahmen Carina Schuch, Andreas Ferchländer und ich. Carina Schuch, ebenfalls Teilnehmerin des Seminars, erhielt ergänzende Informationen zur spezifischen Handhabung des Beobachtungsbogens der Sekundarstufe II.

4.2 Leitfragengestütztes Interview

In den nachstehenden Kapiteln werden die Überarbeitungsschritte kurz zusammengefasst dargestellt. Eine genauere Ausführung ist in der Arbeit von Andreas Ferchländer (Ferchländer, 2025) nachzulesen. Der finale Interviewfragebogen ist in Anhang B zu finden.

Als Grundlage für das Lehrer_inneninterview dient die Arbeit von Brasseur (Brasseur, 2024), die einen Online-Fragebogen einsetzte. Dabei kam es zu zwei zentralen Problemen. Zum einen wurden bei der Auswahl mehrerer Klassen frühere Eingaben überschrieben, was zu Datenverlust führte, zum anderen wurden die Key Ideas der Sekundarstufen I und II verwechselt. Um solche Fehler zu vermeiden, wird in dieser Arbeit der Fragebogen durch ein leitfadengestütztes Interview ersetzt. Das Interview verhindert nicht nur technische Fehler, sondern bietet weitere Vorteile: Lehrpersonen können gezielt auf Unterrichtsmaterial verweisen, Rückfragen sind möglich und die persönliche Gesprächssituation schafft eine wertschätzende Atmosphäre.

4.2.1 Erste Überarbeitung

Für das Lehrer_inneninterview wurde ein stark leitfragengeführter Stil gewählt, um Vergleichbarkeit zwischen den Antworten herzustellen und eine klare Struktur sicherzustellen. Der Interviewbogen basiert auf bereits erprobten Fragen (Brasseur, 2024), wurde jedoch überarbeitet und an das Interviewformat angepasst. Eine kurze Einführung informiert über das Thema, sichert Anonymität zu und holt die Zustimmung zur Aufzeichnung ein.

Vor dem Interview füllen die Lehrpersonen einen kurzen Fragebogen zu ihrer Person und Schule aus, damit sich das Interview auf die Inhalte des Unterrichtskonzepts konzentrieren kann. Die Struktur des Interviewleitfadens folgt dem Modell von Krüger und Parchmann (D. Krüger et al., 2014) mit drei Spalten: Interviewfragen (erzählenregend), erwartbare Antworten (zur Orientierung und Nachsteuerung) und hilfreiche Hinweise (z.B. Materialhinweise, Nachfragen oder Überspringen bei Redundanz).

Der Interviewbogen ist für beide Sekundarstufen einsetzbar. Für Fragen zu Lernzielen und Key Ideas erhalten die Lehrpersonen einen Zettel mit den jeweils relevanten Informationen, sowie ihr individuelles Unterrichtskonzept, um gezielt darauf Bezug nehmen zu können. Besondere Sorgfalt wurde darauf gelegt, Verwechslungen der Sekundarstufen zu vermeiden. Fragen 4 und 5 werden für jede Klasse einzeln beantwortet, die restlichen Fragen beziehen sich allgemein auf das Thema Messunsicherheiten. Am Ende des Bogens ist Platz für Notizen vorgesehen, und der Bogen wurde so gestaltet, dass ein doppelseitiger Druck problemlos möglich ist.

4.2.2 Expertendiskussion

Am 17.12.2024 wurde der überarbeitete Leitfragenbogen im Rahmen einer Präsentation einer Expertengruppe des AECC Physik vorgestellt. Ziel war es, durch externe Fachmeinungen praxisnahe Rückmeldungen und neue Perspektiven zu erhalten, um mögliche Betriebsblindheiten zu vermeiden (vgl. Bogner, 2002, Liebold und Trinczek, 2009). Zwei zentrale Diskussionspunkte waren, ob der Leitfaden auch für Außenstehende verständlich ist, und ob die Frage „Gibt es bestimmte Gründe, wieso Sie es nicht versucht haben?“ wertfrei formuliert ist.

Die Expertengruppe bestätigte die Verständlichkeit des Leitfadens sowie die Neutralität der genannten Frage. Eine Überarbeitung wurde nicht empfohlen.

4.2.3 Qualitätssicherung

Zur Sicherstellung von Reliabilität und Validität wurden verschiedene qualitätssichernde Maßnahmen umgesetzt, basierend auf den Gütekriterien nach Mayring (vgl. D. Krüger et al., 2014):

- Verfahrensdokumentation: Die Erhebung, Aufbereitung und Auswertung der Daten wird nachvollziehbar dargestellt (vgl. Kapitel 5.3 und 6).
- Datendokumentation: Alle Interviews wurden audioaufgezeichnet, um die Daten verlässlich erfassen zu können. Eine Einverständniserklärung wurde zuvor eingeholt.
- Mitwirkung der Proband_innen: Lehrpersonen wurden im Vorfeld über Ablauf und Interview informiert, das freiwillig und auch online möglich war. Die Fragen wurden alltagsnah formuliert.
- Interne Triangulation: Das Thema Messunsicherheiten wurde aus verschiedenen Perspektiven behandelt, um die Zielerreichung umfassend zu erfassen. Fragen wie Nr. 11 und 13 ermöglichen dabei tiefere Einblicke.

Zusätzlich wurde die interviewführende Person geschult, um den Leitfaden korrekt anzuwenden und die Gütekriterien während der Interviews zu berücksichtigen.

4.3 Tests

Der Test stellt ein zentrales Element der Triangulation dar und dient der Erfassung des Lernzuwachses sowie der Vermittlung der Lernziele und Key Ideas. Er wurde von Eva Abl (Abl, 2024) im Rahmen ihrer Masterarbeit bei Clemens Nagel (Nagel, 2025) erstellt. Eine inhaltliche Überarbeitung dieses Instruments erfolgte im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht, da diese Aufgabe bereits durch Kreuzer, Lux und Strohmayer im Zuge einer begleitenden Bachelorarbeit, innerhalb der Forschungsgruppe von Clemens Nagel (Nagel und Holmes, 2025), durchgeführt wurde. Der überarbeitete Test liegt somit in validierter Form vor, zu sehen in Anhang D, und wird in der Triangulation unverändert eingesetzt.

4.3.1 Qualitätssicherung

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde zur Überprüfung der Kategoriensystem-Zuverlässigkeit die Inter-coder-Reliabilität berechnet. Da bei jeder Antwort mehrere Kategorien gleichzeitig vergeben werden konnten, wurde ein kategorienweises Cohen's Kappa verwendet. Ein klassisches Cohen's Kappa wäre in diesem Fall nicht geeignet gewesen.

Zur Berechnung wurde eine Stichprobe von 31 Tests ausgewählt. Bei einer Gesamtzahl von 200 Tests (Sekundarstufe I und II) entspricht dies einem Anteil von 15,5%, was im empfohlenen Bereich laut O'Connor und Joffe (O'Connor und Joffe, 2020) liegt. Die Stichproben wurden unabhängig von zwei Rater_innen kategorisiert (Cohen, 1960, O'Connor und Joffe, 2020).

Das Cohen's Kappa κ berechnet sich dabei wie folgt:

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

Dabei bezeichnet p_o die beobachtete Übereinstimmung und p_e die erwartete Übereinstimmung. Die beobachtete Übereinstimmung p_o wird als der Anteil der Fälle berechnet, bei denen beide Rater_innen entweder eine Kategorie zugeordnet oder nicht zugeordnet haben. Die erwartete Übereinstimmung ergibt sich aus:

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

Wobei $p_{1=1}$ die Wahrscheinlichkeit, dass der/die erste Rater_in diese Kategorie zuordnet bzw. bei $p_{1=0}$ diese nicht zuordnet, ist. Dies erfolgt analog für den/die zweite_n Ratende_n.

Die Standardabweichung des Kappa-Werts berechnet sich nach Formel 3, wobei n die Anzahl der Tests ist, die von beiden Rater_innen ausgewertet wurden.

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

In Tabelle 2 sind die berechneten Kappa-Werte für alle relevanten Kategorien dargestellt. Kategorien, die, wie in Tabelle 10 ersichtlich, zu selten vergeben wurden, um ein zuverlässiges Kappa zu berechnen, wurden ausgelassen.

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

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

Zur Interpretation der Kappa-Werte wird auf die Einteilung von Landis und Koch (Landis und Koch, 1977) zurückgegriffen, wie in Tabelle 3 dargestellt. Dabei fällt insbesondere die Kategorie 2.3 bei Aufgabe 6a auf, da hier das Maß der Übereinstimmung gemäß der Skala von Landis und Koch lediglich als „moderat“ einzuordnen ist. Eine Begründung dafür lässt sich aus den Daten nicht ableiten.

Im Gegensatz dazu weisen die übrigen Kategorien „substantielle“ bis „fast perfekte“ Übereinstimmungen auf, was auf eine insgesamt hohe Zuverlässigkeit der Kategorisierungen hinweist.

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

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

4.4 Stichprobe

Die Triangulationsstudie wurde in insgesamt fünf Oberstufenklassen durchgeführt. Sie erhielten jeweils einen Code für Aufzeichnungszwecke. Diese werden in der untenstehenden Tabelle 4 genutzt, um demografische Daten zuzuordnen. Für alle teilnehmenden, minderjährigen Schüler*innen wurde die Erlaubnis der Erziehungsberechtigten eingeholt. Das Schreiben ist im Anhang F zu finden.

Klasse	Schultyp	Bundesland	Klassenstufe	Anzahl SuS	Ausgefüllte Tests
051429	AHS	Wien	7.	28	25
071530	AHS	Burgenland	7.	22	18
071631	AHS	Burgenland	7.	22	13
020332	HLS	Niederösterreich	5.	13	9
020333	HLS	Niederösterreich	6.	17	11

Tabelle 4: Übersicht der teilnehmenden Klassen

5 Ergebnisse der Triangulation

Die Durchführung der Triangulation sowie die Datenerhebung erfolgten in Zusammenarbeit mit den Teilnehmenden des E-Kompetenzen Masterseminars (2025S 267005-1). Die Auswertung der Daten wurde gemeinsam mit Andreas Ferchländer¹, Jennifer Altmann² und Paul Postl³ vorgenommen.

Die Effektivität des Unterrichtskonzepts wird an der Erreichung der formulierten Lernziele bemessen. Die von Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022) definierten Lernziele für die Sekundarstufe II sind in Kapitel 1.2 einsehbar.

Die Lernziele werden zunächst klassenweise ausgewertet. Anschließend erfolgt eine Gewichtung der Ergebnisse, die sich an der Konzepttreue des Unterrichts durch die jeweilige Lehrperson orientiert, vgl. Kapitel 5.1. In einem weiteren Schritt werden die gewichteten Ergebnisse der drei Erhebungsinstrumente – Beobachtung, Interviews und Tests – klassenübergreifend gemittelt und miteinander verglichen.

Auf dieser Ebene wird zudem die Akzeptanz der zugrunde liegenden Key Ideas untersucht. Dabei ist zu beachten, dass diese Analyse lediglich der Gegenüberstellung mit den Lernzielen dient, da die Bewertung von Key Ideas üblicherweise über gezielte Akzeptanzbefragungen (vgl. Jung, 1992) erfolgt. Die in diesem Zusammenhang relevanten Key Ideas sind ebenfalls in Kapitel 1.2 nachzulesen.

5.1 Gewichtung

Um sicherzustellen, dass die Konzepttreue der Lehrpersonen in die Ergebnisse der Triangulation einfließt, wurde ein Gewichtungsfaktor eingeführt. Dazu wurde, in Zusammenarbeit mit Andreas Ferchländer, das Unterrichtskonzept in sieben sogenannte Meilensteine untergliedert, von denen zunächst jeder mit einem Anteil von 14% bewertet wurde. Anschließend wurden einzelne Meilensteine entsprechend ihrer Relevanz für das Erreichen der Lernziele höher oder niedriger gewichtet. So erhielten besonders zentrale Elemente, wie das Falten des Zollstabs inklusive der damit verbundenen Bestimmung der Unsicherheit vom Typ B sowie die statistische Auswertung des Messexperiments (Unsicherheit Typ A), jeweils einen Anteil von 17%. Das Anwendungsbeispiel „100m-Sprint“ hingegen wurde auf 10% reduziert, da der Großteil der Aufgabe lediglich das korrekte Eintippen von Zahlen in den Taschenrechner erfordert und somit nur begrenzten didaktischen Mehrwert bietet.

Lehrpersonen, die dem Ablauf und den Aufgaben des Unterrichtskonzepts vollständig folgten, würden einen Konzepttreuewert von 100% erhalten. Für jeden Meilenstein, der – aus welchen Gründen auch immer – ausgelassen wurde, wurden die zugehörigen Prozentwerte vom Gesamtwert abgezogen. Zusätzlich wurde beschlossen, Strafpunkte zu vergeben, wenn Lehrpersonen eigenständig Änderungen am Konzept vornahmen. Diese beliefen sich ebenfalls auf 17%.

Nach dem Abgleich der Beobachtungsprotokolle mit den definierten Meilensteinen ergaben sich folgende Konzepttreuewerte für die jeweiligen Klassen:

Klasse	Konzepttreue	Gewichtungsfaktor
051429	86%	0.86
071530	86%	0.86
071631	72%	0.72
020332	41%	0.41
020333	59%	0.59

Tabelle 5: Gewichtung der Klassen

¹im Zuge seiner Masterarbeit

²im Zuge ihrer Bachelorarbeit

³im Zuge seiner Bachelorarbeit

5.2 Auswertung der Beobachtungsbögen

Für die Auswertung der gesammelten Daten aus den Beobachtungsbögen wurde zunächst in Zusammenarbeit mit Andreas Ferchländer eine Excel-Datei erstellt, in der beobachtete Operatoren und Fehler gruppenweise angekreuzt werden konnten. Voraussetzung dafür war eine vorherige Zuordnung der Kategorien und zugehörigen Operatoren zu den jeweiligen Lernzielen. Als Grundlage diente die Arbeit von Sophie Brasseur. Bei der Überprüfung dieser Zuordnungen zeigte sich jedoch, dass einige unvollständig waren, weshalb vier Erweiterungen unsererseits vorgenommen wurden.

So war LZ1 ursprünglich nur der Kategorie 2.1 „Messunsicherheiten diskutieren“ zugeordnet und wurde um die Kategorie 2.3 „Genauigkeit des Messgeräts (Typ-B MU)“ ergänzt, da im Lernziel explizit auf die Messunsicherheit vom Typ B verwiesen wird. Dem Lernziel LZ4 wurde zusätzlich zur Kategorie 2.1 auch die Kategorie 1.1 „Messreihe anfertigen; Mittelwert, Spannweite und/oder andere statistische Größen berechnen“ zugewiesen, da ausdrücklich das Berechnen von Standardabweichung und Mittelwert gefordert ist. Die Key Idea KI1 wurde um die Kategorie 1.2 „Streuungsmaß untersuchen“ ergänzt, da die alleinige Zuweisung zur Kategorie 2.2 „Streuung von Messwerten (Typ-A MU)“ als nicht hinreichend repräsentativ erachtet wurde. Schließlich wurde auch die KI4 – analog zu LZ4 – um die Kategorie 1.1 ergänzt, da die Angabe einer passenden Messunsicherheit in den Aufgabenbereich dieser Kategorie fällt (vgl. LZ3).

Nun wurde ein klassenweiser Durchschnitt aller zum Lernziel zugehörigen Kategorien und deren Operatoren gebildet. Analog zu den Beobachtungsbögen wurde auch hier zwischen normalen und seltenen Operatoren unterschieden, wodurch sich unterschiedliche Schwellenwerte für das Erreichen eines Lernziels ergaben.

Für normale Operatoren wurde das Lernziel als „erreicht“ gewertet, wenn diese zu mindestens 61% beobachtet wurden. Eine Erreichung zwischen 50% und 60% wurde als „teilweise erreicht“ eingestuft, darunter galt das Ziel als „nicht erreicht“. Sollten seltene Operatoren beobachtet werden, so ist dies nur positiv zu werten, da per se mit einem Auftreten nicht zu rechnen ist. Daher gelten sie bereits ab > 0% als teilweise erreicht und ab 25% als erreicht. Für diese Grenzwerte wurde sich an den Notendefinitionen der Leistungsbeurteilungsverordnung orientiert.

Bei der klassenübergreifenden Auswertung der Operatoren und Lernziele, die in Tabelle 6 einzusehen sind, wurde zudem die in Kapitel 5.1 beschriebene Gewichtung berücksichtigt. Dabei fließen die berechneten Gewichtungsfaktoren w_i gemäß der Formel 4 durch das Multiplizieren mit den zugehörigen Werten x_i in den gewichteten Mittelwert $\bar{x}_w$ mit ein. In Tabelle 7 ist das mittlere, gewichtete Vorkommen von seltenen Operatoren abgebildet. Zu Lernziel drei gab es keine seltenen Operatoren zu beobachten.

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

	Kategorie	051429	071530	071631	020332	020333	gewichteter Mittelwert
LZ 1	K 2.1 K 2.3	31%	81%	31%	69%	69%	55%
LZ 2	K 1.3	50%	75%	63%	75%	100%	69%
LZ 3	K 1.1	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LZ 4	K 1.1 K 2.1	69%	88%	75%	94%	94%	82%
LZ 5	K 2.1 K 2.2 K 2.3	35%	75%	25%	60%	65%	51%

Tabelle 6: Beobachtete Operatoren nach Lernzielen

	Kategorie	051429	071530	071631	020332	020333	gewichteter Mittelwert
LZ 1	K 2.1 K 2.3	25%	38%	38%	25%	13%	29%
LZ 2	K 1.3	75%	0%	50%	50%	125%	57%
LZ 4	K 1.1 K 2.1	50%	50%	50%	25%	25%	36%
LZ 5	K 2.1 K 2.2 K 2.3	31%	25%	19%	25%	6%	23%

Tabelle 7: Beobachtete, seltene Operatoren nach Lernzielen

5.3 Auswertung der Lehrer_inneninterviews

Die Lehrer_inneninterviews wurden von Paul Postl im Rahmen seiner Bachelorarbeit nach den durchgeführten Unterrichtseinheiten geführt. Herr Postl wirkt als unterstützender Bachelorand bei dieser Masterarbeit mit.

Im Vorfeld wurde er im Rahmen einer Interviewschulung in die zentralen Aspekte des Interviewleitfadens eingeführt. Die Auswertung der Interviews erfolgte ebenfalls durch Paul Postl unter Anwendung der interpretativen reduktiven Inhaltsanalyse (vgl. D. Krüger et al., 2014, 2014; Mayring, 2010).

Als Teil des Interviews sollten die Lehrpersonen abschätzen, ob die Lernziele als „erreicht“, „teilweise erreicht“ oder „nicht erreicht“ gelten. Um die Vergleichbarkeit mit den anderen Erhebungsinstrumenten sicherzustellen, wurden diese Einschätzungen in Prozentwerte überführt:

- „erreicht“ = 100%
- „teilweise erreicht“ = 50%
- „nicht erreicht“ = 0%

Die so berechneten Prozentwerte sind nach Klassen aufgeschlüsselt in Tabelle 8 dargestellt. Der gewichtete Mittelwert wurde, analog zu den anderen Methoden, mittels Formel 4 berechnet und gewertet. 0%-49% gilt als „nicht erreicht“, 50%-60% als „teilweise erreicht“ und alles über 60% als „erreicht“.

	051429	071530	071631	020332	020333	gewichteter Mittelwert
LZ 1	50%	100%	100%	100%	100%	88%
LZ 2	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LZ 3	50%	50%	100%	0%	0%	58%
LZ 4	100%	100%	50%	100%	100%	90%
LZ 5	100%	100%	100%	0%	0%	71%

Tabelle 8: Einschätzungen der Lehrenden zur Lernzielerreichung in Prozent

5.4 Auswertung der Tests

Der Test wurde in den Klassen nach der Durchführung der Unterrichtskonzepte ausgefüllt. Die Lehrpersonen erhielten hierzu Kuverts, in denen die vorbereiteten Testbögen enthalten waren. Die ausgefüllten Tests wurden zurück in die Kuverts gegeben und an Jennifer Altmann, einer Bachelorandin, die ebenso wie Paul Postl als Unterstützung in die Forschungsgruppe aufgenommen wurde, weitergeleitet.

Frau Altmann übernahm die statistische Auswertung der Tests. Dafür wurden pro Aufgabe alle von einer Klasse erreichten Punkte summiert. Anschließend wurde berechnet, wie viel Prozent der maximal möglichen Punktzahl erreicht wurden. Dieses Vorgehen wurde für jede Aufgabe einzeln durchgeführt. Außerdem sollte ein Vergleichswert geschaffen werden, der ausagt, wie viele Prozent der Punkte die Schüler_innen durch zufälliges Ankreuzen theoretisch erreichen könnten. Hierfür wurde der Erwartungswert jeder Aufgabe bestimmt und in Prozentpunkte umgerechnet. Dazu wurde der Erwartungswert durch die maximal erreichbare Punktzahl der jeweiligen Aufgabe dividiert.

Bei der finalen Auswertung für diese Masterarbeit ist zusätzlich ein gewichteter Mittelwert gefragt. Dieser wurde gemäß Formel 4 gerechnet und ist, zusammen mit den Werten der Bachelorandin, in Tabelle 9 einzusehen.

Bei den Aufgaben 6a und 6b gab es zusätzlich offene Fragen, in denen die Schüler:innen Verbesserungsvorschläge oder Begründungen formulieren sollten. Diese Antworten wurden separat ausgewertet und acht vordefinierten Kategorien zugeordnet. Um die Reliabilität dieser Zuordnung zu gewährleisten, berechnete Frau Altmann zusätzlich ein kategorieweises Cohen's Kappa, nachzulesen in Kapitel 4.3.1. Besagte Kategorien decken sich mit den im Beobachtungsbogen verwendeten Kategorien. Pro Antwort konnten dabei mehrere Kategorien gleichzeitig vergeben werden. Wie oft die jeweiligen Kategorien zugeordnet wurden, ist in Tabelle 10 einsehbar.

	Rate- wahrschein- lichkeit	051429	071530	071631	020332	020333	gewicht. Mittel- wert
Aufgabe 1	25%	68%	78%	93%	44%	64%	72%
Aufgabe 2	50%	78%	84%	54%	44%	64%	68%
Aufgabe 3	13%	46%	86%	62%	33%	45%	58%
Aufgabe 4	13%	24%	25%	23%	22%	14%	22%
Aufgabe 5	20%	28%	22%	15%	0%	9%	17%
Aufgabe 6a	-	86%	81%	85%	72%	82%	82%
Aufgabe 6b	-	59%	67%	54%	37%	30%	52%

Tabelle 9: Testergebnisse der Schüler_innen, inklusive Ratewahrscheinlichkeit

Kategorie	6a	6b
1.1	9%	13%
1.2	1%	0%
1.3	1%	3%
2.1	0%	1%
2.2	39%	32%
2.3	84%	21%
3.1	3%	7%
3.2	1%	4%

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

Um die Ergebnisse der Aufgaben mit den anderen Erhebungsmethoden abgleichen zu können, war es notwendig, die Aufgaben den entsprechenden Lernzielen zuzuordnen. Als Grundlage hierfür diente die Arbeit von Kreuzer, Lux und Strohmayer, die ihre Bachelorarbeit unter der Supervision von Clemens Nagel verfassten. Diese Arbeit wird von Nagel und Holmes 2025 (submitted) veröffentlicht.

Dabei ist anzumerken, dass die Aufgabe 4, die dem fünften Lernziel zugeordnet wurde, nur bedingt auf das Lernziel zugeschnitten ist und daher nicht als ebenso aussagekräftig wie die übrigen Aufgaben bewertet werden kann. Lernziel 5 bezieht sich auf die Fähigkeit der Schü-

ler_innen, zwischen den Messunsicherheiten Typ A und Typ B zu unterscheiden. Die Aufgabe 4 behandelt jedoch ausschließlich die Messunsicherheit Typ B.

Da einzelnen Lernzielen mehrere Aufgaben zugeordnet wurden, wurde zunächst der Mittelwert der zugehörigen Aufgabenwerte berechnet. Anschließend erfolgte die Berechnung eines gewichteten Mittelwerts über alle Klassen hinweg unter Anwendung der Formel 4. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Bewertung der Zielerreichung orientiert sich, analog zu den anderen Methoden, an den folgenden Schwellenwerten: >60% „erreicht“; 50%-60% „teilweise erreicht“; <50% „nicht erreicht“.

	Testaufgaben	051429	071530	071631	020332	020333	gewichteter Mittelwert
LZ 1	3	46%	86%	62%	33%	45%	58%
LZ 2	1 5 6b	52%	56%	54%	27%	34%	47%
LZ 3	2	78%	84%	54%	44%	64%	68%
LZ 4	6a	86%	81%	85%	72%	82%	82%
LZ 5	4	24%	25%	23%	22%	14%	22%

Tabelle 11: Testergebnisse pro Lernziel und Klasse

5.5 Triangulation

In einem letzten Schritt werden die gewichteten Mittelwerte aller drei Erhebungsinstrumente genutzt, um einen Mittelwert zu berechnen, der eine endgültige Aussage über die Wirksamkeit des verbesserten Unterrichtskonzepts ermöglichen soll.

Dabei wird unterschieden zwischen der Erreichung der Lernziele und der Key Ideas. Erstere sind in Tabelle 12 einzusehen. Zweitere werden ausschließlich in finaler Form in der Tabelle 13 dargestellt, da diese Analyse lediglich der Gegenüberstellung mit den Lernzielen dient. Die Bewertung von Key Ideas erfolgt üblicherweise über gezielte Akzeptanzbefragungen (vgl. Jung, 1992), dies ist hier nicht der Fall.

	Tests der Lernenden		Lehrer_inneninterview	Beobachtungsbogen		Mittelwert
	Testaufgaben	Testergebnis	Einschätzung	Kategorie	Häufigkeit der Operatoren	
LZ 1	3	58%	88%	K 2.1 K 2.3	55%	67%
LZ 2	1 5 6b	47%	100%	K 1.3	69%	72%
LZ 3	2	68%	58%	K 1.1	100%	75%
LZ 4	6a	82%	90%	K 1.1 K 2.1	82%	85%
LZ 5	4	22%	71%	K 2.1 K 2.2 K 2.3	51%	48%

Tabelle 12: Triangulation der Lernziele

	Test der Lernenden		Lehrer_inneninterview	Beobachtungsbogen		Mittelwert
	Testaufgaben	Testergebnis	Einschätzung	Kategorie	Häufigkeit der Operatoren	
KI 1	6b	52%	100%	K 1.2 K 2.2	39%	64%
KI 2	3 4	40%	46%	K 2.1 K 2.2 K 2.3	50%	45%
KI 3	1 5 6b	47%	100%	K 1.3	71%	73%
KI 4	2	68%	85%	K 1.1 K 2.1	82%	78%
KI 5	2	68%	71%	K 1.1	100%	80%

Tabelle 13: Triangulation der Key Ideas

6 Interpretation der Triangulation und Diskussion

Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in zwei Abschnitten. Der erste Teil widmet sich der Triangulation auf Basis der Lernziele, der zweite Teil fokussiert sich auf die Triangulation im Hinblick auf die Key Ideas.

Für die Lernziele wird die Diskussion sowohl auf den drei Erhebungsebenen (Beobachtung, Interviews, Tests) als auch auf der Triangulationsebene geführt. Die Key Ideas hingegen werden ausschließlich auf der Triangulationsebene betrachtet, da sie zur Gegenüberstellung zu den Lernzielen herangezogen werden.

6.1 Nach Lernzielen

Die nachfolgenden Diskussionen dienen primär der Beantwortung der dritten Forschungsfrage:

„Wie spiegelt sich die Optimierung des Unterrichtskonzepts für die Sekundarstufe II in den Rückmeldungen und Erfahrungen der Lehrenden und Beobachtenden wider und müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden?“

Zur Beantwortung wird insbesondere auf die Erreichung der in Kapitel 1 dargestellten Lernziele nach Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022) Bezug genommen.

6.1.1 Erhebungsebenen

Bei Betrachtung der gewichteten Mittelwerte der Beobachtungsbögen, vgl. Tabelle 6, fällt insbesondere Lernziel drei auf. Es wurde zu 100% erreicht, was bedeutet, dass in jeder Gruppe und in jeder Klasse alle relevanten Operatoren beobachtet werden konnten. Dieses Ergebnis lässt sich auf die Natur der zugeordneten Operatoren zurückführen: Für Lernziel drei war ausschließlich Kategorie 1.1 relevant, welche die Arbeitsschritte „messen“ und „berechnen“ umfasst. Diese Tätigkeiten sind im Unterricht leicht zu beobachten, da alle Gruppen mit ihren selbstgebaute Messgeräten Papierstreifen abmessen und mit den ermittelten Werten rechnen. Darüber hinaus sind im Unterrichtskonzept zusätzliche Rechenbeispiele zur Übung vorgesehen.

Lernziel zwei und Lernziel vier erreichen mit 69% bzw. 82% (bzw. 57% und 36% bei den selteneren Operatoren) ebenfalls sehr gute Werte und können aus Sicht der Beobachtenden als erreicht gelten.

Lernziel eins wird mit einem Mittelwert von 55% lediglich als teilweise erreicht bewertet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch 29% der seltenen Operatoren beobachtet wurden. Unter Einbeziehung dieser Ergebnisse erscheint es vertretbar, Lernziel eins ebenfalls als erreicht zu interpretieren.

Das fünfte Lernziel schneidet mit 51% am schwächsten ab. Es gilt zwar formal als teilweise erreicht, liegt jedoch nur 2 Prozentpunkte über der Schwelle zum Nichterreicht. Diese marginale Differenz legt nahe, dass dieses Lernziel nicht nachhaltig vermittelt wurde. Eine mögliche Erklärung liefert die Analyse der Umsetzungstreue durch die Lehrpersonen: In den allgemeinen Beobachtungsnotizen wurde festgehalten, wie genau sich die unterrichtenden Lehrpersonen an das Konzept hielten. Die daraus abgeleiteten Gewichtungsfaktoren, vgl. Kapitel 5.1, erfassen jedoch nicht, was konkret ausgelassen wurde, was in diesem Fall zentral ist.

Aus der Studie von Brasseur (Brasseur, 2024) ging hervor, dass Lernziel fünf nicht erreicht wurde. In der Überarbeitung des Unterrichtskonzepts wurde daraufhin eine zusätzliche Lernaufgabe entwickelt, die gezielt auf die für dieses Lernziel erforderlichen Kompetenzen abzielt. Im Rahmen der aktuellen Erhebung wurde diese Aufgabe jedoch von vier der fünf Lehrpersonen nicht eingesetzt. Ob diese Aufgabe zu besseren Ergebnissen geführt hätte, lässt sich daher nicht beurteilen. Es bestätigt jedoch erneut, dass an der ursprünglichen Version des Unterrichtskonzepts in Bezug auf Lernziel fünf Nachbesserungsbedarf besteht.

Bei genauerer Betrachtung der gewichteten Mittelwerte aus den leitfragengestützten Lehrer_inneninterviews, vgl. Tabelle 8, zeigen sich die Lernziele eins, zwei und vier deutlich als erreicht.

Auffällig sind die Ergebnisse zu Lernziel drei und Lernziel fünf: Die Lehrperson 03, welche beide Klassen 020332 und 020333 unterrichtet hat, ordnete diesen Lernzielen jeweils 0% zu. Im Fall von Lernziel fünf begründete die Lehrperson dies damit, dass die entsprechende Kompetenz im Unterricht nicht behandelt worden sei. Diese Aussage deckt sich mit den oben erwähnten Beobachtungsnotizen, denen zufolge die zugehörige Lernaufgabe ausgelassen wurde.

Zu Lernziel drei machte die Lehrperson keine Angabe, was ebenfalls zu einem Mittelwert von 0% für diese Klassen führte. Diese fehlende Rückmeldung drückt den Gesamtdurchschnitt, dennoch liegen die Mittelwerte für Lernziel drei bei 58% und für Lernziel fünf bei 71%. Damit gelten sie aus Sicht der Lehrenden als teilweise erreicht bzw. erreicht.

Die gewichteten Mittelwerte der Testauswertung stellen die schwächste der drei Perspektiven dar, vgl. Tabelle 11. Nur Lernziel drei und Lernziel vier wurden aus Sicht der Lernenden als erreicht eingestuft. Lernziel eins liegt mit 58% im Bereich des teilweisen Erreichens, während Lernziel zwei und Lernziel fünf als nicht erreicht gelten.

Den beiden letztgenannten Lernzielen waren die Aufgaben fünf bzw. vier zugeordnet – jene Aufgaben, die insgesamt von den wenigsten Schüler:innen korrekt gelöst wurden, vgl. Tabelle 9. In Aufgabe fünf war das vertrauenswürdigste Ergebnis zu bestimmen, während Aufgabe vier eine Zuordnung richtiger Aussagen zur Messunsicherheit Typ B erforderte. Wie bereits in Kapitel 5.4 ausgeführt, ist anzumerken, dass Aufgabe vier nur bedingt auf das Lernziel abgestimmt ist. Zudem haben nahezu keine Schüler_innen die zugehörige Lernaufgabe bearbeitet, was sich negativ auf die Leistung ausgewirkt haben dürfte.

Generell fällt auf, dass die beiden Klassen 020332 und 020333 deutlich schlechter abschneiden, als die übrigen Klassen. Beide wurden von derselben Lehrperson unterrichtet, deren Konzepttreue mit lediglich 41% bzw. 59% die niedrigsten Werte aller Beteiligten aufweist, vgl. Tabelle 5. Laut Beobachtungsnotizen lagen die Gründe hierfür in Zeitmangel sowie in einer Abänderung des vorgesehenen Unterrichtskonzepts. Eine geringere Punkteausbeute in diesen Klassen ist daher wenig überraschend.

6.1.2 Triangulationsebene

Die im vorhergehenden Kapitel 6.1.1 behandelten gewichteten Mittelwerte der drei Erhebungsebenen werden in Tabelle 12 zusammengeführt, um eine übergreifende Einschätzung zur Wirksamkeit des optimierten Unterrichtskonzepts treffen zu können. Grundlage hierfür bildet die erreichte Ausprägung der definierten Lernziele.

Die Lernziele eins bis vier sind insgesamt als erreicht einzustufen, wobei Lernziel eins mit 67% den niedrigsten und Lernziel vier mit 85% den höchsten Wert erzielt. Lernziel fünf stellt mit lediglich 48% eine Ausnahme dar und gilt als nicht erreicht. Wie bereits in Kapitel 6.1.1 erläutert, dürfte dies vor allem darauf zurückzuführen sein, dass die zugehörige Lernaufgabe in vier von fünf Klassen nicht eingesetzt wurde.

Der Vergleich mit der Studie von Brasseur (Brasseur, 2024), wie in Tabelle 14 dargestellt, zeigt demnach keine Verbesserung hinsichtlich des fünften Lernziels. Eine Steigerung konnte jedoch beim ersten Lernziel festgestellt werden. Die Lernziele zwei und drei werden weiterhin als erreicht bewertet. Zu Lernziel vier kann mangels vollständiger Daten aus der Vergleichsstudie keine abschließende Aussage getroffen werden.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die angestrebte Vermittlung der Lernziele in weiten Teilen erfolgreich umgesetzt werden konnte.

	Triangulation 2023	Triangulation 2025
Lernziel 1	teilweise erreicht	erreicht
Lernziel 2	erreicht	erreicht
Lernziel 3	erreicht	erreicht
Lernziel 4	unvollständiger Datensatz	erreicht
Lernziel 5	nicht erreicht	nicht erreicht

Tabelle 14: Triangulationsvergleich 2023 (Brasseur, 2024) zu 2025 bzgl. Lernziele

6.2 Nach Key Ideas

Die hier diskutierten Werte der Key Ideas sind in Tabelle 13 einzusehen. Sie werden hier nur auf Triangulationsebene behandelt.

Die erste Key Idea gilt mit 64% zwar formal als akzeptiert, liegt jedoch deutlich unter den Werten der übrigen vermittelten Key Ideas. Während die Lehrpersonen übereinstimmend angaben, dass ihre Schüler_innen dieses Konzept verstanden hätten, zeigen sowohl die Testergebnisse als auch die Beobachtungsprotokolle ein anderes Bild. Insbesondere die entsprechenden Operatoren konnten von den Beobachtenden kaum identifiziert werden. Auch bei der Bearbeitung der zugehörigen Testaufgabe wurde deutlich, dass vielen Schüler_innen nicht genau klar war, welche Faktoren zur Messunsicherheit beitragen können. Hier besteht somit leichter Verbesserungsbedarf.

Die zweite Key Idea wurde mit insgesamt 45% am schlechtesten vermittelt. Es zeigt sich ein ähnliches Muster wie bei Lernziel fünf, wenig überraschend, da sich beide auf die Unterscheidung zwischen den Messunsicherheiten vom Typ A und Typ B beziehen. Die schwache Leistung der Schüler_innen lässt sich vermutlich auf das Auslassen der dazugehörigen Lernaufgabe zurückführen, vgl. Kapitel 6.1.1.

Die Key Ideas drei bis fünf wurden in allen Bereichen zufriedenstellend umgesetzt und erreichten Werte zwischen 73% und 80%. Sie können somit als erfolgreich vermittelt betrachtet werden.

Im Vergleich zur Triangulation nach Brasseur (Brasseur, 2024), einzusehen in Tabelle 15, zeigt sich eine Verbesserung hinsichtlich der ersten Key Idea. Für die übrigen Key Ideas lassen sich aufgrund unvollständiger oder fehlender Datensätze keine belastbaren Aussagen treffen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine konsistente Vermittlung der Key Ideas über alle Erhebungsebenen hinweg weitgehend erreicht wurde.

	Triangulation 2023	Triangulation 2025
Key Idea 1	teilweise vermittelt	vermittelt
Key Idea 2	unvollständiger Datensatz	nicht vermittelt
Key Idea 3	unvollständiger Datensatz	vermittelt
Key Idea 4	unvollständiger Datensatz	vermittelt
Key Idea 5	keine Daten vorhanden	vermittelt

Tabelle 15: Triangulationsvergleich 2023 (Brasseur, 2024) zu 2025 bzgl. Key Ideas

7 Zusammenfassung und Fazit

7.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden Maßnahmen zur Optimierung des Unterrichtskonzepts zu Messunsicherheiten für die Sekundarstufe II nach Bärenthaler-Pachner (Bärenthaler-Pachner, 2022) sowie Verbesserungen der Triangulationsinstrumente nach Brasseur (Brasseur, 2024) identifiziert, bewertet und umgesetzt.

Diese Optimierungen wurden im Rahmen eines erneuten Zyklus des Design-Based Research eingesetzt. Dabei wurden die drei Perspektiven der Lehrenden, Lernenden und Beobachtenden mittels dreier Erhebungsmethoden, dem leitfragengestützten Lehrer_inneninterview, dem Beobachtungsbogen und dem Test, erhoben, um zu evaluieren, ob die überarbeiteten Maßnahmen zu einer Verbesserung des Unterrichtskonzepts führten. Zur Beurteilung wurden die von Bärenthaler-Pachner definierten Lernziele und Key Ideas (Bärenthaler-Pachner, 2022) herangezogen. Die abschließenden Ergebnisse dieser Untersuchung werden in Tabelle 16 den Resultaten der von Brasseur durchgeführten Triangulationsstudie (Brasseur, 2024) gegenübergestellt.

Sowohl bei den Lernzielen als auch den Key Ideas ist, trotz fehlender Datensätze, insgesamt eine positive Entwicklung erkennbar. Eine Ausnahme bilden dabei Lernziel fünf und Key Idea zwei, die beide auf dieselbe Kompetenz abzielen: das Unterscheiden von Messunsicherheiten des Typs A und B. Die zur Förderung dieser Kompetenz entwickelte neue Lernaufgabe wurde in vier von fünf Klassen nicht eingesetzt, sodass in diesem Bereich keine Verbesserung zu erwarten war.

	Triangulation 2023	Triangulation 2025
Lernziel 1	teilweise erreicht	erreicht
Lernziel 2	erreicht	erreicht
Lernziel 3	erreicht	erreicht
Lernziel 4	unvollständiger Datensatz	erreicht
Lernziel 5	nicht erreicht	nicht erreicht
Key Idea 1	teilweise vermittelt	vermittelt
Key Idea 2	unvollständiger Datensatz	nicht vermittelt
Key Idea 3	unvollständiger Datensatz	vermittelt
Key Idea 4	unvollständiger Datensatz	vermittelt
Key Idea 5	keine Daten vorhanden	vermittelt

Tabelle 16: Triangulationsvergleich 2023 (Brasseur, 2024) zu 2025

Die in Kapitel 1.2 formulierten Forschungsfragen können somit in weiten Teilen beantwortet werden. Eine abschließende Bewertung darüber, ob weitere Maßnahmen erforderlich sind, erfolgt im nachfolgenden Kapitel 7.2.

7.2 Fazit und Ausblick

Das Resultat der Triangulationsstudie zieht eine positive Endbilanz. Dennoch müssen die Limitationen dieser Arbeit offengelegt werden, um die Resultate in einem angemessenen Kontext interpretieren zu können.

Die gravierendste Einschränkung ergab sich durch die geringe Teilnehmerzahl im Masterseminar zur E-Kompetenz von Clemens Nagel (LV-Nr. 2025S 267005-1). Aufgrund der lediglich drei teilnehmenden Studierenden musste die Stichprobengröße entsprechend begrenzt werden. Es galt das Prinzip Qualität über Quantität, weshalb unter anderem entschieden wurde, zwei Beobachtende pro Klasse einzusetzen. Dadurch sollte eine möglichst differenzierte und verlässliche Beobachtung gewährleistet werden. Trotz der Beteiligung von fünf Oberstufenklassen aus drei Bundesländern und zwei unterschiedlichen Schultypen lässt sich diese Studie nicht als repräsentativ bezeichnen.

Eine weitere Limitation betrifft die Auswahl der unterrichtenden Lehrpersonen. Drei der vier involvierten Lehrkräfte hatten bereits zuvor Kontakt mit dem Unterrichtskonzept und könnten daher eine gewisse Voreingenommenheit aufweisen.

Ungeachtet dessen ist die Bilanz für das optimierte Unterrichtskonzept erfreulich. In den durchgeführten Klassen konnten die Schüler_innen wesentliche Kompetenzen im Bereich der Messunsicherheit erwerben. Eine weitere grundlegende Überarbeitung des Konzepts erscheint daher nicht notwendig. Wünschenswert wäre jedoch eine gezielte Untersuchung, beispielsweise im Rahmen einer Bachelorarbeit, zur Wirksamkeit der neu entwickelten Lernaufgabe zu Lernziel fünf und Key Idea zwei. Da diese Aufgabe in vier von fünf Klassen nicht durchgeführt wurde, konnte ihre Effektivität bislang nicht überprüft werden. Eine solche Untersuchung könnte wertvolle Erkenntnisse darüber liefern, ob das bisher nicht erreichte Lernziel durch die neue Lernaufgabe künftig vermittelt werden kann.

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., & Spann, H. (2018). *Lehrerinnen und Lehrer erforschen ihren Unterricht* (5., grundlegend überarbeitete Auflage). Verlag Julius Klinkhardt UTB.
- Bakker, A. (2019). *Design research in education : a practical guide for early career researchers* (First edition). Routledge, an imprint of Taylor; Francis.
- Bärenthaler-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>
- Bärenthaler-Pachner, R. (2022). *Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung zum Thema Messunsicherheit in der Sekundarstufe II* [Magisterarb., Universität Wien].
- Baur, N., & Blasius, J. (2022). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (3rd ed. 2022). Springer Fachmedien Wiesbaden Imprint: Springer VS.
- 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>
- Collective, T. D.-B. R. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.
- Denzin, N. K. (2009). *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods* (1st). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315134543>
- Ferchländer, A. (2025). *Validierung und Verbesserung einer Unterrichtskonzeption zur Einführung von MU über das Brückenkonzept der Vertrauenswürdigkeit in der Sek 1* [Magisterarb., Magisterarb., Universität Wien].
- 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>
- 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., Schecker, H., Höttecke, D., & Wiesner, H. (2022). *Physikdidaktik Kompakt: 1. vollständig neu bearbeitete Auflage*. Aulis.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties. In *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN)/Institute for Science Education.
- 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.
- 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.
- 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)*.
- 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., Lux, B., & Steindl, S. (2021). Die Thematisierung von Messunsicherheiten im Physikunterricht - Eine Umfrage. *PlusLucis*, (4/2021).
- Nagel, C. (2025). Trustworthiness as Central Design Principle for Introducing Uncertainties of Measurements to Students. *Journal of Physics: Conference Series*, 01.
- 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.
- Priemer, B., & Kok, K. (2025). *Messunsicherheiten im Physikunterricht* (1. Auflage). Berlin Universities Publishing.

Da LaTeX, mit dem diese Masterarbeit verfasst wurde, über kein integriertes Rechtschreibprüfungsprogramm 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	Eigene Darstellung: Überblick über die Entwicklung und Evaluation der Unterrichtskonzepte	7
2	Parallele Kreisprozesse des DBR (Haagen-Schützenhöfer und Hopf, 2020)	9
3	Eigene Darstellung: Triangulationsperspektiven und -methoden	15

Tabellenverzeichnis

1	Übersicht der Optimierungsschritte	14
2	Cohen's Kappa zur Einschätzung der Intercoder-Reliabilität je Kategorie	21
3	Landis und Kochs Kennwerte für die Interpretation von Cohen's Kappa	21
4	Übersicht der teilnehmenden Klassen	21
5	Gewichtung der Klassen	22
6	Beobachtete Operatoren nach Lernzielen	23
7	Beobachtete, seltene Operatoren nach Lernzielen	24
8	Einschätzungen der Lehrenden zur Lernzielerreichung in Prozent	24
9	Testergebnisse der Schüler_innen, inklusive Ratewahrscheinlichkeit	25

10	Häufigkeit der genannten Kategorien bei offenen Aufgaben 6a und 6b	25
11	Testergebnisse pro Lernziel und Klasse	26
12	Triangulation der Lernziele	27
13	Triangulation der Key Ideas	27
14	Triangulationsvergleich 2023 (Brasseur, 2024) zu 2025 bzgl. Lernziele	30
15	Triangulationsvergleich 2023 (Brasseur, 2024) zu 2025 bzgl. Key Ideas	30
16	Triangulationsvergleich 2023 (Brasseur, 2024) zu 2025	31

A Unterrichtskonzept SEK II

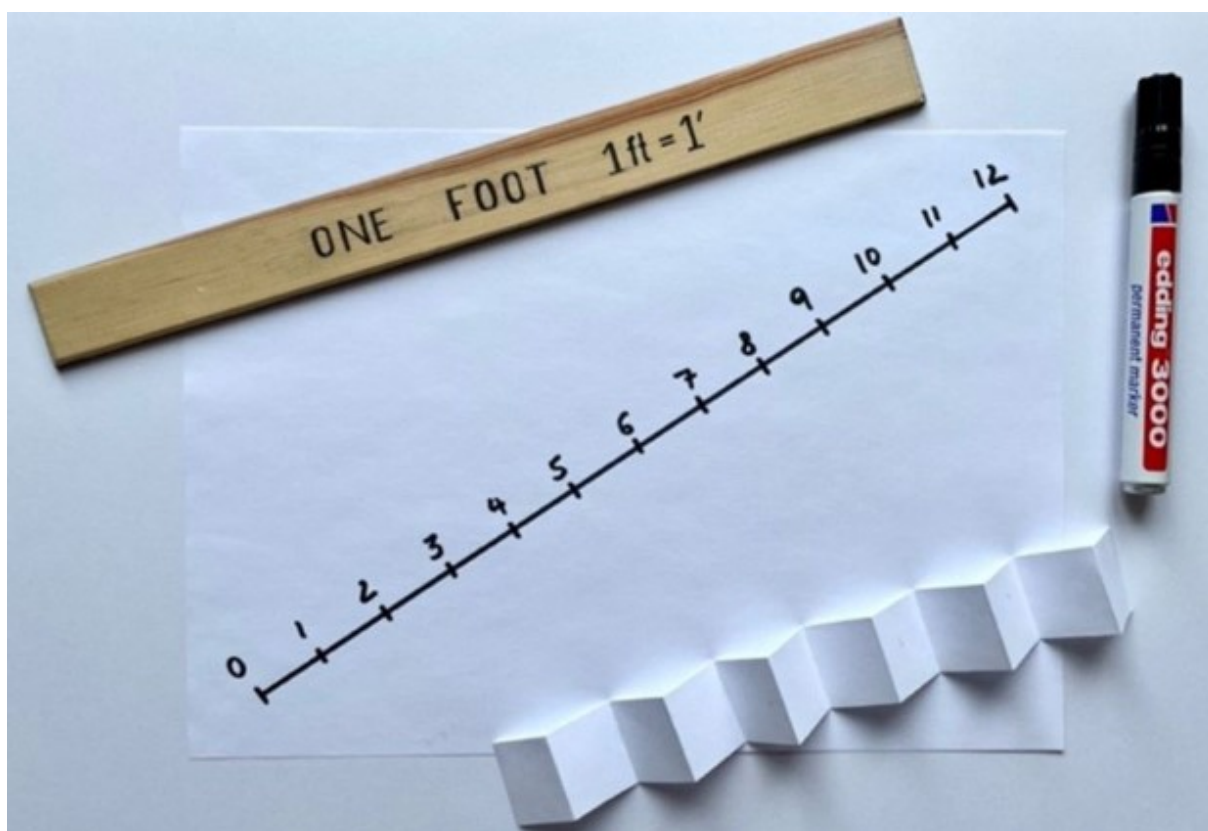


Mit einem selbstgebauten Längenmessgerät die Basiskonzepte der Messunsicherheiten kennenlernen.

Eine Unterrichtskonzeption zur Einführung von Messunsicherheiten nach GUM-Vorschrift für die Sekundarstufe 2. Dauer: 2 (oder wahlweise 3) Unterrichtseinheiten à 50 Min.

Bärenthaler-Pachner, Rupert
Nagel, Clemens

Fakultät für Physik, Universität Wien, 2022



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

1 Vorstellung des Unterrichtskonzeptes

In diesem Abschnitt werden die konkreten Arbeitsmaterialien, Planungsraster und ein didaktischer Kommentar vorgestellt. Diesem Abschnitt sind ebenso alle Dokumente zu entnehmen, die für eine Weiterverwendung in der Praxis durch Lehrkräfte benötigt werden. Die Kopiervorlagen für die benötigten Materialien sind dem Anhang (letzter Abschnitt) beigelegt.

Grundlegend ist anzuführen, dass für die drei Einheiten zur Unterrichtsplanung je eines der 12 Basismodelle nach Oser und Patry (1990) verwendet wurde und die einzelnen Teile der Einheiten sich nach den Handlungsschritten bzw. der Tiefenstruktur nach dem jeweiligen Modell richten. Kernstück der ersten Einheit bildet dabei der Bau eines Zollstabs (Schritte bei der Herstellung und Verwendung eines Messgeräts die für die Unsicherheit Typ A relevant sind) und die Einführung der Unsicherheit Typ B.

In der zweiten Einheit wird der Zollstab folglich für die tatsächliche Messung von Längen verwendet (Zollstab in der Praxis) und im Zuge der mathematischen Auswertung die Unsicherheit Typ A als Erweiterung des Konzepts eingeführt. Die dritte optionale Einheit befasst sich mit Einheiten, Dimensionen, physikalischen Größen und dem Thema Größenordnungen (vgl. Lehrplan der 9. Schulstufe).

Die Einführung des Konzepts der Unsicherheit Typ B zu Beginn stimmt dabei mit dem Designprinzip, dass nicht das wissenschaftliche Fach, sondern die Lernendenbedürfnisse die unterrichtliche Sachstruktur bestimmen (Haagen-Schützenhöfer 2015: 26), überein. Insofern ergibt sich für die Einführung des Konzepts der Messunsicherheit dies zuerst im Modell „Lernenden durch Eigenerfahrung“ (Oser & Patry 1990) anhand des Baus eines eigenen Messgeräts und damit auch mittels der Unsicherheit Typ B zu realisieren.

Die begrenzte Vertrauenswürdigkeit resultiert aus der Herstellung eines Messgeräts und aus zufälligen Abweichungen, die während der Durchführung einer Messung entstehen.

Die letzte Phase aus dem Basismodell Konzeptbildung ist aus zeitlichen Gründen in die dritte Einheit verlegt. In der Erprobung konnte der letzte Handlungsschritt auch in der zweiten Einheit abgeschlossen werden, wobei dies in der 11. Schulstufe durchgeführt wurde. Allgemein ist anzumerken, dass der angegebene zeitliche Rahmen zweifelsohne bedingt durch mehrere Faktoren (Verwendung von Onlinetools, Klassenzusammensetzung, Klassengröße, mathematische Kompetenzen der Klasse bzw. individueller Lernender, etc.) stark variieren kann. In den Erprobungen wurde darauf geachtet nur zwei Einheiten des Regelunterrichts zu benötigen, wobei bei einer Durchführung von Lehrkräften in ihrer Praxis dem Faktor Zeitmanagement eine stärker untergeordnete Rolle zugeschrieben werden kann.

	Übergeordnetes Ziel	Vertiefende Lernziele	Key Ideas
Phase 1 (Einheit 1)	Herstellen eines eigenen Zollstabes & Thematisieren der Vertrauenswürdigkeit eines Messgerätes	• Erklären können, warum ein Messgerät immer eine gewisse Unsicherheit hat. • Die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messgeräte einschätzen und vergleichen können.	✓ Es gibt Messunsicherheiten: Wenn mit einem Messgerät gearbeitet wird, besitzt jede Messung eine Unsicherheit. ✓ Die Vertrauenswürdigkeit einer Messung ist wegen der Herstellung von Messgeräten begrenzt (Unsicherheit Typ B). ✓ Die Messunsicherheit resultiert nicht nur aus dem Gerät (Typ-B), sondern auch „der Zufall“ sorgt für Messunsicherheiten. Diese nennt man Unsicherheit Typ A. ✓ 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.
Phase 2 (Einheit 2)	Messungen mit dem Zollstab durchführen & Thematisieren der Vertrauenswürdigkeit einer Messung	• Erklären können, warum eine Messung immer eine gewisse Unsicherheit hat. • Die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messungen einschätzen und vergleichen können. • Ein Ergebnis vollständig (Mittelwert + Streuung) angeben können.	
Phase 3 (Einheit 3)	Konzeptbildung & Einführung von Größe, Dimension und Einheit im Kontext des Systèrne international d'unités	• Auf die Relevanz verschiedener Einheitensysteme eingehen können. • Einheiten und Dimensionen einander zuordnen können.	

1.1 Beschreibung der ersten Einheit

Einführung grundlegender Begriffe und Aktivierung von Lernendenperspektiven

Die Begriffe Messunsicherheit und wahrer Wert werden als Einstieg im Rahmen eines Berichts bzw. Lesen eines Artikels von der Lehrperson eingeführt. Optional dazu können Lernende eine Diskussion zum Thema Messunsicherheiten (Nature of Science: Zwei Gruppen mit vorgegebenen Meinungen) durchführen. Dabei werden Argumente für und gegen die Verwendung von

Messunsicherheiten vorgestellt und Lernendenvorstellungen zum Thema Messunsicherheiten herausgearbeitet. Die Lehrperson leitet dann zur **Planung einer Handlung** über. Um mehr über Messgeräte herauszufinden, ist es das Ziel ein eigenes Längenmessgerät zu bauen.

Durchlaufen der einzelnen Schritte bei der Herstellung eines Messinstruments

Es folgt der Bau eines Zollstabs, bei dem die einzelnen Schritte bei der Herstellung eines Messgeräts durchlaufen werden. Hier kann es sein, dass manche Gruppen bereits auf die Ungenauigkeiten bei den einzelnen Schritten aufmerksam werden. Es könnte jedoch auch der Fall sein, dass die einzelnen Schritte unreflektiert durchgeführt werden. Besonders beim Falten von Papierstücken zur Skalierung (besonders der Drittelung) kann ein derartiger Denkprozess jedoch besonders gut angestoßen werden.

Reflexion der vorangegangenen Handlung und Interpretation der gemachten Erfahrung

Entscheidend ist die anschließende Bewertung der Vertrauenswürdigkeit des eigenen Zollstabes und der Vergleich mit anderen Messgeräten. Der Begriff der Unsicherheit Typ B wird eingeführt und festgehalten, dass für jedes Messgerät eine Messunsicherheit dieser Art bestimmbar ist.

Kontextualisierung der einzelnen Unsicherheiten, die zur Unsicherheit Typ B führen

Im abschließenden Lückentext werden die Schritte vom Bau des Zollstabs nochmals aufgegriffen (Reflexion von ähnlichen Erfahrungen wie z.B. das Falten oder die Dicke des Stifts beim Übertragen vom Eichnormal) und somit die Aspekte der Ungenauigkeiten, die dabei in das Gerät „eingebaut“ werden mit der eigenen Erfahrung kombiniert (Eich-, Linearitäts- und Digi- bzw. Ableseunsicherheit).

1.1.1 Didaktische Anregungen zur ersten Unterrichtseinheit

Der Einleitungstext („Hat sich Einstein womöglich geirrt?“) kann bei Bedarf auch durch eine Erzählung der Lehrperson substituiert werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass notwendigerweise die Begriffe **Vertrauenswürdigkeit** und **Messunsicherheit** verwendet werden. Bei der optionalen Diskussion sollte darauf geachtet werden, dass diese von der Lehrperson moderiert und ebenso zeitgerecht beendet wird, da erfahrungsgemäß Schüler*innen hier teilweise sehr allgemeine und ausschweifende Themen behandeln. Am Ende können die Schüler*innen gefragt werden, welche der beiden Aussagen sie, unabhängig von ihrer Gruppe, nach der Diskussion, nun zustimmen würden. Überleitung bietet sich die Anmerkung an, dass nun Ziel der Stunde ist, mehr über das Messen und Messgeräte herauszufinden, weshalb ein eigenes Längenmessgerät gebaut werden soll. Das Thema der Diskussion sollte ebenso an geeigneten Stellen wieder aufgegriffen werden (z.B. es gibt keine 100%ige Vertrauenswürdigkeit, aber man kann sie so erhöhen, dass in der Physik vertrauenswürdige Forschung/Wissenschaft/Entwicklung möglich ist). Dabei geht es vor allem darum zu verhindern, dass bei Schüler*innen die Perspektive verstärkt wird, dass die Physik nicht „stimmt“ und man ihr eigentlich nicht vertrauen kann. Nach dem Lesen des Informationstextes („Das Lineal von King Henry“) bietet es sich an Schüler*innen nach Erfahrungen im Alltag zu der Einheit Zoll (Schüler*innen nennen z.B. Autoreifen,

Gartenschläuche, Bildschirmdiagonalen, etc.) zu fragen. Dies bildet ebenso einen inhaltlichen Bogen, der zur dritten Einheit (Text: „Die Wikinger am Basar“) gespannt wird. An dieser Stelle bieten sich auch ein Verweis auf historische Längeneinheiten wie beispielsweise die (Wiener) Elle an.

Eichnormale können entweder aus Holz oder einfach aus härteren Karton vorbereitet und später wiederverwendet werden (vgl. Abbildung 2). Um das Endergebnis beim Bauen des Zollstabs anschaulicher zu gestalten, kann ein Foto des fertigen Zollstabes (vgl. Abbildung 1) der Klasse präsentiert werden (z.B. via PowerPoint). Das Falten in 3 Teile stellt für viele Schüler*innen einen Arbeitsschritt dar, bei dem sie Unterstützung der Lehrperson brauchen.

Dies ist den individuellen klassenspezifischen Gegebenheiten zu adaptieren (z.B. Vorzeigen, gemeinsame Durchführung, Video abspielen etc.). Z.B. können die Schritte gemeinsam durchgeführt werden oder auch Gruppen ohne Anweisungen auf Basis der Angabe am Arbeitsblatt selbstständig ohne Kommentar der Lehrkraft arbeiten. Bei der anschließenden Bewertung der Vertrauenswürdigkeit ist besonders darauf zu achten, dass Schüler*innen hier auch Begründungen angeben (kein richtig oder falsch, da dies vor allem zur Aktivierung dient). Die einzelnen Beispiele der Vertiefungsfrage im Anschluss entsprechen der Eich- Linearitäts- bzw. Ableseunsicherheit. Der Lückentext in den Materialien auf Seite 7 wurde optional für leistungsstarke Schüler*innen entwickelt, die eventuell bereits früher mit Arbeitsaufträgen fertig sind. Der Text kann natürlich auch von der ganzen Klasse bearbeitet und nachbesprochen werden. Da der Zollstab für die nächste Einheit wieder benötigt wird, soll an dieser Stelle angeführt werden, dass das Absammeln und erneute Austeilen in der nächsten Stunde womöglich empfehlenswert sind.

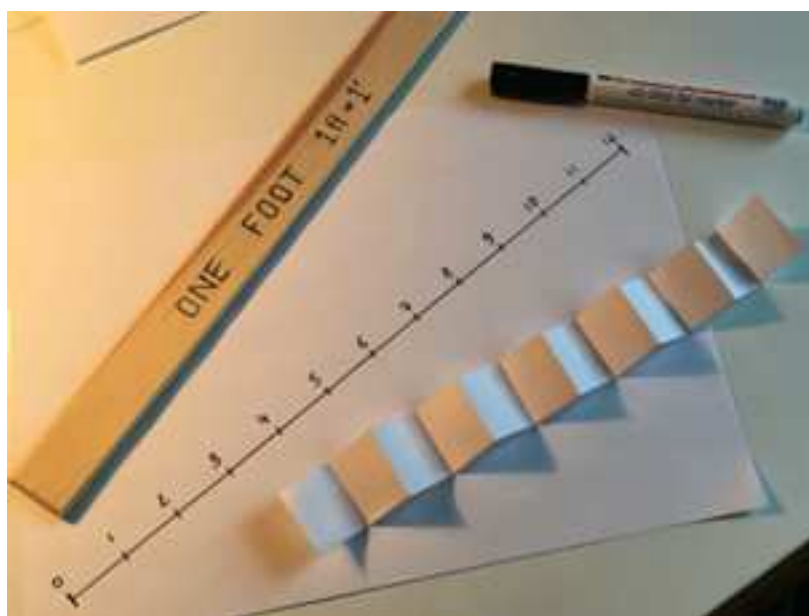


Abbildung 1: Eichnormal aus Holz, Zollstab auf A4-Papier und 12-mal gefalteter Papierstreifen



Abbildung 2: Eichnormale und Teilstücke

1.2 Beschreibung der zweiten Einheit

Zusammenfassung der Erkenntnisse der letzten Einheit (Aktivierung von Vorwissen)

Messgeräte unterscheiden sich bezogen auf ihre Messunsicherheiten. Wir verwenden nun jedoch Messgeräte mit derselben Unsicherheit Typ B (± 1 ") und wollen damit ein Messexperiment durchführen.

Durcharbeiten eines Prototyps mit anschließender Beschreibung des neuen Konzepts

Das Durcharbeiten des Prototyps bezieht sich auf die Messung der Teillängen und der anschließenden Berechnung einer Gesamtlänge. Anschließend werden nicht die Messgeräte, sondern die Messwerte der Gesamtlänge erneut, bezogen auf Vertrauenswürdigkeit, beurteilt. Obwohl alle Gruppen unter denselben Bedingungen gearbeitet haben, denn die Messgeräte und Gesamtlänge waren für alle Gruppen die gleichen, führt der Zufall dennoch dazu, dass sich die Messwerte der einzelnen Gruppen voneinander unterscheiden.

Anschließend werden die Konzepte Mittelwert und Unsicherheit Typ A erarbeitet und wiederum in Bezug zur Vertrauenswürdigkeit einer Messung gesetzt. Das richtige Angeben von Messergebnissen wird danach eingeführt und anhand von Beispielen vertieft.

Aktiver Umgang mit dem Konzept

Die Auswertung einer Messreihe erfolgt danach selbstständig für ein weiteres Beispiel (statistische Auswertung und richtige Angabe des Messergebnisses).

Anwendung des Konzepts in anderen Kontexten

Aufgaben zur Bewertung der Vertrauenswürdigkeit (richtige Angabe von Werten und Vergleich

von experimentellen Durchführungen wie der Anzahl der Messungen und Größe einzelner Messunsicherheiten) werden bearbeitet. Zusätzlich werden noch Übungsbeispiele zur Verfügung gestellt, in denen einerseits die Unterscheidung von vermeidbaren und unvermeidbaren Abweichungen und andererseits die Bewertung der Unterscheidbarkeit von Messergebnissen im Rahmen der Messunsicherheit behandelt wird.

1.2.1 Didaktische Anregungen zur zweiten Unterrichtseinheit

Als Überleitung zu dieser Einheit kann angeführt werden, dass in der vorherigen Stunde ein eigenes Längenmessgerät gebaut wurde und dieses nun getestet werden soll, um wiederum allgemein mehr über das Messen zu erfahren. Um eine Streuung von Werten in der Klasse, die nicht sofort die Aufmerksamkeiten der gesamte Klasse auf einen Wert lenkt, zu erhalten wurden die Teilstücke aus Papier modifiziert. Die Gesamtlänge aller Sets beträgt zwar 40 ", jedoch ergibt sich durch die Messungen der Teilstücke eine Streuung der Werte. Da die Endergebnisse auch mit den Zollstäben verbunden sind, können die Angaben für die Musterlängen bzw. die berechneten Werte, die sich aus den modifizierten Teillängen ergeben als in der Praxis oftmals erprobte Richtwerte angesehen werden. Die einzelnen Sets an Streifen können beliebigen rekombiniert werden, wobei hier für 12 Gruppen (24 Schüler*innen) Sets erstellt wurden. Die Nummerierung auf den Streifen dient vor allem zur Wiederverwendung durch die Lehrperson.

Für die Messung selbst sollte die Lehrperson auf die Formulierung in Arbeitsauftrag 1 auf Seite 8 nochmals explizit hinweisen, damit keine Dezimalwerte angegeben werden. Sollte dies der Fall sein, können diese im Nachhinein allerdings einfach gerundet werden (z.B. Man soll Werte nicht genauer angeben, als es die Vertrauenswürdigkeit (in diesem Fall repräsentiert durch die Auflösung), des Geräts zulässt, Wir wollen keine falsche Vertrauenswürdigkeit vortäuschen, die uns der Zollstab überhaupt nicht erlaubt, etc.). Es könnte ebenso der Fall sein, dass in manchen Gruppen die Streifen hintereinander aufgelegt und zusammen gemessen werden. Ein Kommentar dazu, dass jeder der Streifen einzeln gemessen werden muss, sollte dem jedoch genügen.

Dem Versuch einer weiteren Skalierung kann entgegnet werden, dass 16-faches Falten für eine $1/16$ "Skalierung mit unseren einfachen Mitteln nicht möglich ist, und Ziel der Aufgabe kein extrem vertrauenswürdiges Messergebnis ist, sondern mehr über Messunsicherheiten herauszufinden und deshalb die 1 "Skalierung beibehalten werden soll. Die gesammelten Gesamtlängen der einzelnen Gruppen sollten graphisch zusammengefasst werden (z.B. Tafelbild, vgl. Unterrichtskonzeption für SEK I). Vor den Fragen zu Gründen für die Streuung muss angegeben werden, dass alle Gruppen dieselbe Gesamtlänge erhalten haben, jedoch noch nicht auf welchen Wert diese mit einer sehr kleinen Messunsicherheit gemessen wurde. Dies bildet den Grundstein für die Frage nach dem besten Schätzer des wahren Werts und den anschließenden Gründen. Die Lehrperson sollte in diesem Abschnitt auch klar vermitteln, dass der wahre Wert einer Messgröße nur theoretisch aber praktisch niemals bestimmbar ist. Je nach mathematischer Vertiefung kann danach nochmals aufgegriffen werden, dass im Unendlichen die Unsicherheit Typ A gegen Null geht und somit der Mittelwert dem **wahren Wert** einer Größe entspricht. Das Beispiel zu Gründen für die Streuung zielt nicht bereits auf korrekte Lösungen ab, sondern gilt wiederum als Diskussionsgrundlage für die Besprechung im Plenum.

Die anschließende statistische Auswertung kann sehr individuell nach mathematischen Kompetenzen der Schüler*innen stattfinden. Hier stellen gemeinsame Auswertung, lehrerzentriert

mit Tafelbild, individuelle Auswertung mit GeoGebra, Excel oder Taschenrechner einige Möglichkeiten dar. Vor allem zum Nachlesen und als Vorbereitung für eine eventuelle schriftliche Überprüfungen sind die Formeln dafür in den Arbeitsblättern angeführt. Die Berechnung des Mittelwerts stellt dabei selten eine Herausforderung dar. Allgemein ist die vollständig korrekte Berechnung der statistischen Werte nicht von fundamentaler Bedeutung und ihr muss daher nicht zu viel Zeit eingeräumt werden. Vielmehr ist die Interpretation der Werte für die Verfestigung des Konzepts der Messunsicherheit bedeutend.

Die Bedeutung des wahren Werts im Zusammenhang mit der Natur der Physik sollte nach der Berechnung und Interpretation ebenso nochmals vertieft werden. Bei der Einführung der Unsicherheit Typ A kann bzw. sollte ebenso angegeben werden, dass es sich bei Typ A und Typ B eigentlich um zwei verschiedenen Methoden handelt, es aber nur eine tatsächliche Messunsicherheit gibt. Schüler*innen neigen erfahrungsgemäß am Anfang dazu die kleiner Messunsicherheit anzugeben, weil sie diese als besser einschätzten. Der Unterschied der beiden Unsicherheiten, sowie eine Abgrenzung von vermeidbaren Fehlern kann zusätzlich mit der entsprechenden Übungsaufgabe gefestigt werden.

1.3 Beschreibung der dritten Einheit

Historische Erzählung zu Einheitensysteme

Um auf das Thema unterschiedlicher Einheitensysteme aufmerksam zu machen, wird eine Geschichte vorgelesen und anschließend Fragen dazu besprochen (post-reading exercise).

Lehrerzentrierte Einführung von neuem Wissen zum SI und Messgrößen

Lehrperson führt mit Tafelbild die Begriffe Messgröße, Dimension und Einheit ein. Auf das SI wird ebenso eingegangen.

Selbstständige Erarbeitung der 7 SI-Dimensionen mit entsprechenden Einheiten

Mit Hilfe einer Internetrecherche wird eine Tabelle mit fehlenden SI- Einheiten, Abkürzungen und Dimensionen vervollständigt.

Aktive Anwendung des neuen Wissens in anderen Kontexten

Aufgaben zu Größenordnungen und Vorsilben werden mit gestuften Hilfen gelöst.

1.3.1 Didaktische Anregungen zur dritten Unterrichtseinheit

Die historische Erzählung „Die Wikinger am Basar“ kann wiederum entweder gemeinsam durchgelesen oder auch von der Lehrperson nacherzählt werden. Die anschließenden Vertiefungsfragen können als Diskussionsgrundlage und Einführung für das Thema Einheiten angesehen werden. Das angeführt Tafelbild, dass in den Materialien enthalten ist, kann direkt übernommen werden. Die anschließenden Internetrecherche kann entweder individuell oder in Kleingruppen durchgeführt werden. Allgemein kann angenommen werden, dass vor allem das Konzept der Dimension für Schüler*innen noch neuartig ist und hier höchstwahrscheinlich die bestmöglichen Schwierigkeit zu erwarten sind.

2 Material

- Arbeitsblatt - Optionale Aufgabe: Hat sich Einstein womöglich geirrt? (1. Einheit)
- Arbeitsblatt - Das Lineal von King Henry I (1. Einheit)
- Lückentext - Woher kommt die Unsicherheit eines Messinstruments? (1. Einheit)
- Experimentieranleitung - Längenmessung (2. Einheit)
- Übungsaufgaben - Unsicherheiten und Fehler (2. Einheit)
- Übungsaufgaben - Messergebnisse (2. Einheit)
- Arbeitsblatt - Die Wikinger am Basar (3. Einheit)
- Tafelbild - Physikalische Messgrößen (3. Einheit)
- Das SI – (Système international d’unités (3. Einheit)
- Übungsaufgaben - Internationales Einheitensystem (3. Einheit)
- Übungsaufgaben - Größenordnungen (3. Einheit)
- Vorlage - Experiment Längenmessung
- Hinweiskärtchen zum Ausschneiden und Aneinanderkleben bzw. folieren
- Lösungserwartungen
- Detailplanungen

Die Materialien sind für insgesamt drei Einheiten konzipiert, wobei einzelnen Abschnitte auch in Folgestunden verlegt werden können und der zeitliche Rahmen klassenindividuell variieren kann. Die dritte Einheit ist optional und nicht für die Einführung des Themas Messunsicherheiten notwendig. In dieser wird das Thema, Einheiten, Dimensionen und Größenordnungen abgedeckt (9. Schulstufe). Die Einheiten sind arbeitsblatt-basiert und Arbeitsaufträge so gestaltet, dass Arbeitsaufträgen in Gruppen (Empfehlung zu je zwei Schüler*innen) durchgeführt werden sollen. Die Arbeitsblätter sind ebenso derartig konzipiert, dass sie Informationen und Definitionen zu grundlegenden Begriffen liefern und somit von Schüler*innen auch nach Abschluss der Einheiten zum Nachlesen verwendet werden können.

Als zentrales Konzept für die Entwicklung der Materialien wird die **Vertrauenswürdigkeit** angesehen, welches eng mit jenem der Messunsicherheit verbunden ist. Es zieht sich daher wie ein roter Faden durch die Lernumgebung durch und die Lehrperson sollte ebenso darauf achten, dies auch in Formulierungen, Fragestellungen und Besprechung von Messergebnissen zu berücksichtigen (z.B. am CERN waren die Messergebnisse letztendlich nicht vertrauenswürdig genug; Welches Messergebnis ist vertrauenswürdiger?; Bedeutet eine kleiner Messunsicherheit eine größere Vertrauenswürdigkeit?; etc.) Klar definiertes Lernziel ist folglich, dass Schüler*innen nach der Einheit Messungen, Messergebnisse und Messgeräte auf Basis ihrer Vertrauenswürdigkeit **bewerten** können.

Für die praktische Durchführung werden folgenden Materialien benötigt (Für die 3. Einheit wird nur das Arbeitsblatt benötigt):

1. Einheit

- Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in)
- Schere (wenn möglich 1x pro Schüler*in)
- Dicke Filzstifte (wenn möglich 1x pro Schüler*in)
- Weißes Blatt Papier A4 (2x pro Schüler*in)
- Eichnormale (mindestens 1x pro Gruppen)

2. Einheit

- Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in)
- Set an Teilstücken aus Papier (vgl. Mustervorlagen 1x pro Schüler*in)
- Selbstgebauter Zollstab aus Einheit (1x pro Schüler*in)

Die Vertiefungsfragen der Arbeitsblätter können entweder direkt am Arbeitsblatt oder auch mit einer digitalen Lernhilfe und dem Smartphone in der Klasse gelöst werden (hier wird z.B. socrative.com empfohlen). Diese eignen sich vor allem als gute Diskussionsgrundlage und zur Aktivierung aller Schüler*innen, da hier alle eine Antwort abgeben müssen und Prozentsätze für die jeweilige Klasse direkt angezeigt und im Zuge dessen die Antwortmöglichkeiten besprochen werden können.

3 Fachliche Klärung

3.1 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.

3.2 Schüler*innenvorstellungen

Die vorgestellten Schüler*innenvorstellung können häufiger bei der Behandlung der Themen Messunsicherheit und Vertrauenswürdigkeit auftreten. Sie sind übernommen aus dem Werk „Schülervorstellungen 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 Schülervorstellung, 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.

3.3 Tipps & Tricks

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

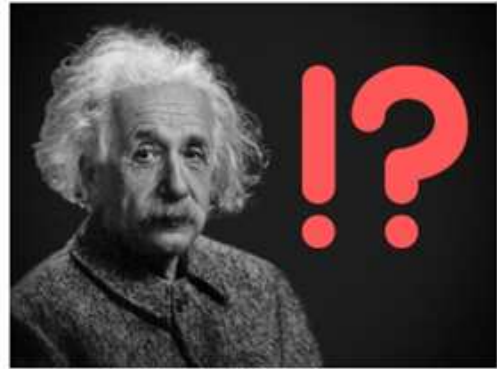
Eine häufig auftretende Hürde ist das Falten des Zollstockes aus Papier. Hierbei erweist sich das Dritteln des Papiers als besonders schwierig. Es empfiehlt sich hier Zeit zu nehmen, um den Vorgang genau zu erklären und vorzuzeigen, sowie die Schüler*innen direkt am eigenen Papierstreifen mitfalten zu lassen.

Das fehlerfreie Eintippen der Werte zur Berechnung der Standardabweichung, ist ebenfalls nicht immer gegeben. Es besteht viel Fehlerpotential, wenn die Schüler*innen ungeübt darin sind, im Taschenrechner viele Rechenoperationen hintereinander einzugeben und Klammern richtig zu setzen. Um dem entgegenzuwirken, kann beispielsweise eine abgespeicherte Formel am Taschenrechner oder eine Tabelle in Excel verwendet werden, in denen nur die Messwerte eingetragen werden müssen.

Optimale Aufgabe: Hat sich Einstein womöglich geirrt?

Albert Einstein ist in der breiten Öffentlichkeit vor allem für die Relativitätstheorie bekannt. Eine Konsequenz aus Einsteins spezieller Relativitätstheorie ist, dass sich nichts schneller als das Licht bewegen kann. Doch ist dem wirklich so?

Ein Forscherteam am CERN-Institut, einer Forschungseinrichtung in der Nähe von Genf, führte 2011 ein Experiment durch. Dabei wurde für bestimmte Teilchen eine



Geschwindigkeit gemessen die sogar größer als die Lichtgeschwindigkeit war. Ein solches Messergebnis hätte auf die gesamte Physik weitreichende Auswirkungen gehabt und zog sofort die Aufmerksamkeit von Forschern auf der ganzen Welt auf sich. Es stellte sich allerdings nach weiteren Tests und Messungen heraus, dass die Messergebnisse bzw. die Art und Weise wie oder womit gemessen wurde nicht vertrauenswürdig genug waren. Das Forscherteam musste einräumen, dass die Vertrauenswürdigkeit bzw. Messunsicherheit eines Geräts falsch eingeschätzt wurde und ein Lichtleiterkabel fehlerhaft gebaut war. Der Wert für den Unterschied zur Lichtgeschwindigkeit war für diese Teilchen so gering, dass dies im Rahmen der Messunsicherheit nicht aussagekräftig war. Einstein und seine Relativitätstheorie blieben somit weiterhin bis heute unangetastet.

Daytime Talk Show zum Thema: Wissenschaft und Forschung

Gruppe A:

Physik ist eine exakte Wissenschaft.

Gruppe B:

Keine wissenschaftliche Aussage ist zu 100% sicher.

Notizen:

Das Lineal von King Henry I

In Europa und vielen anderen Teilen der Welt werden fast überall dieselben Einheiten für Messgrößen verwendet. Dies erleichtert die internationale Zusammenarbeit in Wissenschaft und Forschung.



Wir verwenden in unserem System beispielsweise die Einheit Meter (abgekürzt m) für Längenmessungen. Zur weiteren Aufteilung wird die **Basis 10** verwendet, weshalb 1 Meter in 10 Dezimeter, 100 Zentimeter, 1000 Millimeter, etc. unterteilt werden kann.

Es gibt aber auch noch das **imperiale Einheitensystem**, welches auf das British Empire zurückgeht. Dies ist heute noch im Vereinigten Königreich, den USA und anderen englischsprachigen Staaten für manche Größen (z.B. Länge und Masse) vor allem im Alltag präsent.

Ein Messgerät selbst bauen

Eine Einheit für die Länge im imperialen System ist beispielsweise *der Fuß* (engl. foot). Diese Einheit wird oft mit der Fußlänge von **King Henry I** (1068–1135) in Verbindung gebracht. Tatsächlich war die Einheit Fuß jedoch schon viel früher in Gebrauch und wurde immer wieder neu definiert. Heute entspricht ein Fuß (**abgekürzt: 1'**) einer Länge von **30,48 cm**.

Um ein Messgerät wie ein Lineal selbst zu bauen, benötigt man ein sogenanntes **Eichnormal**. Das Eichnormal unter euren Materialien wurde sehr präzise auf die Länge von genau 1' gemessen.

Arbeitsauftrag

Schritt 1

Verwendet das Eichnormal als Schablone, um damit ein Lineal mit einer Länge von 1' auf ein weißes A4-Papier zu übertragen. Verwendet dazu den **Filzstift** aus euren Materialien. Diese Länge kann nun in eine beliebige Anzahl von Teilstrecken nochmals unterteilt werden. Im imperialen System wird ein Fuß nicht in 10 Teile unterteilt, sondern 12. Diese Teilstücke haben die Einheit von einem Zoll, auch Inch genannt (**abgekürzt: 1''**).

Schritt 2

Faltet die Länge nun in 12 Teilstücke und **beschriftet die Skala**. Schneidet dazu zunächst den Papierstreifen mit der Länge 1' aus. Um 12 Teilstücke zu erhalten, faltet den Streifen zuerst in der Hälfte, dann in Drittel und zuletzt nochmals in der Hälfte.

Nur noch die Skala beschriften und ihr habt euch keinen Meterstab, sondern einen sogenannten **Zollstab** selbst gebaut!

Wie vertrauenswürdig würdet ihr den Zollstab eurer Gruppe für die Messung von Längen einschätzen? Begründet eure Antwort.



Begründung:

Was macht einen Zollstab so besonders?

Beantwortet die anschließenden Fragen in euren Gruppen, um mehr über Längenmessgeräte herauszufinden.

1) Wie groß ist die **kürzeste Strecke**, die mit eurem Zollstab anhand der Skalierung gemessen werden kann?



Abbildung 1: Zollstab mit 1/16"Skalierung
<https://artdepartmental.com/blog/tape-measure/> (18.02.2021)

2) **Diese Strecke** kann zunächst als erste Abschätzung für die Messunsicherheit des Geräts herangezogen werden. Die **Messunsicherheit** wird in der Physik allgemein häufig mit dem griechischen Buchstaben Delta Δ abgekürzt wird. Wie groß ist die Messunsicherheit eures Zollstabes?

$$\Delta l = \pm \quad ''$$

$$\Delta l = \pm \quad \text{cm}$$

3) Wie groß ist die Messunsicherheit von den meisten Linealen oder Geodreiecken?

4) Tatsächlich werden Zollstäbe oftmals noch weiter skaliert. Dabei wird ein Zoll nochmals in 16 Teilstücke gegliedert wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Die kleinste Markierung entspricht dabei **1/16 ''**. Wäre eine Messung mit einem solchen Zollstab **vertrauenswürdiger** als eine Messung, die mit einem Geodreieck durchgeführt wird? Begründet eure Antwort.

Woher kommt die Unsicherheit eines Messinstruments?

Vervollständige den nachstehenden Text, um mehr über die Messunsicherheiten von Messgeräten mit einer Skala herauszufinden.

Die Messunsicherheit eines _____ entsteht durch einzelne Schritte bei der Herstellung. Dafür wird zu Beginn ein Eichnormal benötigt, welches zuvor so genau als möglich an gemeinsame _____ angepasst wurde. Beim Übertragen der Eichlänge vom Eichnormal auf die Skala des Messgeräts spielt die _____ eine Rolle. Ein sehr dicker Stift kann beispielsweise das Übertragen schon ungenau machen. Bei der Unterteilung der Skala auf dem Messgerät können die _____ unterschiedliche Abstände aufweisen. Weil dadurch die Schrittweite nicht gleichförmig (=linear) sein kann, wird dies als _____ bezeichnet. Eine dritte Unsicherheit liegt vor, wenn ein zu messender Wert zwischen zwei Markierungen liegt. Hier muss man „runden“ und sich zwischen dem oberen und unteren _____ entscheiden. Dabei handelt es sich um die _____. Diese drei zusammen ergeben die Messunsicherheit des Messgerätes. Die Methode, aus Überlegungen zum Aufbau des Messgerätes die Messunsicherheit zu bestimmen, wird _____ genannt. Wenn der Hersteller eines Messgeräts keine zusätzlichen Angaben bereitstellt, kann die _____ des Geräts als die Unsicherheit Typ B angenommen werden. Die Unsicherheit Typ B des selbst gebauten Zollstabes ist _____ als die eines Geodreiecks.

internationale Standards

Linearitätsunsicherheit

Skalenteil

Auflösung

Unsicherheit Typ B

kleiner

Eichunsicherheit

größer

Markierungen

Digitalisierung- oder Ableseunsicherheit

Messgeräts

Die Vertrauenswürdigkeit eines Messgeräts hängt von dessen Messunsicherheit ab. Sie wird mit anderen Methoden als der Statistik bestimmt und **Unsicherheit Typ B** genannt. Wenn vom Hersteller keine zusätzliche Angabe vorhanden ist, entspricht sie der **Schrittweite der Skala** dieses Messgeräts.

Welche der Beispiele sind für Überlegungen zur Unsicherheit Typ B eines Messgeräts relevant?

- ☐ Übertragen der Länge von einem Eichnormal (z.B. auf Papier)
- ☐ Skalierung
- ☐ Marke des Messgeräts
- ☐ Ablesen von Werten, die zwischen Skalenteilen liegen
- ☐ Größe der Herstellerfirma
- ☐ Design der Anzeige

Experiment - Längenmessung

1) Unter euren Materialien befinden sich Teilstücke einer relativ langen Strecke aus Papier. Wir wollen nun testen, wie gut unser Zollstab für die Messung von solchen Strecken geeignet ist. Eure Aufgabe ist es, die Länge der gesamten Strecke in der Einheit Zoll zu ermitteln. Tragt dazu eure Messungen für die Teilstücke in die untenstehende Tabelle ein. Gebt Messwerte nur so genau an, wie es euer Zollstab ermöglicht.

Teilstück	Länge in ''	Teilstück	Länge in ''
1		9	
2		10	
3		11	
4		12	
5		13	
6		14	
7		15	
8		16	

Für die gesamte Strecke ergibt sich aus den Daten eine Länge von _____ ''

2) Wie vertrauenswürdig würdet ihr euer Ergebnis einschätzen?



Begründung:

3) Welches Ergebnis kommt wahrscheinlich dem **wahren Wert** am nächsten?

- | | |
|-------------------------------|---|
| ☐ 37'' | ☐ 42'' |
| ☐ 38'' | ☐ 43'' |
| ☐ 39'' | ☐ 44'' |
| ☐ 40'' | ☐ 45'' |
| ☐ 41'' | ☐ ein anderer Wert |



4) Warum erhalten wir bei **diesem Experiment** gestreute Ergebnisse?

- ☐ Die Messgeräte hatten eine unterschiedliche Unsicherheit Typ B
- ☐ Zufällige Abweichungen führen zur Streuung
- ☐ Manche Gruppen haben absichtlich nicht genau gearbeitet
- ☐ Werte wurden merklich falsch abgelesen und nicht nochmal gemessen
- ☐ Streuung tritt bei jeder Messreihe auf

Wie kann man eine Messreihe auswerten?

1) Trage die Werte, die von den einzelnen Gruppen für die gesamte Länge l der vorgegebenen Strecke ermittelt wurden in die untenstehende Tabelle ein.

Messwerte n	Länge l [']	Messwerte n	Länge l [']
l_1		l_8	
l_2		l_9	
l_3		l_{10}	
l_4		l_{11}	
l_5		l_{12}	
l_6		l_{13}	
l_7		l_{14}	

Um den bestmöglichen Wert einer Messreihe zu ermitteln, verwenden wir ein mathematisches Hilfswerkzeug. Der bestmögliche Wert ist dabei jener, der dem **wahren Wert** am nächsten kommt. Der **wahre Wert** ist ein gedachter idealer Wert, der aufgrund von vermeidbaren und unvermeidbaren Abweichung nicht existiert.

Der **Bestwert** einer Messreihe kommt dem **wahren Wert** der Messgröße am nächsten, unter der Voraussetzung, dass keine vermeidbaren Abweichungen, wie **systematischen Effekte** oder **Messfehler** auftreten.

Für den **Bestwert** eignet sich oft die Berechnung des arithmetischen Mittels, das auch einfach als **Mittelwert** bezeichnet wird. Der berechnete Mittelwert einer Messgröße wird mit einem Querstrich darüber gekennzeichnet und lässt sich am Beispiel für die Länge folgendermaßen berechnen:

$$\bar{l} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n}$$

$\bar{l}$...Mittelwert

n ...Anzahl der Messwerte

l_1, l_2, l_n ... einzelne Messwerte der Messreihe

2) Der Mittelwert für die Länge aus der Messreihe ergibt _____ ''

Es gibt allerdings nicht nur die Unsicherheit Typ B, sondern auch eine Unsicherheit, die wiederum berechnet werden kann. Dabei handelt es sich um die sogenannte **Unsicherheit Typ A**, welche die **beste Schätzung für die Streuung** einer Messreihe darstellt.

Die Berechnung der Unsicherheit Typ A erfolgt über die
Standardabweichung des Mittelwerts u_x

Für sie gilt:

$$u_x = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{(l_1 - \bar{l})^2 + (l_2 - \bar{l})^2 + \dots + (l_n - \bar{l})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

u_x ...Standardabweichung des Mittelwerts

s_x ...Standardabweichung

$\bar{l}$...Mittelwert

n ...Anzahl der Messwerte

l_1, l_2, l_n ... einzelne Messwerte der Messreihe

3) Die Unsicherheit Typ A für diese Messreihe ergibt daher _____ ''

Mehr zum Thema Auswertung

1) Wie weit ist der Messwert eurer Gruppe vom Mittelwert entfernt?



2) Welche der beiden Unsicherheit (Typ-A oder Typ-B) ist größer?

3) Welche der beiden Messunsicherheiten sollte angegeben werden, um keine falsche Vertrauenswürdigkeit von Messergebnissen vorzutäuschen?

4) Gib nun die Messgröße mit der passenden Messunsicherheit an. Die Schreibweise kann hierbei variieren. Alle **drei Schreibweisen** werden in der Wissenschaft verwendet.

$$\begin{aligned} \bar{l} &= (\quad \pm \quad)'' \\ \bar{l} &= \quad '' \pm \quad '' \\ \bar{l} &= \quad '' \quad \text{und} \quad \Delta l = \quad '' \end{aligned}$$

5) Vervollständige folgende Aussagen:

Je _____ Messungen für eine Messreihe durchgeführt werden, umso näher kommt der Bestwert an den wahren Wert einer physikalischen Messgröße.

Je _____ Messungen bei einem Experiment durchgeführt werden, umso vertrauenswürdiger ist das Messergebnis.

Anwendungsbeispiel - 100 Meter Sprint

In der nachstehenden Tabelle sind die Messdaten für die **Zeit** t , die ein Rennläufer für eine Strecke von 100m benötigt, eingetragen. Diese wurde von 10 Gruppen mittels einer Stoppuhr einer Unsicherheit Typ B von $\pm 0,01$ s gleichzeitig gemessen (die Stoppuhren der meisten Smartphones haben eine derartige Messunsicherheit). Die Messwerte der einzelnen Gruppen unterscheiden sich allerdings voneinander.

Messwerte n	Zeit t [s]
1	11,34
2	10,98
3	11,21
4	11,79
5	11,22
6	11,67
7	12,01
8	11,27
9	11,48
10	11,55

1) Berechne nun den Mittelwert und die Unsicherheit Typ A, um aus den Daten ein Messergebnis anzugeben, das dem wahren Wert für die Zeit des Rennläufers am nächsten kommt. (Notiere die berechneten Werte zuerst auf mindestens 3 Kommastellen)

$$\begin{aligned}\bar{t} &= \quad \quad \quad \text{s} \\ \Delta t &= \quad \quad \quad \text{s}\end{aligned}$$

2) Gib nun den Messwert für die Messreihe aus der Tabelle mit der geeigneten Messunsicherheit in einer physikalisch korrekten Schreibweise an.

Übungsaufgaben - Unsicherheiten und Fehler

Eine Schülerin sucht im Internet Unterstützung bei einem Problem mit ihrer Messung. Lies zunächst aufmerksam den Twitter-Verlauf durch.



Ich soll für ein Schulprojekt Messungen mit einem Laser-Entfernungsmesser machen, aber irgendwie kommen da immer andere Werte raus, wie 0,406m oder 0,395m auf den Bildern. Hat jemand eine Idee, was ich falsch mache?



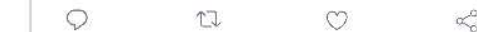
4:17 PM. Jan 24, 2025 · Twitter for Android

27 Retweets 153 Likes



Carl @ClickbaitCarl · 3h
@zoezoezoeReplying to

Misst du an unterschiedlichen Stellen?



Zoe @zoezoezoe · 3h

Nein die Werte ändern sich, obwohl ich das Messgerät nur ganz leicht bewege



Tekin @Techie · 4h
@zoezoezoeReplying to

Hast du schonmal in der Anleitung nachgesehen, wie genau das Ding messen kann? 40,6 und 39,5cm sind jtz nicht so weit voneinander entfernt, vlt gehts nicht besser 🤔



Eve @Ironie_Inc · 4h
@zoezoezoeReplying to

Mädel hast du dir den Block, den du da misst mal angesehen? Der ist beim besten Willen keine 40cm lang (/.-)



Bob @BobDerBaumeister · 5h

Solche Messgeräte haben meist zwei Einstellungen, da sie entweder vom hinteren oder vom vorderen Ende aus messen können. Wenn du von hinten messen eingestellt hast, kannst du zB einfach die Länge des Geräts abziehen 😊



Sven @CyberSven · 5h
@zoezoezoeReplying to

Laser-Entfernungsmesser sind für Luft ausgelegt, nicht für Glas. Das hat einen anderen Brechungsindex und verfälscht dir damit komplett die Messung. Nimm einfach irgendein Lineal oder so, dann kommen da gescheite Werte raus.



Verfasse nun ein Kommentar mit dem du diese difusen Gesprächsstränge zusammenführst. Erkläre dabei, mit Bezug auf die anderen Kommentare, wie systematische Effekte, Messfehler, sowie die Unsicherheiten Typ A und Typ B hier eine Rolle spielen.

Übungsaufgaben - Messergebnisse

Anschließend sind Messergebnisse von verschiedenen Forscherteams zu sehen.



1) Kreuze an, welche Teams wirklich gewissenhaft gearbeitet und Messergebnisse richtig angegeben haben. Der Querstrich über den errechneten Mittelwerten wird in der Forschung meistens nicht mehr angegeben.

Forscherteam	Darstellung des Messergebnisses	✓
A	$T = (12,3 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$	
B	$U = (70,01283082 \pm 2,342123432) \text{ V}$	
C	$l = 150 \text{ m}$	
D	$m = 82 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$	
E	$t = 12 \text{ s} \pm 0,01$	

2) Ordne folgende Messungen von Stromstärken (in Milliampere mA) nach ihrer Vertrauenswürdigkeit. Gemessen wurde mit einem Amperemeter mit einer **Unsicherheit Typ B von $\pm 5 \text{ mA}$** . (beginnend mit der Größten) Messreihe Mittelwert

Messreihe	Mittelwert	Unsicherheit Typ A	Anzahl der Messwerte n
A	225 mA	$\pm 7 \text{ mA}$	10
B	223 mA	$\pm 9 \text{ mA}$	10
C	231 mA	$\pm 11 \text{ mA}$	10
D	225 mA	$\pm 4 \text{ mA}$	10

3) In einer Schulklasse wird im Turnunterricht der Puls nach 15 min Anstrengung gemessen. Rasches Absinken des Pulses deutet auf eine gute Ausdauer hin. Zur Messung wurde ein **Puls-oximeter** verwendet bei dem einfach der Finger in das Gerät gehalten werden muss. Für Lisa wurde ein Puls von **109 bpm** (engl. Schläge pro Minute) und für ihre Freundin Lea **112 bpm** gemessen. Für das Pulsoximeter wird vom Hersteller eine Unsicherheit Typ B von $\pm 2 \text{ bpm}$ angegeben. Was kann man über die beiden Schülerinnen auf Basis der Messergebnisse feststellen?

- ☐ Lisas Ausdauer ist besser als die von Lea
- ☐ beide Schülerinnen haben den gleichen Puls
- ☐ Leas Puls ist niedriger als der von Lisa
- ☐ Lisas Puls ist niedriger als der von Lea

4) In derselben Klasse wurde danach auch die Größe ermittelt. Für Lea wurde mit einem Meterstab die Größe von **(171 $\pm$ 1) cm** gemessen. Lisa will nun aber auf Nummer sicher gehen und ließ ihre Größe mit einem Maßband von einer Unsicherheit Typ B von $\pm 1 \text{ mm}$ durchführen. Die Messung ergab einen Wert von **172,2 cm** für Lisa. Was kann man hier mit Sicherheit feststellen?

- ☐ beiden Schülerinnen sind gleich groß
- ☐ Lisa ist größer als Lea
- ☐ Lea ist größer als Lisa

Die Wikinger am Basar

Die englischen Könige haben bereits vor Henry I immer schon mit den umliegenden Ländern und Regionen regen Handel betrieben. Wichtige Handelspartner waren vor rund 1000 Jahren vor allem die Wikinger in Europa. Sie waren nicht nur geschickte Seefahrer und tapfere Krieger, sondern auch weit vernetzte Händler. Die Wikinger handelten Güter wie Honig, Felle, Waffen oder auch Walrosselfenbein gegen Wein, Silber, Gold und Stoffe aus England.



So war es meistens üblich 25 Fässer voll mit Fellen gegen 3 Fässer Silber zu tauschen. Die Wikinger haben ihre Handelsgebiete jedoch im Laufe der Zeit immer weiter ausgeweitet, bis hin zu Städten wie Bagdad im Mittleren Osten. Auch hier wollte ein großer Wikingerfürst eine enorme Menge von 250 Fässern Fellen gegen 30 Fässer Silber tauschen. Der Kalif von Bagdad stimmte dem Tauschgeschäft zu und stellte ebenso weitere Lieferungen im Gegenzug gegen mehr Fässer in Aussicht. Als die Wikinger ihre Fässer im Hafen von Bagdad abgeladen hatten, ließ der Kalif die ersten 30 Fässer Silber bringen. Da konnten die Wikinger zuerst ihren eigenen Augen nicht trauen, denn die Fässer in Bagdad waren viel größer als jene, die sie auf ihren Schiffen den weiten Weg transportiert hatten. Doch sie hatten sich etwas zu früh gefreut, denn im Fernen Osten hatte die Mathematik bereits einen großen Stellenwert. Nach ein paar Rechenschritten wurde ihnen mitgeteilt, dass sie nur 10 Fässer des Kalifen bekommen werden, da ein normales Fass in Bagdad 3-mal größer ist als jene, die die Wikinger produzieren. Die Wikinger haben anscheinend etwas anderes unter einem Fass verstanden als ihre neuen Handelspartner.

1) Was können wir über die Fassgrößen in England und Skandinavien bei den Wikingern annehmen?

- ☐ die Ausmaße sind gleich definiert worden
- ☐ die Wikinger haben kleinere Fässer als die Engländer
- ☐ sie werden alle aus dem gleichen Holz hergestellt
- ☐ sie sind gleich schwer, wenn sie mit gleichen Handelswaren befüllt werden

2) Welche Maßnahmen könnten Konflikte beim Handeln, wie hier in Bagdad, von vornherein verhindern?

- ☐ beliebige Umrechnungstabellen in Handelszentren
- ☐ Anrecht auf einen Umrechnungs-Vorteil beim folgenden Handel, wenn man einmal benachteiligt wurde
- ☐ global einheitliche Definitionen von Größen
- ☐ Rhetoriktraining für Händler

Tafelbild: Physikalische Messgrößen

Es gibt verschiedene Eigenschaften von Objekten, die **berechnet** oder **gemessen** werden können. Beispiele für solche Eigenschaften wären die **Länge**, die **Temperatur** oder die **Geschwindigkeit** eines Objekts. Diese Eigenschaften werden auch physikalische Messgrößen genannt. Eigenschaften können in verschiedenen Einheiten angegeben werden.

Eine Größe G wird mit ihrem Zahlenwert $\{G\}$ und ihrer Einheit $[G]$ angegeben.

$$G = \{G\}[G]$$

Bsp. $m=15\text{kg}$

In Worten:

$\{m\}=15$	der Zahlenwert von m ist 15
$[m]=\text{kg}$	die Einheit von m ist Kilogramm

Der Buchstabe m ist die Abkürzung für die physikalische Messgröße der Masse und kg gehört zu den **sieben SI-Basiseinheiten**. Im sogenannten **SI** (franz. Internationales Einheitensystem) gibt es daher auch **sieben Dimensionen**. Die Dimension der Länge kann aber auch in anderen Einheiten wie Metern, Zentimetern, Kilometern oder auch Lichtjahren angegeben werden. Es gibt zwar nur sieben Dimensionen aber noch viele weitere Messgrößen wie z.B. die Geschwindigkeit. Seit 2019 sind alle Basiseinheiten über Naturkonstanten definiert.

Das SI – (Système international d'unités)

Das internationale Einheitensystem hat einen wesentlichen Beitrag zur wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Zusammenarbeit auf der ganzen Welt geleistet. Durch die **sieben Basiseinheiten** lassen sich alle weiteren zusammengesetzte Einheiten ableiten. Dasselbe gilt auch für die sieben Dimensionen aus der nachstehenden Tabelle. Es sind jedoch einige Angaben in dieser Tabelle verloren gegangen. Versuche zuerst die Tabelle so gut als möglich zu vervollständigen. Sollten noch einige Einträge fehlen können Informationen aus dem Internet hilfreich sein.

Dimension	Formelzeichen	SI- Einheit	Abkürzung
Länge		Meter	
	t	Sekunde	
Masse	m		kg
	l	Ampere	
	T	Kelvin	
Stoffmenge	n		mol
	I_v	Candela	

Auch alle anderen Größen und Einheiten können dadurch abgeleitet werden:

$[A] = \text{m}^2$ Die Einheit der Fläche A ist Quadratmeter ($\text{m} \cdot \text{m} = \text{m}^2$)

$[F] = \text{N}$ Die Einheit der Kraft F ist Newton ($1\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Übungsaufgaben - Internationales Einheitensystem

1) Welche der folgenden Begriffe sind physikalische **Messgrößen**?

Meter	Kilogramm	Länge	Geschwindigkeit	
Sekunde	Strecke	Masse	Candela	Kraft

2) Welche der folgenden Begriffe sind **SI-Einheiten** für die **Zeit**?

Sekunde	Augenblick	Zeitdauer	Lichtjahr
Monat	Millisekunde	Jahr	

3) Welche der folgenden Begriffe sind **SI-Einheiten** für die **Geschwindigkeit**?

m/s	km/s	Beschleunigung	Millimeter pro Stunde
Meter pro Sekunde	km/h	Geschwindigkeit	Tempo

4) Welche der Einheiten sind **Basiseinheiten des SI**?

Dekagramm dag	Ampere A	Sekunde s	Zentimeter cm
Tonne t	Kelvin K	Spannung U	

5) Welche der folgenden Begriffe sind **Einheiten im SI**?

Kilometer	Masse	Volt	Länge
Elektrische Stromstärke	Minute	Kelvin	

6) Welche der folgenden Begriffe sind **physikalische Messgrößen**?

Fläche	Länge	Höhe
Temperatur	Dicke	

7) Welche der folgenden Begriffe sind Beispiele für eine **Dimension im SI**?

Zeit	Geschwindigkeit	Radius	Länge
Volt	Umfang	Lichtstärke	Durchmesser

8) Bei der Geschwindigkeit handelt es sich um eine sogenannte **zusammengesetzte Messgröße**. Welche Dimension besitzt sie? _____

(**Tipp:** Aus welchen beiden Messgrößen setzt sich die Geschwindigkeit zusammen? Wie lautet die Formel zur Berechnung der Geschwindigkeit? Welche Dimensionen haben diese beiden Messgrößen?)

9) Gib die zusammengesetzte Einheit der Geschwindigkeit an. Verwende dazu Basiseinheiten des SI. _____

Übungsaufgaben - Größenordnungen

Messgrößen können natürlich in verschiedensten Einheiten für Werte unterschiedlicher Größenordnungen angegeben werden. Versuche durch die Tabelle 'Präfixe des SI mit Zehnerpotenzen' herauszufinden für welche Einheiten die Abkürzungen stehen, um die nachfolgende Tabelle zu vervollständigen.

Messgröße mit Einheit	Name der Einheit	Messgröße in SI-Basiseinheit
200 mm	Millimeter	
5 000 000 ns		
7 GA		
23 μm		0,000 23 m
	Megasekunden	400 000 000 s
8 000 000 000 pg		kg
0,000 06 Gmol		60 000

Präfixe des SI mit Zehnerpotenzen

Präfix		Zehnerpotenz	Zahl	Zahlwort
Name	Abkürzung			
Exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000	Trillion
Peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000	Billiarde
Tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000	Billion
Giga	G	10^9	1 000 000 000	Milliarde
Mega	M	10^6	1 000 000	Million
Kilo	k	10^3	1 000	Tausend
Hekto	h	10^2	100	Hundert
Deka	da	10^1	10	Zehn
—			1	Eins
Dezi	d	10^{-1}	0,1	Zehntel
Zenti	c	10^{-2}	0,01	Hundertstel
Milli	m	10^{-3}	0,001	Tausendstel
Mikro	μ	10^{-6}	0,000 001	Millionstel
Nano	n	10^{-9}	0,000 000 001	Milliardstel
Piko	p	10^{-12}	0,000 000 000 001	Billionstel
Femto	f	10^{-15}	0,000 000 000 000 001	Billiardstel
Atto	a	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001	Trillionstel

1		1		
2		2		
3		3		
4		4		
5		5		5
6		6		
7		7		
8		8		
9		9		
10		10		
11		11		
12		12		

1			1		
---	--	--	---	--	--

2			2		
---	--	--	---	--	--

3	3	3	3	3	3
---	---	---	---	---	---

4	4	4	4	4	4
---	---	---	---	---	---

5			5	5	5
---	--	--	---	---	---

6			6		
---	--	--	---	--	--

7	7				
---	---	--	--	--	--

8		8	8	8	8
---	--	---	---	---	---

9			9		9
---	--	--	---	--	---

10		10			
----	--	----	--	--	--

11		11			
----	--	----	--	--	--

12		12			
----	--	----	--	--	--

1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5	5		5	5	
6			6		
7			7		
8	8	8	8	8	
9	9	9	9	9	
10			10		
11			11		
12			12		

1	1	1
2	2	2
3		
4		
5	5	5
6		
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
11	11	11
12	12	12

ONE FOOT

1ft = 1'

Die Angaben sind als Richtwerte für die Vorstellung zu sehen und können natürlich situationsbezogen (Bau der Zollstäbe) abweichen.

L3 & L4	39
L1 & L2	41
L8 & L9	37
L6	41
L7 & L10 & L11 & L12	40
L5	42

Hinweis 1

Gruppe A

Finde Argumente dafür, dass Wissenschaftler*innen einfach präzise arbeiten müssen, damit ihre Aussagen und Ergebnisse beweisbar sind.

Hinweis 2

Gruppe A

Man kann alles genau genug messen, wenn man nur sorgfältig
genug arbeitet.

Hinweis 1

Gruppe B

Finde Argumente dafür, dass zu jedem wissenschaftlichen Wert eine Schätzung der Genauigkeit angegeben werden sollte.

Hinweis 2

Gruppe B

Es ist nicht möglich etwas zu messen, ohne zumindest eine sehr kleine Unsicherheit zu haben. Deshalb muss man diese als Wissenschaftler*in auch angeben.

Hinweis 1

Messungen mit dem Zollstab

Wenn sich ein Teilstück zwischen zwei Markierungen der Skala befindet, muss man sich für eine der beiden entscheiden.

Lösungserwartungen

Das Lineal von King Henry I

Was macht einen Zollstab so besonders?

- 1) 1 Zoll / 1''
- 2) $\Delta l = \pm 1''$ & $\Delta l = \pm 2.54\text{cm}$
- 3) $\Delta l = \pm 1\text{mm}$
- 4) Nein, denn die Unsicherheit Typ B ist größer: $\Delta l = \pm 1,5\text{mm}$

Woher kommt die Unsicherheit eines Messinstruments?

Lückentext

Messgeräts, internationale Standards, Eichunsicherheit, Markierungen, Linearitätsunsicherheit, Skalenteil, Digitalisierung- oder Ablesunsicherheit, Unsicherheit Typ B, Auflösung, größer

Welche der Beispiele sind für Überlegungen zur Unsicherheit Typ B eines Messgeräts relevant?

Antwort 1, 2 & 4

Experiment - Längenmessung

Warum erhalten wir bei diesem Experiment gestreute Ergebnisse?

Antwort 2 & 5

Mehr zum Thema Auswertung

- 2) Typ-B
- 3) Typ-B
- 5) mehr, mehr

Anwendungsbeispiel - 100 Meter Sprint

- 1) $\bar{t} = 11,45\text{s}$ & $\Delta t = 0.098\text{s}$
- 2) $t = (11.450 \pm 0.098)\text{s}$

Übungsaufgaben - Messergebnisse

- 1) A & D
- 2) Reihenfolge D, A, B, C
- 3) Antwort 2
- 4) Antwort 2

Die Wikinger am Basar

- 1) Antwort 1 & 4
- 2) Antwort 3

Das SI – (Système international d’unités)

Dimension	Formelzeichen	SI-Einheit	Abkürzung
Länge	l	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Übungsaufgaben - Internationales Einheitensystem

- 1) Länge, Geschwindigkeit, Strecke, Masse & Kraft
- 2) Sekunde, Millisekunde & Stunde
- 3) m/s, km/s, Millimeter pro Stunde, Meter pro Sekunde und km/h
- 4) Ampere A, Sekunde s & Kelvin K
- 5) Kilometer, Volt, Ampere, Minute & Kelvin
- 6) Fläche, Länge, Höhe, Temperatur & Dicke
- 7) Zeit, Länge & Lichtstärke
- 8) Länge pro Zeit
- 9) m/s bzw. Meter pro Sekunde

Übungsaufgaben - Größenordnungen

Messgröße mit Einheit	Name der Einheit	Messgröße in SI-Basiseinheit
200 mm	Millimeter	0,2 m
5 000 000 ns	Nanosekunden	0,0005 s
7 GA	Gigaampere	7 000 000 000 A
23 μ m	Mikrometer	0,000 023 m
400 Ms	Megasekunden	400 000 000 s
8 000 000 000 pg	Pikogramm	8 000 000 kg
0,000 06 Gmol	Gigamol	60 000 mol

Detailplanung 1. Einheit		
Zeit	Beschreibung des Ablaufs	Material
10‘	Planung der Handlung - Geschichte bzw. Einblick zum Thema Messunsicherheiten am CERN (”TV-Diskussion” zum Thema in der Klasse), geplante Handlung: Wir wollen uns ein eigenes Messgerät bauen, um herauszufinden, ob Messunsicherheiten relevant sind oder nicht.	• Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in) • Schere (1x pro Schüler*in) • Dicke Filzstifte (1x pro Schüler*in) • Weißes Blatt Papier A4 (2x pro Schüler*in) • Eichnormale (mindestens 1x pro Gruppen)
15‘	Durchführung der Handlung - Bau des eigenen Zollstabs laut Arbeitsblatt.	
15‘	Konstruktion von Bedeutung - Bewertung der Vertrauenswürdigkeit und Vergleich mit anderen Messgeräten. Generalisierung der Erfahrung - Einführung der Unsicherheit Typ B, die jedes Messinstrument besitzt.	
10‘	Reflexion von ähnlichen Erfahrungen - Online Umfrage zu Beispielen, die zur Unsicherheit Typ B allgemein beitragen (z.B. Socrative)	

Detailplanung 2. Einheit		
Zeit	Beschreibung des Ablaufs	Material
5'	Bewusstmachung des Vorwissens - Im Plenum werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der letzten Einheit zusammengefasst. Lehrperson verweist darauf, dass wir unseren Zollstab heute testen wollen. (Aktivierung von Vorwissen aus der vorherigen Einheit)	• Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in) • Set an Teilstücken aus Papier (vgl. Mustervorlagen 1x pro Schüler*in) • Selbstgebauter Zollstab aus Einheit (1x pro Schüler*in)
25'	Durcharbeiten den Prototyps - Gruppenarbeit: Längenmessungen mit dem Zollstab und anschließende Berechnung der Gesamtlänge. Danach werden die einzelnen Ergebnisse auf der Tafel gesammelt und besprochen. (Streuung gegeben durch modifizierte Materialien) Gemeinsam oder durch Lehrperson werden an der Tafel Mittelwert und Unsicherheit Typ A berechnet.	
10'	Beschreibung der wichtigsten Merkmale des Konzepts - Bestwert und Messunsicherheiten werden in Bezug zur Vertrauenswürdigkeit einer Messung getestet. (Vertiefungsfragen auf einem Arbeitsblatt bzw. Online Tool z.B. Socrative)	
10'	Aktiver Umgang mit dem Konzept - Selbstständige Auswertung einer Messreihe und korrekte Angabe des Messergebnisses (Mittelwert $\pm$ Unsicherheit)	

Detailplanung 3. Einheit		
Zeit	Beschreibung des Ablaufs	Material
5‘	Anwendun des Konzepts in anderen Kontexten - Aufgaben, bei denen Lernende, die Angaben von Messergebnissen auf ihre Richtigkeit überprüfen und Messergebnisse nach ihrer Vertrauenswürdigkeit ordnen müssen. (z.B. via Socrative)	Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in)
5‘	Direkte oder indirekte Simulation von Vorwissen - Historische Erzählung, um auf die Relevanz verschiedener Einheitensysteme aufmerksam zu machen (Vorlesegeschichte)	
15‘	Einführung von neuem Wissen - Lehrerzentriert: Auf einem Tafelbild werden Größe, Dimension und Einheit von der Lehrperson vorgestellt. Entwicklung von charakteristischen Eigenschaften - Erarbeitung der sieben SI-Dimensionen und Basiseinheiten.	
10‘	Aktive Anwendung - Zuordnungsaufgaben zu Einheiten und Dimensionen. Bsp. Was sind Einheiten für die Dimension Zeit, Länge, etc. Sind Tage, Monate, Jahre SI-Einheiten?	
10‘	Aktive Anwendung in anderen Kontexten - Weitere Beispiele in Kombination mit Vorsilben. (Ergebnissicherung zu den Präfixen und Zehnerpotenzen)	

B Leitfragengestütztes Lehrer_inneninterview

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,	☐	☐	☐	☐	

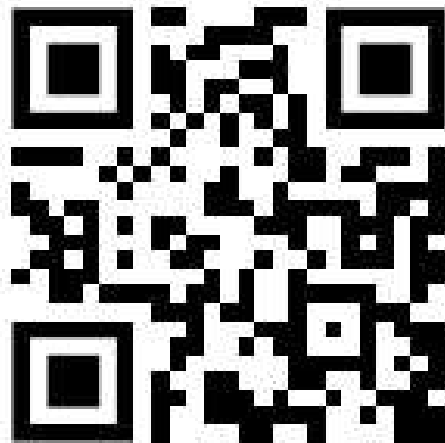
K-3 keine Zielerreichung				
K-3.1 Handlung ohne Ziel	Lernende setzten Handlungen, die nicht auf die Erreichung der gestellten Aufgabenziele führen. (z.B. Erraten von Ergebnissen,...)			
Gesetzte Handlung	Gr.1	Gr.2	Gründe (Verdacht)	Beobachtungsnotizen
K-3.2 Fehlerhafte Handlungen	Lernende entschließen 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).	messen,	☐	☐	☐	☐			
	(Experiment - Längenmessung) (Wie kann man eine Messreihe auswerten)	berechnen,	☐	☐	☐	☐			
K-1.2 Streuungsmaß untersuchen	Das Streuungsmaß wird untersucht und auf Vertrauenswürdigkeit geprüft.	interpretieren,	☐	☐	☐	☐			
	(Experiment - Längenmessung)	untersuchen,	☐	☐	☐	☐			
		vergleichen,	☐	☐	☐	☐			
K-1.3 Vertrauenswürdigkeit beurteilen	Die Vertrauenswürdigkeit wird aufgrund von vor- angegangenen Über- legungen zu Messgeräten oder Messergebnissen beurteilt und begründet.	begründen,	☐	☐	☐	☐			
	Bestenfalls fließen MU in die Beurteilung mit ein.	beurteilen,	☐	☐	☐	☐			
	(Experiment -Längenmessung)	diskutieren		☐		☐			
		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>	interpretieren, <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 interpretieren, <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?,...)				

**Beobachtungsschulung Masterseminar
zur E-Kompetenz
(LV-Nr. 2025S 267005-1) Uni Wien**



<https://youtu.be/VEnZwr4apm4>

D Test

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]*

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

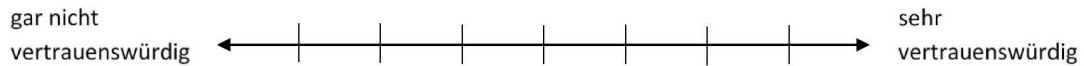
Aufgabe 6.

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) _____
- _____

- 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.

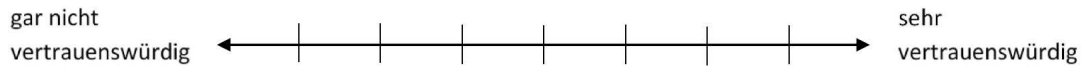
Aufgabe 6.

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) _____