

AUSZUG



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

**„Entwicklung und Evaluation einer Lernumgebung zum Thema
Messunsicherheit in der Sekundarstufe II“**

verfasst von / submitted by

Rupert Bärenthaler-Pachner, BEd

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

Master of Education (MEd)

Wien, 2022 / Vienna 2022

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 199 507 523 02

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund
Unterrichtsfach Englisch Lehrverbund
Unterrichtsfach Physik Lehrverbund

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Dr. Clemens Nagel

5 Vorstellung der endgültig entwickelten Lernumgebung

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 3 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 Typ-A-Messunsicherheit relevant sind) und die Einführung der Typ-B-Messunsicherheit.

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 Typ-A-Messunsicherheit 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 Typ-B-Messunsicherheit 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 Typ-B-Messunsicherheit zu realisieren.

Konzepte Einheit I:

- 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 (Typ-B-Messunsicherheit)

In der zweiten Einheit ist das Ziel dieses Konzept der Messunsicherheit noch zu erweitern:

- Die Messunsicherheit resultiert nicht nur aus dem Gerät (Typ-B), sondern auch „der Zufall“ sorgt für Messunsicherheiten. Diese nennt man Typ-A-Messunsicherheit.

Die begrenzte Vertrauenswürdigkeit resultiert daher aus der Herstellung eines Messgeräts und aus zufälligen Abweichungen, die während der Durchführung einer Messung entstehen. Sie führen zur Typ-A-Messunsicherheit. In den Abbildungen 40, 41 und 42 sind die jeweiligen Planungsraster für alle 3 Einheiten gegeben. Die letzte Phase aus dem Basismodell Konzeptbildung ist aus zeitlichen Gründen in Einheit III verlegt. Oser und Patry (1990) geben dabei an, dass die einzelnen Handlungsschritte zwar in sich als abgeschlossen anzusehen sind, jedoch nicht alle in einer Unterrichtsstunde stattfinden müssen. Krabbe et al. (2015: 16) führen zu dem Basismodell ebenso an, dass es „ausdrücklich möglich [ist], einzelne Phasen eines Basismodells durch ein anderes Basismodell zu substituieren“ wobei die klare Strukturierung der Lernprozesse nur in Ausnahmefällen vernachlässigt werden soll. 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 2 Einheiten des Regelunterrichts zu benötigen, wobei bei einer Durchführung von Lehrkräften in ihrer Praxis dem Faktor Zeitmanagement eine stärker untergeordnete Rolle zugeschrieben werden kann.

Einheit I (Zollstab selbst bauen) Basismodell „Lernen durch Eigenerfahrung“ (Oser 1995)

Zeitlicher Rahmen	Handlungsschritte Tiefenstruktur	Skizzierung der Aktivität Oberflächenstruktur
10 min	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.
15 min	Durchführung der Handlung	Bau des eigenen Zollstabs laut Arbeitsblatt
15 min	Konstruktion von Bedeutung	Bewertung der Vertrauenswürdigkeit und Vergleich mit anderen Längenmessgeräten.
	Generalisierung der Erfahrung	Einführung der Typ-B-Messunsicherheit, die jedes Messinstrument besitzt.
10 min	Reflexion von ähnlichen Erfahrungen	Online Umfrage zu Beispielen, die zur Typ-B-Messunsicherheit allgemein beitragen (z.B. Socrative)

Abbildung 40: Planungsraster Einheit I

Einheit II (Längenmessung mit Auswertung) Basismodell „Konzeptbildung“ (Oser 1995)

Zeitlicher Rahmen	Handlungsschritte Tiefenstruktur	Skizzierung der Aktivität Oberflächenstruktur
5 min	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)
25 min	Durcharbeiten des Prototyps	Gruppenarbeit: Längenmessung 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 Typ-A Messunsicherheit berechnet.
10 min	Beschreibung der wichtigsten Merkmale des Konzepts	Mittelwert und Messunsicherheiten werden in Bezug zur Vertrauenswürdigkeit einer Messung gesetzt (Vertiefungsfragen auf einem Arbeitsblatt bzw. Online Tool z.B. Socrative)
10 min	Aktiver Umgang mit dem Konzept	Selbstständige Auswertung einer Messreihe und korrekte Angabe des Ergebnisses (Mittelwert \pm Unsicherheit)

Abbildung 41: Planungsraster Einheit II

Einheit III (Abschluss Messunsicherheiten)

Zeitlicher Rahmen	Handlungsschritte Tiefenstruktur	Skizzierung der Aktivität Oberflächenstruktur
5 min	Anwendung des Konzepts in anderen Kontexten	Aufgaben bei denen Lernende die Angabe von Ergebnissen auf ihre Richtigkeit überprüfen und Ergebnisse nach ihrer Vertrauenswürdigkeit ordnen müssen (auch via Socrative)

Einheit III (Einheiten, Dimensionen, Größen)

Basismodell „Wissensaufbau bzw. Begriffbildung“ (Oser 1995)

Zeitlicher Rahmen	Handlungsschritte Tiefenstruktur	Skizzierung der Aktivität Oberflächenstruktur
5 min	Direkte oder indirekte Stimulation von Vorwissen	Historische Erzählung, um auf die Relevanz verschiedener Einheitensystem aufmerksam zu machen (Vorlesegeschichte)
15 min	Einführung von neuem Wissen	Lehrerzentriert: Tafelbild: Größe, Dimension und Einheit werden von der Lehrperson vorgestellt
	Entwicklung von charakteristischen Eigenschaften	Erarbeitung der 7-SI-Dimensionen und Basiseinheiten (Internetrecherche)
10 min	Aktive Anwendung	Zuordnungsaufgaben zu Einheiten und Dimensionen Bsp. Was sind Einheiten für die Dimension Zeit, Länge, etc. Sind Tage, Monate, Jahre SI-Einheiten?
5-10 min	Aktiver Anwendung in anderen Kontexten	Weitere Beispiele in Kombination mit Vorsilben (Ergebnissicherung zu den Präfixen und Zehnerpotenzen)

Abbildung 42: Planungsraster Einheit III

Im nachfolgenden Teil werden die einzelnen Schritte der Tiefenstruktur zu den jeweiligen Einheiten nochmals detaillierter beschrieben.

Detaillierte Beschreibung der Tiefenstruktur

Einheit I

1) 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. Anschließend führen Lernende eine Diskussion zum Thema Messunsicherheiten (Nature of Science: 2 Gruppen mit vorgegebenen Meinungen). 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. Krabbe et al. (2015: 24) geben dabei an, dass die Planung der Handlung nicht zwingend von den Lernenden geleistet werden muss.

2) 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 Fehler und 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.

3) 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 *Typ-B-Messunsicherheit* wird eingeführt und festgehalten, dass jedes Messgerät diese besitzt.

4) Kontextualisierung der einzelnen Unsicherheiten, die zur Typ-B-Messunsicherheit 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. Ablesunsicherheit).

Einheit II

1) Zusammenfassung der Erkenntnisse der letzten Einheit (Aktivierung von Vorwissen)

Messgeräte unterscheiden sich bezogen auf ihre Messunsicherheiten. Wir verwenden nun jedoch Messgeräte mit derselben Typ-B-Messunsicherheit ($\pm 1 \text{ ''}$) und wollen damit ein Messexperiment durchführen.

2) 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 Messergebnisse 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 Endergebnisse voneinander unterscheiden.

Anschließend werden die Konzepte Mittelwert und Typ-A-Messunsicherheit erarbeitet und wiederum in Bezug zur Vertrauenswürdigkeit einer Messung gesetzt. Die richtigen Schreibweisen für Messwerte werden danach eingeführt und anhand von Beispielen vertieft.

3) Aktiver Umgang mit dem Konzept

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

4) 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 2 Beispiele zur Bewertung der Unterscheidbarkeit von Messwerten im Rahmen der Messunsicherheit behandelt.

Einheit III

1) 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)

2) 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.

3) Selbstständige Erarbeitung der 7 SI-Dimensionen mit entsprechenden Einheiten

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

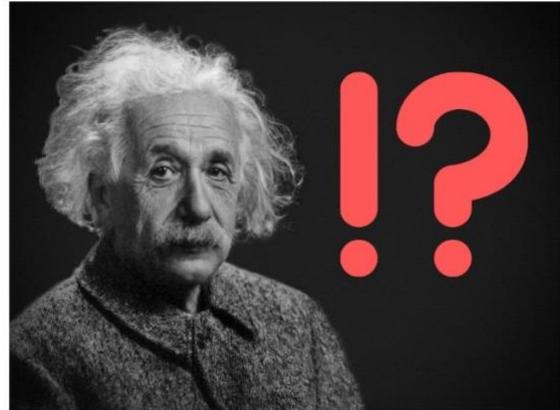
4) Aktive Anwendung des neuen Wissens in anderen Kontexten

Aufgaben zu Größenordnungen und Vorsilben werden mit gestuften Hilfen gelöst.

Den folgenden Seiten sind die Arbeitsblätter mit einem anschließenden Didaktischen Kommentar, der zur Unterrichtsvorbereitung dient, angeführt. Dies entspricht der endgültigen evaluierte Version der Arbeitsmaterialien nach den abgeschlossenen Zyklen. Um der Vollständigkeit Genüge zu tun werde die gesamten Arbeitsblätter und der Kommentar in diesem Abschnitt als wesentlicher Teil des Endproduktes und Forschungsprozesses angeführt.

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

I. Gruppe A:

Physik ist eine exakte Wissenschaft.

II. 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.



Abb. 1: Längenmaße an der Wand des Königlichen Observatoriums in Greenwich, London¹⁰

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Yard#/media/File:Imperial_Standards_of_Length,_Greenwich.jpg (24.02.2022)

Arbeitsauftrag



Schritt 1

Verwendet das Eichnormal, um damit eine Länge von 1' auf ein weißes A4-Papier unter euren Materialien 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* (engl. *inch*). Ein Zoll (**abgekürzt: 1''**) entspricht einer Länge von 2,54 cm.

Schritt 2

Unterteilt die Länge nun in 12 Teilstücke und **beschriftet die Skala**. Verwendet dazu das Eichnormal als Schablone und schneidet einen Papierstreifen mit der Länge 1' aus einem **zweiten Blatt Papier** aus. 12 Teilstücke erhält man, indem der Streifen zuerst in 2, dann in 3 und zuletzt nochmals in 2 gleich große Teile gefaltet wird.

Somit habt ihr 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 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?
- 2) **Diese Strecke** entspricht der **Messunsicherheit** des Geräts, die allgemein in der Physik 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 2 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.

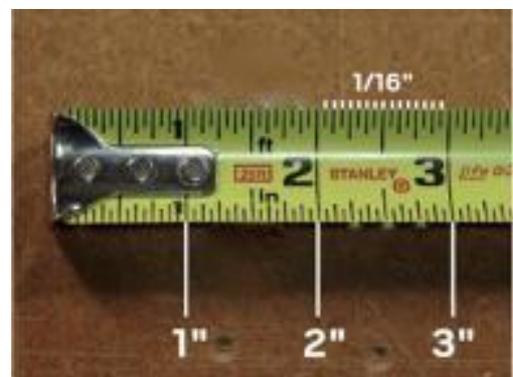


Abb. 2¹¹: Zollstab mit 1/16'' Skallierung

¹¹ <https://artdepartmental.com/blog/tape-measure/> (18.02.2021)

Die Vertrauenswürdigkeit eines Messgeräts hängt von dessen Messunsicherheit ab. Sie wird mit anderen Methoden als der Statistik bestimmt und **Typ-B-Messunsicherheit** genannt.

Wenn vom Hersteller keine zusätzliche Angabe vorhanden ist, entspricht sie der **Schrittweite der Skala** dieses Messgeräts.

Welche der Beispiele sind für Überlegungen zur Typ-B-Messunsicherheit 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

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 beispielweise 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 Typ-B-Messunsicherheit angenommen werden. Die Typ-B-Messunsicherheit des selbst gebauten Zollstabes ist _____ als die eines Geodreiecks.

internationale Standards	Linearitätsunsicherheit	Skalenteil
Auflösung	Messunsicherheit Typ-B	kleiner
Eichunsicherheit	größer	Markierungen
Digitalisierung- oder Ableseunsicherheit		Messgeräts

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 **Tabelle 1** 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	

Tab. 1: Messungen der Teilstücke mit einem Zollstab

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

- 2) Wie vertrauenswürdig würdet ihr euer Ergebnis einschätzen?



Begründung:

WAS SAGEN UNS DIE ERGEBNISSE?

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

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



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

- Die Messgeräte hatten eine unterschiedliche Typ-B-Messunsicherheit
- 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 **Tabelle 2** 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}	

Tab. 2: Messwerte für die Gesamtstrecke l bei einer Anzahl von n Messungen

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. Dafür eignet sich die Berechnung des arithmetischen Mittels, das auch einfach als **Mittelwert** bezeichnet wird.

Der **Mittelwert** einer Messreihe kommt dem wahren Wert der Messgröße am nächsten¹².

¹² Unter der Voraussetzung, dass keine **systematischen oder groben Fehler** gemacht wurden

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 in Tab. 2 ergibt _____''

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

Die Berechnung der Typ-A-Messunsicherheit 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 Typ-A-Messunsicherheit für diese Messreihe aus Tab. 2 ergibt daher _____''



MEHR ZUM THEMA AUSWERTUNG

- 1) Wie weit ist der Messwert eurer Gruppe vom Mittelwert entfernt?
- 2) Welche der beiden Messunsicherheiten (Typ-A oder Typ-B) ist größer?
- 3) Welche der beiden Messunsicherheiten sollte angegeben werden, um keine falsche Vertrauenswürdigkeit von Ergebnissen vorzutäuschen?
- 4) Gib nun die Messgröße mit der passenden Messunsicherheit an. Die Schreibweise kann hierbei variieren. Alle **3 Schreibweisen** werden in der Wissenschaft verwendet.

$$\bar{l} = (\quad \pm \quad)''$$

$$\bar{l} = \quad '' \pm \quad ''$$

$$\bar{l} = \quad '' \quad \text{und} \quad \Delta l = \quad ''$$

- 5) Vervollständige folgende Aussagen.

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

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

ANWENDUNGSBEISPIEL – 100 METER SPRINT

In Tabelle 3 sind die Messdaten für die **Zeit t** , die ein Rennläufer für eine Strecke von 100 m benötigt, eingetragen. Diese wurde von 10 Gruppen mittels einer Stoppuhr einer *Typ-B-Messunsicherheit* von $\pm 0,01$ s gleichzeitig gemessen¹³. Die Messwerte der einzelnen Gruppen unterscheiden sich allerdings voneinander.

Messwerte n	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

Tab. 3: Daten für die Zeitmessung beim 100 m Sprint

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

$$\bar{t} =$$

$$\Delta \bar{t} =$$

- 2) Gib nun den Messwert für die Messreihe aus Tabelle 3 mit der geeigneten Messunsicherheit in einer physikalisch korrekten Schreibweise an.

¹³ Die Stoppuhren der meisten Smartphones haben eine derartige Messunsicherheit

ÜBUNGSAUFGABEN



Anschließend sind Messergebnisse von verschiedenen Forscherteams zu sehen.

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

Forscherteam	Darstellung des Ergebnisses	✓
A	$T = (12,3 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$	
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 **Typ-B-Messunsicherheit von $\pm 5 \text{ mA}$** . (beginnend mit der Größten)

Messreihe	Mittelwert	Typ-A-Messunsicherheit	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

Reihenfolge:

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 **Pulsoximeter** 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 *Typ-B-Messunsicherheit* von **± 2 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 ± 1) cm** gemessen. Lisa will nun aber auf Nummer sicher gehen und ließ ihre Größe mit einem Maßband von einer *Typ-B-Messunsicherheit* von **± 1 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.

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

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

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 **7 SI-Basiseinheiten**. Im sogenannten **SI** (franz. *Internationales Einheitensystem*) gibt es daher auch **7 Dimensionen**. Die Dimension der Länge kann aber auch in anderen Einheiten wie Metern, Zentimetern, Kilometern oder auch Lichtjahren angegeben werden. Es gibt zwar nur 7 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 **7-Basiseinheiten** lassen sich alle weiteren zusammengesetzte Einheiten ableiten. Dasselbe gilt auch für die 7 Dimensionen aus Tabelle 4. Es sind jedoch einige Angaben in dieser Tabelle verloren gegangen. Versuche zuerst Tab. 4 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
	I	Ampere	
	T	Kelvin	
Stoffmenge	n		mol
	I_v	Candela	

Tab. 4: Zusammenfassung der SI-Basiseinheiten

Auch alle anderen Größen und Einheiten können dadurch abgeleitet werden:

[A] = m² Die Einheit der Fläche A ist Quadratmeter (m*m = m²)

[F] = N Die Einheit der Kraft F ist Newton (1 N = kg * m *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?

[Länge pro Zeit]

(**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.

ÜBUNGSAUFGABE – Größenordnungen

Messgrößen können natürlich in verschiedensten Einheiten für Werte unterschiedlicher Größenordnungen angegeben werden. Versuche durch eine online-Recherche herauszufinden für welche Einheiten die Abkürzungen stehen, um **Tabelle 5** 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

Tab. 5: Umrechnung von Einheiten

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
---	---	10^0	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

Tab. 6: 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
---	---	10^0	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

Tab. 6: Präfixe des SI mit Zehnerpotenzen

Didaktischer Kommentar



Allgemein Anmerkungen

Die Materialien sind für insgesamt 3 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 Aufgaben bzw. Arbeitsaufträgen in Gruppen (Empfehlung zu je 2 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 Ergebnissen zu berücksichtigen (z.B. Am CERN waren die Ergebnisse letztendlich nicht vertrauenswürdig genug, Welches Ergebnis ist vertrauenswürdiger?, Bedeutet eine kleiner Messunsicherheit eine größere Vertrauenswürdigkeit?, etc.) Klar definiertes Lernziel¹⁴ 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 benötigt¹⁵:

Einheit I

- 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)

¹⁴ Eine schriftliche Überprüfung wurde erstellt und ist im Gesamtpaket der Materialien für die Verwendung im Unterricht enthalten.

¹⁵ Für Einheit III wird nur das Arbeitsblatt benötigt.

Einheit II

- 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 auf den Seiten 6, 9, 14, 15, 16, 19 & 20 können entweder direkt am Arbeitsblatt oder auch mit einer digitalen Lernhilfe und dem Smartphone in der Klasse gelöst werden¹⁶. 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.

Anmerkungen zu Einheit I

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 anschließenden 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. Als 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.

¹⁶ Hier wird socrative.com empfohlen.

Dies ist den individuellen klassenspezifischen Gegebenheiten zu adaptieren (z.B. Vorzeigen, gemeinsame Durchführung, Video abspielen etc.). Beispielweise 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 Materialein 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.

Anmerkungen zu Einheit II

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 Abschätzungen 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 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 genügetun.

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 vertrauenswürdigeres Ergebnis 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). 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 Typ-A-Messunsicherheit gegen Null geht und somit der Mittelwert dem wahren Wert 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 Typ-A-Messunsicherheit 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. Anhand des Anwendungsbeispiels zur Auswertung einer weiteren Messreihe wird dies allerdings nochmals geübt und sollte in weiterer Folge von den Schüler*innen richtig angegeben werden.

Anmerkungen zu Einheit III

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 angeführtes Tafelbild, das in den Materialien enthalten ist, kann direkt übernommen werden (Projektion oder Übertragen auf die Tafel, Gemeinsamen Durchlesen, etc.). Die anschließende 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 bestimmtesten Schwierigkeit zu erwarten sind.

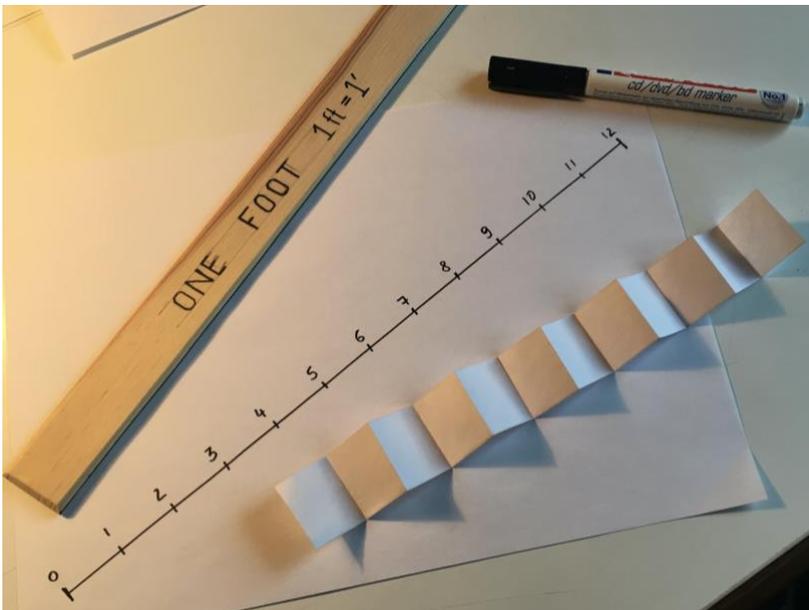


Abb. 1: Eichnormal aus Holz, Zollstab auf A4-Papier und 12-mal gefalteter Papierstreifen

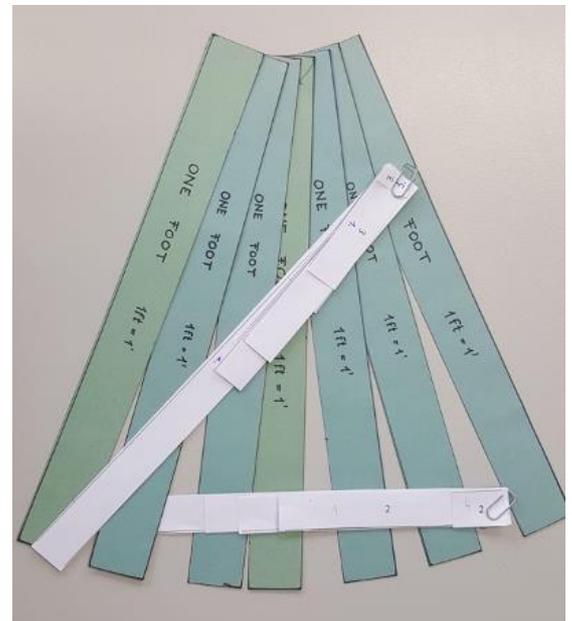


Abb. 2: Eichnormale und Teilstücke

Gestufte Hilfen

Diskussion: „Physik ist eine exakte Wissenschaft vs Keine wissenschaftliche Aussage ist zu 100 % sicher“

Gruppe A (I)

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

Gruppe A (II)

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

Gruppe B (I)

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

Gruppe B (II)

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

Messungen mit dem Zollstab:

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

Lösungen zu den Aufgaben

Was macht einen Zollstab besonders? (Seite 5)

- 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 Typ-B-Messunsicherheit ist größer: $\Delta l = \pm 1,5 \text{ mm}$

Welche der Beispiele sind für Überlegungen zur Typ-B-Messunsicherheit eines Messgeräts relevant? (Seite 6)

Antwort: 1, 2 & 4

Was sagen uns die Ergebnisse? (Seite 9)

Antwort: 2 & 5

Mehr zum Thema Auswertung (Seite 12)

- 1) Typ-B-Messunsicherheit
- 2) Typ-B-Messunsicherheit
- 5) mehr & mehr

Anwendungsbeispiel – 100 Meter Sprint (Seite 13)

- 1) $\bar{t} = 11,43$ & $\Delta \bar{t} = 0,11$
- 2) $t = (11,43 \pm 0,11) \text{ s}$

Übungsaufgaben (Seite 14)

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

Die Wikinger am Basar (Seite 16)

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

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

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

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

1		1	
2		2	
3	3	3	
4	4	4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
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
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