

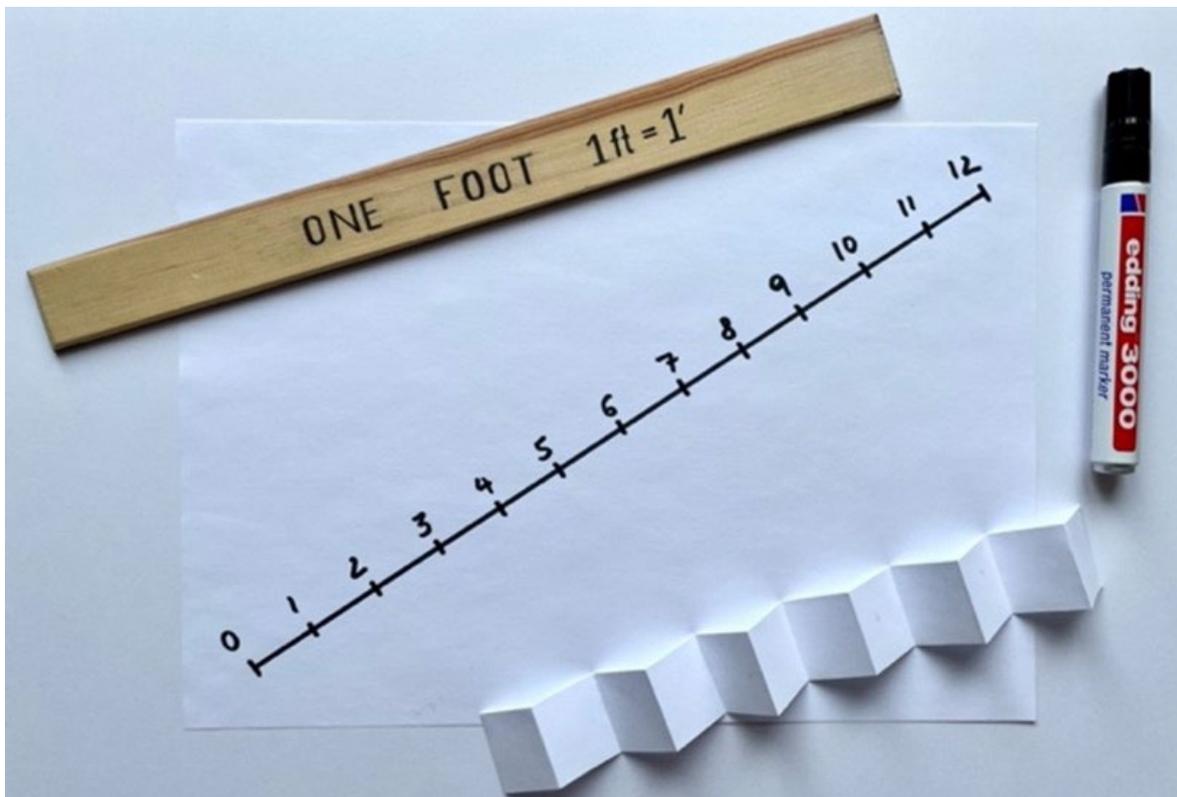
Mit einem selbstgebauten Längenmessgerät die Basiskonzepte der Messunsicherheiten kennenlernen.

Eine Unterrichtskonzeption zur Einführung von Messunsicherheiten nach GUM-Vorschrift für die Sekundarstufe 2. Dauer: 2 (oder wahlweise 3) Unterrichtseinheiten a 60 Min.

Bärenthaler-Pachner, Rupert

Nagel, Clemens

Fakultät für Physik, Universität Wien, 2022



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	<ul style="list-style-type: none"> • Erklären können, warum ein Messgerät immer eine gewisse Unsicherheit hat. • Die Vertrauenswürdigkeit verschiedener Messgeräte einschätzen und vergleichen können. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 Système international d'unités	<ul style="list-style-type: none"> • 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. Anschließend führen Lernende eine Diskussion zum Thema Messunsicherheiten (Nature of Science: Zwei 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.

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 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 Bo-

gen, 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 Zollstabs (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. Ablesesicherheit. 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.

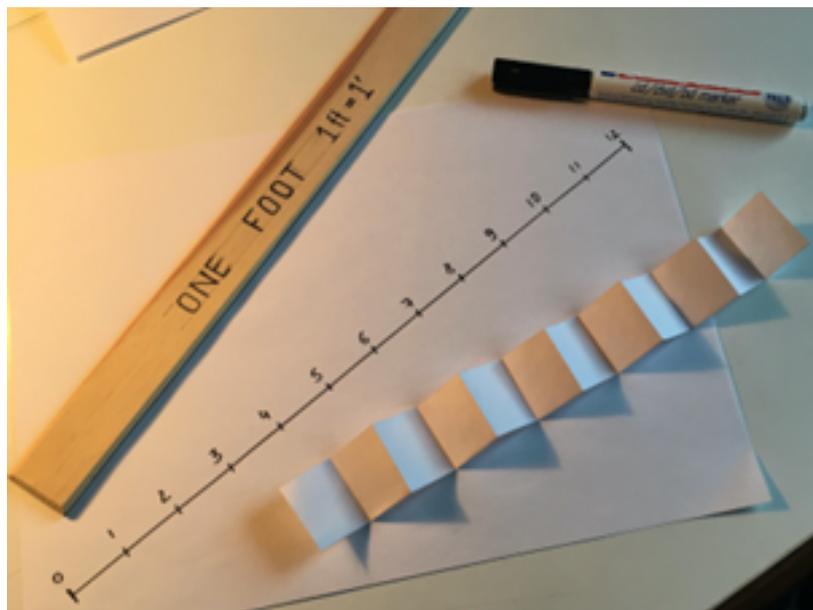


Abbildung 1: Eichnormal aus Holz, Zollstab auf A4-Papier und 12-mal gefalteter Papierstreifen



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 2 Beispiele zur Bewertung der Unterscheidbarkeit von Messergebnissen im Rahmen der Messunsicherheit behandelt.

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 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 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. 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.

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 (Projektion oder Übertragen auf die Tafel, Gemeinsamen Durchlesen, etc.). 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 bestimmensten Schwierigkeit zu erwarten sind.

2 Material

- Arbeitsblatt - 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 - 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 Aufgaben bzw. 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 (Eine schriftliche Überprüfung wurde erstellt und ist im Gesamtpaket der Materialien für die Verwendung im Unterricht enthalten) 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

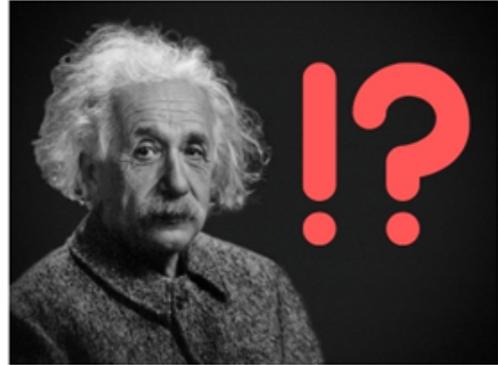
- Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in)
- Set an Teilstücken aus Papier (vgl. Mustervorlagen 1x pro Schüler*in)
- Selbstgebauter Zollstab aus Einheit (1x pro Schüler*in)

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.

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, 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 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?

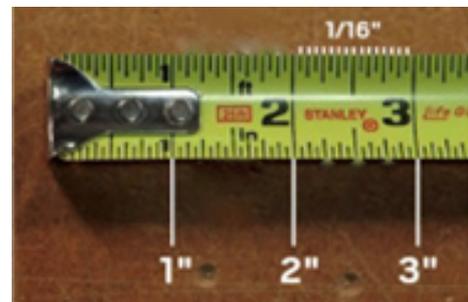


Abbildung 1: Zollstab mit 1/16"Skalierung
<https://artdepartmental.com/blog/tape-measure/> (18.02.2021)

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 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 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''
- 38''
- 39''
- 40''
- 41''
- 42''
- 43''
- 44''
- 45''
- 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. Dafür eignet sich die Berechnung des arithmetischen Mittels, das auch einfach als **Mittelwert** bezeichnet wird.

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

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

5) Vervollständige folgende Aussagen:

Je _____ Messungen für eine Messreihe durchgeführt werden, umso näher kommt der 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)

$$\bar{t} = \quad \text{s}$$
$$\Delta t = \quad \text{s}$$

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

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	
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

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 Ableseunsicherheit, 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.	<ul style="list-style-type: none"> • 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)	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsblätter (1x pro Schüler*in) • Set an Teilstücken aus Papier (vgl. Mustervorlagen 1x pro Schüler*in) • Selbstgebaute Zollstab 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 gestetzt. (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'	Anwendung 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)	<ul style="list-style-type: none"> 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)	

Diese Arbeit entstand im Rahmen einer
**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"

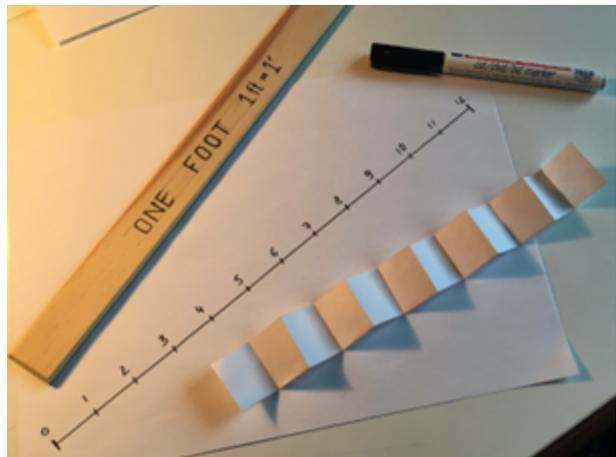
verfasst von / submitted by

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) Lehrerverbund
Unterrichtsfach Englisch Lehrverband
Unterrichtsfach Physik Lehrverband

Betreut von/ Supervisor:
Mitbetreut von/ Co-Supervisor:

Univ.-Prof- Dr. Martin Hopf
Mag. Dr. Clemens Nagel