Entwicklung eines Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten im NaWi-Unterricht der Primarstufe

Development of a learning module
on the topic of
measurement uncertainties
in primary school science classes

– Masterarbeit –

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Education (M. Ed.)

von

Natascha Schenke

Erstprüfer: Prof. Dr. Burkhard Priemer
Zweitprüfer: Prof. Dr. Detlef Pech

Eingereicht am 18.08.2023 in Berlin

Humboldt- Universität zu Berlin
Fakultät für Kultur-, Sozial- und Bildungswissenschaften
Institut für Erziehungswissenschaften

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Messunsicherheiten können in vielen, auch alltäglichen Situationen auftreten. Insbesondere die Corona-Pandemie zeigte gehäuft Darstellungen aktueller Fallzahlen, Inzidenzen und Verlaufsdiagramme. Aber auch in naturwissenschaftlichen Rahmungen bei der Durchführung von Experimenten ist es unausweichlich, sich mit dem Thema Messunsicherheiten zu beschäftigen. Aus diesem Grund findet sich besondere Relevanz von Messunsicherheiten auch für den Schulunterricht, wobei das Augenmerk häufig auf der Sekundarstufe liegt. Dass Messunsicherheiten auch Bestandteil des Rahmenlehrplans für die Primarstufe ist, macht den Lehrauftrag jedoch eindeutig (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Naturwissenschaften; Holz & Heinicke, 2019). In durchgeführten Experimenten ist genau wie in der wissenschaftlichen Forschung damit zu rechnen, dass mehrfache Messungen unterschiedliche Ergebnisse hervorbringen. Eine Bewertung dieser unterschiedlichen Messwerte ist unausweichlich notwendig, um die Qualität der Messung beurteilen zu können. Statt „als störende Randerscheinung" (Hellwig, 2012, S.2), sollten Messunsicherheiten im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Unterrichts „als Ausgangspunkt zur kritischen Auseinandersetzung mit dem Messprozess und den daraus erhaltenen Ergebnissen aufgefasst werden" (Hellwig, 2012, S.2). Und aufgrund des eindeutig auch bereits in der Primarstufe verorteten Lehrauftrags der Befassung mit der Thematik der Messunsicherheiten ist es umso erstaunlicher, dass Messunsicherheiten im Schulunterricht scheinbar eine eher untergeordnete Rolle spielen und keine explizite Thematisierung erfahren (vgl. Glomski & Priemer, 2010; Hellwig, 2012; Kok & Priemer, 2020).

Um auf dieser Basis die Frage zu beantworten wie sich Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten thematisieren lassen, ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit ein Lernmodul in Bezug auf die Thematik der Messunsicherheiten für die Primarstufe zu entwickeln und zu evaluieren.

Zunächst wird sich diese Arbeit hierfür mit dem Stand der Forschung zu Messunsicherheiten befassen und sowohl Begrifflichkeiten klären als auch auf die Relevanz von Messunsicherheiten auf den gesellschaftlichen Ebenen von Alltag und Schule eingehen sowie darlegen, was für ein wissenschaftlich gesichertes Verständnis von Messunsicherheiten existiert. Des Weiteren wird sich die Arbeit mit dem Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) auseinandersetzen, dem ein validierter „Erwartungshorizont im Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I" (Hellwig 2012, S.190) zugeschrieben wird, um einen Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Lernmoduls zu Messunsicherheiten für die Primarstufe zu generieren und ein konkretes Forschungsziel zu benennen.

Darauffolgend wird die Arbeit das methodische Vorgehen darlegen, das sowohl aus der Reduzierung des bereits für die Sekundarstufe bestehenden Sachstrukturmodells für Messunsicherheiten nach Hellwig, als auch der Darlegung einer möglichen strukturellen Gestaltung des zu entwickelnden Lernmoduls nach den Basismodellen nach Oser und Baeriswyl besteht. Es folgt die Darstellung des Prä-Post-Tests, der eine qualitative Auswertung mit Hilfe des Kodierungsmanuals nach Kok ermöglichen soll sowie die Vorstellung der offenen Fragen, die im Nachgang an den Post-Test zur Bewertung der Ausgestaltung des Lernmoduls dienen sollen.

Nach der Reduzierung des Sachstrukturmodells nach Hellwig schließt sich der Hauptteil hiesiger Arbeit an, der aus der konkreten Darstellung des Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten für die Primarstufe anhand des Experiments des Daumensprungs besteht.

Es folgt die Auswertung der Durchführungen des Prä-Tests, des Lernmoduls, des Post-Tests und des offenen Fragebogens sowie die Darstellung der Ergebnisse aller Testungen. Auf dieser Basis schließen sich eine Diskussion der Ergebnisse, die Reflexion hiesiger Arbeit und ein Fazit sowie ein Ausblick an.

2. Stand der Forschung zu Messunsicherheiten

In der wissenschaftlichen Forschung herrscht Einigkeit darüber, dass es den einen ‚wahren' Wert einer Messung nicht geben könne, dass er niemals bekannt sein würde (vgl. Hellwig & Heinicke, 2020; Holz & Heinicke, 2020; Nagel, 2021). Der Begriff des ‚wahren' Wertes, selbst wenn er in Anführungsstriche gesetzt wird, könnte allerdings implizieren, dass es diesen einen angestrebten Wert eben doch geben könnte. Da dies niemals der Falls sein kann, wie auch von dem ISO-Leitfaden GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) definiert (vgl. GUM, 2008), scheint es sinnvoller zu sein, von der ‚Messgröße' zu sprechen, die zu messen versucht wird. Im Folgenden wird also statt von der in Anführungsstriche gesetzten Formulierung des ‚wahren' Wertes von der ‚*Messgröße*' bzw. von der ‚*Messgröße, die zu messen versucht wird*', gesprochen.

Holz & Heinicke (2020) formulierten hierzu in einem Artikel zum Umgang mit unsicheren Daten in der Unterrichtspraxis, dass

> *ein Messergebnis, das vollständig der theoretischen Erwartung entspricht, [aus fachlicher Perspektive] ein viel größerer Anlass zur Skepsis [wäre,] als ein abweichender Wert, [weswegen] unsichere Daten […] daher weniger vermieden und mehr begrüßt werden [sollten]. Sie sind der physikalische Normalfall und damit eine wertvolle Möglichkeit, den Umgang mit experimentellen Daten zu erlernen. (S. 43)*

In einem weiteren Artikel zu gleicher Thematik heißt es, dass „Messdaten […] aus vielfältigen Gründen nur begrenzt genau [sind]. Darum ist das Ergebnis einer Messung nie ein genauer Zahlenwert, sondern eher ein Bereich möglicher Werte." (Hellwig & Heinicke, 2020, S. 28f.). Die Autorinnen führen dazu weiter aus, dass auch die eigenen Annahmen und die Wahl des experimentellen Aufbaus die eigene Aufnahme, Auswahl und Interpretation von Messdaten beeinflusse und präge (vgl. Hellwig & Heinicke, 2020). Nach Kok, Boczianowski & Priemer (2020) ist es im Physikunterricht daher „notwendig, den Schüler/inne/n transparent zu machen, welche Rolle die Messdaten […] spielen und dass deren Aussagekraft aus naturwissenschaftlicher Sicht stark limitiert ist" (S. 292). Aus diesem Grund ist „ein […] wichtiger Bestandteil des Messergebnisses […] die Messunsicherheit" (Kok & Priemer, 2022, S. 1), wobei „Studien […] gezeigt [haben], dass Schüler/innen Schwierigkeiten mit den Konzepten der Messunsicherheiten haben" (Kok & Priemer, 2022, S. 1). Genau diese Kompetenzen werden allerdings als „elementar für experimentelles Arbeiten und insbesondere für das Schlussfolgern aus experimentellen Ergebnissen" (Hellwig, Schulz & Priemer, 2017, S. 16) angesehen.

Zu unterscheiden sind zwei verschiedene Umgangsarten mit Messdaten. Während ein qualitativer Umgang mit Messdaten darauf abzielt, in einem Experiment empirische Indizien darzustellen, bei denen die exakten Messwerte keine bedeutende Rolle spielen, weil auf diese Art und Weise nur ein auf andere Weise hergeleiteter Zusammenhang nachvollzogen werden bzw. plausibel oder anschaulich gemacht werden solle (vgl. Kok, Boczianowski & Priemer, 2020), zielt ein quantitativer Umgang mit Messdaten darauf ab, „empirische Messdaten explizit als Evidenz für eine wissenschaftliche Aussage [heranzuziehen]" (Kok, Boczianowski &

Priemer, 2020, S. 293). Kok, Boczianowski & Priemer (2020) führen hierzu aus, dass für einen quantitativen Umgang mit Messdaten die Angabe von Messunsicherheiten notwendig werden: „Werden Messdaten […] als Evidenz und somit als Ausgangspunkt für das Schlussfolgern von Zusammenhängen oder zur Bestimmung unbekannter Werte genutzt, ist eine Abschätzung der Messunsicherheiten unerlässlich […]" (S. 294). Außerdem zeige dieses Vorgehen angemessen und authentisch, wie wissenschaftliches Arbeiten funktioniere. Ist daraus resultierend eine Angabe von Messunsicherheiten bei einem quantitativen Umgang mit Messdaten unerlässlich, so muss dennoch darauf hingewiesen werden, dass den Schülerinnen und Schülern auch im qualitativen Umgang mit Messdaten deren Rolle explizit bewusst gemacht werden muss, „um kein falsches Bild der empirischen naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu vermitteln" (S. 294). Grundsätzlich ist es für die Schülerinnen und Schüler gewinnbringend und verständlicher, wenn über Unsicherheiten der Messdaten gesprochen wird, egal ob sie als grundsätzliches Hintergrundwissen in Bezug auf einen qualitativen Umgang oder als unerlässliches Bewertungskriterium in Bezug auf einen quantitativem Umgang thematisiert werden, „als über die mangelnde Qualität von Daten salopp hinwegzusehen und unhaltbare Folgerungen zu formulieren" (S. 294).

2.1. Was sind Messunsicherheiten

Nach Nagel (2021) sind „Messunsicherheiten […] wichtige Informationsträger. Sie sagen uns, wie sehr man einem Ergebnis vertrauen darf, wie präzise und/ oder wie richtig es gemessen wurde. Ohne diese Informationen ist keine Interpretation von empirischen Daten gerechtfertigt" (S. 7). Weiter sagt Nagel (2021), dass ohne die Angabe der Messunsicherheit jede naturwissenschaftliche Arbeit keine Aussagekraft habe. Der GUM (2008) führt hierzu aus:

> *Uncertainty of measurement is thus an expression of the fact that, for a given measurand and a given result of measurement of it, there is not one value but an infinite number of values dispersed about the result that are consistent with all of the observations and data and one's knowledge of the physical world, and that with varying degrees of credibility can be attributed to the measurand.* (S. 51)

Auch der ISO-Leitfaden GUM beschreibt damit Messunsicherheiten als einen Ausdruck dafür, dass es für eine gegebene Messgröße und ein gegebenes Messergebnis nicht den einen Wert gibt, sondern unendlich viele um das Ergebnis verstreute Werte, die mit allen dazugehörigen Beobachtungen und Daten sowie dem eigenen Wissen über die physikalische Welt und dem Wissen über die unterschiedliche Glaubwürdigkeit der Messgröße zugeschrieben werden können.

Die Messunsicherheit ist demnach eine Angabe zu einem ermittelten Messergebnis, die zweierlei Dinge beschreibt. Zum einen macht sie kenntlich, dass das ermittelte Messergebnis nur die beste Schätzung der Messgröße ist, die zu messen versucht wurde. Der GUM (2008) führt hierzu aus: „the final corrected result is sometimes viewed as the best estimate of the ‚true' value of the measurand",(S. 49) und „the corrected result may be called the best estimate of the ‚true' value" (S. 50). Zum anderen macht die Angabe der Messunsicherheit kenntlich, dass das Messergebnis in der Nähe des ermittelten Wertes der Messgröße liegt, wobei es sich auch hier nur um die Schätzung der Wahrscheinlichkeit der Nähe zu diesem Messwert handelt, der mit dem derzeit verfügbaren Wissen übereinstimmt. Hierzu führt der GUM (2008) aus:

Thus the uncertainty of a result of a measurement is not necessarily an indication of the likelihood that the measurement result is near the value of the measurand; it is simply an estimate of the likelihood of nearness to the best value that is consistent with presently available knowlegde. (S. 51)

Im wissenschaftlichen Standard wird die Messunsicherheit eines ermittelten Messergebnisses mit der Standardabweichung angegeben. Diese gibt die mittlere Abweichung der Streuung von Messwerten an und wird recht komplex berechnet. Aufgrund der Komplexität der Berechnung der Standardabweichung haben viele Schülerinnen und Schüler „Schwierigkeiten bei der Interpretation von Messunsicherheiten“ (Kok & Priemer, 2022, S.1). Kok & Priemer (2022) stellen in einem Artikel zur Quantifizierung von Messunsicherheiten vier alternative Quantifizierungen der Messunsicherheit vor, die dieser Interpretationsschwierigkeit entgegenwirken könnten. Auf diese alternativen Quantifizierungen der Messunsicherheit wird an späterer Stelle unter Punkt 5.3. näher eingegangen.

2.1.1. Unsicherheit vs. Fehler

Während diese Arbeit bisher nur von der Unsicherheit eines Messergebnisses sprach, so wurde früher auch von Messfehlern gesprochen (vgl. Nagel, 2021). Dabei ist der Begriff des Messfehlers deutlich von dem Begriff der Messunsicherheit zu unterscheiden. Während „der Messfehler oder die Messabweichung […] nach GUM die Abweichung des gemessenen Wertes vom Wert der Messgröße [beschreibt]“ (Hellwig & Heinicke, 2020, S. 28) und dieser Wert der Messgröße, die zu messen versucht wird, unbekannt ist und es sich daher auch „beim Messfehler um eine nicht kennbare Größe [handelt]“ (Hellwig & Heinicke, 2020, S. 28), sind „Messunsicherheiten […] in der Regel eben keine Fehler, sondern genuin mit jeder Messung verbunden“ (Hellwig, Schulz & Priemer, 2017, S. 16).

Susanne Heinicke (2012) benennt in ihrer Arbeit, bei der sie sich mit dem Begriff des Messfehlers auseinandersetzt, dass eines der zentralen Probleme rund um die Fehlerbegrifflichkeit darin läge, genau zu versprachlichen, worum es konkret gehe. Werde von einem ‚Fehler‘ gesprochen, so böte es sich an, vom Terminus der ‚begrenzten experimentellen Genauigkeit‘ zu sprechen, was allerdings sprachlich recht sperrig wäre. Sie betont, dass dem der Einfachheit halber genutzten Begriff des ‚Fehlers‘ allerdings „in der Fachliteratur weder eine einheitliche noch eine eindeutige Bedeutung beigemessen werde[…]“ (S. 9), er insbesondere in der deutschen Sprachform mit etymologisch und historisch schwierigen Konzepten verknüpft sei (vgl. S. 9) und er „schließlich von Seiten der Lernenden eindeutig negativ belegt [ist], indem er mit einem subjektiven, persönlichen Fehlverhalten der Experimentierenden assoziativ verknüpft wird“ (S. 9). Sie beschreibt die Forschung rund um den Terminus des ‚Fehlers‘ als ein „multidisziplinäres Forschungsfeld“ (S. 13), das nicht nur den naturwissenschaftlichen Sprachgebrauch, sondern auch andere Disziplinen der Wissenschaft beträfe (vgl. S. 13). So finden sich in der Fehlerforschung verschiedene Definitionen zum Begriff des Fehlers. Heinicke übernahm eine Zusammenfassung von Definitionen aus Oser und Spychiger (alle Zitate S.16):

- „Jemand weicht von einer Norm ab“
- „Jemand erfüllt ein individuelles Ziel nicht“
- „Ein Fehler ist der defizitäre Teil eines Ganzen“
- „Eine Handlung weicht von der richtigen ab“

Sie führt weiter eine Definition zum Fehlerbegriff von Zapf et al. an, nach der einem Fehler drei Bestimmungsmerkmale zugrunde lägen: „Demzufolge tritt ein Fehler nur bei zielorientiertem Verhalten auf, wäre potenziell vermeidbar gewesen und stellt eine Abweichung von einem zu erreichenden Ziel dar" (S. 16). Nach Weingardt handelt es sich bei einem Fehler um eine „Abweichung von einer Bezugsnorm, also den als ‚richtig' vereinbarten Fakten, Vorgehens- und Verhaltensweisen" (S. 16). Problematisch erscheint bei der Definition des Begriffs ‚Fehler' insbesondere das Spannungsverhältnis zwischen der Verwendung des Begriffs ihm Rahmen scheinbar naturwissenschaftlicher Objektivität und sozialwissenschaftlicher Subjektivität „in Form der Empfindungen des Einzelnen als auch der mit diesen Empfindungen korrelierenden Reaktionen seiner Umwelt" (S. 18). Wie bereits erwähnt, ist die Terminologie des Fehlers insbesondere im Schulkontext bei Schülerinnen und Schüler negativ belegt und mit scheinbar persönlichem Misslingen verbunden, was subjektiv immer eine wesentliche Rolle spielen wird. Daher ist es nicht haltbar zu verlangen, dass dem Begriff des Messfehlers in der naturwissenschaftlichen Betrachtung eine Objektivität zugeschrieben werden kann.

Aus diesen Gründen ist es deutlich angebrachter, bei der Beschreibung von ermittelten Messwerten einen Bestwert (z.B. den Mittelwert) und eine Messunsicherheit (also eine Streuung der ermittelten Werte um einen Bestwert) anzugeben und eben nicht anstelle der Messunsicherheit von Messfehlern zu sprechen. Messunsicherheiten sind nämlich „nichts Schlechtes oder Fehlerhaftes, sondern stellen einen Qualitätskennwert dar, um die Aussagekraft eines Experiments zu charakterisieren" (Kok, Boczianowski & Priemer, 2020, S. 293). Nach dem GUM (2008) beschreibt die Messunsicherheit das Intervall, das mit dem Ergebnis einer Messung verbunden ist und die Streuung der Werte um einen Bestwert charakterisiert, die der Messgröße zugeordnet werden kann (vgl. S. 2 und S. 36). Der GUM betont indes allerdings auch, dass das Wort ‚Unsicherheit' Zweifel ausdrückt und mit dem Begriff der Messunsicherheit im weitesten Sinn auch die Gültigkeit des Ergebnisses einer Messung angezweifelt werden kann (vgl. S. 2). Allerdings ist dies derart verständlich, dass die Messgröße einer Messung, die zu messen versucht wird, ohnedies nicht bekannt würde und auch die Messunsicherheit nur eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit des Intervalls um den Bestwert angibt, weshalb ein gewisser Zweifel immer vorhanden sein wird.

2.1.2. Typ-A-Messunsicherheit

Um die Unsicherheit von Messwerten zu bestimmen, können zwei differierende Methoden unterschieden werden, die Typ-A-Messunsicherheit und die Typ-B-Messunsicherheit.

Die Typ-A-Messunsicherheit „gibt eine Aussage über die Präzision der Messung [und] nicht über die Richtigkeit [der Messung]" (Nagel, 2021, S. 10). Hierbei wird bei einer ausreichend großen Stichprobe, die mindestens N=10 verlangt (vgl. Nagel, 2021, S. 9), der beste Schätzwert der Messreihe (z.B. der Mittelwert) errechnet und eine Streuung um diesen besten Wert ermittelt. Wie bereits erwähnt ist der wissenschaftliche Standard zur Berechnung der Streuung um einen Mittelwert die Standardabweichung.

2.1.3. Typ-B-Messunsicherheit

Die Typ-B-Messunsicherheit „gibt durch [eine] Anbindung des Messgerätes an internationale Standards eine Aussage über die Richtigkeit [und] weniger über die Präzision […] der Messung" (Nagel, 2021, S.10f.). Diese Art der Messunsicherheit des Messergebnisses geht also von dem verwendeten Messinstrument aus, welches durch seine „Herstellung, Funktionsweise und Beschaffenheit […] abgeleitet werden kann“ (Nagel, 2021, S. 9). Nagel stellt hierzu drei Haupttypen von Messunsicherheiten vor: Die Eichunsicherheit, die Linearitätsunsicherheit und die Digitalisierungs- bzw. Ableseunsicherheit.

Bei der Eichunsicherheit handelt es sich um jene Unsicherheit, die ein Messgerät (außer ein Zählgerät) besitzt, weil es eine Messskala abbildet, die zwar durch eine Eichung vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen genormt ist, jedoch aufgrund des grundsätzlich nicht bekannten Wertes der Messgröße, der zu messen versucht wird, auch immer mindestes eine kleine Unsicherheit innehat, da immer „eine unbekannte Abweichung zwischen dem Eichnormal und der Messgröße existiert“ (Nagel, 2021, S. 9).

Bei der Linearitätsunsicherheit handelt es sich um jene Unsicherheit, die entstehen kann, wenn eine eigentlich genormte Messskala Abweichungen in ihren Abschnitten aufweist und dadurch zu kurze oder zu lange Messabstände entstehen (vgl. Nagel, 2021, S. 9).

Bei der Digitalisierungs- bzw. Ableseunsicherheit handelt es sich um jene Unsicherheit die entsteht, wenn ein zu ermittelnder Wert zwischen zwei auf einer Messskala angegebenen Werten liegt und damit beim Ablesen eine Entscheidung zum nächstmöglichen Wert nach oben oder unten getroffen werden muss. Bei dieser Art der Messunsicherheit entspricht die Unsicherheit der halben Skalenschrittweite (vgl. Nagel, 2021, S. 10).

2.2. Relevanz von Messunsicherheiten

Da es die Messgröße einer Messung, die zu messen versucht wird, in realisierter Form nie geben wird, ist es für physikalische Kontexte in Bezug auf die Angabe eines Messergebnisses unentbehrlich, eine Unsicherheit des Ergebnisses mit anzugeben. Insbesondere, um ein international einheitliches Verfahren zu etablieren und somit eine übergreifende Vergleichbarkeit in der Anwendung zu erhalten, schreibt auch der ISO-Leitfaden GUM (2008) vor, einen quantitativen Hinweis auf die Qualität eines Ergebnisses zu geben, damit dessen Zuverlässigkeit beurteilt werden kann, da ansonsten kein Vergleich zu anderen Werten möglich ist:

> *When reporting the result of a measurement of a physical quantity, it is obligatory that some quantitative indication of the quality of the result be given so that those who use it can assess its reliability. Without such an indication, measurement results cannot be compared, either among themselves or with reference values given in a specification or standard. (S.VIII)*

Nach dem GUM (2008) ist das Konzept der Unsicherheit als quantifizierbares Attribut relativ neu in der Geschichte des Messens, obwohl Fehler und auch eine Fehleranalyse bereits länger Teil der Praxis der Messwissenschaft oder Metrologie sind (vgl. S. VIII). Daher verwundert es durchaus wenig, dass „in der Schule kaum Wissen über Messunsicherheiten vermittelt [wird]“ (Kok & Priemer, 2020, S. 880). Allerdings gewinnen die Kompetenzen der Bewertung von Datenqualitäten und deren Interpretation sowohl in schulischen als auch in gesellschaftlichen Kontexten zunehmend an Bedeutung, worunter auch „die Fähigkeiten [zählen,] Messunsicherheiten einzuschätzen und Messdaten miteinander vergleichen zu können“ (Kok & Priemer, 2020, S. 880). Im Besonderen, da Schülerinnen und Schüler im Kontext der Thematik der Messunsicherheiten große Schwierigkeiten haben (vgl. Kok & Priemer, 2020) ist dies für das Erlernen des experimentellen, wissenschaftlichen Arbeitens im Physikunterricht essentiell (vgl. Glomski & Priemer, 2010).

Da der Physikunterricht der Vermittlung eines angemessenen Bildes der Nature of Science dient, ist auch eine Thematisierung empirischer Evidenzen in eben diesem Unterricht unerlässlich, was wiederum eine Thematisierung von Messunsicherheiten mit einbezieht, „da adäquate Ansichten über die Natur von Evidenz mit einem Verständnis über Messunsicherheiten verknüpft sind“ (Hellwig, 2012, S.7). Und auch in Bezug auf das Aufstellen und Testen naturwissenschaftlicher Theorien ist es unerlässlich mit Messunsicherheiten umgehen zu können, da in diesen Fällen Vergleiche gezogen werden, die ohne eine Betrachtung eines Ergebnisintervalls kaum möglich sind, da, wie eingangs dieses Abschnitts erwähnt, die Messgröße, die zu messen versucht wird, nicht direkt gemessen, „sondern für die gesuchte Größe lediglich ein Intervall in Erfahrung gebracht werden kann, in dem dieser mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit enthalten ist“ (Hellwig, 2012, S. 7).

2.2.1. Messunsicherheiten in der Primarstufe

Das Erfordernis der Angabe einer Messunsicherheit im Rahmen eines Messvorgangs für die Physik im Allgemeinen ist bereits aus vorigen Abschnitten deutlich geworden. Wird nun über eine Thematisierung von Messunsicherheiten im Rahmen des Physikunterrichts gesprochen, so wird in pädagogischen Kontexten insbesondere von Inhalten für die Sekundarstufe II bzw. Sekundarstufe I gesprochen (vgl. Hellwig, 2012; Hellwig, Schulz & Priemer, 2017; Priemer & Hellwig, 2012). Es stellt sich also die Frage, ob die Thematisierung von Messunsicherheiten auch bereits in der Primarstufe Anwendung finden kann und wenn ja, welche konkreten Inhalte vermittelt werden sollten.

Mehrere Aspekte sind an dieser Stelle vorab anzumerken. Zum einen ist zunächst zu umreißen, was eigentlich unter ‚Primarstufe‘ verstanden wird. So kann auf Seiten der Kultusministerkonferenz (KMK) für den deutschsprachigen Raum nachgelesen werden, dass der Primarbereich die Grundschule umfasst, „die von der ersten bis zur vierten, in Berlin und Brandenburg bis zur sechsten Jahrgangstufe reicht“ (KMK, Primarbereich). Jeweils daran schließt sich dann die Sekundarstufe I an (vgl. KMK, Sekundarstufe I). Das bedeutet allerdings auch, dass uneindeutig ist, von welchen Klassenstufen gesprochen wird, wenn jeweils von der Primarstufe oder der Sekundarstufe I gesprochen wird, da es die überlappenden Jahrgangsstufen fünf und sechs gibt, die in Berlin und Brandenburg noch der Primarstufe, jedoch in allen anderen Bundesländern bereits der Sekundarstufe I zugeordnet werden. Aus diesem Grund ist es unbedingt notwendig, in der Literatur auf die Altersangaben der Schülerinnen und Schüler zu achten, mit denen entsprechende Studien durchgeführt oder für die bestimmte Modelle erstellt wurden.

Zum anderen sei an dieser Stelle ein Gedanke von Hellwig (2012) angeführt, der den Auswahlprozess für schulische Inhalte umrahmen soll. So schreibt sie,

> *dass ein Verschweigen von Messunsicherheiten im Physikunterricht implizit ein fragwürdiges Bild über den Prozess der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften fördert. So könnte unter Umständen bei den Schülerinnen und Schülern der Eindruck entstehen, dass sich physikalische Theorien direkt aus einmalig durchgeführten Messungen ‚ablesen‘ lassen, d.h. dass es keinerlei kritischer Interpretationen von Daten aus wiederholt vorgenommener Messung bedarf, um fundierte Schlussfolgerungen treffen zu können. (S. 7)*

Da bereits Schülerinnen und Schüler der Primarstufe erste experimentelle Erfahrungen machen sollen (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C. Sachunterricht) erscheint es daher nur sinnvoll, diejenigen ausgewählten Aspekte von Messunsicherheiten bereits zu gegebener Zeit in der Primarstufe zu thematisieren, statt den Schülerinnen und Schülern wie von Hellwig dargelegt ein nicht adäquates Bild der Naturwissenschaften zu vermitteln, das dann spätestens in der Sekundarstufe I wieder revidiert werden muss, um es gegen das zutreffende Bild der vorhandenen Unsicherheiten in unserer Umwelt zu tauschen. Die Schülerinnen und Schüler sollten sinnvollerweise direkt ein angemessenes Bild der Naturwissenschaften aufbauen dürfen und dieses im Rahmen eines Spiralcurriculums entsprechend ihrer möglichen Kompetenzen immer weiter vertiefen (vgl. Kok & Primer, 2022), anstatt Bilder vermittelt zu bekommen, die später revidiert werden müssten bzw. ein bereits vertieftes Wissen umstrukturiert werden müsste (vgl. Kok, 2022).

2.2.2. Rahmenlehrplan Berlin Brandenburg

Eine landesübergreifende Vereinbarung in Bezug auf naturwissenschaftliche Kompetenzen seitens der KMK gibt es für den Primarbereich nicht. Diese Arbeit wird sich im Folgenden den Vorgaben des Rahmenlehrplans Berlin- Brandenburg widmen.

Wie bereits erwähnt, umfasst die Primarstufe in Berlin- Brandenburg die Klassenstufen eins bis sechs. In den Jahrgangsstufen eins bis vier werden alle Schülerinnen und Schüler gemeinsam im ‚Sachunterricht' beschult, der übergreifende Themenbereiche aus natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Inhalten beinhaltet. In den Jahrgangsstufen fünf und sechs gibt es dann eine erste inhaltliche Unterscheidung in Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Erst darauf aufbauend in der Sekundarstufe I wird dann in die einzelnen Fachdisziplinen, so auch die Physik, weiter aufgesplittet.

Im Rahmenlehrplan für die Klassenstufen eins bis vier gibt es keine wortwörtliche Benennung des Themengebiets der Messunsicherheiten. Allerdings wird von den Schülerinnen und Schüler erwartet, erste experimentelle Erfahrungen zu sammeln und zu den übergreifenden Themen Erde, Wasser und Zeit Messungen vorzunehmen (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C. Sachunterricht, S. 28, 38, 42).

Dagegen findet sich im Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen fünf und sechs zum Inhalt ‚von den Sinnen zum Messen' folgende Ausführung:

> *Die Sinne sind unser natürlicher Zugang zur Welt. Mithilfe der Sinne schaffen wir uns ein eigenes Bild unserer Lebenswelt. Doch die menschlichen Sinne haben Grenzen. Mithilfe von Messgeräten können wir unsere Umwelt jenseits der sinnlichen Möglichkeiten erfahren. Das Messen wird als naturwissenschaftliche Arbeitsweise thematisiert. Die Schülerinnen und Schüler bauen einfache Messgeräte (z. B. Waage, Flüssigkeitsthermometer). Sie lernen den Umgang mit Geräten, Messgrößen, Messwerten und Maßeinheiten. Der Vergleich von selbst aufgenommenen Messwerten und den daraus angefertigten Grafiken und Wertetabellen führt zur Methodenreflexion. <u>Besonderes Augenmerk wird auf Messungenauigkeiten sowie Mess- und Ablesefehler gelegt</u>. (LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Naturwissenschaften, S. 22)*

Hier sind die Begriffe ‚Messungenauigkeiten' und ‚Mess- und Ablesefehler' explizit genannt, die das Thema Messunsicherheiten zu betreffen scheinen. An dieser Stelle muss dennoch kurz auf die Begrifflichkeiten Bezug genommen werden, auch wenn es auf den ersten Blick erfreuen mag, hier erstmals konkrete Handlungsanweisungen zum Umgang mit gewonnenen Daten erhalten zu haben.

Der Begriff der Ungenauigkeit wird in den Vorgaben des GUM (2008) nicht verwendet und auch sonst ist in wissenschaftlichen Arbeiten keine Rede von Ungenauigkeiten. Eine Ungenauigkeit beschreibt etwas, was ‚nicht genau' ist. In vorliegendem Kontext also ‚nicht genau gemessen'. Allerdings würde es sich bei einer Messung, die ‚nicht genau' getätigt wurde, um eine eigentlich vermeidbare Handlung handeln, wenn sie denn genau erfolgt wäre, was wiederum einem ‚Fehler' entspräche (siehe 2.1.1. Unsicherheit vs. Fehler). Ein Verhalten, das grundsätzlich vermeidbar wäre, ist auch zu vermeiden, sonst handelt es sich um einen Fehler. Im Gegensatz zum Begriff der Unsicherheit drückt der Begriff der Ungenauigkeit eben jene, eigentlich vermeidbare Aktivität aus, wenn die handelnde Person bei der Messung genau gehandelt hätte. Eine Unsicherheit dagegen vereitelt aber das exakte Arbeiten einer Person nicht. Die Unsicherheit, von der in dieser Arbeit gesprochen wird, entsteht dadurch, dass es eben die Messgröße, die zu messen versucht wird, nicht geben kann, da sie ein idealisiertes Konzept darstellt (vgl. Glomski & Priemer, 2010; GUM, 2008; Hellwig, 2012).

Bei den Begriffen Mess- und Ablesefehler taucht nun der Fehlerbegriff konkret auf. Während ein Messfehler nach dem GUM (2008) als konkrete Abweichung von der konkreten Messgröße, die zu messen versucht wird, ebenso unbekannt ist, wie die Messgröße selbst, so liegt dem Begriff des Fehlers zudem etymologisch immer etwas subjektiv Negatives empfundenes bei (vgl. 2.1.1. Unsicherheit vs. Fehler). Ein Fehler wird in soziologischen Kontexten als eine Normabweichung empfunden, die negativ damit konnotiert ist, etwas falsch gemacht zu haben.

Wird im Rahmenlehrplan nun von Messungenauigkeit und Mess- und Ablesefehler gesprochen, so kann nur gemutmaßt werden, dass mit der ‚Messungenauigkeit' viel mehr die in dieser Arbeit thematisierte Messunsicherheit gemeint ist und dass in Bezug auf ‚Mess- und Ablesefehler' möglicherweise tatsächlich Fehler in den Aktivitäten des Messens und Ablesens eines Ergebnisses gemeint sind. Grund zu dieser Annahme gibt, dass die Begriffe der Ungenauigkeit und des Fehlers sonst das Gleiche beschreiben würden und das Individuum zweifach in den Fokus rücken würden, statt den Fokus sowohl auf die Werte als auch auf die Aktivität zu lenken.

Letztlich bleibt allerdings eine Aufforderung im Rahmenlehrplan Berlin- Brandenburg zur Auseinandersetzung mit Messergebnissen. Für die Jahrgangsstufen eins bis vier implizit durch die Rahmung eines Messvorgangs und für die Jahrgangsstufen fünf und sechs explizit, wie geschildert. Die vorliegende Arbeit wird sich im Folgenden auf die Thematisierung von Messunsicherheiten in den Jahrgangsstufen 5- 6 fokussieren, da sich für diese Jahrgangstufen eine explizite Aufforderung zur Auseinandersetzung im Rahmenlehrplan finden lässt. Wird also im Folgenden auf die Primarstufe Bezug genommen, so sind die Jahrgangsstufen 5- 6 gemeint.

2.2.3. Alltagsrelevanz

Physikern ist die Relevanz von Messunsicherheiten aus der Dramaturgie der nie zu ermittelnden Messgröße, die zu messen versucht wird, bekannt. Doch darf man sich die Frage stellen, welche Relevanz Messunsicherheiten auch im Alltag haben. Insbesondere da sachunterrichtlicher und naturwissenschaftlicher Unterricht in der Primarstufe für die Schülerinnen und Schüler stets einen Alltagsbezug aufweisen sollte.

Zunächst sei angeführt, dass die experimentelle Fähigkeit eine wissenschaftliche Prozessfähigkeit darstellt, die nach Turiman, Omar, Mohd Daud & Osman (2012) in zwei Bereiche unterteilt werden kann, nämlich in die grundlegenden wissenschaftlichen Prozessfähigkeiten und die integrierten wissenschaftlichen Prozessfähigkeiten. Die Autoren zählen u.a. das Messen und das Ziehen von Schlussfolgerungen in diesem Sinne zu den grundlegenden naturwissenschaftlichen Prozessfähigkeiten und u.a. die Interpretation von Daten zu den integrierten wissenschaftlichen Prozessfähigkeiten. Sie ergänzen, dass zunächst grundlegende wissenschaftliche Prozessfähigkeiten gemeistert werden müssen, bevor integrierte wissenschaftliche Prozessfähigkeiten erlernt werden können und dies notwendig wird, um die Umwelt systematisch zu verstehen.

Insgesamt geht es also um den Umgang mit experimentellen Daten, um das Erlangen von Daten (dem Messen) und das Interpretieren dieser Daten, um daraus Konsequenzen abzuleiten. Nach Kok, Boczianowski & Priemer (2020) liegt die alltägliche Relevanz darin, dass die „Verfahren zum qualitativen und zum quantitativem Umgang von Messdaten […] zur Entwicklung von Datenkompetenz […] und zur Fähigkeit zum kritischen Denken bei[tragen]" (S. 294; vgl. auch Hellwig & Heinicke, 2020).

Die Corona Pandemie und die ständig in den Medien vorgestellten Erkrankungs- und Verlaufszahlen sind ein eingängiges Beispiel für die Notwendigkeit, angemessene Schlüsse aus dargestellten Daten zu ziehen und deren Qualität und Zuverlässigkeit zu bewerten. Allerdings gibt es auch im Alltäglichen Situationen, in denen ein Umgang mit Daten im Weiteren ein entsprechendes Handeln nach sich zieht. Hellwig & Heinicke (2020) stellten hierzu das Beispiel vor, dass es für viele Personen von Relevanz ist, ob eine Wetterapp mit einer Wahrscheinlichkeit von 30% oder 90% Regen vorhersagt und sie entsprechend dieser Angaben eher mit oder ohne Regenschirm das Haus verlassen. Die Prozentangabe bewertet demnach die Qualität der Daten und das Abwägen, ob mit einem bestimmten Ereignis gerechnet werden kann oder nicht. Aus dem Alltag von Schülerinnen und Schülern ließen sich daneben folgende Situationen darstellen: Beim Einrichten eines Zimmers wird die Raumhöhe derart beachtet, als dass mit großer Wahrscheinlichkeit kein Möbelstück gekauft wird, das exakt genauso hoch sein soll, wie der Raum in seiner Höhe gemessen wurde. Es liegt intuitiv auf der Hand, der Höhe der Wand eine Ungenauigkeit und der Decke eine Unebenheit zuzuschreiben und auch der Größe des Möbelstücks eine gewisse Ungenauigkeit zuzulassen. Es würde also recht sicher davon abgeraten werden, bei einer Raumhöhe von 2,50m ein Möbelstück zu kaufen, das exakt 2,50m hoch ist. Umgangssprachlich ist der Ausdruck ‚plus-minus" gängig, mit dem ausgesagt wird, dass etwas ein gewisses Maß hat, allerdings ‚plus-minus' einer weiteren Angabe, wodurch einer Ungenauigkeit einer Angabe Rechnung getragen wird.

2.3. Verständnis von Messunsicherheiten

Bevor nun auf der Grundlage der im wissenschaftlichen Kontext gesehenen Notwendigkeit der Thematisierung von Messunsicherheiten bereits im Schulkontext, die darüber hinaus auch bereits durch den Rahmenlehrplan Berlin-Brandenburg festgeschrieben ist, über eine konkrete Umsetzung für den Unterricht gesprochen werden kann, ist es von Bedeutung, mit was für einem Verständnis beim Umgang mit Messunsicherheiten gerechnet werden kann. Aufschluss hierüber geben diverse Studien, denen zwar überwiegend Analysen von Studierenden zugrunde liegen (vgl. Allie et al., 2001; Buffler et al., 2001; Lubben et al. 2001;), zum Teil allerdings auch Daten jüngerer Kinder ausweisen (vgl. Munier, Merle, Brehelin, 2013).

Ursprung der heutigen Klassifizierung, auf die weiter unten eingegangen wird, sind Feststellungen in Studien der 1990er und 2000er Jahre zum Glauben an einen ‚wahren' Wert im Rahmen des naturwissenschaftlichen Kontextes (vgl. Kok, 2002). Wissenschaftler fanden darin Hinweise, dass sowohl Studenten an Universitäten, als auch Schüler im Alter von elf bis 15 Jahren an eine Existenz eines ‚wahren' Wertes glauben (vgl. Hellwig, 2012; Kok, 2022). Ein solcher ‚wahrer' Wert sei nach Vorstellungen durch das Vorgehen von einem perfekten Forscher oder einem perfekten Messinstrument (vgl. Hellwig, 2012; vgl. Munier, Merle & Brehelin, 2013) erreichbar oder grundsätzlich der Lehrkraft bekannt (vgl. Munier, Merle & Brehelin, 2013). Darüber hinaus wurde festgestellt, dass eine Abweichung von diesem als erreichbar angesehenen ‚wahren' Wert als Fehler und falsch eingeschätzt wird (vgl. Munier, Merle & Brehelin, 2013), was wiederum einen Bezug zu einem Gefühl des persönlichen Misslingens (siehe 2.1.1. Unsicherheit vs. Fehler) mit sich bringt.

Die Autoren Lubben, Campbell, Buffler und Allie (2001) formulierten in ihren Arbeiten neun Entwicklungsstufen, die von der Ansicht des ‚wahren' Wertes ausgehen und sich insgesamt zwischen den zwei Paradigmen ‚point' und ‚set' bewegen. Dabei entspricht eine Ansicht nach dem Point Paradigma eben jener Vorstellung des ‚wahren' Wertes und im Rahmen des wissenschaftlichen Kontextes wird es als zielführend angesehen, diese Ansicht hin zum Set- Paradigma zu bewegen (vgl. Hellwig, 2012; Kok, 2022; Schulz, 2022).

Im Folgenden wird auf die beiden Paradigmen ‚point' und ‚set' eingegangen.

2.3.1. Point-Paradigma

Unter dem Point-Paradigma versteht man ein punktförmig betrachtetes Messergebnis (engl. Point = Punkt).

> *Das Point-Paradigma ist durch die Vorstellung gekennzeichnet, dass jede Messung einen einzigen, punktförmigen Wert ergibt, der im Prinzip der wahre Wert sein könnte. Infolgedessen ist jede Messung unabhängig von den anderen und die einzelnen Messungen werden in keiner Weise kombiniert. In ihrer extremsten Form manifestiert sich diese Denkweise in der Überzeugung, dass nur eine einzige Messung erforderlich ist, um den wahren Wert zu ermitteln (Allie et al., 2001, S.3; vgl. auch Buffler, 2001; Lubben et al. 2001). Ein punktförmig betrachtetes Messergebnis wird also ohne eine Messunsicherheit angesehen.* (vgl. Hellwig, 2012)

Allie et al. (2001) ergänzen die folgenden möglichen Ausprägungen des Point-Paradigmas:

- Messungen werden wiederholt, um einen wiederkehrenden Wert zu finden oder um eine perfekte Messung vorzunehmen,
- eine bestimmte Messung wird ausgewählt (z.B. der höchste Wert, der am häufigsten auftretende Wert, der erste Wert, der letzte Wert),
- mehrere bestimmte Einzelwerte werden ausgewählt, durch die eine gerade Linie gezogen werden kann, um eine Sammlung bestimmter Punkte darzustellen (z.B. der Ursprungswert, ein Extremwert, wenige beliebige Werte),
- zwei Datensätze werden miteinander verglichen, indem bestimmte Einzelwerte (z.B. die Mittelwerte) gegenübergestellt werden (alle Erwähnungen S.3).

Im Rahmen des Point-Paradigmas wird angenommen, dass die Streuung der Messdaten bei ausreichender Übung und der richtigen Erfahrung auf Null reduziert werden kann. […] Der Vergleich von Daten erfolgt in diesem Paradigma Punkt für Punkt oder durch einen routinemäßig kalkulierten Vergleich des Mittelwertes (vgl. Kok, 2022).

2.3.2. Set-Paradigma

Unter dem Set-Paradigma versteht man ein im Ganzen betrachtetes Messergebnis, das alle Messwerte einer Messreihe mit einschließt. Eine wortwörtliche Übersetzung des Begriffs ‚set' ist nicht eindeutig möglich. Begrifflich ist mit ‚set' die Menge an vorliegenden Daten gemeint.

„Das Set-Paradigma ist durch die Vorstellung gekennzeichnet, dass jede Messung nur eine Annäherung an den wahren Wert darstellt und dass die Abweichung vom wahren Wert zufällig ist. Folglich ist eine Reihe von Messungen erforderlich, um eine Verteilung zu bilden, die sich um einen bestimmten Wert gruppiert." (Allie et al., 2001, S.3; vgl. auch Buffler, 2001; Lubben et al. 2001). Der Mittelwert wird als beste Schätzung der Messgröße verwendet und die Unsicherheit um ihn herum ergibt ein Intervall, in dem die Messgröße erwartet werden kann" (Kok, 2022, S.27).

Allie et al. (2001) ergänzen auch hier folgende mögliche Ausprägungen des Set-Paradigmas:

- Eine Wiederholung von Messungen zielt darauf ab, einen Mittelwert zu ermitteln,
- ein Mittelwert und eine Streuung wurden berechnet, um die Daten ganzheitlich darzustellen,
- alle Messdaten wurden miteinander verbunden, um die Daten darzustellen,
- verschiedene Messreihen werden anhand verschiedener Daten, wie der Überlappung des Unsicherheitsintervalls, des Mittelwertes und der Streuung verglichen (alle Erwähnungen S.3).

Im Rahmen des Set-Paradigmas wird angenommen, dass die Streuung der Messdaten durch die Verwendung präziser Messinstrumente und sorgfältiger experimenteller Verfahren zwar reduziert, allerdings nicht auf Null reduziert werden kann. Die Unsicherheit ist daher ein Hinweis auf die Qualität der Daten. (vgl. Kok, 2022).

2.3.3. Mixed Paradigma

Bei dem Versuch der Kategorisierung von Aussagen von Schülerinnen und Schülern ist zu bedenken, dass deren Ansichten nicht eindeutig sind (vgl. Kok, 2022; Schulz, 2022). Buffler et al. (2001) stellten in ihren Arbeiten bereits heraus, dass es in Bezug auf Stellungnahmen zu Messreihen sowohl eine Handlungs- als auch eine Begründungsebene gibt (siehe Abbildung 1).

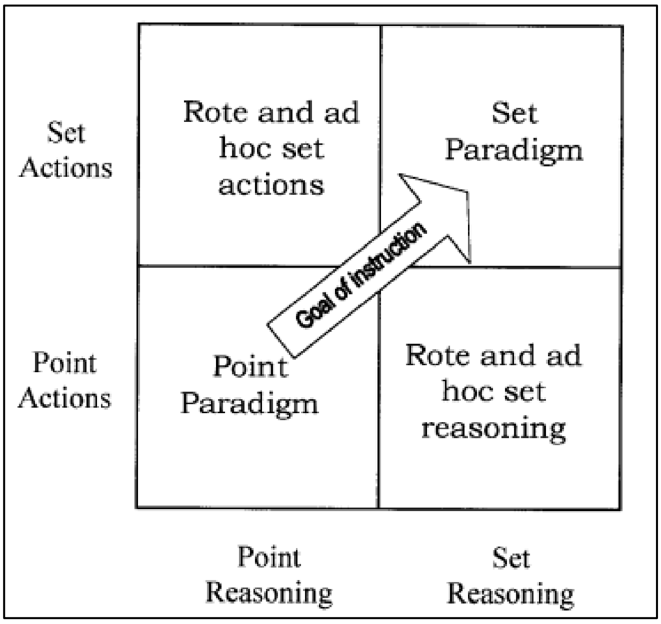


Abbildung 1: *Point und Set Paradigma auf der Handlungs- und Begründungsebene (Buffler et al., 2001)*

Eine vollständige Vorstellung im Rahmen des Point-Paradigmas liegt vor, wenn sowohl die von den Schülerinnen und Schülern durchgeführte Handlung als auch deren Begründung für die Handlung dem Point-Paradigma zugeordnet werden kann. Dementsprechend handelt es sich auch nur um eine vollständig dem Set-Paradigma zuzuordnende Vorstellung, wenn sowohl die durchgeführte Handlung als auch die entsprechende Handlungsbegründung dem Set-Paradigma zugeordnet werden kann. Buffler et al. (2001) konnten in ihren Studien allerdings auch Fälle beobachten, die nicht in beiden Ausprägungen dem gleichen Paradigma zugeordnet werden konnten. So gab es Studierende, die zwar Handlungen im Rahmen des Set-Paradigmas ausführten, deren Begründung allerdings dem Point-Paradigma zugeordnet werden konnte. Buffler et al. (2001) erklärten dies damit, dass bestimmte Handlungen im Rahmen des Unterrichts routinemäßig mit den Studierenden eingeübt wurden, sodass sie diese ausführen, ohne tatsächliches Verständnis für das Set-Paradigma entwickelt zu haben. Auf der anderen Seite gab es Studierende, die Handlungen ausführten, die dem Point-Paradigma zugeschrieben werden konnten, deren Begründung jedoch am Set-Paradigma ausgerichtet war. Buffler et al. (2001) erklärten dies damit, dass diesen Studierenden die notwendigen auszuführenden Methoden nicht sicher bekannt sind (vgl. auch Hellwig, 2012). Da in diesen beiden zuletzt beschriebenen Situationen jeweils kein vollständiges Point- bzw. Set-Paradigma vorliegt, wurde hier der Begriff des Mixed-Paradigmas gewählt, das eine Vermischung aus Point- und Set-Paradigma darstellen soll.

Dieses Wissen zum Verständnis von Messunsicherheiten ist notwendig, um das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Lernmodul aussagekräftig evaluieren zu können und bewerten zu können, inwiefern bei den Schülerinnen und Schülern eine Entwicklung vom anzunehmendem Point-Paradigma hin zum erstrebenswerten Set-Paradigma erfolgte.

2.4. Lehrmaterial zu Messunsicherheiten in der Primarstufe

Das Thema Messunsicherheiten ist Bestandteil des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg für die Grundschule. Allerdings konnte im Rahmen dieser Arbeit kein Lehrmaterial gefunden werden, dass explizit Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe thematisiert. Die Thematik obläge damit jedem Fachlehrer selbst, sie im Unterricht zu integrieren und detaillierter oder weniger detailliert zu besprechen.

Hellwig (2012) erarbeitet in ihrer Arbeit ein Sachstrukturmodell zum Thema Messunsicherheiten, welches erstmals als „[inhaltlich validierter] Erwartungshorizont zum Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I" (Hellwig 2012, S.190) angesehen werden kann. Sie selbst resümiert ihre Arbeit damit, dass das entwickelte Sachstrukturmodell „Unterrichtsansätze und dazugehörige Materialien zur Vermittlung eines umfassenden und adäquaten Verständnisses über Messunsicherheiten in der Schule ermöglichen" (Hellwig, 2012, S. 190) könnte. Wurden bisher im Schulunterricht eher routinemäßig durchzuführende Methoden vermittelt, so liegt der Schwerpunkt heute auf der Förderung des Verständnisses von Messunsicherheiten im Ganzen (vgl. Hellwig, 2012).

Das Sachstrukturmodell von Hellwig wird im Rahmen dieser Arbeit als Ausgangslage für die Erstellung eines explizit auf die Vermittlung von Messunsicherheiten ausgelegten Lernmoduls gesehen. Da dieses auf die Sekundarstufe I ausgelegt ist, wird es in einem ersten Schritt zunächst vorgestellt und zu einem späteren Punkt dieser Arbeit für die weitere Verwendung für die Primarstufe reduziert.

2.5. Sachstrukturmodell von Messunsicherheiten nach Hellwig

Bisher stellte diese Arbeit fest, was Messunsicherheiten sind, welche Relevanz Messunsicherheiten in der Schule und im Alltag haben und welches Verständnis in Bezug auf Messunsicherheiten existiert, ohne den meisten Menschen explizit bewusst zu sein. Es wurde herausgestellt, dass Messunsicherheiten bislang in Lehrkontexten wenn überhaupt für Hochschulinhalte bzw. Sekundarstufeninhalte vorgesehen sind, allerdings eine Thematisierung auch in der Primarstufe, explizit in den Jahrgangsstufen fünf und sechs, aber auch implizit in den Jahrgangsstufen eins bis vier über Messtätigkeiten angebracht ist. Nun stellt sich die Frage, welche entsprechenden Inhalte zum Thema der Messunsicherheiten passend auf die jeweilige Jahrgangsstufe vermittelt werden könnten. Unter Rückgriff auf das erstellte Sachstrukturmodell von Messunsicherheiten, „das alle relevanten Aspekte des Themenfelds der Messunsicherheiten berücksichtigt" (Glomski & Priemer, 2010, S.1) könnte eine entsprechende Auswahl erfolgen.

Während Glomski & Priemer (2010) ein erstes Sachstrukturmodell entwickelten, das „in erster Linie auf Hochschulniveau [angesiedelt werden kann und] für den Einsatz im Physikunterricht noch nicht geeignet ist" (S. 5), entwickelte Hellwig (2012) „eine Reduktion des Sachstrukturmodells auf [dem] Niveau der Sekundarstufe I" (S. 171). Dies wird im Folgenden den Ausgangspunkt für diese Arbeit darstellen, soll allerdings zunächst vorgestellt werden.

Das Sachstrukturmodell im Allgemeinen enthält Konzepte, die notwendig sind, den Schülerinnen und Schülern die Thematik der Messunsicherheiten umfassend zu vermitteln. Zu dem Sachstrukturmodell gehören insgesamt die vier Dimensionen (vgl. Glomski & Priemer, 2010; Hellwig, 2012)

- Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten
- Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen
- Erfassung von Messunsicherheiten
- Aussagekraft von Messunsicherheiten

Die jeweiligen Inhalte dieser vier Dimensionen sind folgend übersichtlich in Tabellenform dargestellt, wobei aus den Tabellen bereits die von Hellwig (2012) getroffene Reduzierung hervorgeht. So sind die Dimensionen mit ihren jeweils zu vermittelnden Konzepten in blau gekennzeichnet. Grün gekennzeichnet sind Inhalte, die im Rahmen Hellwigs Arbeit beibehalten wurden. Gelb gekennzeichnet sind Inhalte, die im Rahmen einer Thematisierung von Messunsicherheiten für die Sekundarstufe I nach Hellwig vereinfacht werden müssten. Und bei den grau markierten Inhalten handelt es sich um solche, die bereits im Rahmen Hellwigs Arbeit für eine Thematisierung in der Sekundarstufe I ausgeschlossen wurden.

2.5.1. Erste Dimension: Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten

Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten		
Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen	
	Einflussgrößen	Rückwirkung der Messanordnung
		Umwelteinflüsse
		Unvollkommenheit der Messgeräte
	Mathematische Operationen	
	Faktor "Mensch"	
Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung	Systematische Messabweichungen
		Zufällige Messabweichungen
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit	

Abbildung 2: *Sachstrukturmodell nach Hellwig, 2012, Dimension 1*

Zur Dimension der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten gehören die Konzepte ‚Ursachen der Messunsicherheit' und ‚Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung'. Im Rahmen dieser Dimension soll den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden, dass „jede gemessene Größe […] mit einer Unsicherheit behaftet [ist], selbst wenn die Messung besonders sorgfältig mit höchstpräzisen Messinstrumenten durchgeführt wurde" (Hellwig, 2012, S. 171, vgl. Glomski & Priemer, 2010). Um dies nachvollziehen zu können, sollen die Schülerinnen und Schüler die beiden genannten Konzepte aufbauen können.

Im Rahmen des Aufbaus des Konzepts der Ursachen von Messunsicherheiten sollen die Schülerinnen und Schüler das Verständnis entwickeln, dass die Darstellung einer Messung auf einem sowohl analogen als auch digitalen Messgerät eine begrenzte Anzahl an Anzeigeziffern (z.B. Taschenrechner: Anzeige je nach Displaygröße) oder auch begrenzte Möglichkeit der Verfeinerung (z.B. Lineal) aufweist (vgl. Hellwig, 2012). Weiterhin, dass daneben jeder Vorgang einer Messung einer Beeinflussung unterliegt, die sowohl aus dem Messgerät selbst erwachsen als auch aus der Umgebung entstehen kann. Die verschiedenen Autoren sprechen hier von ‚Einflussgrößen' (vgl. Glomski & Priemer, 2010; Hellwig, 2012). Immer wieder zu beachtende Einflussgrößen der Umwelt sind z.B. die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit oder Schmutz. Und zuletzt ist zum Aufbau dieses Konzeptes wichtig zu verstehen, dass eine weitere Ursache für die Messunsicherheit auch im Menschen selbst liegen kann, der zur Erhöhung oder Verminderung der Unsicherheit aufgrund seiner persönlichen Entscheidung zu einer Messstrategie, seiner Handhabung des Messgeräts, seinem Fokus der Beobachtung und seiner Auswertung beitragen kann. Hellwig (2012) stellt auch die durch mathematische Operationen resultierende Möglichkeit der Messunsicherheit vor, die in der Sekundarstufe I vereinfacht thematisiert werden könnte. Hierunter zählt sie z.B. „das Runden von Zahlenwerten, die unbekannte Unsicherheit verwendeter Literaturwerte und Näherungen" (S. 171f.).

Im Rahmen des Aufbaus des Konzepts der Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung gehört das grundsätzliche Verständnis, dass es bei einer Messung nie die eine Messgröße der Messung als Ergebnis geben kann (siehe 2.1. Was sind Messunsicherheiten). Dieses grundsätzliche Verständnis kann unter Rückgriff auf das Konzept der Ursachen von Messunsicherheiten aufgebaut werden, indem dazu auf eine saubere Begriffsverwendung geachtet wird. Denn da es die Messgröße, die zu messen versucht wird, nicht geben kann, kann es auch nicht möglich sein, nur einen konkreten Wert als Ergebnis eines Messvorgangs anzugeben. Demnach muss bei der Ergebnispräsentation eines Messergebnisses ein Intervall angegeben werden, in dem sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die zu messen versuchte Messgröße befinden wird. Und dies wird als Messunsicherheit einer Messung angegeben, die „einen Wertebereich [definiert], bei dem man mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgehen kann, dass ein beliebiger für die entsprechende Messgröße aufgenommener Messwert darin enthalten ist“ (Hellwig, 2012, S. 173). Dagegen müssen die Schülerinnen und Schüler verstehen, dass es sich bei der Messabweichung um ein ebenso idealisiertes Konzept wie der zu messen versuchten Messgröße handelt. Denn stellt die Messabweichung „die Differenz aus einem Messwert und einem entsprechenden Referenzwert [dar]“ (Hellwig, 2012, S. 173) und handelt es sich bei diesem Referenzwert um die idealisierte Messgröße (z.B. als Literaturangabe), so kann nie mit hundertprozentiger Sicherheit festgestellt werden, ob es sich wirklich um die zu messen versuchte Messgröße handelt, sodass auch jeglicher Bezug auf diese idealisierte Messgröße nur idealisiert bleibt. An dieser Stelle sollte allerdings thematisiert werden, dass in der Praxis Werte mit sehr geringer Messunsicherheit (so z.B. in der Regel Literaturwerte) durchaus „als Näherung für den ‚wahren‘ Wert [angesehen werden]“ (Glomski & Priemer, 2010, S. 2).

2.5.2. Zweite Dimension: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen

Einfluss auf das Messwesen		
Ziel der Messung	Unkenntnis des "wahren" Werts	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwerts für die Messunsicherheit
		Anpassung des Messprozesses
Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung	
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	

Abbildung 3: *Sachstrukturmodell nach Hellwig, 2012, Dimension 2*

Zur Dimension des Einflusses von Messunsicherheiten auf das Messwesen gehören die beiden Konzepte ‚Ziel der Messung‘ und ‚Ergebnis der Messung‘. Im Rahmen dieser Dimension soll den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden, welchen Einfluss die Existenz von Messunsicherheiten für den kompletten Messprozess hat (vgl. Glomski & Priemer, 2010).

Im Rahmen des Aufbaus des Konzeptes des Ziels der Messung sollen die Schülerinnen und Schüler den richtigen Fokus legen lernen. Denn wie bereits in der Dimension der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten als essenziell wichtig herausgehoben, kann das Ziel einer Messung nicht sein, die zu messen versuchte Messgröße einer Messung zu ermitteln, eben weil es sich hierbei nur um ein idealisiertes Konzept handelt. Das Ziel der Messung ist daher „eine möglichst geringe Messunsicherheit zu erreichen“ (Hellwig, 2012, S. 174). Mathematisch betrachtet nähert sich das Ergebnis mit immer weiter abnehmender Messunsicherheit dann auch der Messgröße, die zu messen versucht wird, an (vgl. Hellwig, 2012). Dabei sollten im Vorfeld einer Messung Überlegungen angestrengt werden, mit welchem Ausmaß an

Messunsicherheiten gerechnet werden kann, sodass zum einen ein Höchstwert für die Messunsicherheit festgelegt werden kann und zum anderen anhand dieser Vorüberlegungen mögliche Einflussfaktoren ausgemacht werden können, die die Messunsicherheit bei Ausschluss dieser Faktoren reduzieren lässt und so der Messprozess sukzessive angepasst werden kann, um ein Ergebnis mit möglichst geringer Messunsicherheit zu erhalten (vgl. Hellwig, 2012). An dieser Stelle bietet es sich zudem an, mit den Schülerinnen und Schülern über den Umgang mit ‚Ausreißern', also Anomalien im Messprozess, zu sprechen (vgl. Glomski & Priemer, 2010).

Im Rahmen des Aufbaus eines Konzeptes zum Ergebnis der Messung sollen die Schülerinnen und Schüler verstehen, welche Informationen mit der Darstellung des Ergebnisses übermittelt werden müssen, um korrekt über den Ausgang eines Experiments zu informieren (vgl. Hellwig, 2012). Hierfür wird eine Modellgleichung aufgestellt, „mit der die aufgenommenen Messwerte in das Messergebnis überführt, systematische Effekte korrigiert und die Unsicherheit des Ergebnisses ermittelt werden" (Hellwig, 2012, S. 65). Für die Sekundarstufe I sieht Hellwig die Notwendigkeit, die Dokumentation der Messergebnisse zu vereinfachen. Dabei hält die Dokumentation den Messprozess und die Ergebnisse fest, sodass sie für jeden Leser nachvollzogen werden können (vgl. Hellwig, 2012). „Schließlich [ist das Messergebnis] in der Form

Ergebniswert +/- Messunsicherheit

anzugeben" (Hellwig, 2012, S. 176).

2.5.3. Dritte Dimension: Erfassung von Messunsicherheiten

<table>
<tr><th colspan="4">Erfassung von Messunsicherheiten</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung</td><td rowspan="2">Aufstellen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion</td><td colspan="2">Ermittlungsmethode A</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ermittlungsmethode B</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Analyse der Wdf</td><td colspan="2">Form der Wdf</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ermittlung des Erwartungswerts</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ermittlung der Standardmessunsicherheit</td></tr>
<tr><td colspan="3">Freiheitsgrad</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten</td><td colspan="3">Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Fortpflanzung der Messunsicherheit</td><td rowspan="6">Schrittweise Bestimmung der Gesamtunsicherheit</td><td>Verschiedene Unsicherheitskomponenten einer direkt gemessenen Größe</td></tr>
<tr><td>Summen/ Differenzen gemessener Größen</td></tr>
<tr><td>Produkte/ Quotienten gemessener Größen</td></tr>
<tr><td>Summe/ Differenz aus Messwert und exakter Zahl</td></tr>
<tr><td>Produkt/ Quotient aus Messwert und exakter Zahl</td></tr>
<tr><td>Beliebige vom Messwert abhängige Funktion</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ganzheitliche Bestimmung der Gesamtunsicherheit</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ermittlung der resultierenden Wdf</td></tr>
<tr><td colspan="3">Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen</td></tr>
<tr><td colspan="3">Freiheitsgrad eines Messergebnisses mit verschiedenen Unsicherheitskomponenten</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Erweiterte Messunsicherheit</td><td colspan="3">Wahl des Erweiterungsfaktors bei angenommener Normalverteilung</td></tr>
<tr><td colspan="3">Wahl des Erweiterungsfaktors bei anderen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (Wdf)</td></tr>
</table>

Abbildung 4: *Sachstrukturmodell nach Hellwig, 2012, Dimension 3*

Zur Dimension der Erfassung von Messunsicherheiten gehören die drei Konzepte ‚Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung', ‚Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten' und ‚Erweiterte Messunsicherheit'. Im Rahmen dieser Dimension soll den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden, „wie Messunsicherheiten quantitativ erfasst werden können" (Glomski & Priemer, 2010), d.h., welche mathematischen Methoden notwendig sind, um die Messunsicherheiten zu ermitteln. Dabei fällt mit Blick auf die Tabelle auf, dass ein Großteil der Inhalte dieser Dimension bereits in der Reduzierung für die Sekundarstufe I keine Berücksichtigung findet und von den übrigen Inhalten wiederum der überwiegende Großteil für eine Thematisierung in der Sekundarstufe I nur in vereinfachter Form berücksichtigt werden soll. Insbesondere entfällt die Kompetenz zur erweiterten Messunsicherheit in der Berücksichtigung für die Sekundarstufe I ganz, woraus geschlussfolgert werden kann, dass dieses Konzept nicht aufgebaut werden muss, um das grundsätzliche Verständnis zum mathematischen Umgang mit Messunsicherheiten zu begreifen.

Erfolgt eine direkte Messung, so benötigen die Schülerinnen und Schülern ein Verständnis für zwei grundsätzliche Methoden, die Messunsicherheit zu ermitteln, nämlich der Ermittlungsmethode A und B. Die dahinterstehenden grundsätzlichen Konzepte wurden bereits im Abschnitt ‚Was sind Messunsicherheiten' im Rahmen der Inhalte ‚Typ-A-Messunsicherheit' und ‚ Typ-B-Messunsicherheit' geklärt, worauf hier verwiesen wird (siehe 2.1.2 und 2.1.3).

Nach der Ermittlungsmethode A wird die Streuung um einen besten Wert ermittelt. Nach Hellwig (2012) entspricht die Messunsicherheit vereinfacht für die Sekundarstufe anstelle der in der Wissenschaft genutzten Standardabweichung dem maximalen Abstand eines Messwertes vom Mittelwert aller Messwerte, wobei dieser errechnete Betrag nur in seiner Größe und nicht in seiner Richtung bezeichnet wird. Nach der Ermittlungsmethode B entspricht die Messunsicherheit einer halben Skaleneinteilung des Messgerätes, die ebenfalls als Betrag angegeben wird.

Soll dagegen eine Messunsicherheit zu einer Messgröße angegeben werden, die sich aus mehreren Unsicherheitskomponenten zusammensetzt, so sind alle Faktoren detailliert aufzulisten, die zusammen eine Gesamtunsicherheit eines Ergebnisses ausmachen. Mit der Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz ist daher konkret gemeint, „eine Tabelle [aufzustellen], in der alle Komponenten der Unsicherheit gemeinsam mit einer Angabe, um welche Art der Unsicherheit [(Typ A oder Typ B)] es sich handelt" (Hellwig, 2012, S. 71) eingetragen werden. Weiterführend können einzelne Messgrößen herangezogen werden, um ein Gesamtergebnis zu berechnen. Entsprechend werden auch die jeweiligen Messunsicherheiten der einzelnen Messgrößen zur Berechnung einer Gesamtunsicherheit herangezogen. Auf diese Art und Weise kann ganzheitlich oder schrittweise eine Gesamtunsicherheit berechnet werden, „wobei eine schrittweise Berechnung zu einer größeren Unsicherheit führen kann, als es bei der ganzheitlichen der Fall ist" (Hellwig, 2012, S. 71). Je nach zugrundeliegender Formel zur Berechnung des Gesamtergebnisses pflanzt sich auch die Messunsicherheit durch Summen, Differenzen, Produkte, Quotienten, Kehrwerte und Potenzen fort (vgl. Hellwig, 2012, S. 178).

2.5.4. Vierte Dimension: Aussagekraft von Messunsicherheiten

Aussagekraft			
Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwerts		
	Grad des Vertrauens		
	Rückschlüsse auf die Messung		
Vergleich von Messwerten	Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert	Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen	
		Messrichtigkeit	
	Vergleiche innerhalb einer Messreihe	Messpräzision	Wiederholungspräzision
			Vergleichpräzision
		Anomalien bzw. "Ausreißer" in Messreihen	
Regression	Grafische Durchführung einer linearen Regression	Partielle Regression	
		"Ausreißer" bei der Regression	
	Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit		

Abbildung 5: *Sachstrukturmodell nach Hellwig, 2012, Dimension 4*

Zur Dimension der Aussagekraft von Messunsicherheiten gehören die drei Konzepte ‚Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses', ‚Vergleich von Messwerten' und ‚Regression'. Im Rahmen dieser Dimension sollen die Schülerinnen und Schüler beurteilen lernen, „wie zuverlässig das entsprechende Messergebnis ist und inwiefern es mit anderen Werten vereinbart werden kann" (Glomski & Priemer, 2010). Auch hier fällt mit einem Blick auf die Tabelle auf, dass ein Großteil der Inhalte dieser Dimension bereits von Hellwig (2012) bzgl. einer Thematisierung in der Sekundarstufe I keine Berücksichtigung findet. Allerdings bleiben zunächst alle drei Konzepte erhalten, auf die folgend eingegangen wird.

Im Rahmen des Aufbaus eines Konzeptes über die Aussagekraft der Verlässlichkeit einer Messung und ihres Ergebnisses unter Rückschluss auf eine angegebene Messunsicherheit sollen die Schülerinnen und Schüler das Vertrauensniveau einer Messung einschätzen lernen. Dieses „ist […] ein Maß dafür, wie sicher man sich bezüglich des erhaltenen Messergebnisses sein kann" (Hellwig, 2012, S. 76). Wird zur Berechnung der Messunsicherheit die Standardabweichung (siehe 2.1. Was sind Messunsicherheiten) verwendet, so „kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% davon [ausgegangen werden], dass einer der erhaltenen Messwerte sich um nicht mehr als eine Standardunsicherheit von dem Ergebniswert unterscheidet" (Hellwig, 2012, S. 76). Bei anderen Berechnungen der Messunsicherheit können andere Aussagen über die Verlässlichkeit getroffen werden, allerdings sollte die Stichprobe eine entsprechend aussagekräftige Größe vorweisen.

Im Kontext der Auswertung einer Messung werden in der Regel Werte miteinander verglichen. So könnte ein ermittelter Messwert (z.B. auch der Mittelwert einer Messreihe) mit einem Referenzwert oder einem anderen Messwert verglichen werden. Dabei ist von Interesse, inwiefern zwei miteinander zu vergleichende Werte miteinander vereinbar sind. Zwei Messwerte mit jeweiligen Unsicherheiten sind dann miteinander vereinbar, wenn die Differenz ihrer Ergebniswerte kleiner ist, als die Summe der entsprechenden Unsicherheiten (vgl. Hellwig, 2012). Hat einer der Messwerte keine oder näherungsweise keine Unsicherheit (Stichwort: Literaturangabe), so ist dieser Messwert dann mit dem Messergebnis vereinbar, „wenn er im Bereich des Messergebnisses liegt, der durch die entsprechende Unsicherheit festgelegt ist" (Hellwig, 2012, S. 184). Bei Unvereinbarkeit muss allerdings nicht von falschem Messen ausgegangen werden, auch hier haben andere Einflüsse die Berechtigung, überdacht zu werden.

Bei einigen Messungen steht ein möglicher mathematischer Zusammenhang zwischen zwei oder mehr Variablen im Raum, was als ‚Regression' bezeichnet wird und mit Hilfe einer grafischen Aufbereitung durch sogenannte ‚Ausgleichsgeraden' überprüft werden kann. Dabei werden in ein entsprechend der in Zusammenhang gebrachten Variablen aufgestelltes Koordinatensystem alle Messunsicherheiten als ‚Unsicherheitsrechtecke' eingetragen. Anschließend wird versucht, zwei Geraden zu zeichnen, die alle Unsicherheitsrechtecke treffen und dabei einmal maximal flach und einmal maximal steil gezeichnet werden. Die eigentlich zu konstruierende Ausgleichsgerade ist nun die Winkelhalbierende der maximalen und minimalen Gerade. In diesem Zusammenhang kann erneut sehr gut das Thema auf ‚Ausreißer' gelenkt werden, da es manchmal nicht möglich sein wird, „eine Ausgleichsgerade zu konstruieren, die sämtliche Unsicherheitsrechtecke schneidet, sodass einzelne Messpunkte nicht erfasst werden können" (Hellwig, 2012, S. 186). In diesen Fällen ist möglicherweise die Unsicherheit nicht groß genug gewählt, was eine Wiederholung der Messung klären kann. Bei Fortbestehen von ausreißenden Werten könnte der Grund allerdings in systematischen Einflussgrößen liegen, die hier nicht weiter thematisiert werden.

3. Ziele dieser Arbeit

Diese Arbeit verfolgt das Ziel, ein konkretes Lernmodul zum Thema Messunsicherheiten für die Primarstufe zu entwickeln und zu evaluieren. Denn obwohl Messunsicherheiten inhaltlich im Rahmenlehrplan Berlin-Brandenburg vorhanden sind, findet in den Schulen kaum explizite Wissensvermittlung zu diesem Themengebiet statt (vgl. Glomski & Priemer, 2010; Hellwig, 2012; Kok & Priemer, 2020). Dennoch zeigten Studien, dass Schülerinnen und Schüler sich bereits vor dem Eintritt in die Sekundarstufe mit statistischen Größen und Unsicherheiten von Messungen beschäftigen können (Petrosino et al., 2003, in Priemer & Hellwig, 2012, S.55). Aufgrund des dennoch kaum vorhandenen Bestandes wissenschaftlich evaluierten Lernmaterials, sowohl für die Primarstufe als auch weiterführende Schulen, verfolgt diese Arbeit das Ziel, ein solches Lehr- und Lernmaterial zu entwickeln, zu erproben und sodann Lehrkräfte mit Hilfe dessen in der Vermittlung altersangemessener Inhalte zum Thema Messunsicherheiten zu unterstützen oder zur Ausgestaltung eigener Unterrichtseinheiten zu inspirieren.

Diese Arbeit soll daher folgende Forschungsfrage beantworten:

Wie lassen sich Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten thematisieren?

4. Methodisches Vorhaben zur Entwicklung eines Lernmoduls zu Messunsicherheiten

Um ein Lernmodul zur Thematik der Messunsicherheiten im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts der Primarstufe zu entwickeln, wird sich diese Arbeit zunächst mit der Reduzierung des bereits vorhandenen und wissenschaftlich fundierten Sachstrukturmodells für die Sekundarstufe I nach Hellwig (2012) befassen. Auf dieser Grundlage wird die Theorie der Basismodelle des Lernens und Lehrens nach Oser und Baeriswyl zur strukturellen Gestaltung jener ermittelten Inhalte dienen.

Um das auf dieser Basis zu formulierende Lernmodul für die Primarstufe zum Thema Messunsicherheiten auch evaluieren zu können, setzt sich hiesige Arbeit anschließend mit einem zu entwickelnden Prä-Post-Test auseinander. Die mit Hilfe dieses Tests zu sammelnden Daten sollen abschließend qualitativ mit dem Kodierungsmanual nach Kok ausgewertet werden, dessen Methode in diesem Kapitel ebenfalls Vorstellung findet.

4.1. Inhaltliche Reduzierung des Sachstrukturmodells nach Hellwig

Hellwig (2012) entwickelte in ihrer Arbeit ein „umfassendes Sachstrukturmodell mit dem Ziel […], einen wissenschaftlich korrekten Umgang mit Messunsicherheiten vollständig und systematisch zu beschreiben“ (S. 190). Mit Hilfe ihrer Arbeit kann dieses Sachstrukturmodell als inhaltlich validierter „Erwartungshorizont zum Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I“ (S.190) angesehen werden. Für die Primarstufe gibt es ein solches Sachstrukturmodell zum Umgang mit Messunsicherheiten im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts noch nicht. Im Rahmen hiesiger Arbeit wurde daher das Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) als Ausgangspunkt für eine weitere (unvalidierte) Reduzierung auf Grundlage wissenschaftlich recherchierter Standards sowie Vorgaben des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg genutzt.

Diese Reduzierung wurde als *inhaltliche Grundlage* für die Entwicklung eines Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten für die Primarstufe verwendet.

4.2. Strukturelle Gestaltung anhand der Basismodelle nach Oser und Baeriswyl

Oser und Baeriswyl „nehmen in ihrer Theorie der Basismodelle an, dass Lernen in großen Gruppen nach wenigen, lernpsychologisch abgrenzbaren Grundmustern zu strukturieren ist“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S.12). Insgesamt unterschieden sie zwölf verschiedene Basismodelle, wovon sich drei für den Physikunterricht als besonders wichtig herausstellten. Da die Thematik der Messunsicherheiten aus dem Fachbereich der Physik stammt, wird hier auch das lernpsychologische Grundmuster für den Physikunterricht als grundlegend angesehen, selbst wenn es formal in einem naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe und nicht im Fachunterricht Physik der Sekundarstufe stattfindet. Die drei für den Physikunterricht relevanten Basismodelle lauten ‚Konzeptbildung‘, ‚Lernen durch Eigenerfahrung‘ und ‚Problemlösen‘, die jeweils eine gewisse Anzahl an Handlungskettenschritten beinhalten, die vollständig durchlaufen werden müssen, um das angestrebte Lernziel zu erreichen (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S. 12).

4.2.1. Basismodell Konzeptbildung

„Das Ziel von Konzeptbildung ist es, die kognitiven Strukturen zu erweitern, indem Begriffe oder Konzepte aufgebaut werden (Minimalziel) und die Fähigkeit zu erlangen, sie flexibel anzuwenden (Maximalziel)“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S. 17). Im Rahmen der Konzeptbildung soll also eine Wissensstruktur aufgebaut werden (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015), die notwendig wird, um ein „Verständnis von Zusammenhängen, für die Entstehung von vernetztem Wissen und für den sicheren Gebrauch dieses Wissens in Anwendungssituationen“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S.47f.) aufzubauen.

Das Basismodell der Konzeptbildung besteht aus den Handlungskettenschritten ‚Bewusstmachung des Vorwissens‘, ‚Durcharbeiten eines Prototyps‘, ‚Beschreiben der wichtigen

Merkmale des neuen Konzepts‘, ‚Aktiver Umgang mit dem neuen Konzept‘ sowie ‚Anwendung des neuen Konzepts in anderen Kontexten‘.

4.2.2. Basismodell Lernen durch Eigenerfahrung

Im Rahmen des Basismodells ‚Lernen durch Eigenerfahrung‘ besteht „das Minimalziel […] darin, überhaupt eigene primäre Erfahrungen mit dem Lerngegenstand zu erwerben“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S.16). Darauf aufbauend liegen die weiteren Ziele darin, die eigenen Erfahrungen sodann „mit dem eigenen Wissen [zu verknüpfen] und […] mit den Erfahrungen anderer Personen [zu vergleichen]“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S.17). Wenn dazu „die Erfahrung noch hinsichtlich des Kontextes verallgemeinert [wird]“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S.17), wird vom Maximalziel gesprochen. Im Vordergrund dieses Basismodells steht klar eine eigene erlebte Situation, die durch eigenes, aktives Handeln gemacht wurde (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015).

Das Basismodell des Lernens durch Eigenerfahrung besteht aus den Handlungskettenschritten ‚Planung der Handlungen‘, ‚Durchführung der Handlungen‘, ‚Konstruktion von Bedeutung‘, ‚Generalisierung der Erfahrung‘ und ‚Reflexion von ähnlichen Erfahrungen‘.

4.2.3. Basismodell Problemlösen

Das Basismodell Problemlösen „zielt auf die Lösung eines konkret gegebenen Problems ab“ (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S.18), wobei hier ein unerwünschter Anfangszustand in einen erwünschten Zielzustand gewandelt werden soll und der Weg vom Anfang zum Ziel eine zu überwindende kognitive Barriere darstellt (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015). Diese kognitiv zu überwindende Barriere ist im Rahmen dieses Basismodells nicht mit Routinetätigkeiten, sondern durch Anwendung von Strategiewissen zu bewältigen. Insbesondere wird im ‚Problemlösen‘ kein Fachwissen erweitert, da lediglich das bereits vorhandene Wissen umstrukturiert wird und so flexibel zu Anwendung kommt (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015).

Das Basismodell Problemlösen besteht aus den Handlungskettenschritten ‚Problem verstehen‘, ‚Entwicklung von Lösungswegen‘, ‚Testen von Lösungswege‘ sowie ‚Evaluation und Anwendung der Lösungswege‘.

4.2.4. Strukturierungsreihenfolge

Die Entwicklung eines Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten wird im Rahmen dieser Arbeit einen Umfang von vier Unterrichtsstunden betragen können. In dieser Zeit ist es zum einen nicht möglich und zum anderen aufgrund der inhaltlichen Dichte jedes einzelnen Basismodells nicht sinnvoll, alle drei Basismodelle einfließen zu lassen. Da dieses Lernmodul als Grundlage verstanden werden soll, Messunsicherheiten im Primarstufenunterricht explizit zu thematisieren, erfolgt die Planung unter der Annahme, dass zuvor keinerlei explizites Wissen zu Messunsicherheiten vermittelt wurde. Aus diesem Grund findet das Basismodell ‚Problemlösen‘ keine Anwendung, da zunächst eine Wissensvermittlung im Vordergrund steht und eine solche in diesem Basismodell bereits vorhanden sein müsste. In Anbetracht der zur Verfügung stehenden Zeit und dem voraussichtlich kleinen Rahmen, den das Lernmodul einnehmen kann, fällt dieses Basismodell zwar in hiesiger Planung aus, könnte allerdings in einer Weiterführung hiesigen Lernmoduls durchaus zur Anwendung kommen (an dieser Stelle wird auf 11. Ausblick verwiesen).

Aufgrund der Notwendigkeit, zunächst Wissen zum Thema Messunsicherheiten zu vermitteln, wird das Basismodell ‚Konzeptbildung' auf jeden Fall zu Anwendung kommen. Und da zu Beginn hiesiger Arbeit die Vermittlung von Wissen zu Messunsicherheiten im Kontext des Experiments des Daumensprungs im Vordergrund stand, scheint es nur gelegen, auch das Basismodell ‚Lernen durch Eigenerfahrung' mit einzubringen. Nach Krabbe, Zander & Fischer (2015) scheint es sodann wichtig, die Basismodelle in der Reihung ‚Konzeptbildung' und dann ‚Lernen durch Eigenerfahrung' anzuordnen, da auf diese Art und Weise eine „Konzeptsicherung [stattfinden kann], bei dem das Lernen durch Eigenerfahrung im Nachgang zum aktiven Umgang mit dem neuen Konzept eingesetzt wird" (S. 44) und die Eigenerfahrung sodann auch bereits mit Konzeptbegriffen anstelle von Alltagsbegriffen erfasst werden kann.

Auf dieser Grundlage erfolgt die konkret *strukturelle Gestaltung* des Lernmoduls anhand der Basismodelle ‚Konzeptbildung' und ‚Lernen durch Eigenerfahrung' mit der Abfolge der entsprechenden Handlungskettenschritte.

4.3. Prä-Post-Test zur Evaluierung des Lernmoduls

Um zu evaluieren, welchen Effekt das Lernmodul auf das Verständnis von Messunsicherheiten bei den Schülerinnen und Schülern hat, wird ein Prä-Post-Test eingesetzt, der den Stand des Verständnisses zum Thema Messunsicherheiten vor dem Lernmodul mit dem nach dem Lernmodul vergleicht und sodann eine Aussage darüber treffen kann, ob es eine Entwicklung zu einem verbesserten Verständnis gab. Erstrebenswert ist eine Verschiebung des Verständnisses hin zum Set-Paradigma (siehe 2.3. Verständnis von Messunsicherheiten).

4.4. Qualitative Datenauswertung mittels Kodierungsmanual nach Kok

Kok entwickelte in seiner Dissertation (2022) ein Kodierungsmanual mit hierarchischen Codes, anhand derer Begründungen von Teilnehmenden (in hiesiger Arbeit die Begründungen der Schülerinnen und Schüler) in Bezug auf den Vergleich von Daten qualitativ aufsteigend bewertet werden können (vgl. Kok, 2022, S. III). Das Kodierungsmanual konnte im Rahmen seiner Arbeit validiert werden, wodurch es für hiesige Arbeit Verwendung finden kann.

Die Codes geben einen Einblick in das Verständnis von Messunsicherheiten (vgl. Kok, 2022) und basieren auf den Einsichten in die Point- und Set-Paradigmen. Mit Hilfe der Kodierung der Antworten der zu befragenden Schülerinnen und Schüler werden deren Antworten quantitativ auswertbar.

Dabei erfolgt die Kodierung zunächst auf der Frage, ob eine Begründung durch die Schülerinnen und Schüler grundsätzlich auf der Hinzuziehung der vorhandenen Daten beruht oder nicht. Anschließend erfolgt eine Kodierung qualitativ aufsteigend, was die Schülerinnen und Schüler zur Beantwortung der gestellten Frage vergleichen (Vergleichskodierung) und worauf sie ihre Entscheidung stützen (Kriteriumskodierung) (vgl. Kok, 2022). Dabei entspricht die Vergleichskodierung mit Blick auf das Kapitel 2.3.3. der Handlungsebene des Point- und Set-Paradigmas und die Kriteriumskodierung der Begründungsebene des Point- und Set-Paradigmas. Beide Ebenen bzw. dahinterstehende Kodierungen können jeweils in das Point- bzw. Set-Paradigma einsortiert werden, wobei es sich aufgrund der aufsteigenden Qualität um einen Übergang vom Point- Paradigma hin zum Set- Paradigma handelt. Ab welcher Ebene bzw. Kodierung ein Wechsel zum Set- Paradigma stattfindet, wird folgend dargestellt.

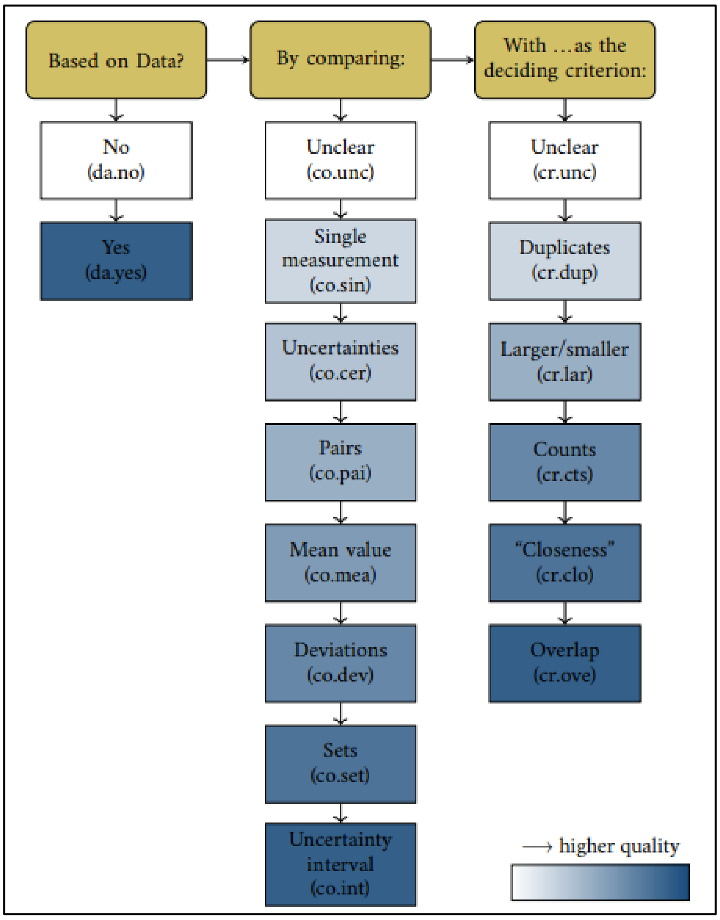


Abbildung 6: *Flussdiagramm des Kodierungsprozesses nach Kok, 2022*

Um das Kodierungsmanual nach Kok anwenden zu können, müssen die Antworten der Schülerinnen und Schüler sowohl aus dem Prä- als auch dem Post-Test entsprechend kodiert werden. Kok führt hierzu in seiner Arbeit die folgenden Qualitätsmerkmale auf:

Basierend auf Daten

In einem ersten Schritt wird kodiert, ob die Schülerinnen und Schüler ihre Antworten auf Basis von Daten geben oder nicht.

Vergleichskodierung

In einem zweiten Schritt wird kodiert, was die Schülerinnen und Schüler vergleichen, um eine Antwort auf eine gestellte Frage zu geben. Kok unterscheidet die folgenden Vergleichskodierungen („by comparing“; Kok 2022, S.55):

Unklar (unclear) co.unc	Es ist unklar, was in der Begründung verglichen wird. Formulierungen könnten unverständlich oder mehrdeutig sein.

Einzelmessung (single measurement) co.sin	Die Begründung basiert auf einem Vergleich einer Einzelmessung. Möglich ist auch der Vergleich spezifischer Einzelmessungen, wie dem Minimal- oder Maximalwert. Ein Vergleich des Mittelwertes wird allerdings qualitativ höherwertiger eingestuft. Ein Vergleich basierend auf Einzelmessungen wird dem Point-Paradigma zugeordnet.
Unsicherheit (Uncertainties) co.cer	Die Begründung basiert auf dem Vergleich der Messunsicherheit, wobei diese immer noch als ein einziger Wert betrachtet wird, und daher dem Point-Paradigma zugeordnet wird. Ein Vergleich basierend auf dem einzelnen Wert der Unsicherheit wird dem Point-Paradigma zugeordnet.
Paare (pairs) co-pai	Die Begründung basiert auf dem Vergleich von Paaren einer Messung, die innerhalb einer Messreihe oder zwischen verschiedenen Messreihen basieren. Dennoch sind immer noch verschiedene Einzelmessungen ausschlaggebend für eine Begründung und eine überblickende Begründung fehlt. Ein Vergleich basierend auf je einzelnen Paarwerten wird daher dem Point-Paradigma zugeordnet.
Mittelwert (mean value) co.mea	Die Begründung basiert auf dem Vergleich der Mittelwerte. Dabei hat der Mittelwert einerseits einen zusammenfassenden Charakter in Bezug auf die gesamte Messreihe und ist hochwertig zu betrachten, andererseits besteht allerdings auch die Möglichkeit der routinemäßigen Berechnung bei den Schülerinnen und Schülern, die sodann in Bezug auf die Begründung beachtet werden muss. Ein Vergleich basierend auf den Mittelwerten verschiedener Messreihen kann bereits dem Set-Paradigma zugeordnet werden. Da er allerdings oftmals auch routinemäßig berechnet wird, muss ein Set-Denken noch nicht zwingend erreicht worden sein.
Abweichung (deviation) co.dev	Die Begründung basiert auf dem Vergleich der Abweichungen zwischen den Sets, wobei diese Abweichung als eigenes Set betrachtet wird. Ein Vergleich basierend auf Abweichungen zwischen den Datensätzen weist bereits explizit Set-Charakteristiken auf und kann bereits dem Set-Paradigma zugeordnet werden.

Set (Set) co.set	Die Begründung basiert auf dem Vergleich, die das Set als Ganzes widerspiegelt. Bei der Begründung wird deutlich gemacht, dass ein Verständnis dafür vorhanden ist, dass die verschiedenen Datensätze als Ganzes verglichen werden müssen. Dabei werden alle Messungen des einen Datensatzes mit denen des anderen Datensatzes verglichen. Möglich ist auch die Benennung eines gemeinsamen Bereichs, in dem alle Messwerte liegen. Ein Set-Vergleich kann dem Set-Paradigma zugeschrieben werden.
Unsicherheitsintervalle (uncertainty intervals) co.int	Die Begründung basiert auf dem Vergleich des Unsicherheitsintervalls des Messergebnisses bestehend aus Mittelwert ± Unsicherheit oder dem Bereich um den Mittelwert, in dem die Messungen liegen. Insbesondere werden die Merkmale Mittelwert und Streuung beachtet. Ein Vergleich basierend auf den Unsicherheitsintervallen wird dem Set-Paradigma als höchster Code des Vergleichskriteriums zugeordnet.

Kriteriumskodierung

In einem letzten Schritt wird bewertet, worauf die Schülerinnen und Schüler ihre Entscheidung auf eine gestellte Frage stützen, also was für Kriterien sie anfügen. Kok unterscheidet in die folgenden Kriteriumskodierungen („with … as the deciding criterion“, Kok, 2022, S.55):

Unklar (unclear) cr.unc	Das Entscheidungskriterium ist unklar, fehlt oder ist irrelevant.
Duplikate (duplicates) cr.dup	Das entscheidende Kriterium der Begründung ist das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von Duplikaten, wobei diese Duplikate absolut zufällig vorhanden sein könnten. Eine Begründung basierend auf Duplikaten wird dem Point-Paradigma zugeschrieben.
Größer/ kleiner (larger/ smaller) cr.lar	Das entscheidende Kriterium der Begründung ist, dass eine der verglichenen Größen größer oder kleiner ist als eine andere ohne eine Relevanz dieses Unterschieds zu betrachten, wobei ein solches Kriterium nichts über die Verteilung oder Streuung der Daten aussagt. Eine Begründung basierend auf einem größer-kleiner-Vergleich wird dem Point-Paradigma zugeschrieben.

Counts (counts) cr. cts	Das entscheidende Kriterium der Begründung ist die Anzahl der Vorkommen von etwas, wie doppelter Werte oder die Häufigkeit von größeren oder kleineren Werten. Eine Begründung basierend auf der Anzahl bestimmter Merkmale wird dem Point-Paradigma zugeschrieben.
Nähe (closeness) cr.clo	Das entscheidende Kriterium der Begründung ist eine Aussage über die Nähe oder Ähnlichkeit miteinander verglichener Größen, die um die empfundene Relevanz dieser Differenz ergänzt werden. Eine Begründung basierend auf der Nähe verschiedener Größen wird dem Point-Paradigma zugeordnet.
Überlappung (overlap) cr.ove	Das entscheidende Kriterium der Begründung ist die Überlappung oder Nichtüberlappung miteinander verglichener Wertebereiche. Hier können die Unsicherheitsintervalle oder ein gemeinsamer Bereich bewertet werden. Eine Begründung basierend auf der Überlappung vergleichender Wertebereiche ist mit dem Set-Paradigma verbunden.

Sowohl für die Kodierung in Bezug auf das Vergleichsmerkmal als auch in Bezug auf das Kriteriumsmerkmal gilt eine stetig wachsende Qualität des Verständnisses von Messunsicherheiten ausgehend vom Point-Paradigma hin zum Set-Paradigma (vgl. Kok, 2022). Dabei ist auffällig, dass bei der Vergleichskodierung bereits ab der inhaltlichen Kodierung der Antworten, die sich auf den Mittelwert beziehen (viert höchste Kodierung), ein beginnendes Verständnis vom Set-Paradigma angenommen werden kann, allerdings bei der Kriteriumskodierung tatsächlich erst bei einer Begründung, die auf die Überlappung verschiedener Wertebereiche abzielt (höchste Kodierung), ein Verständnis des Set-Paradigmas angenommen werden kann.

Mit Hilfe des Kodierungsmanuals nach Kok lässt sich evaluieren, ob es eine Verschiebung des Verständnisses bei den Schülerinnen und Schülern hin zum Set-Paradigma gegeben hat und wie groß eine mögliche Verschiebung ausgefallen ist. Mit Hilfe des Kodierungsmanuals lässt sich also Bezug auf die Forschungsfrage nehmen, um zu bewerten, ob der hiesige Vorschlag eines Lernmoduls für Messunsicherheiten in der Primarstufe einen Verständnisaufbau bei den Schülerinnen und Schülern bewirkt und damit eine Möglichkeit der Thematisierung des Themas Messunsicherheiten im NaWi Unterricht der Grundschule darstellt.

4.5. Qualitative Auswertung eines offenen Fragebogens

Zusätzlich zum Prä-Post-Test soll ein offener Fragebogen mit fünf Frageitems eine qualitative Auswertung des Lernmoduls ermöglichen.

Dabei betreffen die ersten drei Fragen die Ausgestaltung des Lernmoduls:

- Was hat dir gut gefallen?
- Was hat dir nicht gut gefallen?
- Wo würdest du dir Änderungen für das Modul wünschen?

Es folgt eine Frage, die darauf abzielt, eine Wordcloud als visualisierte Darstellung des Lernmodul-Inputs darzustellen:

- Welche zwei Begriffe sind dir am prägnantesten aus den letzten vier Stunden im Kopf geblieben?

Abschließend zielt die letzte Frage ergänzend auf das Verständnis zu Messunsicherheiten ab, die im Zusammenspiel mit dem Prä-Post-Test einen tieferen Einblick in das gebildete Verständnis der Schülerinnen und Schüler geben soll:

- Was bedeutet es für dich, dass jede Messung eine Unsicherheit hat?

5. Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe

Im Folgenden soll bewertet werden, welche der Dimensionen, Konzepte und Inhalte des Sachstrukturmodells von Messunsicherheiten nach Hellwig (2012) sich für die Thematisierung in der Primarstufe eignen würden und an welchen Stellen mögliche Vereinfachungen zum Tragen kommen sollten.

Dabei wird der Einschätzung Hellwigs über den Ausschluss von Inhalten für die Thematisierung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe I derart Rechnung getragen, als dass eben diese Themen selbstredend für die Primarstufe ebenfalls ausgeschlossen werden. Die Inhalte, die von Hellwig uneingeschränkt bzw. vereinfacht zur Thematisierung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe I Anwendung fanden, werden im Folgenden unter Abgleich mit den Inhalten des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg für die Thematisierung in der Primarstufe bewertet.

Die in jeder Dimension vorangehende Abbildung stellt bereits die jeweilige Reduzierung des Sachstrukturmodells nach Hellwig dar. Die farbliche Gestaltung entspricht jener des Kapitels 2.5 (Sachstrukturmodell von Messunsicherheiten nach Hellwig).

5.1. Erste Dimension: Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten

Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten		
Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen	
	Einflussgrößen	Rückwirkung der Messanordnung
		Umwelteinflüsse
		Unvollkommenheit der Messgeräte
	Mathematische Operationen	
	Faktor "Mensch"	
Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung	Systematische Messabweichungen
		Zufällige Messabweichungen
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit	

Abbildung 7: *reduziertes Sachstrukturmodell für die Primarstufe nach dem Vorbild von Hellwig, Dimension 1*

Um überhaupt ein grundsätzliches Verständnis für Messunsicherheiten aufbauen zu können, wird es als essentiell angesehen, die Dimension der grundsätzlichen Existenz von

Messunsicherheiten größtenteils beizubehalten. Für die Schülerinnen und Schüler der Primarstufe ist ein Konzeptaufbau über die Ursachen von Messunsicherheiten notwendig, um deren Existenz nachvollziehen zu können. In Bezug auf das Konzept der Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung wird die konkrete Klärung des Begriffs der Messunsicherheit als notwendig, die Klärung des Begriffs der Messabweichung allerdings als nicht zwingend für das Verständnis von Messunsicherheiten betrachtet. Das Ziel dieser gesamten Dimension liegt somit insbesondere darin, den Schülerinnen und Schülern der Primarstufe zu vermitteln, dass „jede gemessene Größe […] mit einer Unsicherheit behaftet [ist], selbst wenn die Messung besonders sorgfältig mit höchstpräzisen Messinstrumenten durchgeführt wurde“ (Hellwig, 2012, S. 171; vgl. auch Glomski & Priemer, 2010).

Um ein Konzept über die Ursachen von Messunsicherheiten aufbauen zu können, wird es als wichtig betrachtet zu thematisieren, welche Gründe vorliegen könnten, dass verschiedene Messungen durchaus zu verschiedenen Ergebniswerten kommen. In diesem Rahmen können Umwelteinflüsse, die für die Kinder nachvollziehbar sind (z.B. die Umgebungstemperatur), sowie unterschiedlich aussagekräftige Messgeräte thematisiert werden (z.B. durch einen Vergleich zweier unterschiedlicher Thermometer). Ebenso kann der Mensch als Ursache für Messunsicherheiten im Vergleich von Messungen innerhalb der Klasse entdeckt werden.

Wie bereits erwähnt wird es als notwendig erachtet, den Begriff der Messunsicherheit mit den Schülerinnen und Schülern zu klären. Unter Rückgriff auf die Klärung der Ursachen von Messunsicherheiten und das Nachempfinden, dass es diese Ursachen immer geben wird, können die Schülerinnen und Schüler ein Verständnis dafür aufbauen, dass es nie die eine Messgröße geben kann.

An dieser Stelle sei anzumerken, dass die Endlichkeit von sowohl analogen als auch digitalen Darstellungen besonders bedeutend für ein Verständnis der Ursachen und Existenz von Messunsicherheiten ist, da die technischen Geräte immer nur einen vorab von Menschen festgelegten Rahmen bieten, der für die Geräte passend gemacht wurde, aber theoretisch immer weiter verfeinert werden könnte. Da in der Regel ab der Klassenstufe 5 die Einführung eben jener gebrochener Zahlen erfolgt (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Mathematik), kann mit den Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 5- 6 bereits auf die begrenzte Möglichkeit der Darstellung eines Messergebnisses eingegangen werden. Mit diesem mathematischen Operationsverständnis sollte es den Schülerinnen und Schülern möglich sein, ein Konzept dafür aufzubauen, dass Messgeräte nur einen vorgegebenen Platz für die Ziffern einer Zahl bieten, diese Zahl aber durchaus noch weiter verfeinert notiert werden könnte. In diesem Zusammenhang können auch einfache mathematische Operationen als Ursache von Messunsicherheiten thematisiert werden, da ab der Jahrgangsstufe 5 auch das Runden von Dezimalzahlen Inhalt ist (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Mathematik).

Daneben ist für die Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 5- 6 laut Rahmenlehrplan Berlin-Brandenburg gefordert, im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts Experimente durchzuführen und auszuwerten. Dazu heißt es zum Thema der Auswertung und Reflexion einer naturwissenschaftlichen Untersuchung, „das Untersuchungsergebnis unter Rückbezug auf die Hypothese [zu] beschreiben“ (LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Naturwissenschaften, S. 18). Demnach wird von den Schülerinnen und Schülerin ein Vergleich eines gegebenen Umstandes und eines Ergebnisses eines Experiments verlangt, was auch auf die Thematik der Messunsicherheiten angewendet werden kann. Vor diesem Hintergrund ist dann auch der Begriff der Messabweichung für die Schülerinnen und Schüler von Bedeutung, um das Verständnis dafür aufzubauen, dass ein Vergleich von zwei oder mehreren Messwerten zwar symbolisch betrachtet ausgedrückt werden kann, dass allerdings nie zu vollständiger Sicherheit gesagt werden kann, dass es sich bei den ermittelten Werten oder möglichen gegebenen Werten um die Messgrößen handelt. Vor diesem Hintergrund ist also auch der theoretisch mögliche symbolische Vergleich mehrerer Werte nie als vollständig ‚wahr' zu betrachten.

5.2. Zweite Dimension: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen

Einfluss auf das Messwesen		
Ziel der Messung	Unkenntnis des "wahren" Werts	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwerts für die Messunsicherheit
		Anpassung des Messprozesses
Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung	
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	

Abbildung 8: *reduziertes Sachstrukturmodell für die Primarstufe nach dem Vorbild von Hellwig, Dimension 2*

In Bezug auf die Dimension des Einflusses auf das Messwesen ist hiesige Einschätzung, dass es substanziell ist, den Schülerinnen und Schülern zu vermitteln, dass es die eine Messgröße, die zu messen versucht wird, niemals geben kann und dass aus diesem Grund in einem naturwissenschaftlichen Experiment viele sich wiederholende Messungen vorgenommen werden müssen, um den besten Wert einer Messreihe zu ermitteln.

Neben diesem generellen Ziel des Verständnisses, dass es niemals diese eine Messgröße einer Messung geben kann, kann mit den Schülerinnen und Schülern über das dann so wichtige eigentliche Ziel einer Messung in experimentellen Kontexten ins Gespräch gekommen werden. So muss den Kindern ermöglicht werden, ein Konzept dazu aufzubauen, dass, wenn es diese eine Messgröße einer Messung nicht geben kann, das Ziel einer jeden naturwissenschaftlichen Messung dann darin liegen muss, mit hoher Wahrscheinlichkeit so nah wie möglich an die vermutete Messgröße heranzukommen. Fachsprachlich ausgedrückt also eine geringe Messunsicherheit in einem Experiment zu erreichen und hierfür sogar Überlegungen anzustrengen, den Messprozess so aufzubereiten oder zu verändern, um die Messunsicherheit noch weiter zu verringern

Für die Schülerinnen und Schüler könnte darauf aufbauend in Bezug auf den Konzeptaufbau der Notation des Ergebnisses einer Messung vermittelt werden, dass für eine Messung grundsätzlich alle Schritte des Experiments mitsamt ihren einzelnen Ergebnissen notiert werden müssen, um ein Nachvollziehen jederzeit möglich zu machen.

5.3. Dritte Dimension: Erfassung von Messunsicherheiten

Erfassung von Messunsicherheiten			
Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung	Aufstellen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktio	Ermittlungsmethode A	
		Ermittlungsmethode B	
	Analyse der Wdf	Form der Wdf	
		Ermittlung des Erwartungswerts	
		Ermittlung der Standardmessunsicherheit	
	Freiheitsgrad		
Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten	Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz		
	Fortpflanzung der Messunsicherheit	Schrittweise Bestimmung der Gesamtunsicherheit	Verschiedene Unsicherheitskomponenten einer direkt gemessenen Größe
			Summen/ Differenzen gemessener Größen
			Produkte/ Quotienten gemessener Größen
			Summe/ Differenz aus Messwert und exakter Zahl
			Produkt/ Quotient aus Messwert und exakter Zahl
			Beliebige vom Messwert abhängige Funktion
		Ganzheitliche Bestimmung der Gesamtunsicherheit	
	Ermittlung der resultierenden Wdf		
	Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen		
	Freiheitsgrad eines Messergebnisses mit verschiedenen Unsicherheitskomponenten		
Erweiterte Messunsicherheit	Wahl des Erweiterungsfaktors bei angenommener Normalverteilung		
	Wahl des Erweiterungsfaktors bei anderen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (Wdf)		

Abbildung 9: *reduziertes Sachstrukturmodell für die Primarstufe nach dem Vorbild von Hellwig, Dimension 3*

Im Rahmen der Dimension der Erfassung von Messunsicherheiten liegt der Fokus für die Primarstufe darauf, die Messunsicherheit vereinfacht zu berechnen bzw. auszudrücken. Hellwig unterscheidet in ihrem erstellten Sachstrukturmodell die Ermittlungsmethode A und B. Bei der Ermittlungsmethode A geht es darum, im Rahmen von erfassten Messergebnissen die Schülerinnen und Schüler vereinfacht eine Streuung um einen Bestwert ermitteln zu lassen. Im Rahmen der Ermittlungsmethode B geht es dagegen darum, die Messunsicherheit des verwendeten Gerätes anzugeben, die bei der Angabe der halben Skaleneinteilung liegt.

Mit den Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 5- 6 ist die Durchführung beider Ermittlungsmethoden denkbar, wobei der jeweilige inhaltliche Kontext die Intensität der Thematisierung steuert.

In Bezug auf die Ermittlungsmethode A lassen sich aus der Literatur mögliche Vereinfachungen finden, ohne direkt auf den wissenschaftlichen Standard der Standardabweichung zurückgreifen zu müssen. So schlägt Hellwig (2012) in ihrer Reduktion für die Sekundarstufe I im Rahmen der Berechnung der Messunsicherheit nach Ermittlungsmethode A vor, den Maximalabstand zwischen dem errechneten Mittelwert der Messreihe und dem vom Mittelwert am weitesten entfernten Messwert in seinem Betrag als Streumaß um den Bestwert zu verwenden. Wie bereits erwähnt, erfolgt die Berechnung der Messunsicherheit nach wissenschaftlichem Standard durch Angabe der Standardabweichung. Kok & Priemer (2022) stellen hierzu, wie eingangs dieser Arbeit erwähnt, vier alternative Quantifizierungen der Messunsicherheiten vor, um diese Komplexität zunächst stark zu reduzieren und die Möglichkeit der schrittweisen

Erhöhung der Komplexität zu bieten, sodass ein Verständnis für Messunsicherheiten entwickelt werden kann. Folgend werden diese vier alternativen Berechnungsmethoden kurz vorgestellt.

- Maximalabstand. Die einfachste Quantifizierung einer Streuung von Messdaten kann durch die Angabe eines Mittelwertes der Messreihe und den Maximalabstand zwischen Mittelwert und am weitesten vom Mittelwert entfernten Messwert erfolgen. Mathematisch ist diese Angabe sehr einfach und der Aufwand gering, allerdings ist dadurch die statistisch qualitative Aussagekraft eher schwach. So führen Kok & Priemer (2022) an, dass mit diesem Verfahren eine „deutliche Überschätzung der Unsicherheit [erfolgt und] dieses Maß sehr empfindlich für Ausreißer [ist]“ (S. 3). Der Maximalabstand wird, wie im vorigen Abschnitt erwähnt, von Hellwig in ihrem Sachstrukturmodell für die Sekundarstufe I als Mittel der Wahl betrachtet.
- Ausschließen von Extremwerten. Um die empfindliche Unsicherheit aus dem Verfahren des ‚Maximalabstandes‘ aufgrund von Ausreißer-Werten zu minimieren, bietet es sich an, den kleinsten und größten Messwert der Messreihe auszuschließen und anschließend nach dem Verfahren des ‚Maximalabstandes‘ zu verfahren. Auf diese Art und Weise haben mögliche Extremwerte weniger große Auswirkung auf die Messunsicherheit (vgl. Kok & Priemer, 2022). Kok & Priemer (2022) stellten bei diesem Verfahren „bei acht wiederholten Messungen häufig ähnliche Ergebnisse wie die Standardabweichung [fest]“ (S. 3), was die Anwendbarkeit bestätigt.
- Mittlere 50%. Je mehr Messwerte eine Messreihe aufweist, desto mehr mögliche Extremwerte kann es geben, wodurch der Ausschluss je nur eines Maximal- und Minimalwertes möglicherweise nicht mehr ausreichend für die Anwendung des Ausschlusses von Extremwerten ist. Hier bieten Kok & Priemer (2022) die Betrachtung der mittleren 50% der Messreihe an, bei der „Extremwert-Paare (jeweils ein Maximal- und ein Minimalwert) […] schrittweise ausgeschlossen [werden], bis mindestens die Hälfte der Messwerte übrigbleibt“ (S. 3). Anschließend wird erneut nach dem Verfahren des ‚Maximalabstandes‘ verfahren. Kok & Priemer (2022) weisen darauf hin, dass die Festlegung auf die mittleren 50% willkürlich festgelegt worden sei und potenziell auch auf 68% erhöht werden könnte, um sich an die Standardabweichung anzunähern, allerdings ist eine Kontrolle der mittleren 50% rechnerisch einfacher zu handhaben.
- Mittlere absolute Abweichung. Die mittlere absolute Abweichung weist Ähnlichkeit zur Berechnung der Standardabweichung auf und beschreibt, wie stark die Messwerte im Durchschnitt von dem Mittelwert abweichen. Der MAD (englisch für Mean Absolute Deviation) „berechnet sich aus dem Mittelwert aller Absolutwerte der Abweichungen vom Messwert zu Mittelwert“ (Kok & Priemer, 2022, S. 4).

Resümierend der verschiedenen in ihren Anforderungen unterschiedlich stark reduzierten Berechnungsmethoden der Messunsicherheit nach Ermittlungsmethode A lassen sich insbesondere die ersten beiden Methoden ‚Maximalabstand‘ und ‚Ausschließen von Extremwerten‘ für eine Verwendung in der Primarstufe gewinnen. Auch Hellwig reduzierte bereits die Berechnungsmethode auf den ‚Maximalabstand‘, allerdings lässt sich auch mit Blick auf die folgend vorgestellte Dimension der Aussagekraft von Messunsicherheiten durchaus auch eine Berechnung inklusive einer Thematisierung von Anomalien begründen.

Die weiteren Konzepte ‚Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten‘ und ‚erweitere Messunsicherheit‘ werden aus hiesiger Einschätzung für eine

Thematisierung in der Primarstufe ausgeschlossen. Hellwig (2012) schloss das Konzept der ‚erweiterten Messunsicherheit' bereits für die Sekundarstufe I aus, was entsprechend für die Primarstufe übernommen wurde. Des Weiteren forderte sie eine Vereinfachung der Inhalte der ‚Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten', was nochmals für die Primarstufe aus hiesiger Einschätzung zu einem Ausschluss der Inhalte führte.

5.4. Vierte Dimension: Aussagekraft von Messunsicherheiten

Aussagekraft			
Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwerts		
	Grad des Vertrauens		
	Rückschlüsse auf die Messung		
Vergleich von Messwerten	Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert	Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen	
		Messrichtigkeit	
	Vergleiche innerhalb einer Messreihe	Messpräzision	Wiederholungspräzision
			Vergleichpräzision
		Anomalien bzw. "Ausreißer" in Messreihen	
Regression	Grafische Durchführung einer linearen Regression	Partielle Regression	
		"Ausreißer" bei der Regression	
	Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit		

Abbildung 10: *reduziertes Sachstrukturmodell für die Primarstufe nach dem Vorbild von Hellwig, Dimension 4*

Im Rahmen der Dimension der Aussagekraft von Messunsicherheiten erscheint es für die Thematisierung in der Primarstufe ausreichend, sich auf das Konzept des Vergleichs von Messwerten zu fokussieren.

Hierbei sollte das Augenmerk darauf liegen, zum einen zu verstehen, dass die Abweichung eines ermittelten Messwertes zu einem anderen Wert (z.B. einem vorgegebenem Vergleichswert) nie Ausdruck eines eigenen Misslingens ist, wenn sorgfältig gearbeitet worden ist. Auch hier lassen sich also Überschneidungen zur Dimension der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten ziehen. Denn eben diese Abweichungen erfüllen möglicherweise lediglich die Definition der Messunsicherheit. In diesem Zusammenhang spricht man von der Verträglichkeit mit anderen Messwerten, die in ihrer Bewertung eine Aussage darüber gibt, ob Messwerte miteinander vereinbar sind. Es gilt, dass Messwerte „als prinzipiell metrologisch verträglich angesehen werden [,wenn sich ihre Intervalle überlappen]" (Hellwig, 2012, S. 77). Zum anderen kann darüber gesprochen werden, was Ausreißer einer Messreihe sind, wie sie zustande kommen und was man am besten mit ihnen macht.

5.5. Lernziele des Themas Messunsicherheiten in der Primarstufe

Das hauptsächliche Lernziel des Themas Messunsicherheiten liegt in der Primarstufe auf dem Verständnis der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten. Die Schülerinnen und Schüler sollen die Möglichkeit erhalten, ein Konzept darüber aufzubauen, dass jede getätigte Messung eine Unsicherheit hat und niemals mit vollständiger Sicherheit ein Wert als die zu messen versuchte Messgröße angesehen werden kann. Hierfür ist es grundständig notwendig, dass die Schülerinnen und Schüler die umweltlichen und menschlichen Ursachen von Messunsicherheiten kennenlernen und weiterführend ist von Vorteil, mit den Kindern die Endlichkeit der Darstellungsmöglichkeiten von Werten auf analogen oder digitalen Geräten besprechen zu können, was allerdings vom Wissenstand der Kinder abhängig gemacht werden muss.

Sofern ein Verständnis über die grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten aufgebaut worden ist, so ist auch dessen Einfluss und der Umgang mit diesem Wissen als Lernziel zu betrachten. Denn aus diesem Wissen resultiert, dass es bei der Durchführung eines Experiments wiederholende Messungen geben muss, um einen besten Wert ermitteln und ein Intervall aufstellen zu können, in dem die mögliche Messgröße liegen könnte. Entsprechend ist das Ziel einer jeden Messung nicht, den immer unbekannt bleibenden Wert der Messgröße zu ermitteln, sondern so nah wie möglich an diesen heranzukommen, also eine geringe Messunsicherheit zu erreichen.

Ein weiteres Lernziel ist die Vermittlung der Vorgehensweise, die Messunsicherheit einer Messreihe vereinfacht zu berechnen. Auf der Basis des Wissens der wiederholenden Messungen in einer Messreihe ist die Berechnung einer Unsicherheit über den Maximalabstand das präferierte Mittel. Je nach Wissensstand der Schülerinnen und Schüler kann das Lernziel allerdings auch auf den Umgang mit Ausreißern und im Rahmen der Berechnung der Messunsicherheit über den Ausschluss von Extremwerten erweitert werden.

Das letzte vereinfachte Lernziel in Bezug auf die Aussagekraft der Angabe einer Messunsicherheit liegt darin, dass die Schülerinnen und Schüler ein Verständnis dafür aufbauen, dass eben aufgrund einer festgestellten Messunsicherheit ein ermittelter Wert, der von einem anderen Messwert oder einer Literaturangabe abweicht, nichts damit zu tun hat, etwas falsch gemacht zu haben, sondern in der Sache der Messunsicherheit an sich liegt. So steht ein gewissenhaftes Vorgehen im Vordergrund, gleichwohl wie die Bewertung, ob ein ermittelter Wert im Intervall einer Messunsicherheit liegt oder nicht.

Zuletzt sei angefügt, dass die verschiedenen Dimensionen des Sachstrukturmodells nicht in der Reihe ihrer Darstellung vermittelt werden müssen, da sie zum einen je nach zu setzendem Schwerpunkt thematisiert werden sollten und zum anderen auch jeweils ineinander greifen und sich bedingen.

6. Darstellung des Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten

Der folgende Hauptteil hiesiger Arbeit wird die Darstellung eines konkreten Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten umfassen. Die Entwicklung des Lernmoduls orientiert sich zum einen an dem Sachstrukturmodell nach Hellwig, das im Rahmen des letzten Abschnitts für die Primarstufe unter Berücksichtigung des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg reduziert wurde. Zum anderen orientiert sich das Lernmodul an den Basismodellen nach Oser und Baeriswyl, bei welchen sich insbesondere drei Basismodelle für den Physikunterricht als am wichtigsten herausgestellt haben (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015) und zwei davon im Rahmen dieser Arbeit auf den NaWi- Unterricht der Primarstufe übertragen werden.

Inhaltlich wird das Lernmodul hauptsächlich die Methode des Daumensprungs thematisieren, mit dem Messungen der Höhe eines Objektes vorgenommen werden können, für das eine Messung mit einfachen Messgeräten, wie einem Zollstock, nicht möglich ist. In Abgrenzung zum Daumensprung wird allerdings auch eine alternative Methoden Anwendung finden, um die Thematik der Messunsicherheit im Verhältnis zweier verschiedener Methoden betrachten zu können.

Zunächst wird dafür die Methode des Daumensprungs vorgestellt und die Relevanz dieser Methode für die Schülerinnen und Schüler der Primarstufe geklärt. Anschließend wird erläutert, welche Konzepte des Sachstrukturmodells mit Hilfe des Daumensprungs im Unterricht thematisiert werden könnten. Darauf aufbauend erfolgt sodann die konkrete Darstellung des Lernmoduls zur unterrichtlichen Durchführung unter Berücksichtigung der zwei ausgewählten Basismodelle nach Oser und Baeriswyl.

6.1. Die Methode des Daumensprungs

Der Begriff des Daumensprungs stammt aus der Methode an sich. Streckt man nämlich seinen Arm in Blickrichtung aus und fixiert den „empor gehaltenen Daumen abwechselnd mit dem linken und dem rechten Auge, so scheint er hin und her zu springen. Der Daumen wird von beiden Augen unter verschiedenen Blickwinkeln gesehen." (Daumensprung, Arbeitsblatt Ernst Klett Verlag, S. 44). Auf diese Art entsteht in jedem Auge also ein eigenes Bild des Daumens vor einem Hintergrund. Erst wenn der Daumen von beiden Augen gemeinsam angesehen werden würde, entstünde ein einheitliches Bild. Diese Methode kann zur Bestimmung von Größen, Weiten oder Längen in der Umwelt genutzt werden, um genauere Ergebnisse zu erhalten, als einfach nur zu schätzen (vgl. Center of Outdoor Education), wobei die Frage nach der Genauigkeit z.B. gegenüber dem Schätzen im Rahmen der Auswertung hiesigen Lernmoduls nochmal aufgegriffen werden könnte. Dabei wird die Methode des Daumensprungs in der Literatur als indirekte Entfernungsmessung (vgl. Helmericht & Lengnink, 2016; Regal, 2008) betrachtet.

Um zu verstehen, wie der Daumensprung zur Messung einer Größe in der Umwelt genutzt werden kann, werden zunächst die Wissensgrundlagen erläutert. Der Daumensprung macht sich zu Nutze, dass bestimmte Längen bzw. Abstände des Körpers und der Umwelt bekannt sind. So müssen drei von vier Größen bekannt sein, um eine unbekannte Länge mit Hilfe der Daumensprung-Messung errechnen zu können. Die Grundlage der Berechnung dieser unbekannten Größe stammt aus der Anwendung des zweiten Strahlensatzes.

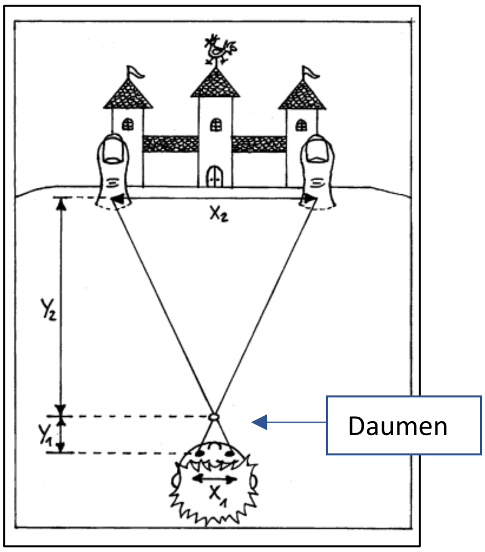


Abbildung 11: *Schematische Darstellung des Daumensprungs (Helmerich & Lengnink, 2016) mit Ergänzung*

Eine schematisch passende Darstellung findet sich bei Helmerich & Lengnink, aus welcher hervorgeht, dass es sich bei den bekannten Längen zunächst um den Abstand beider Augen (in der Abbildung bezeichnet als X1) und den Abstand von den Augen bis zum empor gehaltenen Daumen handelt (in der Abbildung bezeichnet als Y1), wobei vereinfacht die Armlänge betrachtet werden kann, was auch in der Realität als sinnvolle Reduktion angesehen werden kann. Darüber hinaus muss zur Berechnung der Entfernung der Person zum Objekt (in der Abbildung bezeichnet als Y2) die Breite des mit dem Daumensprung gemessenen Objektes (in der Abbildung bezeichnet als X2) bekannt sein oder, im Falle der gewünschten Berechnung der Breite des mit dem Daumensprung gemessenen Objektes, die Entfernung der Person zum Objekt bekannt sein. In anderen schematischen Darstellungen werden die bezeichneten Längen als ‚Augenabstand', ‚Armlänge', ‚Entfernung' und ‚Abstand' zweier Punkte eines Objektes oder eines Objektes zu einem anderen gewünschten Punkt bezeichnet (vgl. Grimma et al., 2017).

Die Strahlensätze beschreiben dabei das Verhältnis der Strecken zueinander. Während sich der erste Strahlensatz „auf die Verhältnisse von Strahlenabschnitten [stützt, bezieht sich] der zweite [Strahlensatz] auf die Verhältnisse von Strahlen- und Parallelenabschnitten" (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 184). Zur Veranschaulichung beider Strahlensätze folgt eine Überblick-Skizze aus dem Lehrbuch Lembacher Schweizer für zwei Strahlen mit einem Schnittpunkt. Die ‚Strahlenabschnitte' sind hierbei die vom Schnittpunkt S ausgehenden Geraden nach A, B, A' und B'. Die ‚Parallelenabschnitte' sind dagegen diejenigen Geraden, die die von S ausgehenden Strahlen schneiden und zueinander parallel sind.

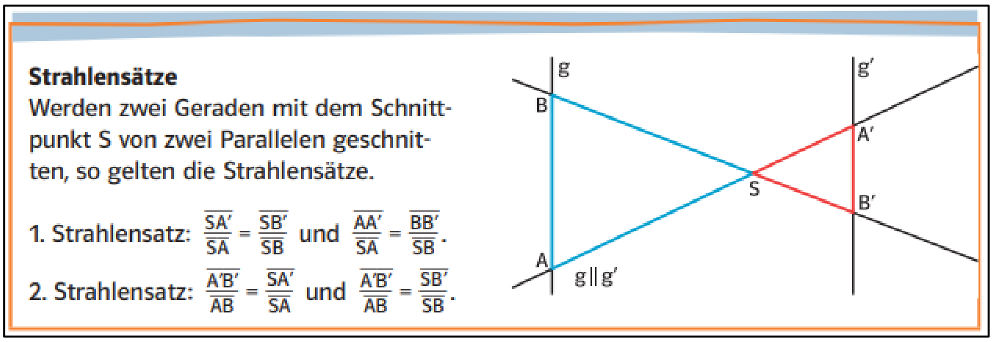


Abbildung 12: *erster und zweiter Strahlensatz bei zwei Strahlen mit einem Schnittpunkt (Grimma et al. 2017)*

Es gilt bei der Anwendung der Strahlensätze, dass zwei Strahlen, die sich in einem Schnittpunkt schneiden (wie hier abgebildet) von zwei Geraden geschnitten werden müssen, die zueinander parallel sind (vgl. Krauter & Bescherer, 2013). Unter diesen Umständen sind die Strahlensätze, konkret in Bezug auf den Daumensprung der zweite Strahlensatz, anwendbar.

Unter Anwendung des zweiten Strahlensatzes werden nun die Strecken des Augenabstandes (in Abbildung 12 z.B. die Strecke $\overline{A'B'}$) und der Armlänge (in Abbildung 12 sodann die Strecke $\overline{B'S}$ bzw. $\overline{A'S}$) ins Verhältnis zueinander gesetzt. In der Literatur wird hier ein Verhältniswert von 10 angenommen (vgl. Grimma et al., 2017; LWL Naturkundemuseum Münster), der sich aus der etwaigen Armlänge eines Erwachsenen von ca. 65 cm und des Augenabstandes bei einem Erwachsenen von ca. 6,5 cm ergibt (vgl. Regal, 2008). Auf dieser Basis lässt sich also sagen, dass die Armlänge eines Erwachsenen etwa 10 mal so groß ist, wie der Augenabstand. Mit diesem Wissen wiederum lässt sich die Formel zur Berechnung entweder der Entfernung der Person zu einem Objekt bei bekanntem Abstand zweiter Fixpunkte (z.B. eines Objektes) oder andersherum ermitteln. Da der Daumensprung als indirekte Entfernungsmessung gilt, wird die Formel zumeist zur Berechnung der Entfernung zu einem Objekt angegeben. Diese Formel ist z.B. im Lehrbuch Lembacher Schweizer wie folgt dargestellt.

- **a** ist der *Augenabstand*
- **b** ist die *Länge deines Armes*
- **c** ist der geschätzte *Abstand*
- **d** ist die *Entfernung* vom Daumen zum Ziel

Durch den *Strahlensatz* kann das Verhältnis der Strecken zueinander beschrieben werden:

$$\boxed{\frac{Armlänge\ \boldsymbol{b}}{Augenabstand\ \boldsymbol{a}} = \frac{Entfernung\ \boldsymbol{d}}{Abstand\ \boldsymbol{c}}}$$

Für das Verhältnis $\frac{b}{a}$ von Armlänge zu Augenabstand kann man ungefähr den Wert 10 annehmen.
Es folgt:

$$\mathbf{10} = \frac{\boldsymbol{d}}{\boldsymbol{c}}$$

Wenn wir auf beiden Seiten mit **c** multiplizieren erhalten wir die Formel für die Entfernung **d**:

$$10 \cdot \boldsymbol{c} = \frac{\boldsymbol{d}}{\cancel{\boldsymbol{c}}} \cdot \cancel{\boldsymbol{c}}$$

$$\boxed{10 \cdot \boldsymbol{c} = \boldsymbol{d}}$$

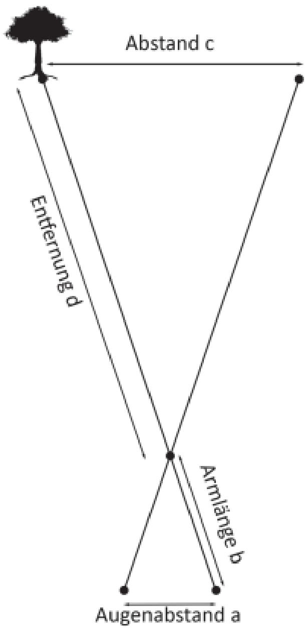


Abbildung 13: *Ermittlung der Formel zur Nutzung des Daumensprungs (Grimma et al., 2017)*

Natürlich kann die Formel auch zur Berechnung eines in der Entfernung liegenden Abstandes zweier Punkte, so auch zweier Randpunkte eines Objektes zur Berechnung der Breites eines Objektes (wie in Abbildung 11 in Bezug auf die Breite der Burg dargestellt) umgestellt werden. Ausgehend von der Formel $\boxed{10 \cdot c = d}$ wird dafür auf beiden Seiten durch 10 dividiert, um die Formel für den Abstand c zu erhalten:

$$\mathbf{10 \cdot c = d}$$

$$\boxed{\mathbf{c = \frac{d}{10}}}$$

Zur Messung mit Hilfe des Daumensprungs und Berechnung einer unbekannten Größe ist zuletzt noch elementar wichtig, wie der Daumen gesehen werden muss, um die Messung so genau wie möglich durchzuführen. Da der Daumen ein ausgedehnter Körper und nicht nur ein Strich ist, muss beachtet werden, dass sich die beiden anvisierten Fixpunkte in der Entfernung an der gleichen Stelle des Daumens befinden müssen. Hierfür eignet sich besonders eine Außenseite oder der höchste Punkt des Daumens. Das Center for Outdoor Education visualisiert die Anwendung wie folgt am höchsten Punkt des Daumens:

Abbildung 14: *Daumensprung-Visierung mit markiertem Fixpunkt (Center for Outdoor Education)*

Die Durchführung des Daumensprungs wird konkret im Abschnitt 6.2. im Rahmen der Darstellung des Lernmoduls zur unterrichtlichen Durchführung thematisiert.

6.1.1. Relevanz des Experiments

Der Daumensprung ist unter Anwendung der Strahlensätze auch im Alltag durchaus nützlich. Zum einen kann mit dem Wissen der Strahlensätze eine grundsätzlich unbekannte Größe errechnet werden. Die viel größere Relevanz liegt allerdings darin, dass mit der Methode des Daumensprungs zum anderen „das Messen *nicht zugänglicher Strecken* über die Kenntnis des Strahlensatzes praktische Bedeutung [hat] und sogar ohne weitere Hilfsmittel nur mit Einsatz von Körpergrößen wie dem Augenabstand und dem Daumen eingesetzt werden kann“ (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 188). Nicht zugängliche Strecken sind z.B. Entfernungen, die „sich nicht immer durch einfaches Abschreiten bestimmen [lassen, weil es] entweder […] durch die Geländegegebenheit nicht möglich [ist], zum Messpunkt zu kommen (Fluss oder Schlucht), oder die Entfernung […] einfach zu groß [ist], um sie direkt zu bestimmen“ (Regal, 2008, S.48).

Im vorigen Abschnitt wurde die grundsätzliche Methode des Daumensprungs anhand der Anwendung der Strahlensätze dargestellt und es wurden in den Abbildungen 11,13 und 14 Visualisierungen von horizontalen Entfernungen und Abständen dargestellt. Dies liegt daran, dass in der Literatur der Daumensprung eben als indirekte *Entfernungs*messung betrachtet wird. Abstände in der Horizontalen, sei es der Abstand oder die Breite eines Objektes, können allerdings oftmals, wenn es sich nicht wie eben dargestellt um eine nicht zugängliche Strecke handelt, wenigstens theoretisch durch ein Abschreiten mit bekanntem Schrittmaß oder das aufwendige Aneinanderlegen von Zollstöcken gemessen werden. Anders sieht das aus, wenn die Höhe eines Objektes gemessen werden soll. Weder kann diese abgelaufen werden, noch kann ein Zollstock in die Höhe aneinandergelegt werden. Insbesondere hier wird die Relevanz einer Methode ersichtlich, mit der ein Objekt in seiner Ausdehnung bestimmt werden kann, ohne aufwendige Messinstrumente nutzen zu müssen, die möglicherweise nicht zur Verfügung stehen (vgl. Helmerich & Lengnink, 2016; Regal, 2008).

Für Schülerinnen und Schüler ist die Anwendung einer in der Schule erlernten Methode wie dem Daumensprung mit naturwissenschaftlichem und mathematischem Hintergrund darüber hinaus von größerer Bedeutung, als die alleinige Relevanz, eine Entfernung eines Objektes oder dessen Höhe oder Breite mit Hilfe des Daumensprungs messen zu können. In Zeiten von Google Maps, Suchmaschinen im Internet oder Apps zur direkten Berechnung von Objekten per Kamera lassen sich die gewünschten Entfernungen oder Angaben zur Höhe oder Breite durchaus schneller recherchieren, als sie selbst zu berechnen. Doch zur Anwendung einer Methode gehört neben altersentsprechendem Hintergrundwissen und einer möglichen Planung des Vorgehens auch eine Auswertung. Bei der Auswertung kann anhand des Daumensprungs neben der Berechnungsmethode an sich auch ein Umgang mit Unsicherheiten vertieft werden, was Thema dieser Arbeit und Ziel des Lernmoduls ist. Ein Verständnis zum Umgang mit erhobenen Daten und deren Interpretation (siehe auch Abschnitt 2.2.3. Alltagsrelevanz von Messunsicherheiten) gilt heutzutage als eine wichtige wissenschaftliche Fähigkeit der 21st century skills (vgl. Turiman et al., 2012). Und Schülerinnen und Schüler sind heutzutage umgeben von vielzähligen Daten, die direkt oder indirekt insbesondere in sozialen Netzwerken Einfluss auf die Entscheidungen der Kinder und Jugendlichen nehmen und daher ein Wissen über die Entstehung von Werten eine besondere Relevanz erfahren sollte.

Die Methode des Daumensprungs eignet sich besonders für die Thematisierung von Messunsicherheiten, weil sich insbesondere für die Schülerinnen und Schüler der Primarstufe ganz offensichtliche und deutlich erkennbare Ursachen der Unsicherheiten im Rahmen der Anwendung des Daumensprungs finden lassen, die sowohl aus der Umwelt, der Messmethode an sich als auch aus dem Faktor ‚Mensch' stammen und sich auf Basis dieser offensichtlichen Ursachen für Messunsicherheiten mögliche Verbesserungen ableiten lassen, um mit den Schülerinnen und Schülern eine Anpassung des Messprozesses zu thematisieren.

6.1.2. Konzepte des Sachstrukturmodells des Daumensprungs

Warum sich die Methode des Daumensprungs zur Thematisierung von Messunsicherheiten nach dem in hiesiger Arbeit reduzierten Sachstrukturmodell von Hellwig eignet, wird nachfolgend dargestellt.

- Erste Dimension

Das bedeutendste Ziel der Vermittlung des Themas Messunsicherheiten liegt in der ersten Dimension des Sachstrukturmodells, nämlich des Verständnisses der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten. Diese grundsätzliche Existenz von Unsicherheiten beim Messen lässt sich bei der Methode des Daumensprungs sehr deutlich auch mit Schülerinnen und Schülern der Primarstufe nachvollziehen.

Mögliche umweltliche Einflussgrößen während des Messprozesses sind z.B.:

- ein unebener oder nicht geradliniger Abstand zum Objekt, sodass die Entfernung zum Objekt nur mit bestehenden Unsicherheiten festgestellt werden kann,
- eine Beeinflussung durch Sichtverhältnisse: „Bei schönem klaren Wetter streut das Licht sehr wenig und alles erscheint näher als bei trübem und verhangenem Himmel" (Regal, 2008, S. 53).

Mögliche Einflüsse während des Messprozesses, die von dem handelnden Menschen ausgehen, sind z.B.

- ein ungenauer Faktor in der Formel zur Berechnung des Abstandes oder der Entfernung eines Objektes, da das in der Literatur angegebene Verhältnis von 1:10 in Bezug auf das Verhältnis Augenabstand : Armlänge genutzt wird, anstatt ein individuelles Maß zu berechnen,
- ein Wackeln des Daumens,
- ein Wackeln des Kopfes,
- ein individuelles Feststellen der Entfernung zum zu messenden Objekt, z.B. durch Ablaufen und Zählen von Schritten und deren Umrechnung in ein Längenmaß oder ein Ablaufen der Entfernung mit einem Streckenmessrad (mit jeweils individuellen Einflussfaktoren).

Da die Methode des Daumensprungs an sich ohne ein Messgerät auskommt und nur den eigenen Köpereinsatz erfordert, existieren keine Einflüsse, die aus einem potenziellen Messgerät hervorgerufen werden. Wird allerdings beim Feststellen des Abstandes zum Objekt ein Messgerät verwendet, wie z.B. ein Streckenmessrad oder ein Zollstock, mit dem die individuelle Schrittlänge einer Person ermittelt werden kann, so könnten hier technische Einflüsse aufgelistet werden, wie z.B.:

- ein wackelndes und damit nicht geradlinig laufendes Rad des Streckenmessrades
- eine bereits mit Unsicherheit behaftete Größe des Streckenmessrads, das möglicherweise von der DIN-Norm abweichende Ergebnisse liefert.

Möglich sind im Rahmen der ersten Dimension auch Unsicherheiten in Bezug auf mathematische Operationen. Zunächst muss eine individuelle Schrittlänge ermittelt werden, anschließend erfolgt eine Umrechnung einer Gesamtanzahl an Schritten in die zu ermittelnde Entfernung des Objektes, indem mit der Schrittlänge multipliziert wird und zuletzt muss diese berechnete Entfernung entsprechend der Formel durch das (am besten individuell ermittelte) Verhältnismaß geteilt werden. An allen drei Stellen ist es möglich, dass sich Unsicherheiten einschleichen und diese zur Weiterrechnung fortsetzen. Anzumerken sei an dieser Stelle allerdings, dass durch die Berechnung einer Breite oder auch Höhe eines Objektes eine Division durch 10 (Literaturwert) lediglich eine Abweichung von 1/10 ausmacht. Misst ein Kind beispielsweise einen um 1m abweichenden Wert als ein anderes Kind, so weicht dessen Rechnungsergebnis nur um 0,1m von dem des anderen Kindes ab.

Das im Rahmen des Daumensprungs mögliche zu vermittelnde Konzept der ersten Dimension des Sachstrukturmodells nach Hellwig ist demnach **‚Ursachen der Messunsicherheiten'** mit den Inhalten der Einflussgrößen aus der Umwelt und der Verwendung eines Messgerätes, sowie durch den Menschen selbst.

- <u>Zweite Dimension</u>

Auch die zweite Dimension des Einflusses von Messunsicherheiten auf das Messwesen lässt sich inhaltlich mit dem Daumensprung gut verbinden. In Bezug auf die zweite Dimension kann mit den Schülerinnen und Schülern ein mögliches Vorgehen während des Messprozesses besprochen werden. Um mehr als einen Wert für die Ermittlung einer Höhe eines Objektes zu erhalten, könnte die gesamte Klasse daran mitarbeiten. Wenn jede einzelne Schülerin und jeder einzelne Schüler ein individuelles Ergebnis ermittelt, können alle Ergebnisse der Klasse gemeinsam betrachtet werden. Auf diese Art und Weise kann mit den Schülerinnen und

Schülern anschaulich nachvollzogen werden, dass es (ganz offensichtlich) nicht möglich ist, nur eine Messgröße der Höhe eines Objektes zu ermitteln. Diese Erfahrung muss unbedingt dafür genutzt werden, die Unkenntnis der Messgröße, die zu messen versucht wird, aufgrund der diversen Ursachen für Messunsicherheiten auf das Allgemeine zu übertragen und nicht nur explizit beim Daumensprung zu belassen. Die gesamten Ergebnisse der Klasse können in einem weiteren Schritt außerdem dafür verwendet werden, einen besten Wert und eine Streuung um diesen Wert zu ermitteln bzw. anzugeben.

Die im Rahmen des Daumensprungs möglichen zu vermittelnden Konzepte der zweiten Dimension sind demnach das **‚Ziel der Messung'** und das **‚Ergebnis der Messung'**, wobei insbesondere vermittelt werden sollte, dass es die eine Messgröße nicht geben kann, aber dass ich mehrere Messergebnisse zur Benennung eines besten Wertes und eines Intervalls um diesen besten Wert nutzen kann.

- <u>Dritte Dimension</u>

Im Rahmen der dritten Dimension der Erfassung von Messunsicherheiten kann mit den Schülerinnen und Schülern der Primarstufe das direkte Messen thematisiert werden. Dadurch, dass die jeweiligen Ergebnisse aller Schülerinnen und Schüler der Klasse im Nachgang der Durchführung der Methode des Daumensprungs gesammelt werden, kann entsprechend der Ermittlungsmethode B ein bester Wert und eine Streuung mit Hilfe des Maximalabstandes berechnet werden. Der Daumensprung lässt darauf vertrauen, dass die Schülerinnen und Schüler diverse Ergebnisse zurück in den Unterricht bringen, über die sich dann ausgetauscht werden kann.

Das im Rahmen des Daumensprungs mögliche zu vermittelnde Konzept der dritten Dimension ist demnach nur die **‚Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung'**.

- <u>Vierte Dimension</u>

Im Nachgang an die Durchführung des Daumensprungs und die Sammlung aller Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler wird es nicht ausbleiben, dass die einzelnen Schülerinnen und Schüler ihre individuell ermittelten Ergebnisse mit dem im Plenum berechneten besten Wert vergleichen. Es ist anzunehmen, dass sich diejenigen Schülerinnen und Schüler, deren Werte sehr nah an diesem Wert liegen, freuen werden und diejenigen Schülerinnen und Schüler, deren Werte weiter von dem besten Wert entfernt liegen, annehmen könnten, sie hätten etwas falsch gemacht. Dieser Umstand ist wunderbar für die Thematisierung der Aussagekraft eines Messergebnisses zu nutzen und auch das Intervall um den Bestwert zu thematisieren. Alle Werte, die in der ermittelten Range liegen, erfüllen immerhin die Kriterien, dem Ergebnis zu entsprechen. Und da das Intervall aus den Werten der Schülerinnen und Schüler entwickelt wird, werden selbstverständlich in diesem Rahmen auch alle Werte im Intervall liegen.

Auch in der Primarstufe kann an dieser Stelle hervorragend über Vergleiche zwischen Messwerten gesprochen werden und u.U. ist es möglich, auch Ausreißerwerte zu thematisieren. Dies ist allerdings von den ermittelten Werten der Schülerinnen und Schüler abhängig.

Das im Rahmen des Daumensprungs mögliche zu vermittelnde Konzept der vierten Dimension ist demnach auf den **‚Vergleich von Messwerten'** ausgerichtet.

- Anmerkung

An dieser Stelle ist erneut unbedingt anzumerken, dass die Konzepte miteinander verknüpft, wenn nicht sogar verwebt sind. Entgegen der hier erscheinenden aufeinander aufbauenden Unterrichtsinhalte kann der Konzeptaufbau bei den Schülerinnen und Schülern durchaus nicht geradlinig verlaufen. Es ist möglich, dass die Dimension der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten erst am Ende des Lernmoduls für sich erkannt und konzeptuell untermauert werden kann. Und das hat gleichwohl seine Berechtigung wie ein hier aufgelisteter geradlinig verlaufender Prozess.

Unabhängig davon erfolgt eine Strukturierung im Unterricht, die allerdings durch Interaktion mit den Schülerinnen und Schülern während des Lernmoduls aufgebrochen werden kann und Aspekte wiederholt oder vorgezogen werden können.

6.2. Darstellung des Lernmoduls zur unterrichtlichen Durchführung

Das in hiesiger Arbeit vorgestellte Lernmodul hat einen physikalischen Hintergrund und ist in der Primarstufe für die Thematisierung im NaWi-Unterricht (Klassenstufe 5-6, Alter der Schülerinnen und Schüler ca. 10-12 Jahre) geeignet. Oser und Baeriswyl haben für das Lernen in Gruppen insgesamt 12 Basismodelle entwickelt, welche ein unterrichtliches Vorgehen in einer bestimmten Abfolge von Handlungskettenschritten strukturieren. Drei der 12 Basismodelle stellten sie für den Physikunterricht als besonders wichtig heraus. Hierbei handelt es sich um die Basismodelle ‚Lernen durch Eigenerfahrung', ‚Konzeptbildung' und ‚Problemlösen'. Die Basismodelle können sodann sowohl der Unterrichtsplanung als auch der Durchführung und Steuerung des Unterrichts sowie der nachträglichen Unterrichtsanalyse besonders dienlich sein (vgl. Krabbe, Zander & Fischer, 2015). Wichtig in Bezug auf die Umsetzung der Basismodelle seien nach Oser und Baeriswyl nur, dass „[d]ie Basismodelle […] immer vollständig durchlaufen werden [und] [d]ie Reihenfolgen der Handlungskettenschritte […] eingehalten werden [müssen]" (Krabbe, Zander & Fisch, 2015, S. 16).

Für die Thematisierung von Messunsicherheiten am Beispiel des Daumensprungs bieten sich wie bereits unter 4.2. ausgeführt die Basismodelle der Konzeptbildung und des Lernens durch Eigenerfahrung an, was nachfolgend im Rahmen der konkreten Handlungsphasen des Lernmoduls ersichtlich wird. Dabei ist es sinnvoll, zunächst mit der Konzeptbildung zu beginnen und diese dann im Rahmen des Lernens durch Eigenerfahrung durch einen aktiven Umgang mit dem neuen Konzept zu sichern. In dieser Reihung werden die eigenen Erfahrungen mit dem neuen Konzept direkt mit physikalischen Konzepten statt nur mit Alltagsbegriffen erfasst, was „die Sinnhaftigkeit und den Nutzen physikalischer Modelle […] verdeutlich[t]" (Krabbe, Zander & Fischer, 2015, S. 44).

Das Lernmodul wird für hiesige Arbeit in einer 6. Klasse durchgeführt und muss bei Übertragung auf eine andere Klasse an dem jeweiligen Könnens- und Wissensstand der Schülerinnen und Schüler orientiert sein. Für hiesige Durchführung wurde entschieden, ein in der Höhe zu bestimmendes Objekt auf dem Schulhof zu finden, da die Grundschule unmittelbar an einer Straße liegt, deren Überquerung vermieden werden sollte. Da auch der zeitliche Rahmen der Unterrichtsstunden nicht strapaziert werden sollte, wurde auf dem Schulhof nach entsprechenden Sichtverhältnissen eine hohe Laterne als zu messendes Objekt bestimmt. Mögliche anderweitige hohe Objekte, wie Schulgebäude oder hohe Klettergerüste schieden aufgrund verhinderter geradliniger Sichtverhältnisse aus, könnten allerdings bei einer Durchführung an einer anderen Schule durchaus eine Option darstellen. Die tatsächliche Höhe der Laterne konnte nicht ermittelt werden, spielt gleichwohl für die Durchführung des Lernmoduls aber auch keine Rolle, da das Fehlen der Messgröße, die zu messen versucht wird, nochmal deutlicher macht, dass die Angabe eines Bestwertes um ein Unsicherheitsintervall völlig ausreichend ist, wobei das Ziel darauf ausgelegt sein sollte, dieses Unsicherheitsintervall möglichst gering ausfallen zu lassen.

6.2.1. Lernmodul: Basismodell Konzeptbildung

Phase **Konzeptbildung**	**Handlung**	**Zeit** **Konzept**
	_ **1. Stunde**	**[1.]**
	Begrüßung der Klasse	**0-1**
	Vorstellung des Vorhabens der nächsten Stunden	
	Ziel der ersten Stunde:	**1-2**
	→ Kennenlernen des Begriffs der Unsicherheit und Notation der Unsicherheit eines Messergebnisses mit Mittelwert und Unsicherheitsintervall	
Bewusstmachung des Vorwissens	Aktualisierung und Aktivierung des Vorwissens zu Unsicherheiten	**2-17**
	Die LK teilt das **Arbeitsblatt I** aus und bittet die Schülerinnen und Schüler (SuS) die Aufgabe zu bearbeiten. Die LK fragt nach den Ergebnissen der SuS und notiert sie am Smartboard. • Es werden alle Werte aller SuS am Smartboard auf einem Zahlenstrahl notiert. Dabei wird der Wert bei der ersten Nennung notiert und ein Kreuz oberhalb des Zahlenstrahls über den Wert gesetzt. Bei jeder weiteren Nennung wird ein weiteres Kreuz gemacht. So entsteht ein Diagramm oberhalb des Zahlenstrahls, das die	

	Häufigkeit der Nennung der einzelnen Werte in dem Zahlenstrahl visualisiert. Die LK fragt die SuS, was ihnen auffällt. • Erwartung: Die SuS nennen unterschiedliche Ergebnisse • Sammlung der Anmerkungen der SuS im Plenum Die LK fasst zusammen, • dass wir verschiedene Werte ermittelt haben, • dass es scheinbar schwerfällt, einen gleichen Wert zu ermittelt, wenn viele Personen es versuchen, • dass wir sagen können, dass unser Ergebnis ***‚unsicher‘*** ist, eben weil wir keinen einzigen gemeinsamen Wert nennen können. Die LK fragt die SuS, was für sie eine Unsicherheit ist • Erwartung 1: Unsicherheit ist etwas, was nicht sicher ist • Erwartung 2: Unsicherheit ist etwas, was ungenau ist • Erwartung 3: Unsicherheit ist etwas, wenn etwas unbekannt ist • Erwartung 4: Unsicherheit bedeutet, dass man etwas falsch gemacht hat (nicht stimmig mit dem Konzept der Unsicherheit) Die LK fasst die Impulse der SuS zusammen und stellt heraus, dass • Unsicherheiten dort bestehen, wo etwas von mehreren Leuten oder zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen wird. Die LK erläutert, dass es ganz normal ist, dass unterschiedliche Werte notiert wurden und dass diese unterschiedlichen Werte zusammen eine **Unsicherheit der Messung** angeben können und wir das gleich gemeinsam tun werden. Besonders herauszustellende Aspekte: • Unsicherheiten bei Messungen sind weder schlecht noch stellen sie einen Fehler dar.	

	• Unsicherheiten bei Messungen charakterisieren typischerweise Experimente, bei denen gemessen wird. • Mit der Angabe einer Unsicherheit grenzt man die Ungenauigkeit ein.	
Durcharbeiten eines Prototyps	<u>Wie notiere ich ein Messergebnis?</u>	**17-25**
	Die LK teilt mit, dass wir uns nun ansehen werden, wie man eine Unsicherheit eines Messergebnisses notiert. Die LK teilt das **Arbeitsblatt II** aus. Der obige Text wird gemeinsam im Plenum gelesen. Die LK bittet die SuS nun, die unterstrichenen und fett markierten Worte begründet in die leeren Felder zu sortieren. Anschließend wird im Plenum besprochen, wobei zunächst nicht auf die Bestimmung der einzelnen Werte eingegangen wird. • Wichtige Begriffe sind das Messergebnis, der Mittelwert, die Unsicherheit und das Intervall. • Der Mittelwert ist ein einzelner Wert (hier rot markiertes Kreuz). • Die Unsicherheit beschreibt die Streuung der Messwerte. Sie ist die größte Differenz zwischen Mittelwert und einer der Messwerte (hier blau markierte Linie). • Das Intervall ist ein Bereich um den Mittelwert herum und reicht vom Mittelwert nach unten (minus Unsicherheit) und nach oben (plus Unsicherheit), (hier grün markierte Linie). • Das Messergebnis notiert explizit den Mittelwert plus/ minus die Unsicherheit (bei dieser Schreibweise ist es wichtig, dass die Unsicherheit symmetrisch nach oben und unten ist).	**Konzept** Dimension 1 Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung →Definition der Messunsicherheit
	<u>Erarbeitung des neuen Begriffs anhand eines Beispiels</u>	**25-45**
	Gemeinsam im Plenum wird nun überlegt, wie dann die Länge des Pfeils (von AB I) mit einer Unsicherheit notiert werden könnte. Benötigt wird	**Konzept** Dimension 1 Unterscheidung

	• der Mittelwert und • die Unsicherheit um den Mittelwert. Die LK fragt die SuS, ob Ideen vorhanden sind, wie man den Mittelwert berechnet. • Erwartung 1: der Wert, den die meisten SuS genannt haben (Info: Modus) • Erwartung 2: der Wert, der genau in der Mitte liegt (Info: Median) • → Ziel: In der 6. Klasse bietet es sich an, den Mittelwert zu nutzen, da das notwendige mathematische Wissen dazu da ist. • → Mittelwert berechnen Die LK fragt die SuS, was nun *die Unsicherheit und das Intervall* um den Mittelwert wäre. • Erwartung 1: SuS sagen pauschal +/- ausgedachter Wert (Begründung „weil man das so oft hört“) • Erwartung 2: Intervall von geringstem Wert bis höchstem Wert • Erwartung 3: einigen SuS fällt auf, dass es Ausreißer gibt, die sie nicht im Intervall integrieren möchten • → zunächst die Unsicherheit festlegen. Dafür wird der errechnete Mittelwert in den Zahlenstrahl eingetragen und die Unsicherheit vom Mittelwert aus nach unten und nach oben zum am weitesten entfernten Wert mit einer blauen Linie markiert. • → da das Messergebnis in der Schreibweise „Mittelwert ± Unsicherheit“ notiert werden soll, wird mit den SuS gemeinsam die größte Entfernung vom Mittelwert bewertet und • → als Intervall um den Mittelwert angegeben (hierbei handelt es sich um den ‚Maximalabstand‘)	zwischen Messunsicherheit und Messabweichung →Eigenschaften der Messunsicherheit **Konzept** Dimension 3 Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung →Ermittlungsmethode A)

	• Wichtig ist die Thematisierung des symmetrischen Abstandes um den Mittelwert mit der größten Entfernung, sodass alle Messwerte im Intervall enthalten sind, sodass eine Angabe aus ‚Mittelwert ± Unsicherheit' gemacht werden kann. Dadurch sind die Grenzen des Intervalls der Mittelwert plus Unsicherheit und der Mittelwert minus Unsicherheit. Alle notieren auf ihrem **Arbeitsblatt I**: „Die Länge des Pfeils beträgt „<u>Mittelwert ± Unsicherheit</u>"	
– **2. Stunde**		**[2.]**
	<u>Ziel der zweiten Stunde:</u>	**0-1**
	→ Aktiver Umgang mit dem neuen Begriff in einem Schätz-Experiment	
Beschreiben der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts	<u>Wesentliche Aspekte des Begriffs der Unsicherheit</u>	**1-3**
	Die LK fasst zusammen, dass wir jetzt also festgestellt haben, dass <u>die gleiche Sache</u> (hier unser Pfeil) von verschiedenen Personen durchaus <u>unterschiedlich gemessen</u> werden kann und daher <u>verschiedene Ergebnisse</u> erzielt werden können. Dass diese unterschiedlichen Ergebnisse zeigen, dass das Messen des Pfeils nicht eindeutig, sondern unsicher ist und wir dafür den <u>Begriff der Unsicherheit einer Messung</u> kennengelernt haben und dass man ein Ergebnis unter Angabe eines <u>Mittelwertes</u> und einer <u>Unsicherheit</u> angeben kann.	
Aktiver Umgang mit dem neuen Konzept	<u>Beispiel zur Anwendung</u>	**3-13**
	Die LK fragt die SuS, was sie sich vorstellen könnten zu messen und ob bei mehrfacher Messung mit einer Unsicherheit gerechnet werden sollte. • Sofern keine Idee der SuS kommt: Messung der Zeit für den Schulweg von zu Hause (**Arbeitsblatt „Schulweg"**) zur Darstellung am Smartboard, um im Plenum zu besprechen.	

<table>
<tr>
<td></td>
<td>Die LK notiert die Begriffe Messergebnis, Mittelwert, Unsicherheit und Intervall am Smartboard und bittet die SuS, diese Begriffe bei der Beschreibung des Vorgehens ihrer Idee zu verwenden.

• → Ziel ist es, die Begriffe Messwerte, Mittelwert, Unsicherheit und Intervall im Kontext zueinander zu benennen und zu verwenden und von den SuS in eigenen Worten wiedergeben zu lassen, um insbesondere nachzubessern, wenn konzeptuelle Verständnisschwierigkeiten bestehen.</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="2">Anwendung des neuen Konzepts in anderen Kontexten</td>
<td><u>Transfern und Vernetzung</u></td>
<td>13-45</td>
</tr>
<tr>
<td>Die LK stellt fest, dass wir im Alltag zwar des Öfteren messen, aber ebenso auch schätzen. Die LK fragt die SuS, wer beim Schätzen schon Unsicherheiten festgestellt hat und worin sich diese Unsicherheit zeigt.

• Erwartung 1: Schätzen von Entfernungen, Schätzen von Zeiten.
• Erwartung 2: Die SuS stellen selbst fest, dass sie selbst und verschiedene Personen beim Schätzen zu teilweise sehr unsicheren Ergebnissen kommen
• Erwartung 3: Die SuS äußern, dass Schätzen nie genau ist.

Die LK teilt das Arbeitsblatt „Schätzen“ aus und erläutert das folgende Vorgehen:

• Gemeinsam mit der Klasse wird ein Ort auf dem Schulhof ausgemacht, von dem das Objekt [Laterne] vollständig gesehen werden kann.
• Die SuS schätzen eigenständig die Höhe des Objektes [Laterne] und notieren den Schätzwert auf dem Arbeitsblatt in Aufgabe 1.

Zurück im Klassenraum fragt die LK nach den Schätzwerten der SuS und notiert sie am Smartboard.

• Es werden alle Werte aller SuS am Smartboard auf einem Zahlenstrahl notiert. Dabei wird der Wert bei der ersten Nennung notiert und ein Kreuz oberhalb des Zahlenstrahls über den Wert gesetzt. Bei jeder weiteren Nennung wird</td>
<td>Konzept

Dimension 2

Ergebnis der Messung

→Dokumentation von Messergebnissen

→Messergebnis als Zusammenfassung aller</td>
</tr>
</table>

	ein weiteres Kreuz gemacht. So entsteht ein Diagramm oberhalb des Zahlenstrahls, das die Häufigkeit der Nennung der einzelnen Werte in dem Zahlenstrahl visualisiert. Die LK bittet die SuS aus den zusammengetragenen Werten nun den Mittelwert zu berechnen und die Unsicherheit zu bestimmen und es auf dem Arbeitsblatt in Aufgabe 2 zu notieren. • → Wir halten fest, dass wir gemeinsam ein Ergebnis ermittelt haben und eine Unsicherheit angegeben haben. Mit dieser Unsicherheit ist es möglich, ein Messergebnis in der Form ‚Mittelwert ± Unsicherheit' zu notieren. • → Explizit werden die SuS auch aufgefordert, das Intervall anzugeben. Hier ist gefordert, die rechnerischen Werte aus ‚Mittelwert - Unsicherheit' und ‚Mittelwert + Unsicherheit' zu notieren. Information • Schätzen stellt keinen Messprozess dar.	Informationen **Konzept** Dimension 3 Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung →Ermittlungsmethode A

6.2.2. Lernmodul: Basismodell Lernen durch Eigenerfahrung

Phase **Lernen durch Eigenerfahrung**	**Handlung**	**Zeit** **Konzept**
	_ **3. Stunde**	**[3.]**
	Ziel der dritten Stunde:	**0-1**
	→ Durchführung der Messung eines Objektes [Laterne] mittels Daumensprung.	
	Darstellung der durchzuführenden Handlung	**1-5**

Planung der Handlung	Die LK erläutert, dass wir in der ersten Stunde mit Hilfe eines Werkzeugs (Lineal) gemessen haben und in der zweiten Stunde ein Objekt in seiner Höhe abgeschätzt haben und in der folgenden Stunde das selbe Objekt mit Hilfe des eigenen Körpers messen werden. Die LK bittet die SuS zur Vorbereitung auf das Experiment des Daumensprungs (ohne diesen Namen bereits zu nennen) mitzumachen. • Streckt den Arm nach vorne aus und spreizt den Daumen nach oben ab, • schließt ein Auge und fixiert mit dem anderen Auge den Daumen, • öffnet das Auge wieder und schließt das andere Auge ohne den Daumen dabei zu bewegen und fixiert den Daumen erneut, • achtet darauf, was mit dem Daumen und dem Hintergrund des Daumens passiert. Die LK fragt die SuS, was ihnen auffällt. • Erwartung: Die SuS bemerken, dass der Daumen „sich bewegt“ • Ziel: Es handelt sich um die Methode des **Daumensprungs**. Und dadurch, dass der Daumen sich scheinbar bewegt, können wir Größen in einer gewissen Entfernung ausmessen. Die LK erklärt, dass wir gleich ein Experiment durchführen werden, bei dem wir den Daumensprung nutzen werden. Allerdings werden wir den Daumensprung drehen, damit wir die Höhe eines Objektes [Laterne] messen können. Die LK bittet die SuS erneut mitzumachen; • Neigt den Kopf nach links, so dass die Augen genau übereinander sind, • streckt den Arm wieder nach vorne aus und spreizt den Daumen nach links ab, sodass er waagerecht zum Boden ist, • schließt nun erst das eine und dann das andere Auge und fixiert je mit dem geöffneten Auge den Daumen vor dem Hintergrund. Die LK bittet die SuS mitzuteilen, ob sie immer noch sehen, dass der Daumen „springt“.	

	• Ziel: es ist wichtig, dass der Kopf geneigt ist und der Daumen waagerecht gehalten wird, weil der Sprung des Daumens so entlang einer Höhe eines Objektes [Laterne] erfolgt. Diesen Sprung nach oben bzw. unten benötigen wir, um später die Höhe unseres Objektes [Laterne] zu berechnen.	
	<u>Absprache der Arbeitsschritte</u>	**5-10**
	Die LK teilt das **Arbeitsblatt „Daumensprung “** aus. Das Arbeitsblatt wird gemeinsam gelesen. Die LK erläutert, dass das Vorgehen der Schritte 1.-4. genau dem entspricht, was wir gerade geübt haben. Die LK erläutert wichtige Punkte für die Durchführung des Experiments: • Anhand der Abbildungen wird die richtige Position des Daumens vor dem Objekt [Laterne] besprochen. • Die SuS werden aufgefordert, später in ihrer natürlichen Laufweise auf das Objekt [Laterne] zuzulaufen. Im Anschluss werden wir die individuelle Schrittlänge ausmessen. Von den SuS mitzunehmen • Block als Unterlage • Bleistift Von der LK mitzunehmen • 10m Maßband • Kreide • Block • Stifte	
Durchführung der Handlung	<u>Durchführung der Höhenbestimmung mittels Daumensprung</u>	**10-45**
	Die SuS werden unter Aufsicht der LK und einer zusätzlichen LK nach draußen begleitet. Gemeinsam begibt sich die gesamte Gruppe zum zu messenden Objekt [Laterne].	

	Die SuS führen eigenständig die Arbeitsschritte des Arbeitsblattes Daumensprung aus. In der Zwischenzeit bereitet die LK die Strecke zur Ermittlung des individuellen Längenmaßes der Schritte der SuS vor. • Die LK misst eine Strecke von 10m mit einem Maßband ab und markiert den Start und das Ende mit Kreide. Sobald die SuS wieder am Objekt [Laterne] eingetroffen sind notieren sie die Anzahl ihrer Schritte. Das individuelle Längenmaß der Schritte der SuS wird gemeinsam ermittelt: • Die SuS stellen sich an den Start der 10m langen Strecke • Sie laufen in ihrem natürlichen Schrittmaß bis zum Ende der Strecke • Die Strecke von 10m wird anschließend durch die Anzahl der gelaufenen Schritte geteilt, wodurch das individuelle Längenmaß errechnet wird. • Die SuS notieren ihr Längenmaß Die SuS berechnen mit Hilfe der Anleitung auf dem Arbeitsblatt Daumensprung die Gesamtentfernung und die Höhe des Objektes [Laterne].	
	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ — _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ **4. Stunde**	**[4.]**
	<u>Ziel der vierten Stunde:</u>	**0-1**
	→ Dokumentation der Ergebnisse und Reflexion der Durchführung der Experimente	
	<u>Dokumentation von Ergebnissen</u>	**1-15**
	Die LK fragt die SuS, ob alle ein individuelles Ergebnis ermittelt haben. • Ziel ist die Herausstellung, dass die SuS es geschafft haben, nur mit Hilfe ihres Körpers ein	**Konzept** Dimension 2

	Objekt zu messen, das größer als sie selbst ist und das nicht mit einer einfachen Messmethode (z.B. einem Zollstock) gemessen werden kann. Die LK teilt das **Arbeitsblatt „Ergebnisse“** aus und bittet die SuS, Aufgabe 1 und 2 zu bearbeiten. • Die SuS übertragen ihre persönlichen Ergebnisse aus den zwei Experimenten. Die LK bittet die SuS im Anschluss, ihre jeweiligen Ergebnisse aus dem Experiment des Daumensprungs mitzuteilen. • Es werden alle Werte aller SuS am Smartboard auf einem Zahlenstrahl notiert. Dabei wird der Wert bei der ersten Nennung notiert und ein Kreuz oberhalb des Zahlenstrahls über den Wert gesetzt. Bei jeder weiteren Nennung wird ein weiteres Kreuz gemacht. So entsteht ein Diagramm oberhalb des Zahlenstrahls, das die Häufigkeit der Nennung der einzelnen Werte in dem Zahlenstrahl visualisiert Die LK bittet die SuS mit Hilfe dieser Daten, den Mittelwert, die Unsicherheit, das Messergebnis und das Intervall aus dem Daumensprung-Experimenten zu bestimmen und in Aufgabe 3 auf dem Arbeitsblatt zu notieren. Gemeinsam mit den SuS wird auf **Arbeitsblatt „Ergebnisse“** Aufgabe 4 bearbeitet. In einen vertikalen Zahlenstrahl werden die beiden Mittelwerte des Schätzens und der Daumensprung-Methode mit ihren jeweiligen Unsicherheitsintervallen eingezeichnet. • Dafür muss zunächst eine Maßeinteilung festgelegt werden, die von den Ergebnissen der SuS abhängig ist. • Anschließend wird zunächst der Mittelwert der Schätz-Methode eingetragen, sodann das Unsicherheitsintervall. • Danach wird der Mittelwert der Daumensprung-Methode eingetragen, sodann das Unsicherheitsintervall dazu. → Ziel ist es, beide Messergebnisse nebeneinander zu visualisieren.	Ergebnis der Messung →Dokumentation von Messergebnissen

	Die LK verbalisiert • Diese beiden Ergebnisse im Zahlenstrahl zeigen die Mittelwerte mit einem Intervall, in dem je alle Ergebnisse der Klasse liegen. Kein Wert liegt außerhalb unseres Intervalls. • Dieses Intervall um den Mittelwert zeigt, wie weit unsere individuellen Werte um den Mittelwert verstreut sind. • Dieses Intervall stellt den Rahmen dar, bei dem wir annehmen können, dass mögliche weitere gemessene Werte ebenfalls innerhalb dieses Rahmens liegen würden.	
Konstruktion von Bedeutung	<u>Vergleich mit Erwartungen</u>	**15-20**
	Die LK fragt die SuS, ob sie vor dem Daumensprung-Experiment gedacht hätten, dass sie mit Hilfe ihres Körpers ein Objekt messen können, wie zufrieden sie mit ihrem Vorgehen und ihren Ergebnissen aus beiden Experimenten sind und welche Erfahrungen sie gemacht haben. • Impuls: Hättet ihr gedacht, dass ihr mit eurem Körper so ein hohes Objekt messen könnt? • Impuls zu den Ergebnissen: Sind die individuellen Ergebnisse gleich? Liegen die Ergebnisse beieinander oder weit auseinander? • Die Äußerungen der SuS werden stichpunktartig am Smartboard gesammelt. Mehrfachnennungen werden unterstrichen.	
Generalisierung der Erfahrung	<u>Vergleich der Erfahrungen verschiedener Personen</u>	**20-22**
	Die LK fasst die Äußerungen zu den konkreten Erfahrungen der SuS zusammen Mögliche Feststellungen: • Alle SuS haben zwei individuelle Ergebnisse ermittelt, • bei allen/ bei den meisten SuS sind die zwei Ergebnisse nicht gleich, • einige geben an, dass sie beim Daumensprung nicht gut mit den Augen fixieren konnten, dass	

	der Daumen gewackelt hat, dass ihre Schritte nicht gleichmäßig waren. Weiterführende mögliche Fragen an die SuS: • von welchen weiteren Objekten könnten wir mit dieser Art und Weise ebenfalls die Höhe bestimmen?	
	<u>Erkennen von Trends</u>	**22-32**
	Die LK fragt die SuS, woran es liegen könnte, dass wir selbst als Klasse nach der Bestimmung von Mittelwerten und Intervall unterschiedliche Ergebnisse ermittelt haben, obwohl wir zwei mal das gleiche Objekt gemessen haben. • Die Impulse der SuS werden an der Tafel gesammelt, • anschließend wird versucht, die Impulse zu kategorisieren. → Ziel: Hinleitung zu Ursachen von Messunsicherheiten in den verschiedenen Experimenten • Umwelteinflüsse • Menschliche Einflüsse • Rechnerische Einflüsse Die LK teilt das **Arbeitsblatt „Messunsicherheiten"** aus und bittet die SuS, die Aufgaben 1 und 2 zu bearbeiten. Die Impulse von der Tafel können dafür genutzt werden. Die LK bittet die SuS die Arbeitsblätter „Ergebnisse" und „Messunsicherheiten" miteinander zu vergleichen. Lassen sich Zusammenhänge feststellen? Mögliche Feststellungen: • Hat eine Methode mehr benennbare Ursachen für die Unsicherheit? • Hat die gleiche Methode auch im Ergebnis eine größere Unsicherheit? Und falls nein, woran könnte es liegen, dass es zwar mehr Ursachen für die Unsicherheit gibt, das Intervall für die Unsicherheit aber scheinbar kleiner ist?	**Konzept** Dimension 1 Ursache der Messunsicherheit → Einflussgrößen (Umwelteinflüsse), mathematische Operationen und Faktor „Mensch"

	• → Die Fragen sind individuell auf die Ergebnisse der SuS zu beantworten.	
Reflexion von ähnlichen Erfahrungen	Herstellen von Alltagsbezügen	**32-45**
	Die LK fasst zusammen • Es ist möglich, mit dem Körper Objekte zu messen und das ist ziemlich erstaunlich. • Wir haben festgestellt, dass das Messen allerdings recht unsicher sein kann, das ist etwas enttäuschend. Die LK fragt die SuS, wer weitere Methoden kennt, mit dem Körper Dinge auszumessen und als wie sicher oder unsicher sie diese Art der Messung empfinden. • Erwartung zur Methode der Messung mit dem Körper: Messen mit Daumen, Hand, Arm, Körpergröße; Maßeinheit foot aus dem Sport • Erwartung zur Sicherheit: unsicher, weil wir Menschen nicht alle gleich groß sind. Die LK fragt, wie man das Messen sicherer machen könnte, um genauere Ergebnisse zu bekommen. • Impuls: schaut euch eure Stichpunkte auf dem Arbeitsblatt „Messunsicherheiten“ an, könnte man auf bestimmte Dinge Einfluss nehmen und sie abändern? Die LK fragt, welche Auswirkung eine mögliche Verbesserung auf das Messergebnis haben könnte. • → Der Mittelwert wird sich nicht wesentlich verändern. • → Das Unsicherheitsintervall um den Mittelwert wird vermutlich kleiner ausfallen.	**Konzept** Dimension 2 Ziel der Messung →Anpassung des Messprozesses (als Anknüpfung für Folgestunden)

6.2.3. Feedbackfragen und Post-Test

_ _**5. Stunde**		**[5.]**
	Ziel der fünften Stunde	**0-1**
	→ Fragen der SuS, Auswertung und Reflexion	
Fragen	Fragen der SuS an die LK	**1-15**
	Die LK fragt die SuS, ob sie Fragen zu dem Lernmodul haben.	
Auswertung und Reflexion	Fragen der LK an die SuS	**15-30**
	Zur Auswertung und Reflexion des Lernmoduls werden die SuS gebeten, einen Fragebogen mit wenigen offenen Fragen auszufüllen, die für die Auswertung des Moduls dienlich sind. Fragen zum Vorgehen • Was hat dir gut gefallen? • Was hat dir nicht gut gefallen? Fragen zu Wünschen • Wo würdest du dir Änderungen für das Modul wünschen? Wordcloud • Welche zwei Begriffe sind dir am prägnantesten aus den letzten vier Stunden im Kopf geblieben? Verständnisfrage • Was bedeutet es für dich, dass jede Messung eine Unsicherheit hat?	

6.2.4. Umgesetzte Dimensionen und Konzepte im Lernmodul

Das entwickelte Lernmodul enthält in der obigen Darstellung nur einen Teil der Dimensionen und Konzepte, die grundsätzlich im für die Primarstufe reduzierten Sachstrukturmodell nach Hellwig für durchführbar bzw. in vereinfachter Form durchführbar eingestuft wurden. Bereits im Rahmen der Planung des Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten wurde festgestellt, dass an die obige Modulplanung weiterführende Unterrichtsstunden mit aufbauenden Konzepten anknüpfen können, um das Verständnis zum Thema Messunsicherheiten, insbesondere auf den Vergleich mehrerer Messergebnisse, auszuweiten.

Im Folgenden werden vier Übersichtstabellen angefügt, aus denen hervorgeht, welche Dimensionen und welche Konzepte im obigen Lernmodul thematisiert wurden. Bei den rot umrandeten und fett markierten Konzepten und Subkonzepten handelt es sich um diejenigen Inhalte, die in obiger Modulplanung bereits umgesetzt wurden, was eine weitere Thematisierung im Folgeunterricht natürlich nicht ausschließt.

Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten		
Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen	
	Einflussgrößen	Rückwirkung der Messanordnung
		Umwelteinflüsse
		Unvollkommenheit der Messgeräte
	Mathematische Operationen	
	Faktor "Mensch"	
Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung	Systematische Messabweichungen
		Zufällige Messabweichungen
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit	

Abbildung 15: *umgesetzte Inhalte des reduzierten Sachstrukturmodells für die Primarstufe, Dimension 1*

In Bezug auf die erste Dimension zur grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten werden zu Beginn des Lernmoduls die Eigenschaften von Unsicherheiten beim Messprozess sowie eine leicht verständliche Definition mit Schwerpunkt auf die Begriffe des Messergebnisses, des Mittelwertes, der Unsicherheit und des Intervalls thematisiert. Am Ende des Lernmoduls werden hinzukommend Einflussgrößen als Ursache für die verschiedenen Ergebnisse im Schätzen und Daumensprung-Experiment angesprochen.

Bis auf die Thematisierung der Endlichkeit von Darstellungen, die durchaus in einer Weiterführung des Lernmoduls Anwendung finden könnte, werden alle für durchführbar eingestufte Konzepte und Subkonzepte im Rahmen des hiesigen Lernmoduls umgesetzt.

Einfluss auf das Messwesen		
Ziel der Messung	Unkenntnis des "wahren" Werts	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwerts für die Messunsicherheit
		Anpassung des Messprozesses
Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung	
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	

Abbildung 16: *umgesetzte Inhalte des reduzierten Sachstrukturmodells für die Primarstufe, Dimension 2*

In Bezug auf die zweite Dimension des Einflusses auf das Messwesen von Messunsicherheiten wird insbesondere die Dokumentation von Messergebnissen durchgeführt. Sie ist nicht Bestandteil explizit vermittelten Wissens, sondern Mittel zum Zweck zur Ermittlung der Mittelwerte der Messergebnisse, wobei die Dokumentation aller Messwerte lediglich gemeinsam im Plenum erfolgt und nur die ermittelten Mittelwerte und Unsicherheitsintervalle von den Schülerinnen und Schülern selbst notiert werden. Das Lernmodul schließt darüber hinaus nach vier Unterrichtsstunden mit dem Ausblick, dass die durchgeführten Messmethoden als unsicher eingestuft wurden und der Frage, wie eine solche Unsicherheit verringert werden könnte. Entsprechend wird mit den Schülerinnen und Schülern bereits hypothetisch über die Anpassung von Messprozessen gesprochen.

Da nicht auszuschließen ist, dass hiesiges entwickeltes Lernmodul den Schülerinnen und Schülern vermittelt, dass der Messwert, der zu messen versucht wird, nur aufgrund der unsicheren Methoden des Schätzens und Daumensprungs nicht ermittelt werden kann, ist es angemessen, im Rahmen einer Weiterführung des Lernmoduls insbesondere die Unkenntnis des Wertes, der zu messen versucht wurde explizit zu thematisieren, wodurch in jedem Messprozess nur eine Annäherung an eben jene Messgröße mit engerer oder weiterer Unsicherheit das Ziel einer Messung sein kann.

Erfassung von Messunsicherheiten			
Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung	Aufstellen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion Wdf	**Ermittlungsmethode A**	
		Ermittlungsmethode B	
	Analyse der Wdf	Form der Wdf	
		Ermittlung des Erwartungswerts	
		Ermittlung der Standardmessunsicherheit	
	Freiheitsgrad		
Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten	Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz		
	Fortpflanzung der Messunsicherheit	Schrittweise Bestimmung der Gesamtunsicherheit	Verschiedene Unsicherheitskomponenten einer direkt gemessenen Größe
			Summen/ Differenzen gemessener Größen
			Produkte/ Quotienten gemessener Größen
			Summe/ Differenz aus Messwert und exakter Zahl
			Produkt/ Quotient aus Messwert und exakter Zahl
			Beliebige vom Messwert abhängige Funktion
		Ganzheitliche Bestimmung der Gesamtunsicherheit	
	Ermittlung der resultierenden Wdf		
	Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen		
	Freiheitsgrad eines Messergebnisses mit verschiedenen Unsicherheitskomponenten		
Erweiterte Messunsicherheit	Wahl des Erweiterungsfaktors bei angenommener Normalverteilung		
	Wahl des Erweiterungsfaktors bei anderen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (Wdf)		

Abbildung 17: *umgesetzte Inhalte des reduzierten Sachstrukturmodells für die Primarstufe, Dimension 3*

In Bezug auf die dritte Dimension wird im Rahmen des Lernmoduls nur die Ermittlungsmethode A als Berechnung des Mittelwertes und Bestimmung des Maximalabstandes thematisiert.

Auch wenn die Ermittlungsmethode B in vereinfachter Form ebenfalls zur Thematisierung in der Primarstufe als geeignet eingestuft wurde, so liegt auch in einer Weiterführung des Lernmoduls der Schwerpunkt bei einem Vergleich von Messergebnissen mit Mittelwert und Intervall, sodass möglicherweise auch in diesen Rahmungen die Ermittlungsmethode B eher eine untergeordnete Rolle spielen könnte.

Aussagekraft			
Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwerts		
	Grad des Vertrauens		
	Rückschlüsse auf die Messung		
Vergleich von Messwerten	Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert	Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen	
		Messrichtigkeit	
	Vergleiche innerhalb einer Messreihe	Messpräzision	Wiederholungspräzision
			Vergleichpräzision
		Anomalien bzw. "Ausreißer" in Messreihen	
Regression	Grafische Durchführung einer linearen Regression	Partielle Regression	
		"Ausreißer" bei der Regression	
	Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit		

***Abbildung 18:** umgesetzte Inhalte des reduzierten Sachstrukturmodells für die Primarstufe, Dimension 4*

Die vierte Dimension zur Aussagekraft von Messunsicherheiten wird im Rahmen des obigen Lernmoduls inhaltlich nicht thematisiert. Dieser Dimension wird aus hiesiger Einschätzung allerdings großes Potenzial für die Weiterführung des Lernmoduls zugeschrieben, als dass die vertiefende Auseinandersetzung mit der Thematik der Messunsicherheiten insbesondere auf den Vergleich von Messwerten zielen könnte. So scheint es besonders zielführend zu sein, mit den Schülerinnen und Schülern zu besprechen, welche vergleichenden Aussagen zu Messergebnissen mit Intervallen verschiedener Messreihen gemacht werden können. Auch die gesamte Thematik rund um Ausreißer ließe sich je nach ermittelter Werte der Schülerinnen und Schüler im Unterrichtskontext thematisieren und wurde in hiesigem Lernmodul aufgrund zeitlicher Gründe nicht erwähnt.

7. Auswertung des entwickelten Lernmoduls

Um das entwickelte Lernmodul evaluieren zu können, wurde gemeinsam mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Physikdidaktik der Humboldt-Universität zu Berlin ein Prä-Post-Test entwickelt, der sowohl vor als auch nach der Durchführung des Lernmoduls misst, welches Verständnis die Schülerinnen und Schüler über Messunsicherheiten vorweisen.

Um die Daten des Prä-Tests mit denen des Post-Tests vergleichen und trotzdem die Anonymität des Fragebogens gewährleisten zu können, wurden die Schülerinnen und Schüler gebeten, einen anonymen Code nach vorgegebenen Kriterien sowohl für den Prä-Test als auch für den Post-Test zu generieren.

Der Prä-Post-Test besteht aus einer Instruktion zu einem Sachverhalt, einer grafischen Darstellung von Messwerten in einem Diagramm sowie einer Fragestellung und daran anschließend drei Frageitems. Inhaltlich geht es in dem dargestellten Sachverhalt darum, dass zwei Gruppen sechsmal messen wie lange es dauert, einen Liter Wasser mit Hilfe eines Wasserkochers zum Kochen zu bringen. Die jeweiligen Messwerte beider Gruppen sind in dem Diagramm dargestellt. Darin befinden sich außerdem die jeweiligen Mittelwerte sowie eine grafische Darstellung des Unsicherheitsintervalls der Messreihen. Die Schülerinnen und Schüler werden sodann aufgefordert, herauszufinden, ob einer der beiden Wasserkocher das Wasser schneller zum Kochen bringt als der andere und ggf. welcher. Sie werden außerdem darauf hingewiesen, dafür die Daten aus dem Diagramm zu vergleichen.

Die Frageitems des Prä-Tests lauten

- Für den Vergleich der Daten habe ich:
- Ganz besonders habe ich dabei darauf geachtet, dass:
- Zum Schluss bin ich zu dem Ergebnis gekommen, dass:

Nach der Durchführung des Prä-Tests wurde festgestellt, dass einige Schülerinnen und Schüler Antworten auf die Frageitems gaben, die nicht auf das gewünschte Konstrukt hinzielten, weshalb eine leichte Anpassung der Fragen für den Post-Test vorgenommen wurde, wobei darauf geachtet wurde, inhaltlich immer noch das gewünschte Konstrukt zu behandeln.

Die Frageitems des Post-Tests lauten

- Benenne, welche Dinge du aus dem Diagramm zur Beantwortung der Frage vergleichen möchtest:
- Benenne, was du beim Vergleich dieser Dinge Auffälliges festgestellt hast:
- Deshalb komme ich bei dem Vergleich der beiden Wasserkocher zu folgendem Ergebnis:

7.1. Durchführung

Das Lernmodul inkl. Prä-Post-Testung konnte an einer brandenburgischen Grundschule im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts (NaWi) in einer 6. Klasse durchgeführt werden. Die Durchführung des Lernmoduls sowie der Fragebögen erfolgte durch die Verfasserin hiesiger Arbeit.

Anmerkung

Je im Anschluss an den Prä-Test und den Post-Test wurde ein weiteres Testitem der Didaktik der Physik der Humboldt- Universität zu Berlin durchgeführt, das auf die Präzision von Messunsicherheiten abzielte. Inhaltich ist dieses Testitem nicht Bestandteil hiesiger Auswertung und hatte auch keinerlei Einfluss auf die Beantwortung des hier thematisierten Prä-Post-Test.

7.1.1. Prä-Test

Der Prä-Test wurde vier Tage vor der Durchführung des Lernmoduls an einem Schultag des Schuljahres 2022/23 im Juni in der sechsten Unterrichtsstunde durchgeführt. An jenem Tag war es sehr warm und aufgrund der fortgeschrittenen Tageszeit äußerten einige Schülerinnen und Schüler ihre Müdigkeit, insbesondere auch aufgrund der ansteigenden Sommerwärme.

Da der Prä- Test für einige der Schülerinnen und Schüler der sechsen Klassenstufe recht textlastig erschien, wurde er für alle Schülerinnen und Schüler vorgelesen. Es wurden keinerlei inhaltliche Fragen beantwortet und es erfolgte auch keinerlei inhaltliche Instruktion zum Thema Messunsicherheiten vor dem Prä-Test.

Insgesamt haben 22 Kinder an dem Prä-Test teilgenommen. Für das Ausfüllen des Fragebogens erhielten die Schülerinnen und Schüler 10 Minuten Zeit, wobei einige sehr schnell und damit vor der Zeit fertig waren und einige wenige nach eigenen Angaben länger Zeit benötigt hätten.

Während des Ausfüllens des Prä-Tests äußerten einige Schülerinnen und Schüler, dass sie nicht verstehen würden, was sie machen sollten bzw., dass sie das Diagramm nicht verstünden. Daraufhin wurde in anderen Worten durch die Verfasserin hiesiger Arbeit der Sachverhalt erneut wiedergegeben und erläutert, dass die Schülerinnen und Schüler anhand des Diagramms bewerten sollen, ob die Wasserkocher gleich oder unterschiedlich schnell das Wasser zum Kochen bringen und in zweitem Fall, ob es möglich wäre zu beurteilen, welcher Wasserkocher schneller ist.

7.1.2. Lernmodul

Das entwickelte Lernmodul wurde vier Tage später im Juni durchgeführt. Auch an jenem Tag war es sehr warm und die Temperatur im Klassenzimmer stieg im Laufe des Tages merklich an. Zur Verfügung standen vier aufeinanderfolgende Unterrichtsstunden von der 3. bis zur 6. Stunde sowie eine fünfte Unterrichtsstunde in der 7. Stunde des gleichen Tages, die als Reserve vorgesehen wurde. Die erste Hälfte jener Reservestunde fand sodann auch zur Beendigung des entwickelten Lernmoduls Verwendung.

Am Tag der Durchführung des Lernmoduls waren 20 Kinder anwesend, wobei im Vergleich zum Prä-Test drei Kinder fehlten, jedoch ein Kind erstmals anwesend war.

Die ersten zwei geplanten Unterrichtsstunden des Lernmoduls konnten zeitlich sehr gut eingehalten werden. In den darauffolgenden zwei geplanten Unterrichtsstunden kam es zu einem kleinen zeitlichen Verzug, da es vermehrt Unstimmigkeiten zu klären gab bzw. mehr Hilfestellungen bei den Aufgaben gegeben werden mussten. Aus diesem Grund wurde auf die Reservestunde zurückgegriffen, sodass das Lernmodul dennoch innerhalb eines Tages durchgeführt werden konnte.

Zu Beginn des Lernmoduls war die Stimmung der Schülerinnen und Schüler freudig auf das Lernmodul, da sie bereits erfahren hatten, dass mehrere Experimente durchgeführt werden würden. Sie waren sehr gesprächig und insbesondere in den ersten zwei Unterrichtsstunden sehr mitteilungsbedürftig. Die zweite Hälfte des Lernmoduls wurde dagegen immer träger und die Schülerinnen und Schüler äußerten vermehrt ihre Unlust aufgrund der Dauer des Lernmoduls.

Die Berechnungen der Mittelwerte aller individuellen Werte der Schülerinnen und Schüler (Aufgabe Pfeil, Schätzen und Daumensprung) erfolgte nach einer inhaltlichen Klärung je gemeinsam mit der Klasse mit Hilfe einer Excel Tabelle, da das Hauptaugenmerk nicht auf der ausführenden mathematischen Kompetenz der Berechnung des Mittelwertes lag, sondern der Mittelwert als Mittel zum Zweck in Bezug auf die Konstruktion einer Unsicherheit galt. An dieser Stelle erfolgte für die Schülerinnen und Schüler der sechsten Klassenstufe eine Reduzierung der mathematischen Erfordernisse, gleichwohl wurde mit ihnen besprochen, was der Mittelwert ist und wie er berechnet wird.

Die Vorbereitung auf das Experiment des Daumensprungs in der dritten Lernmodulsstunde war weiterhin erwartungsvoll, jedoch kam es während der Durchführung des Daumensprung-Experiments zu Unzufriedenheiten, weil die Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten bei der Berechnung ihres individuellen Schrittmaßes hatten und folglich auch Schwierigkeiten bei der Berechnung der Gesamtentfernung zur Laterne auftraten. Zwei Kinder der Klasse notierten sich ihre Schrittentfernung zur Laterne nicht und konnten deshalb später auch nichts berechnen. Vermehrt mussten einzelne Rechnungen mit den Schülerinnen und Schülern gemeinsam berechnet werden, was sich insbesondere auf die Zeitplanung auswirkte. Die vierte geplante Lernmodulsstunde war geprägt von Äußerungen der Schülerinnen und Schüler, dass es anstrengend sei und teilweise dass sie keine Lust mehr hätten. Zu dieser Zeit galt es, die einzelnen Ergebnisse aus den Experimenten des Schätzens und des Daumensprungs vergleichend gegenüberzustellen. Einen Aufschwung in der Stimmung der Schulklasse gab es dann dennoch nochmal zum Thema der Gründe für Messunsicherheiten. Dieser Abschluss verlagerte sich aufgrund der zeitlichen Verzögerung in die fünfte Lernmodulsstunde, die als Reserve geplant war. Die Schülerinnen und Schüler zeigten größeres Interesse, meldeten sich wieder mehr, machten mehr mit. Sie zeigten Engagement darin, ihre Erfahrung in Bezug auf mögliche Gründe zu Messunsicherheiten zu äußern und auch mögliche Verbesserungen für ein Messergebnis mit kleinerer Unsicherheit zu überlegen.

7.1.3. Post-Test

Der Post-Test wurde direkt im Anschluss an das Lernmodul in der noch verbliebenden Zeit der Reservestunde durchgeführt. Den Post-Test füllten somit die 20 an diesem Tag anwesenden Schülerinnen und Schüler aus. Da an jenem Tag ein Kind anwesend war, das den Prä-Test nicht mitgeschrieben hatte, wurde der Post-Test inkl. der nun leicht veränderten Item-Fragen erneut für alle Schülerinnen und Schüler vorgelesen. Alle Schülerinnen und Schüler erhielten erneut 10 Minuten Zeit für das Ausfüllen des Fragebogens, wobei erneut einige wenige angaben, mehr Zeit zu benötigen.

Während des Post-Tests gab es keine inhaltlichen Nachfragen und es gab auch keine Äußerungen dazu, nicht zu wissen, was zu tun sei.

7.1.4. Offener Fragebogen

Der aus fünf Fragen bestehende offene Fragebogen wurde am Folgetag der Durchführung des Lernmoduls durchgeführt. Insgesamt waren 19 Schülerinnen und Schüler anwesend, die gebeten wurden, zu den jeweiligen Fragen Stellung zu nehmen.

7.2. Ergebnisse

Zunächst wurden die Antworten der Schülerinnen und Schüler des Prä-Post-Tests ausgewertet. Hierfür wurden die Antworten der jeweiligen anonymen Codes der Schülerinnen und Schüler qualitativ für die Kodierung nach dem Kodierungsmanual nach Kok bewertet und in einer Excel-Tabelle gesammelt. Auf dieser Basis erfolgte eine quantitative Auswertung aller vorhandenen Antworten. Die jeweiligen individuellen Antworten entsprechend der Schüler-Codes sind den Anlagen E und F zu entnehmen.

7.2.1. <u>Prä-Test</u>

Pre	Basierend auf		Durch Vergleich								Mit... als Entscheidungskriterium					
	nein	ja	unklar	Einzelmessung	Unsicherheiten	Paare	Mittelwert	Abweichungen	Sätze	Unsicherheits-intervall	unklar	Duplikate	größer/kleiner	zählen	"Nähe"	Überlappung
	no	yes	unclear	single measurement	uncertainties	pairs	mean value	deviations	sets	uncertainty interval	unclear	duplicates	larger/smaller	counts	"Closeness"	Overlap
	da.no	da.yes	co.unc	co.sin	co.cer	co.pai	co.mea	co.dev	co.set	co.int	cr.unc	cr.dup	cr.lar	cr.cts	cr.clo	cr.ove
6A6C		x			x						x					
6A51	leer															
13i3A	leer															
19NOt		x					x				x					
6A2I	leer															
10a4n		x				x					x					
4E8A		x		x									x			
5b5E		x			x								x			
7a4u		x	x								x					
7E9O		x	x										x			
3A4e		x		x									x			
6A6O		x					x						x			
4I3E		x	x										x			
5r3a	leer															
7ü1i		x		x									x			
4TgI		x					x						x			
4E4b		x		x									x			
4N2M		x				x					x					
6A4O		x			x						x					
6e7e	x															
6T6T		x				x					x					
5A7A		x							x				x			
Gesamt	**1**	**17**	**3**	**4**	**3**	**3**	**3**	**0**	**1**	**0**	**7**	**0**	**10**	**0**	**0**	**0**

Abbildung 19: *Ergebnisse des Prä-Tests nach qualitativer Kodierung der Antworten*

Die Auswertung der Antworten des Prä-Tests ergab zunächst, dass vier der 22 Fragebögen von einer Auswertung ausgeschlossen werden mussten, weil sie entweder nicht ausgefüllt wurden oder die Antworten wiederholt lauteten ‚ich weiß nicht' bzw. ‚ich habe keine Ahnung' (Abbildung 19: markiert als ‚leer').

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass 17 der verbliebenden 18 Schülerinnen und Schüler ihre Antworten auf die Verwendung von Daten stützen. Nur ein Kind beantwortete die Fragen des Fragebogens nicht auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten (Abbildung 19: ‚Basierend auf').

Die Kodierung dessen, was die Schülerinnen und Schüler verglichen (Vergleichskodierung) sowie die Kodierung dessen, wie sie ihre Entscheidung begründeten (Kriteriumskodierung), erfolgte im Weiteren also nur für die 17 Schülerinnen und Schüler, die ihre Antworten datenbasiert trafen.

<u>*Vergleichskodierung*</u>

Für diese 17 Schülerinnen und Schüler konnte die folgende quantitative Auflistung der Verteilung ihrer Antworten in Bezug auf die Vergleichskodierung, also was sie jeweils für ihre Begründung verglichen, ermittelt werden. (Abbildung 19: ‚Durch Vergleich'). Hierbei handelte es sich mit Bezug auf Kapitel 2.3.3. (Mixed Paradigma) auf die *Handlungsebene* des Point- und Set-Paradigmas.

- Für drei Begründungen war unklar, was die jeweilige Person verglich.

- Vier Begründungen basierten auf dem Vergleich von Einzelmessungen.
    - Die Antworten in dieser Kodierungskategorie beziehen sich alle auf einzelne Werte wie beispielsweise ‚<u>*das Kreuz*</u>' (7ü1i, 3A4e) bzw. ‚<u>*das grüne Kreuz*</u>' (4E4b), wobei in letzterem Beispiel irrelevant ist, dass es keine grünen Kreuze gab, da es nur eine grüne Endmarkierung des Unsicherheitsintervalls gab, die

hier ebenfalls gemeint gewesen sein könnte. Ausschlaggebend ist auch in dieser Antwort die Betrachtung eines Kreuzes. Eine weitere Antwort bezog sich darüber hinaus nur auf ‚*welches weiter oben ist*' (4E8A). Und auch wenn in dieser letzten Antwort nicht ersichtlich wird, was überhaupt betrachtet wird, wird irgendeine einzelne Sache von dieser Person für einen Vergleich herangezogen, weshalb ein Vergleich einer Einzelmessung angenommen werden kann.

- Drei Begründungen basierten auf dem Vergleich einer Unsicherheit.
  - Im Rahmen dieser Antworten wurde von den Personen entweder die *Unsicherheit als ein Wert berechnet* (6A6C, 6A4O) oder es wurde geäußert, zu schauen, *wie lang der grüne Balken insgesamt ist* (5b5E), was jeweils dieser Kodierung zugeordnet werden kann, weil die Unsicherheit als ein fester Wert betrachtet wird.

- Drei Begründungen basierten auf dem Vergleich von ausgewählten Paarwerten.
  - In allen Antworten äußern die Personen, *mehrere Werte* (10a4n, 6T6T) oder zusätzlich auch *mehrere Zahlen* (4N2M) zu vergleichen. Aufgrund des Vergleichs mehrerer Werte können diese Antworten zum Vergleich von Paarwerten kodiert werden.

- Drei Begründungen basierten auf dem Vergleich der Mittelwerte.
  - Zwei Antworten benannten explizit den Vergleich der *Mittelwerte* (4Tgl, 6A6O) und eine Antwort bezog sich auf den Vergleich der *roten Kreuze* (19NOt), bei denen es sich um die Mittelwerte handelt.

- Eine Begründung basierte auf dem Vergleich des Sets.
  - In dieser einen Antwort gab die Person an, sich ‚die grünen Balken, das rote Kreuz und die schwarzen Kreuze' anzusehen (5A7A), womit sie sich einen Überblick über das gesamte Set machte.

Kriteriumskodierung

Anschließend wurde für die 17 Schülerinnen und Schüler die folgende quantitative Auflistung der Verteilung ihrer Antworten in Bezug auf das Kriterium, das für ihre Entscheidung ausschlaggebend war, ermittelt (Abbildung 19: ‚Mit … als Entscheidungskriterium'). Hierbei handelt es sich mit Bezug zu Kapitel 2.3.3. (Mixes Paradigma) auf die *Begründungsebene* des Point- und Set- Paradigmas.

- In sieben Begründungen war unklar, was das entscheidende Kriterium der Begründung war.

- In zehn Begründungen war das entscheidende Kriterium der Begründung ein größer-kleiner Vergleich.
  - Alle Antworten gaben als Kriterium ihrer Entscheidungsfindung an, dass bestimmte Werte oder Daten ‚*schneller*' (4E8A, 5b5E, 7a4u, 3A4e, 6A6O, 4I3E, 7ü1i, 4Tgl) bzw. ‚*langsamer*' (7E9O) waren, was in diesem Fall einem größer-kleiner-Vergleich entspricht. In einem Fall wurde explizit geäußert, dass ein von

der Person gemessener Wert <u>*höher*</u> ist als ein anderer (4E4b), was ebenfalls dem größer-kleiner-Vergleich entspricht.

Entsprechend dieser quantitativen Auflistung der qualitativ kodierten Antworten der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf die Vergleichs- und Kriteriumskodierung konnte das folgende Bubble-Diagramm erstellt werden, das eine dreifache Kombination aus Vergleichskodierung (x-Achse) und Kriteriumskodierung (y-Achse) sowie der Häufigkeit der Ausprägung (Größe der Bubbles) darstellt.

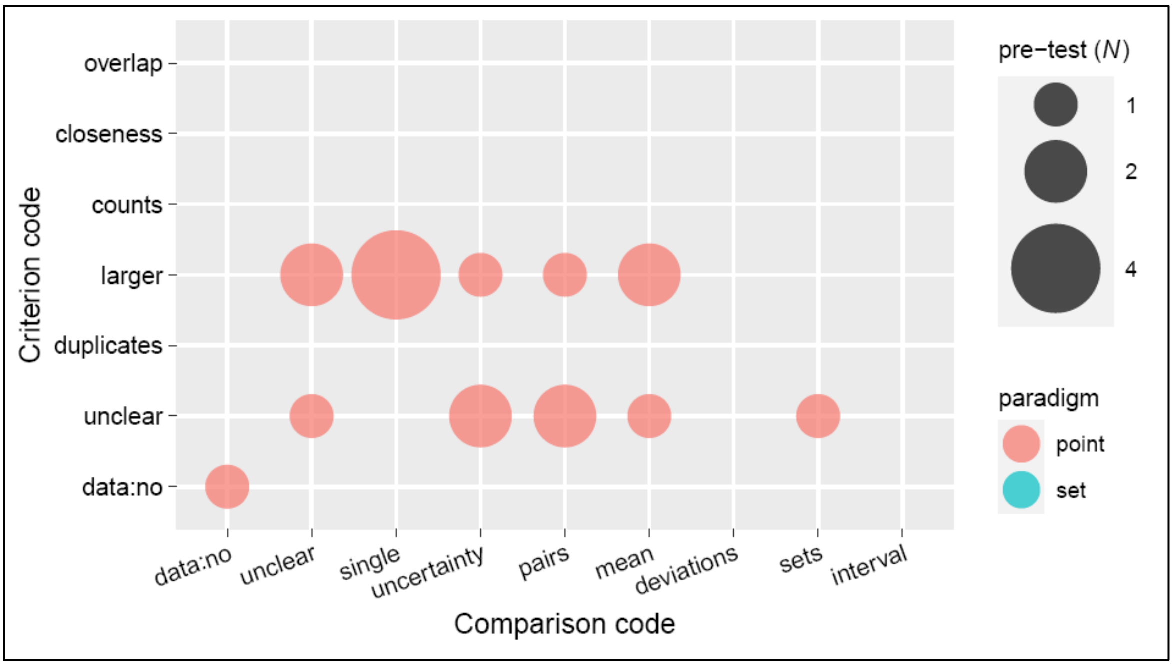


Abbildung 20: *Bubble-Diagramm des Prä-Tests*

In der jeweils ersten Ausprägung auf x- und y- Achse wird dargestellt, wie viel Personen ihre Antwort nicht auf Basis von Daten trafen. Alle weiteren Antworten basieren auf einem Datenbezug und werden entsprechend ihrer inhaltlichen Ausprägung im Rahmen der Vergleichskodierung (comparison code) als auch der Kriteriumskodierung (criterion code) qualitativ bewertet.

Wie bereits in der Darstellung der methodischen Auswertung unter 4.4. (Qualitative Datenauswertung mittels Kodierungsmanual nach Kok) dargestellt, wird zwar in Bezug auf die Vergleichskodierung ein Set-Paradigma ab einem Vergleich der Mittelwerte angenommen, in Bezug auf die Kriteriumskodierung muss allerdings eine Begründung auf Basis einer Überlappung verschiedener Wertebereiche vorliegen, um gleichfalls vom Verständnis des Set-Paradigmas ausgehen zu können. Aus diesem Grund handelt es sich auch nur bei den jeweils sich überschneidenden Kodierungen aus Mittelwert (mean), Abweichung (deviations), Set (sets) oder Unsicherheit (interval) (höchste vier Vergleichskodierungen) mit der Überlappung (overlap) (höchste Kriteriumskodierung) um ein Set-Paradigma. Ein solches wäre im Bubble-Diagramm farblich türkis in der obersten Ausprägung auf der y-Achse markiert und liegt hier nicht vor. Entsprechend haben die befragten Schülerinnen und Schüler zum Zeitpunkt des Prä-Tests alle ein Point-Paradigma in verschieden starken Ausprägungen.

7.2.2. Post-Test

Post	Basierend auf		Durch Vergleich								Mit... als Entscheidungskriterium					
	nein	ja	unklar	Einzelmessung	Unsicherheiten	Paare	Mittelwert	Abweichungen	Sätze	Unsicherheits-intervall	unklar	Duplikate	größer/kleiner	zählen	"Nähe"	Überlappung
	no	yes	unclear	single measurement	uncertainties	pairs	mean value	deviations	sets	uncertainty interval	unclear	duplicates	larger/smaller	counts	"Closeness"	Overlap
	da.no	da.yes	co.unc	co.sin	co.cer	co.pai	co.mea	co.dev	co.set	co.int	cr.unc	cr.dup	cr.lar	cr.cts	cr.clo	cr.ove
6A6C		x								x			x			
6A51		x								x			x			
13i3A		x					x				x					
19NOt		x					x						x			
6A2I		x	x								x					
10a4n		x							x				x			
4E8A		x	x										x			
5b5E		x							x				x			
7E9O		x							x						x	
3A4e		x					x						x			
4I3E		x								x			x			
5r3a		x		x									x			
7ü1i		x							x						x	
4Tgl		x								x			x			
4E4b		x							x				x			
4N2M		x								x			x			
6A4O		x					x				x					
6e7e	leer															
6T6T		x					x								x	
5o6e		x				x							x			
Gesamt	**0**	**19**	**2**	**1**	**0**	**1**	**5**	**0**	**5**	**5**	**3**	**0**	**13**	**0**	**3**	**0**

Abbildung 21: *Ergebnisse des Post-Tests nach qualitativer Kodierung der Antworten*

Die Auswertung der Antworten des Post-Tests ergab, dass einer der 20 Fragebögen von einer Auswertung ausgeschlossen werden musste, weil dieser nicht ausgefüllt wurde (Abbildung 21: markiert als ‚leer').

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass alle der verbliebenen 19 Schülerinnen und Schüler ihre Antworten auf die Verwendung von Daten stützten. Es gab im Post-Test demnach kein Kind mehr, dass seine Antworten nicht auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten beantwortete (Abbildung 21: ‚Basierend auf').

Für die weitere Kodierung dessen, was die Schülerinnen und Schüler verglichen (Vergleichskodierung) sowie die Kodierung dessen, wie sie ihre Entscheidung begründeten (Kriteriumskodierung) können also alle 19 Fragebögen verwendet werden.

Vergleichskodierung

Für die 19 Schülerinnen und Schüler konnte die folgende quantitative Auflistung der Verteilung ihrer Antworten in Bezug auf die Vergleichskodierung, also was sie jeweils für ihre Begründung vergleichen, ermittelt werden (Abbildung 21: ‚Durch Vergleich'). Hierbei handelt es sich, wie bereits im Prä-Test erwähnt, um die *Handlungsebene* des Point- und Set- Paradigmas.

- Für zwei Begründungen war unklar, was die jeweilige Person verglich.

- Eine Begründung basierte auf dem Vergleich einer Einzelmessung.
    - In diesem einen Fall gab die Person an, ‚die Kreuze' anzugucken, wobei ‚*das eine* höher' sei (5r3a). Zwar ließe sich aus der Antwort „die Kreuze anzugucken' eine Mehrheit ablesen, allerdings scheint sich die Entscheidung zur Beantwortung der Frage dieser Person dann lediglich auf ‚das eine' zu beziehen, weshalb hier ein Vergleich auf Basis einer Einzelmessung angenommen wurde.

- Eine Begründung basierte auf dem Vergleich von ausgewählten Paarwerten.

  - In diesem einen Fall gab die Person an, sich ‚*die Messwerte*‘ anzuschauen (5o6e). Die Antwort lässt genau wie im vorigen Beispiel eine Interpretation zu. Entgegen des vorigen Beispiels wird hier allerdings der Äußerung ‚die Messwerte‘ im Gegensatz zu ‚den Kreuzen‘ eine höherwertigere Qualität beigemessen und es gab in der Antwort keine weitere Einschränkung auf weniger als mehrere Messwerte, weshalb in diesem Fall ein Vergleich von Paarwerten angenommen wurde.

- Fünf Begründungen basierten auf dem Vergleich der Mittelwerte.
  - In vier der fünf Antworten wurde explizit geäußert, ‚*die Mittelwerte*‘ miteinander zu vergleichen (13i3A, 3A4e, 6A4O, 6T6T). In einer weiteren Antwort wurde geäußert, ‚*die roten Kreuze*‘ vergleichen zu wollen (19Not), wobei es sich ebenfalls um die Mittelwerte handelt.

- Fünf Begründungen basierten auf dem Vergleich des Sets.
  - Die Antworten, die dem Vergleich der ganzen Sets zugeordnet wurden, betrachten alle mehr als nur ein Merkmal der Datensätze. So werden *Messwerte und der grüne Stich betrachtet* (5b5E) bzw. *der Mittelwert und das Intervall* (7ü7i), allerdings wird insbesondere auf das Unsicherheitsintervall kein weiterer Bezug genommen, weshalb hier lediglich eine Kodierung für den Set-Vergleich vorgenommen wurde. Die weiteren Antworten erhalten eine Charakteristik eines Set-Vergleichs, weil sie davon sprechen, ‚dass die Messzeiten *immer weit auseinander* sind‘ (10a4n), ‚dass beide Wasserkocher *ca. gleich schnell* waren, nur die Mittelwerte nicht gleich sind‘ (7E9O) bzw. die Werte der einen Gruppe ‚*ziemlich weit auseinander*‘ und die der anderen Gruppe ‚*ziemlich eng zusammen*‘ sind (4E4b). Letztere Antworten weisen darauf hin, dass eine eindeutige Antwort bezogen auf konkrete Werte für die Schülerinnen und Schüler nicht mehr möglich ist, eben weil die Betrachtung des gesamten Sets keine konkreten Antworten mehr zulässt und der Blick der Schülerinnen und Schüler bereits auf das gesamte Set ausgerichtet ist.

- Fünf Antworten basierten auf dem Vergleich des Unsicherheitsintervalls.
  - Die Antworten benennen alle den Vergleich des *Intervalls* und nehmen dazu zusätzlich Bezug auf den *Mittelwert* (6A6C, 4Tgl, 4N2M) oder gehen weiter auf das Unsicherheitsintervall ein, indem beispielsweise geäußert wird, dass das Intervall der einen Gruppe vor dem der anderen Gruppe beginnt (6A51) bzw. das Intervall der einen Gruppe kürzer ist als das der anderen Gruppe (4I3E).

Kriteriumskodierung

Anschließend wurde für die 19 Schülerinnen und Schüler die folgende quantitative Auflistung der Verteilung ihrer Antworten in Bezug auf das Kriterium, das für ihre Entscheidung ausschlaggebend war, ermittelt (Abbildung 21: ‚Mit … als Entscheidungskriterium‘). Hiermit ist erneut auf die *Begründungsebene* des Point- und Set-Paradigmas angesprochen.

- In drei Begründungen war unklar, was das entscheidende Kriterium der Begründung war.

- In 13 Begründungen war das entscheidende Kriterium der Begründung ein größer-kleiner Vergleich.
    - Die diversen Antworten thematisieren , dass ein Intervall ‚<u>*größer*</u>' (6A6C) bzw. ‚<u>*kleiner*</u>' (5b5E) ist, <u>*früher beginnt*</u> (6A51) oder ‚<u>*kürzer*</u>' (4I3E) ist. Oder es wird geäußert, dass ein Kreuz ‚<u>*höher*</u>' (5r3a) ist bzw. der Mittelwert ‚<u>*weiter unten*</u>' (3A4e) ist. Die weiteren Antworten thematisieren die <u>*Schnelligkeit*</u> des Wasserkochers (10a4n, 4Tgl, 5o6e) bzw. die Lage ‚der Gruppe' als <u>*weiter oben*</u> bzw. <u>*unten*</u> (19NOt, 4E8A, 4E4b, 4N2M). Alle Antworten sind vergleichbar mit einer Begründung auf Basis eines größer-kleiner-Vergleichs und werden daher entsprechend subsumiert.

- In drei Begründungen war das entscheidende Kriterium der Begründung ein Vergleich der Nähe bestimmter Werte zueinander.
    - In einer Antwort wird das Kriterium derart beschrieben, dass die beiden Wasserkocher ‚<u>*ca. gleich*</u> schnell sind' (7E9O), was aus hiesiger Sicht derart Interpretiert wird, dass sie eben nicht gleich schnell, aber nah beieinander sind, also eine Nähe bestimmter Werte zueinander erkannt bzw. angenommen wird. Eine weitere Antwort äußert explizit, dass ein Mittelwert ‚<u>*näher am*</u> unteren grünen Strich' sei (7ü1i). Und die letzte Antwort thematisiert, <u>*wie weit die Mittelwerte ‚auseinander*</u>' liegen (6T6T), was auch die Nähe verschiedener Werte zueinander beschreibt.

Entsprechend dieser quantitativen Auflistung der qualitativ kodierten Antworten der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf die Vergleichs- und Kriteriumskodierung konnte das folgende Bubble-Diagramm erstellt werden.

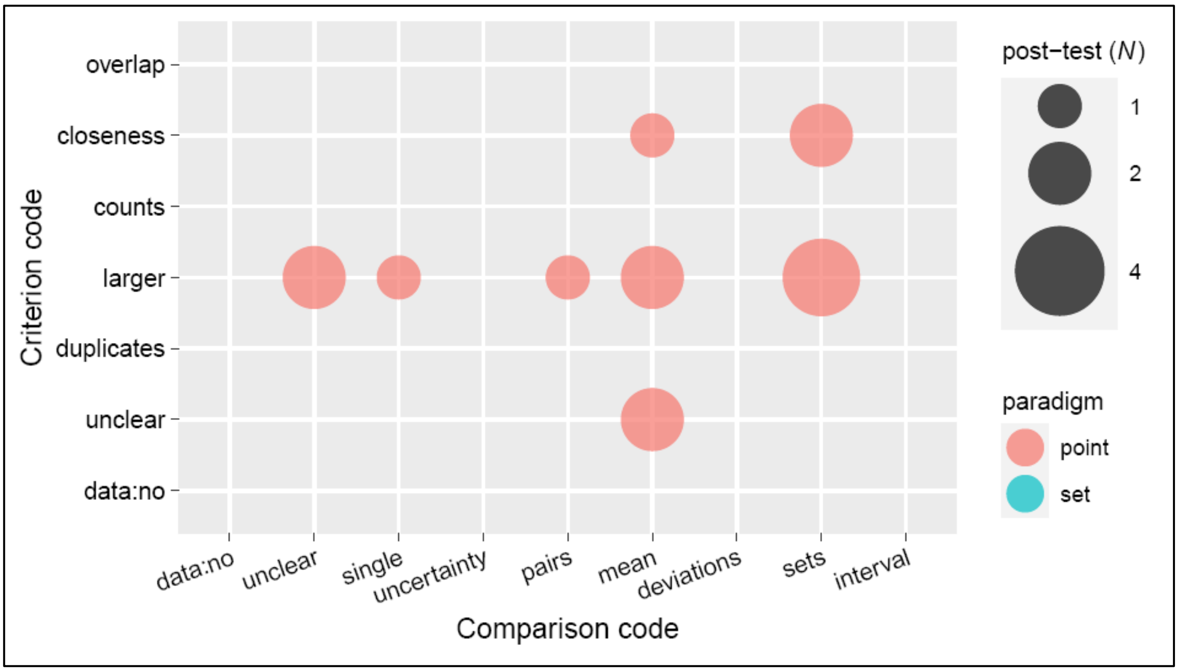


Abbildung 22: *Bubble-Diagramm des Post-Tests*

In diesem Bubble Diagramm des Post-Test ist zunächst ersichtlich, dass es keine Schülerinnen und Schüler mehr gab, die ihre Antworten ohne den Bezug auf Daten tätigten. Des Weitern ist auf einen Blick erneut ersichtlich, dass sich immer noch alle Antworten der Schülerinnen und Schüler dem Point-Paradigma zuordnen lassen, da keine Antwort die Überlappung verschiedener Wertebereiche (höchste Kriteriumskodierung) in Verbindung mit dem Mittelwert, der Abweichung, dem Set oder der Unsicherheit (höchsten vier Vergleichskodierungen) thematisiert.

7.2.3. Offener Fragebogen

Nach der qualitativ-quantitativen Auswertung des Prä-Post-Tests erfolgte die Auswertung des offenen Fragebogens mit seinen fünf Items. 19 offene Fragebögen wurden bewertet.

Dabei konnten in Bezug auf die Ausgestaltung des Lernmoduls (Fragen 1-3) folgende Feststellungen getroffen werden:

In Bezug auf die Frage, was den Schülerinnen und Schülern gut gefallen habe, gaben zehn Schülerinnen und Schüler an, dass es ihnen gefallen habe, draußen zu arbeiten. Im Rahmen des Lernmoduls verließen wir zwei mal den Klassenraum als auch das Schulgebäude, um Messungen auf dem Schulhof vorzunehmen, was demnach auf besonders großen Anklang traf. Darüber hinaus wurde drei mal geäußert, dass den Schülerinnen und Schülern das praktische Arbeiten gefallen habe. Genauso oft wurde angegeben, dass die Schätzaufgabe großen Spaß gemacht habe. In Bezug auf die Frage, was den Schülerinnen und Schülern nicht gefallen habe, gaben dagegen fünf Schülerinnen und Schüler an, dass ihnen das Rechnen nicht so viel Spaß gemacht habe, drei Kinder gaben an, dass es zu schwer bzw. kompliziert gewesen sei. Genauso viele Kinder gaben an, dass es ihnen zu lange gegangen sei und zwei Schülerinnen und Schüler konstatierten, dass es zu viele Arbeitsblätter gegeben habe. In Bezug auf gewünschte Änderungsvorschläge gaben fünf Schülerinnen und Schüler daher an, dass das Lernmodul einfacher und verständlicher gestaltet und weniger erklärt werden solle. Außerdem wurde vier mal gewünscht, längere Pausen bzw. nicht so viel an einem Tag zu machen. Drei weitere Schülerinnen und Schüler wünschten sich, noch mehr raus gehen zu können.

Mit der vierten Frage wurde beabsichtigt, eine Wordcloud über diejenigen Begriffe zu erstellen, die den Schülerinnen und Schülern am prägnantesten aus dem Lernmodul geblieben waren. Insgesamt wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, nur zwei Begriffe zu notieren, was dazu führte, dass zwei Antworten nicht gewertet wurden, da diese zwei Kinder mehr als zwei Begriffe notierten. In absteigender Häufigkeit wurden sodann die Begriffe Daumensprung (7) und Unsicherheit (7) am häufigsten genannt, es folgten die Begriffe Mittelwert (6), Intervall (4) und Messeinheiten (2). Alle weiteren Begriffe wurden lediglich einmal genannt.

Die letzte Frage wurde qualitativ als ein weiterer Indikator für das Verständnis der Schülerinnen und Schüler über Messunsicherheiten ausgewertet. Die Schülerinnen und Schüler sollten Stellung dazu nehmen, was es für sie bedeute, dass jede Messung eine Unsicherheit hat. Ihre jeweiligen Antworten wurden dann in das Point- bzw. Set-Paradigma einsortiert. Entsprechend der Ausführungen unter 2.3. (Verständnis von Messunsicherheiten) und der teilweise nicht eindeutig formulierten Ansichten wurde in dieser Bewertung auch ein Mixed-Paradigma, das sich zwischen dem Point- und Set-Paradigma befindet, konstruiert.

	Was bedeutet es für dich, dass jede Messung eine Unsicherheit hat	unklar	Point	Mix	Set
1	x				
2	Dass es nicht richtig oder falsch ist				x
3	x				
4	Verwirrung				
5	Es gibt für die zwei Arten von Messungen die wir gestern hatten ganz verschiedene Antworten geben kann (Abweichung)		x		
6	x				
7	Alle Aufgaben haben eine Unsicherheit, weil man nicht alles auf den Mikrometer genau messen kann			x	
8	Das man nicht immer alles perfekt macht		x		
9	Man ist sich nicht immer über das Ergebnis sicher	x			
10	Eine Unsicherheit sind zwei Zahlen wo in dem Bereich das Ergebnis ist				x
11	Jede Messung ist richtig			x	
12	Ist halt blöd				
13	Dass man nie 100% sicher sein kann			x	
14	Dass ich nie sicher sein kann, ob etwas richtig oder falsch ist			x	
15	Dass in dem Intervall halt eine Unsicherheit ist	x			
16	Dass nicht jede Messung genau ist		x		
17	x				
18	Es ist normal, dass nicht alle ein gleiches Ergebnis haben. Denn jeder rechnet es auf seine Art aus				x
19	x				
	SUMME	2	3	4	3

Abbildung 23: *Ergebnis der letzten Frage des offenen Fragebogens nach qualitativer Kodierung der Antworten*

Fünf der 19 Fragebögen wiesen bei dieser Frage keine Antwort aus, eine Antwort wurde mit dem Inhalt ‚Ist halt blöd' und eine weitere wurde mit dem Inhalt ‚Verwirrung' ebenfalls aussortiert und nicht weiter bewertet (die entsprechenden Antworten wurden in der Tabelle grau markiert). Nach hiesiger Einschätzung wurden zwei Antworten als unklar bewertet, drei Antworten wurden dem Point-Paradigma zugeordnet, vier Antworten dem Mixed-Paradigma und drei Antworten dem Set- Paradigma.

Beispielhaft wird zu einigen Antworten hier eine Bewertung gegeben.

- Die Antwort ‚*Dass nicht jede Messung genau ist*' (Nr. 16) wurde nach hiesiger Einschätzung dem Point- Paradigma zugeordnet, da die Aussage impliziert, dass es durchaus die eine Messung geben könnte, die genau ist, die also genau das ‚*richtige*' Ergebnis liefert. Diese Antwort wurde derart interpretiert, dass die Person davon ausgehe, eine Messung durchaus ‚*genau*', ‚*richtig*' bzw. ‚*korrekt*' angeben zu können und die einzelnen Messungen unabhängig von anderen Messungen ist.
- Die Antwort ‚*Alle Aufgaben haben eine Unsicherheit, weil man nicht alles auf den Mikrometer genau messen kann*' (Nr. 7) wurde nach hiesiger Einschätzung dem Mixed-Parameter zugeordnet. Die Teilaussage, dass etwas nicht genau gemessen werden ‚*kann*' impliziert die natürlich gegebene Unfähigkeit einen einzigen, ‚wahren' Wert einer Messung zu bestimmen. Die Teilaussage, dass ‚*nicht alles*' genau gemessen werden kann impliziert wiederum, dass es durchaus doch bestimmte einzelne Messungen geben könnte, die eben doch genau gemessen werden könnten. Dieser Aussage der Person ist daher so interessant, weil sie sich scheinbar vom Point-Paradigma trennen möchte und auch auf dem richtigen Weg scheint, sich jedoch noch nicht gänzlich von der natürlich gegebenen Unfähigkeit, etwas genau bestimmen zu können, trennen kann.
- Die Antwort ‚*Es ist normal, dass nicht alle ein gleiches Ergebnis haben. Denn jeder rechnet es auf seine Art aus*' (Nr. 18) wurde nach hiesiger Einschätzung dem Set-Paradigma zugeordnet. Der erste Satz impliziert die Unterschiedlichkeit von Ergebnissen ohne zu bewerten, ob darunter ein einziges richtiges Ergebnis existiert, weshalb angenommen wird, dass eine solche Existenz auch nicht unterstellt wird, insbesondere da die unterschiedlichen Ergebnisse verschiedener Personen als ‚*normal*' bewertet

werden. Der zweite Satz ist unklar und lässt sich nicht auf das Point- bzw. Set-Paradigma beziehen.

8. Diskussion der Ergebnisse

In der Folge der vorangegangenen Kapitel ist es mit Blick auf die gestellte Forschungsfrage von entscheidendem Interesse, zu evaluieren, wie sich Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten thematisieren lassen.

Im Rahmen hiesiger Arbeit wurde daher ein Lernmodul zum Thema Messunsicherheiten für die Primarstufe entwickelt, um zu evaluieren, ob auf diese Art und Weise den Anforderungen an das Thema Messunsicherheiten genüge getan werden kann. Dabei bildet die Fachdisziplin mit ihren Anforderungen, u.a. einer international zu etablierenden Einheitlichkeit, den äußeren Rahmen (siehe 2.1. Was sind Messunsicherheiten) und die alltäglich sowie schulisch gesehene Notwendigkeit zu Messunsicherheiten (siehe 2.2. Relevanz von Messunsicherheiten) die Legitimation der Thematik. Inhaltlich orientierte sich die Entwicklung des Lernmoduls stark am Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012), das entsprechend für die Verwendung in der Primarstufe reduziert wurde (siehe 2.5. Sachstrukturmodell von Messunsicherheiten nach Hellwig und 5. Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe). Um aber bewerten zu können, ob das Lernmodul inhaltlich auch die entsprechenden Anforderungen an das auszubildende Verständnis erfüllt, ist insbesondere die Entwicklung des zugrundeliegenden Verständnisses von Messunsicherheiten mit Rückgriff auf die Paradigmen Point und Set zu bewerten (siehe 2.3. Relevanz von Messunsicherheiten).

Aus diesem Grund werden die beiden durchgeführten Testungen des Prä- und Post-Tests gegenübergestellt, da auf diese Weise eine Entwicklung des Verständnisses bewertet werden kann.

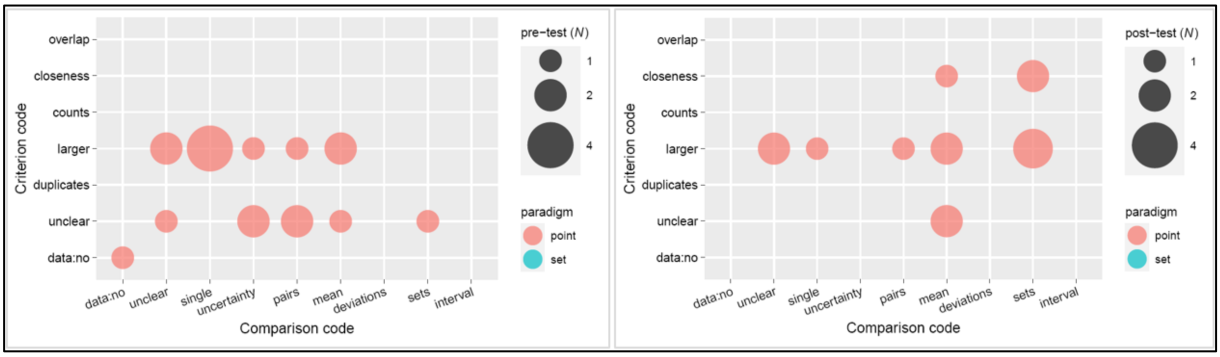


Abbildung 24: *Vergleichende Gegenüberstellung der Bubble-Diagramme aus Prä- und Post-Test*

Bereits die direkte Gegenüberstellung der beiden Bubble-Diagramme aus Prä- und Post-Test zeigen, dass sich die Gesamtheit an Antworten der Schülerinnen und Schüler sowohl in Richtung einer qualitativ höherwertigeren Vergleichskodierung (nach rechts im Bubble Diagramm), als auch in Richtung einer qualitativ höherwertigeren Kriteriumskodierung (nach oben im Bubble Diagramm) entwickeln konnte. Es zeigt sich also eine qualitativ höherwertigere Entwicklung auf der Handlungs- und Begründungsebene im Rahmen des Point- und Set-Paradigmas. Und gleichwohl der als nicht signifikant zu bewertenden Anzahl an Schülerinnen und Schüler, die den Prä-Post-Test als auch das Lernmodul bewältigten, kann ein Anstieg im Verständnis zum Thema Messunsicherheiten auf dieser Datengrundlage angenommen werden.

Die Verschiebungen hin zu einer qualitativ höherwertigeren Vergleichskodierung (Comparison code) sowie einer höherwertigeren Kriteriumskodierung (Criterion code), lassen sich auch anhand der folgenden Diagramme jeweils separat betrachten:

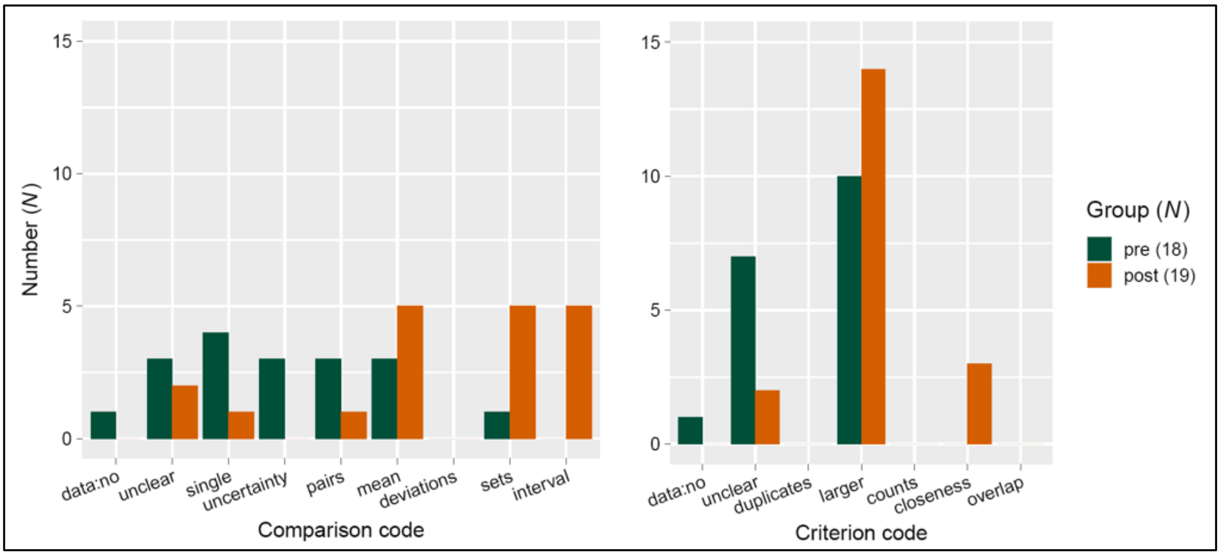


Abbildung 25: *Balkendiagramm zur Vergleichskodierung und Kriteriumskodierung aus dem Prä- und Post-Test*

Die dunkelgrünen Balken beider Diagramme weisen die quantitative Verteilung der qualitativ bewerteten Antworten der Schülerinnen und Schüler im Prä-Test aus. Die orangenen Balken beider Diagramme weisen die quantitative Verteilung der qualitativ bewerteten Antworten der Schülerinnen und Schüler im Post-Test aus. Dabei lässt sich sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Feststellung treffen:

Sowohl im Diagramm zur Vergleichskodierung (linkes Diagramm), das sich auf die Handlungsebene des Point- und Set-Paradigmas bezieht, als auch im Diagramm zur Kritierumskodierung (rechtes Diagramm), das sich auf die Begründungsebene des Point- und Set-Paradigmas bezieht, ist ersichtlich, dass sich die dunkelgrünen Balken eher links, also qualitativ geringwertiger, befinden und die orangenen Balken eher rechts, also qualitativ höherwertiger, befinden. Dies lässt die datenbasierte Annahme zu, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl in Bezug darauf, was sie verglichen, als auch darauf, wie sie ihre Entscheidung stützten, im Post-Test grundsätzlich qualitativ höherwertigere Antworten gaben.

Des Weiteren ist ersichtlich, dass die qualitativ geringwertigeren Antworten aus dem Prä-Test im Post-Test zunächst quantitativ abnahmen, bis sie ab einer bestimmten Antwortqualität quantitativ deutlich zunahmen. Dies lässt die datenbasierte Annahme zu, dass weniger Schülerinnen und Schüler qualitativ geringwertigere Antworten gaben, dagegen allerdings mehr Schülerinnen und Schüler ihr Verständnis in Bezug auf Messunsicherheiten hin zu einem qualitativ höherwertigen Verständnis ausbauen konnten.

Interessant ist die vergleichende Auswertung der Antworten aus dem Prä- und Post-Test dergleichen Schülerinnen und Schüler, die entsprechend der gleichen Codes im Prä- und Post-Test vorgenommen werden konnte.

Pre-Post	Basierend auf			Durch Vergleich									Mit… als Entscheidungskriterium						
	nein	ja		unklar	Einzelmessung	Unsicherheiten	Paare	Mittelwert	Abweichungen	Sätze	Unsicherheits-intervall		unklar	Duplikate	größer/kleiner	zählen	"Nähe"	Überlappung	
	no	yes		unclear	single measurement	uncertainties	pairs	mean value	deviations	sets	uncertainty interval		unclear	duplicates	larger/smaller	counts	"Closeness"	Overlap	
	da.no	da.yes		co.unc	co.sin	co.cer	co.pai	co.mea	co.dev	co.set	co.int		cr.unc	cr.dup	cr.lar	cr.cts	cr.clo	cr.ove	
6A6C		x o	↑			x					o	→	x		o				→
6A51	leer	o	→								o	→			o				→
13i3A	leer	o	→					o				→	o						→
19NOt		x o	↑					x o				↑	x		o				→
6A2I	leer	o	→	o								→	o						→
10a4n		x o	↑				x			o		→	x		o				→
4E8A		x o	↑	o	x							←			x o				↑
5b5E		x o	↑			x				o		→			x o				↑
7E9O		x o	↑	x						o		→			x		o		→
3A4e		x o	↑		x			o				→			x o				↑
4I3E		x o	↑	x							o	→			x o				↑
5r3a	leer	o	→		o							→			o				→
7ü1i		x o	↑		x					o		→			x		o		→
4Tgl		x o	↑					x			o	→			x o				↑
4E4b		x o	↑		x					o		→			x o				↑
4N2M		x o	↑				x				o	→	x		o				→
6A4O		x o	↑			x	o					→	x o						↑
6e7e	x o		↑									↑							↑
6T6T		x o	↑				x	o				→	x				o		→

Abbildung 26: *Zusammengefasste Ergebnisse aus dem Prä- und Post-Test entsprechend der jeweiligen qualitativen Kodierung der Antworten*

Um einen solchen Vergleich vornehmen zu können, wurde eine Tabelle erstellt, in der alle Codes der Schülerinnen und Schüler aufgelistet sind, die sowohl den Prä-Test als auch den Post-Test durchgeführt haben. Die drei Kinder, die nur am Prä-Test teilgenommen haben und das eine Kind, das nur am Post-Test teilgenommen hat, sind in dieser Tabelle nicht mit aufgelistet. Für die Daten aus dem Prä-Test wurde ‚x' vergeben, für die Daten aus dem Post-Test wurde ‚o' vergeben. Hinter den jeweiligen Kodierungskategorien ‚Basierend auf', ‚Durch Vergleich' und ‚Mit … als Entscheidungskriterium' wurde eine Spalte eingefügt, die einen Pfeil und eine Farbe ausweist. Dabei steht ein Pfeil nach rechts (grün markiert) für eine Entwicklung in Richtung einer qualitativ höherwertigeren Antwort. Ein Pfeil nach links (rot markiert) entspricht einer Entwicklung in Richtung einer qualitativ geringerwertigeren Antwort. Ein Pfeil nach oben (gelb markiert) entspricht eine qualitativ gleichbleibenden Antwort. Mit dieser Markierung der jeweiligen Antworten der Schülerinnen und Schüler lassen sich folgende Aussagen treffen:

Zunächst ist ersichtlich, dass die vier Schülerinnen und Schüler, die im Prä-Test keine zuordbare Antwort gaben (also gar nicht antworteten bzw. inhaltlich irrelevante Antworten gaben), im Post-Test sodann datenbasierte Antworten gaben. Nur ein Kind, das im Prä-Test nicht-datenbasierte Antworten gab, gab auch im Post-Test nicht-datenbasierte Antworten.

Deutlich interessanter in Bezug auf die Einschätzung der Entwicklung des Verständnisses von Messunsicherheiten von einem Point-Paradigma hin zu einem Set-Paradigma ist der Vergleich der Handlungsebene (in Bezug auf die Vergleichskodierung) als auch die Begründungsebene (in Bezug auf die Kriteriumskodierung). Auf der Handlungsebene ist ersichtlich, dass 16 von 19 Schülerinnen und Schüler im Post-Test qualitativ höherwertigere Antworten gaben, als noch im Prä-Test. Zwei Schülerinnen und Schüler gaben qualitativ gleichbleibende Antworten und nur ein Kind gab eine Antwort, die als qualitativ geringwertiger eingeschätzt wurde.

- Das Kind 5b5E gab im Prä-Test beispielsweise an, sich sowohl die Kreuze als auch den grünen Balken anzusehen, verglich dann allerdings nur zwei Einzelwerte miteinander, die es zu einer Entscheidung führen ließ. Im Post-Test dagegen verglich das Kind die Länge der Intervalle der zwei Wasserkocher und nahm sogar Bezug auf die Streuweite der einzelnen Messwerte. Dieses Beispiel zeigt eine qualitative Steigerung der Antwort in Bezug auf die Handlungsebene (Vergleichskodierung).

Auf der Begründungsebene ist ersichtlich, dass elf Schülerinnen und Schüler im Post-Test qualitativ höherwertigere Antworten gaben, als noch im Prä-Test. Acht Schülerinnen und

Schüler gaben qualitativ gleichbleibende Antworten und kein einziges Kind gab eine Antwort, die als qualitativ geringwertiger eingeschätzt wurde.

- Beispielsweise gab das Kind 19NOt im Prä-Test an, ‚die roten Kreuze' anzuschauen, es erfolgte allerdings keine Begründung für die Entscheidungsfindung. Im Post-Test gab das Kind dagegen an, immer noch ‚die roten Kreuze' anzuschauen, formulierte dazu allerdings, dass die Werte der einen Gruppe viel weiter unten lägen als die der anderen Gruppe. Dieses Beispiel zeigt eine qualitative Steigerung der Antwort in Bezug auf die Begründungsebene (Kriteriumskodierung).

Diese zusammenfassende Feststellung der überwiegenden Entwicklung der Antworten der Schülerinnen und Schüler hin zu einem qualitativ gehaltvolleren Verständnis von Messunsicherheiten zeigt sich sowohl in den Bubble-Diagrammen, den Balkendiagrammen und dem Vergleich der Einzelantworten der Schülerinnen und Schüler. Gleichwohl ist festzustellen, dass sich die Antworten der Schülerinnen und Schüler trotz ihrer Steigerung in der Qualität nicht eindeutig einem Set-Paradigma zuordnen lassen.

Anhand der letzten vergleichenden Tabelle der Einzelantworten wird ersichtlich, dass scheinbar leichter bzw. schneller ein qualitativer Aufbau auf der Handlungsebene erfolgte als ein qualitativer Aufbau auf der Begründungsebene. Es gab mehr Schülerinnen und Schüler, die auf der Handlungsebene (also jener Ebene, auf der sie entscheiden, was sie miteinander vergleichen) eine größere qualitative Verständnisentwicklung zeigten, als es Schülerinnen und Schüler gab, die auch auf der Begründungsebene (also jener Ebene, auf der sie begründen, warum sie sich für eine bestimmte Antwort entscheiden) eine größere qualitative Verständnisentwicklung gaben. Da nach Kok auf der Handlungsebene bereits ab einer Vergleichskodierung des Mittelwertes ein Set-Paradigma vorliegt, konnten einige Schülerinnen und Schüler auf der Handlungsebene sogar ein Verständnis im Rahmen des Set-Paradigmas vorweisen. Da auf der Begründungsebene allerdings erst ab einer Kriteriumskodierung der Begründung mittels Überlappung bzw. Nicht-Überlappung von Wertebereichen vorliegt, konnten keine Schülerinnen und Schüler hier das Verständnis auf das Set-Paradigma ausweiten. Mit Blick auf die Ausführungen unter 2.3.3. (Mixed Paradigma) konnten so, wie auch bereits in den Bubble-Diagrammen visuell dargestellt, keine Schülerinnen und Schüler insgesamt ein Verständnis nach dem Set-Paradigma entwickeln, da ein solches nur vorliegt, wenn sowohl auf der Handlungs- als auch auf der Begründungsebene ein Set-Paradigma entwickelt ist.

Es lässt sich also mit dieser Datenauswertung zum einen feststellen, dass das vorliegende Lernmodul tatsächlich eine qualitative Entwicklung des Verständnisses zu Messunsicherheiten auf Basis eines Point- und Set-Paradigmas aufzeigen konnte und damit als eine nunmehr evaluierte Möglichkeit dient, Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten zu thematisieren. Zum anderen lässt sich allerdings auch die Frage stellen, wie der Blick im Rahmen der Vermittlung von Messunsicherheiten vermehrt auf die Begründungsebene gelegt werden kann, damit ein vergleichbar positiver Anstieg im Verständnis festgestellt werden kann, wie es auf der Handlungsebene mit diesen hier vorliegenden Daten bereits festgestellt werden konnte.

9. Reflexion der Arbeit

Ziel hiesiger Arbeit war es, ein Lernmodul zu Messunsicherheiten für die Primarstufe zu entwickeln und daran zu bewerten, wie sich Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten thematisieren lassen.

Hierfür wurde der Stand der Forschung beleuchtet, um zunächst inhaltlich zu klären, was unter Messunsicherheiten zu verstehen ist und welche verschiedenen Ausprägungen es gibt, welche Relevanz Messunsicherheiten auf den verschiedenen gesellschaftlichen Ebenen von Alltag und Schule haben und welches grundsätzliche Verständnis von Messunsicherheiten es gibt. Dieses grundsätzliche Verständnis von Messunsicherheiten sollte Ausgangslage für eine auf eine bestimmte Lerngruppe entwickelte Lerneinheit sein, was in hiesigem Fall allerdings nicht erhoben wurde. Hintergrund ist, dass das hier entwickelte Lernmodul nicht spezifisch nur für eine Lerngruppe entwickelt wurde, sondern auch für zukünftige Unterrichtsdurchführungen dienen soll. Aus diesem Grund wurde die Annahme getroffen, dass keinerlei Vorwissen zu Messunsicherheiten besteht.

Um das Lernmodul inhaltlich zu gestalten, wurde das Sachstrukturmodell von Hellwig (2012), das sie für die Sekundarstufe I entwickelte, als Grundlage genutzt, da dieses Modell als validierter „Erwartungshorizont im Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I“ (Hellwig, 2012, S.190) angesehen wird. Die hier getroffene Reduzierung erfolgte allerdings unvalidiert auf Grundlage wissenschaftlich recherchierter Standards sowie der Vorgaben des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg und kann insofern keine Vollständigkeit und Umfänglichkeit generieren, da dies den Umfang hiesiger Arbeit überschritten hätte.

Die inhaltliche Strukturierung des Lernmoduls anhand der bereits existierenden Modelle zur Gestaltung von Physikunterricht nach Oser und Baeriswyl ist aus hiesiger Einschätzung angemessen, da das Thema Messunsicherheiten der Physik zugeordnet werden kann und insofern einem wissenschaftlich gesicherten Gestaltungsrahmen folgt. Gleichwohl könnte eine Strukturierung auch aufgrund anderer wissenschaftlich gesicherter Kenntnisse gestaltet werden oder eine andere Auswahl oder Reihenfolge der Basismodelle nach Oser und Baeriswyl getroffen werden, was der inhaltlichen Vermittlung möglicherweise in keinerlei nachstehen würde. Das hier entwickelte Lernmodul wird explizit als ein Angebot und eine Möglichkeit einer Gestaltung für die Primarstufe betrachtet. In diesem Zusammenhang ist daher auch die inhaltliche Gestaltung derart zu bewerten, dass es sich auch hier nur um ein Angebot handelt, das Thema Messunsicherheiten in der Primarstufe zu thematisieren. Hierbei bieten sich die Experimente des Schätzens und des Messens mittels Daumensprung für die Primarstufe besonders an. Das Schätzen hat einen besonders großen Bezug zur Alltagswelt und beim Daumensprung wird ohne spezifisch feststehendes Eichmaß mit Hilfe des eigenen Körpers gemessen, was insbesondere für Kinder eine Besonderheit darstellen kann. Dazu kommt, dass bei der Durchführung zweier Experimente, in denen Messreihen aufgenommen werden, auch Vergleiche dieser Messreihen vorgenommen werden können. Der Vergleich von Messwerten ist als ein Konstrukt der Dimension der Aussagekraft von Messunsicherheiten Bestandteil des Sachstrukturmodells und explizit in Bezug auf die Vermittlung eines Verständnisses zu Messunsicherheiten vorgesehen. Der Vergleich von Messreihen wurde im Rahmen hiesigen Lernmoduls nicht explizit thematisiert, könnte sich allerdings in Folgearbeiten bzw. folgenden Ausarbeitungen unmittelbar anschließen, da der Ausgang hiesigen Lernmoduls eine visualisierte Gegenüberstellung zweier Messreihen ist. Auch der Prä-Post-Test bezog sich auf den

Vergleich von Messreihen, da hier eben jenes Point- und Set- Verständnis besonders bewertet werden kann. Und trotz der bewussten Entscheidung auf das Auslassen des Vergleichs von Messwerten im Lernmodul war es den Schülerinnen und Schülern nachweislich möglich, ihr Verständnis auch auf den Umgang mit dem Vergleich zwischen Messreihen anzuwenden.

Der Prä-Post-Test konnte im Rahmen der Arbeit in Bezug auf das entwickelte Lernmodul getestet werden, was eine weitere Verwendung für sich anschließende Durchführungen ermöglicht. Insbesondere nach der Anpassung des Tests nach der ersten Durchführung konnte festgestellt werden, dass die Antworten der Schülerinnen und Schüler deutlich besser für die Kodierung des Kodierungsmanuals genutzt werden konnten. Gleichwohl muss an dieser Stelle konstatiert werden, dass die Durchführung eines Fragebogentests seine Grenzen hat. So wäre es an einigen Stellen wünschenswert gewesen, entsprechende Schülerinnen und Schüler zu bestimmten Formulierungen zu fragen und sie zu bitten, ihre Antworten zu erklären. Aus hiesiger Sicht hätte eine Interviewsituation die Kodierung der Antworten der Schülerinnen und Schüler möglicherweise vereinfacht und es hätte weniger Interpretationsspielraum gegeben. Gleichwohl ist eine Durchführung einer Fragebogenbefragung für große Gruppen an Teilnehmenden ausgelegt, weshalb eine Abwägung getroffen werden muss. In Bezug auf hiesige Arbeit und der Durchführung der Befragung mit 20-22 Kindern wäre eine qualitative Interviewbefragung zeitlich durchaus möglich und angemessen gewesen.

Die Verwendung des Kodierungsmanuals nach Kok ermöglichte eine sehr detaillierte Bewertung der Antworten der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf das Verständnis von Messunsicherheiten auf der Handlungs- und Bewertungsebene. Es konnte kleinschrittige Verständnisausprägungen darstellen und war ebenfalls geeignet einen Vergleich zwischen dem Prä- und dem Post-Test vorzunehmen.

Ebenso hilfreich für die Auswertung der Durchführung des Lernmoduls sind die ersten drei Fragen des offenen Fragebogens. Aus diesen geht hervor, dass die Durchführung von Experimenten außerhalb des Klassenraums unbedingt beibehalten werden sollte. Allerdings wird auch aus hiesiger Sicht angeregt, eine erneute Durchführung nicht am Stück, sondern auf verschiedene Tage zu splitten. Sowohl die Äußerungen der Schülerinnen und Schüler während des Lernmoduls mit fortschreitender Unterrichtszeit und -stunde als auch die Antworten aus dem offenen Fragebogen zeigten eine Abnahme an Konzentration und Ausdauer. So gaben viele Schülerinnen und Schüler an, dass sie das Lernmodul zu lang empfinden würden und auch schriftlich wurde vermehrt geäußert, nicht so viel an einem Tag bzw. ununterbrochen hintereinander durchzuführen. Möglicherweise ließe sich durch Aufteilung des Lernmoduls auf mehrere Tage auch die Einschätzung der Schülerinnen und Schüler, dass sie das Rechnen anstrengend fanden, verringern. Die Rechnungen, die von den Schülerinnen und Schülern vorgenommen werden mussten, waren nur im Zusammenhang mit der eigenen individuellen Schrittlänge und der zu ermittelnden Entfernung eines individuellen Standortes zu der Laterne zu erbringen und umfassten demnach einen geringen Umfang. Gleichwohl war die Unterrichtszeit bereits fortgeschritten und eine Unterbrechung hätte dem möglicherweise Abhilfe geschaffen.

Eher kritisch wird dagegen die letzte Frage des offenen Fragebogens gesehen (‚Was bedeutet es für dich, dass jede Messung eine Unsicherheit hat?‘), wobei die Kritik nur in Bezug auf die Auswertung vorliegt. Aufgrund einer fehlenden Vergleichsauswertung dieser Frage zu dem Zeitpunkt vor dem Lernmodul, lässt sich aus den Antworten der Schülerinnen und Schüler kaum etwas ziehen. Insbesondere da auch kein Rückschluss zu dem Prä-Post-Test und den anonymen Codes der Schülerinnen und Schüler möglich ist. Die Auswertung dieser letzten Frage könnte eine weitaus größere interessante Bewertung mit sich bringen, wenn ein Vergleich vorgenommen werden könnte. Gleichzeitig ist die formulierte Frage derart interessant für eine Auswertung, da sie ohne einen Bezug zu einer konkreten Situation oder konkreter Daten auf das Verständnis von Messunsicherheiten zielt. Möglicherweise könnte daher diese oder eine ähnlich lautende Formulierung in den Prä- und Post- Test aufgenommen werden, sodass dann ein Vergleich der Aussagen der Schülerinnen und Schüler möglich ist. Für die Beantwortung hiesiger Forschungsfrage und der Bewertung des entwickelten Lernmoduls ist die letzte Frage des offenen Fragebogens leider unbrauchbar und zeigt lediglich, dass es Schülerinnen und Schüler gibt, die scheinbar noch Vorstellungen zu Messunsicherheiten haben, die dem Point-Paradigma zugeordnet werden können, dass es gleichwohl aber auch Schülerinnen und Schüler gibt, die bereits auf dem Weg hin zu einem Set-Paradigma sind bzw. dieses möglicherweise in Bezug auf diese eine gestellte Frage schon vorweisen.

Die mit hiesiger Arbeit gewonnenen Ergebnisse zeigen einen qualitativen Anstieg des Verständnisses von Messunsicherheiten auf Handlungs- und Bewertungsebene (also in Bezug auf die Vergleichskodierung und die Kriteriumskodierung der Antworten der Schülerinnen und Schüler). Hervorgehoben werden muss allerdings die als nicht signifikant zu bewertende Anzahl an Schülerinnen und Schüler, die den Prä-Post-Test als auch das Lernmodul absolvierten. Nur auf Basis dieser nicht signifikanten Anzahl an Schülerinnen und Schüler lässt sich bewerten, dass das hier entwickelte und dargestellte Lernmodul seinen Zweck, der Vermittlung eines grundlegenden Verständnisses von Messunsicherheiten, erfüllen konnte und daher eine Möglichkeit darstellt, Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten zu thematisieren. Gleichwohl wird erkannt, dass eine Weiterführung des Lernmoduls unbedingt notwendig ist, um bei den Schülerinnen und Schülern nicht nur eine Verständnissteigerung im Rahmen des Point-Paradigmas zu entwickeln, sondern auch ein Set-Paradigma auszubilden.

10. Fazit

Hiesige Arbeit konnte aufzeigen, dass Messunsicherheiten nicht nur auf wissenschaftlicher Ebene eine große Relevanz besitzen, weil sie einen Hinweis auf die Qualität eines Messergebnisses geben, ohne welches dessen Zuverlässigkeit nicht beurteilt werden kann und ohne welches ein Vergleich zu anderen Messergebnissen nicht möglich ist, sondern auch für die alltägliche Bewertung von Daten unabdingbar ist. So ist ein Verständnis über die Bewertung von Messwerten notwendig, um ihnen eine Bedeutung beimessen zu können. Fehlt das entsprechende Verständnis, so ist eine adäquate Bewertung nicht möglich und jede Aussage somit unzuverlässig. Darüber hinaus besteht eine große Relevanz der Thematisierung von Messunsicherheiten in der Schule, da der naturwissenschaftliche Unterricht ein angemessenes Bild der Nature of Science vermitteln soll und außerdem ein klarer Lehrauftrag, sogar für die Primarstufe, besteht.

Es konnte herausgearbeitet werden, dass trotz des Lehrauftrags zur Thematisierung von Messunsicherheiten in der Primarstufe, diese eher randständig statt explizit behandelt werden (vgl. Glomski & Priemer, 2010; Hellwig, 2012; Kok & Priemer, 2020), weshalb sich hiesige Arbeit die Frage stellte, wie sich Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe im Rahmen von Experimenten thematisieren lassen.

Auf der Basis der Reduzierung des bestehenden Sachstrukturmodells zu Messunsicherheiten nach Hellwig für die Anforderungen der Primarstufe wurde daher ein vier Unterrichtsstunden umfassendes Lernmodul zum Thema Messunsicherheiten zur Durchführung in der Klassenstufe 5/6 entwickelt, das einen Verlaufsplan sowie Unterrichtsmaterial beinhaltet. Um das Lernmodul in Bezug auf seine Wirkung evaluieren zu können, wurde ein Prä- Post-Test sowie ein offener Fragebogen entwickelt.

Für die Bewertung der erhobenen Daten wurden die Antworten der Schülerinnen und Schüler nach dem Kodierungsmanual nach Kok zunächst qualitativ bewertet, um daraus sodann eine quantitative Verteilung zu generieren. Die Kodierung nach Kok bezieht sich dabei auf das Verständnis von Messunsicherheiten, das grundsätzlich die beiden Paradigmen Point und Set unterscheidet, jedoch kleinschrittige Abstufungen in den beiden Paradigmen enthält. Während das qualitativ geringwertigere Verständnis des Point- Paradigmas Messwerte unabhängig voneinander, also ‚punktförmig' betrachtet und annimmt, dass eine einmalige Messung ein ‚wahres' Ergebnis liefert, betrachtet das qualitativ höherwertige Verständnis des Set-Paradigmas alle Messwerte zusammen und versteht, dass auch das sorgfältigste Vorgehen im Messprozess eine Streuung der Daten nie auf Null reduzieren kann. Das Kodierungsmanual unterscheidet zudem in die zwei Ausprägungen der Handlungsebene und der Bewertungsebene, die unabhängig voneinander jeweils einem Verständnis nach dem Point- und Set-Paradigma unterliegen. Anhand der Auswertungsdiagramme ließ sich sodann eine Entwicklung vom Prä-Test zum Post-Test feststellen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl im Prä- als auch im Post-Test ein Verständnis nach dem Point- Paradigma haben, allerdings stieg die Qualität der Antworten der Schülerinnen und Schüler im Post-Test dennoch sowohl auf der Handlungsebene als auch auf der Bewertungsebene an. Das heißt, dass sich die Schülerinnen und Schüler in Bezug auf die gestellte Frage für ein qualitativ höherwertigeres Vergleichsinstrument (Handlungsebene) als auch eine höherwertigere Begründung (Bewertungsebene) entschieden. Es konnte zudem festgestellt werden, dass fast alle Schülerinnen und Schüler auch je individuell qualitativ höherwertigere Antworten auf beiden Ebenen machten, jedoch die qualitative Steigerung in Bezug auf die Handlungsebene größer war, als die qualitative Steigerung in Bezug auf die Bewertungsebene. Demnach schien das Lernmodul einen stärkeren positiven Einfluss auf die Entscheidung für eine bestimmte Handlung (in hiesigem Fragebogen der Entscheidung für einen Vergleich bestimmter Messdaten) als auf die Begründung für diese Entscheidung (in hiesigem Fragebogen der Begründung für den Vergleich) zu haben.

Auf Basis der Datenergebnisse lässt sich beurteilen, dass das entwickelte Lernmodul ein Angebot zur Thematisierung von Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe darstellt und ein Verständniswachstum in Bezug auf Messunsicherheiten festgestellt werden konnte, auch wenn kein Verständnis im Sinne des Set-Paradigmas generiert werden konnte. Gleichwohl muss klar festgestellt werden, dass die Evaluation des Lernmoduls nur auf Grundlage einer als nicht signifikant zu bewertenden Anzahl an Schülerinnen und Schüler erfolgte, eine Tendenz des Verständniswachstums in Bezug auf die untersuchte Gruppe jedoch nicht strittig ist.

11. Ausblick

Während der Bearbeitung hiesiger Arbeit traten an einigen Stellen Ideen und Überlegungen zu Tage, die in dieser Ausarbeitung nicht umgesetzt werden konnten, weil sie sowohl den zeitlichen Rahmen als auch den Umfang der Arbeit gesprengt hätten, allerdings im Rahmen eines Ausblicks Erwähnung finden sollen.

Die wohl größte Überlegung betrifft die Reduzierung des Sachstrukturmodells von Messunsicherheiten nach Hellwig (2012). Hellwig (2012) entwickelte ein validiertes Sachstrukturmodell von Messunsicherheiten für die Sekundarstufe I, was als Grundlage für die Reduzierung von Inhalten zum Thema Messunsicherheiten für die Primarstufe diente. Diese Reduzierung erfolgte nach wissenschaftlich recherchierten Standards und auf Basis des Rahmenlehrplans Berlin-Brandburg, kann aber keineswegs als validierter Erwartungshorizont für die inhaltliche Thematisierung von Messunsicherheiten für die Primarstufe angesehen werden. Daher böte es sich an, eine solche Validierung der Reduzierung des Sachstrukturmodells von Hellwig vorzunehmen, um auf dieser Basis gesichertes Unterrichts- und Lehrmaterial für die Primarstufe erstellen zu können.

Des Weiteren konnten im Rahmen hiesiger Arbeit nur vier Unterrichtsstunden umfänglich geplant und in einer Primarstufe durchgeführt werden, um auch den Auswertungsrahmen nicht zu sprengen. Gleichwohl bestand die Überlegung, auch das Konzept des ‚Vergleichs von Messwerten' der vierten Dimension des Sachstrukturmodells der ‚Aussagekraft von Messunsicherheiten' in zwei weiteren Folgestunden zu thematisieren. Hierfür war geplant, neben der Methode des Schätzens und der Methode des Daumensprungs die weitere Methode der Messung eines Objektes in einiger Entfernung mittels Försterdreieck anzuwenden. Das Försterdreieck bietet sich insbesondere deswegen für eine weitere Thematisierung des Lerngegenstandes an, da es im Gegensatz zum Daumensprung gewisse Standardisierungen vorweisen kann, wie einheitliche Katheten, anstelle einer individuellen Arm- und Daumenlänge. Gleichwohl kann nach der Durchführung des Lernmoduls in der 6. Klasse angemerkt werden, dass aus hiesiger Einschätzung durchaus mehr als zwei Folgestunden für die Thematisierung des Vergleichs angemessen wären, da die Informationsdichte der ersten vier Unterrichtsstunden schon sehr hoch war und ein steigender Unmut bei den Schülerinnen und Schülern festgestellt werden konnte. Insbesondere die Thematisierung einer weiteren grundsätzlich unbekannten Methode und das möglicherweise eigenständige Bauen eines Försterdreiecks könnte durchaus eine größere Zeit in Anspruch nehmen. Eine kurze Vorstellung der Methode der Messung eines Gegenstandes mittels Försterdreieck wird dem Anhang beigefügt (siehe Anlage H).

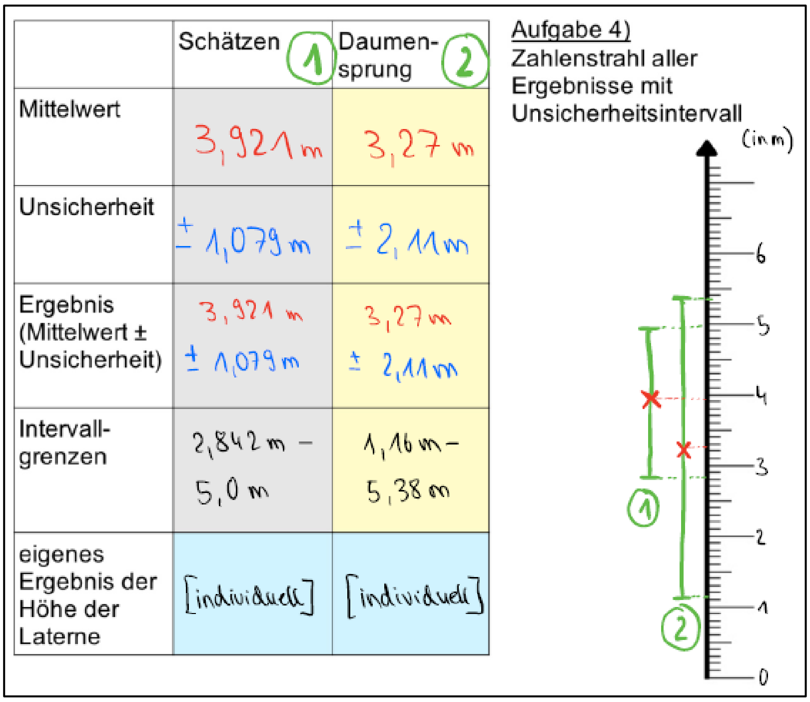
Darüber hinaus muss in Bezug auf die Aussagekraft der festgestellten Wirkung des Lernmoduls auf die Anzahl der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler hingewiesen werden. Am Prä-Test nahmen 22 und im Post-Test 20 Schülerinnen und Schüler teil, wobei jeweils nur 18 bzw. 19 Fragebögen auch für eine Auswertung verwendet werden konnten. Die Anzahl an Teilnehmenden ist daher nicht signifikant und kann höchstens als Tendenz der Aussagen gewertet werden. Für eine aussagekräftigere Wirkung des Lernmoduls wäre es daher erforderlich, eine größere Anzahl an Schülerinnen und Schüler befragen zu können und entsprechend auch eine größere Anzahl an Schülerinnen und Schüler mit dem Lernmodul zu beschulen.

Eine etwas weitere Überlegung betrifft eine ganz andere Rahmung, nämlich die Ausarbeitung eines Lernmoduls für die Klassenstufen eins bis vier, die im Rahmen hiesiger Arbeit herausfiel.

Da allerdings laut Rahmenlehrplan Berlin-Brandenburg auch in den Klassenstufen eins bis vier erste experimentelle Erfahrungen gesammelt werden sollen, ist implizit auch eine Auseinandersetzung mit der Thematik der Messunsicherheiten denkbar und durchaus sinnvoll. Ein solches Vorhaben würde eine noch deutlichere Reduzierung der zu vermittelnden Inhalte nach sich ziehen, könnte auf grundsätzlicher Ebene allerdings ebenfalls zielführend sein.

12. Schlusswort

Abschließend soll auf eine Aussage aus Abschnitt 6.1. (die Methode des Daumensprungs) Bezug genommen werden, in der es heißt, dass die Methode des Daumensprungs zur Bestimmung von Größen, Weiten oder Längen in der Umwelt genutzt werden kann, um genauere Ergebnisse zu erhalten, als einfach nur zu schätzen. Diese Aussage wurde dem Center of Outdoor Education entnommen und trifft vermutlich zunächst auf Anklang, da eine Messung intuitiv als genauer bewertet wird, als eine Schätzung. Mit Blick auf die Unterrichtsergebnisse des durchgeführten Lernmoduls kann allerdings angeführt werden, dass die Schülerinnen und Schüler der unterrichteten 6. Klasse im Rahmen hiesigen Lernmoduls zu einem anderen Ergebnis als das Center of Outdoor Education kamen (siehe Anlage B. Unterrichtsergebnisse, Arbeitsblatt Ergebnisse). Wenn unter einem ‚genaueren' Ergebnis ein solches mit einem kleineren Unsicherheitsintervall um den Mittelwert verstanden wird, so konnten die Schätzwerte der Schülerinnen und Schüler gegenüber den Werten des Daumensprungs das ‚genauere' Ergebnis liefern (siehe Unsicherheitsintervall 1 gegenüber Unsicherheitsintervall 2 in Aufgabe 4 am Zahlenstrahl).



	Schätzen 1	Daumensprung 2
Mittelwert	3,921 m	3,27 m
Unsicherheit	± 1,079 m	± 2,11 m
Ergebnis (Mittelwert ± Unsicherheit)	3,921 m ± 1,079 m	3,27 m ± 2,11 m
Intervallgrenzen	2,842 m – 5,0 m	1,16 m – 5,38 m
eigenes Ergebnis der Höhe der Laterne	[individuell]	[individuell]

Abbildung 27: Unterrichtsergebnis des Arbeitsblattes 'Ergebnisse'

Gleichwohl ist natürlich zu berücksichtigen, dass in hiesigem Lernmodul lediglich die Höhe einer Laterne geschätzt und mit dem Daumensprung gemessen wurde und eine Schätzung bzw. Messung mittels Daumensprungs eines deutlich höheren Objektes ein anderes Ergebnis liefern könnte. Dennoch ist die Aussage, dass das Schätzen grundsätzlich ungenauer als eine Messung ist, mit Vorsicht zu betrachten und nicht in jedem Fall korrekt.

Den Schluss hiesiger Arbeit bildet die Wordcloud, die im Rahmen der Wortsammlung der Schülerinnen und Schüler aus dem offenen Fragebogen erstellt werden konnte:

Abbildung 28: *Wordcloud zu Frage 4 des offenen Fragebogens*

I. Literatur

Buffler, A., Allie, S. & Lubben, F. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education, 23 (11), S.1137–1156. DOI: 10.1080/09500690110039567*

Center for Outdoor Education. Räumliche Orientierung. Daumensprungsmethode. Online verfügbar unter https://outdooredu.geo.uni-halle.de/sites/default/files/Methodenblatt_Daumensprung_0.pdf , zuletzt abgerufen am 01.05.23

Daumensprung. Arbeitsblätter Biologie des Ernst Klett Verlags, Stuttgart 2008. Online verfügbar unter https://asset.klett.de/assets/16eb9df1/Probeseite%25201%2520030105.pdf , zuletzt abgerufen am 01.05.23

Glomski, J., & Priemer, B. (2010). Modellierung eines adäquaten Umgangs mit Messunsicherheiten. PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung. Abgerufen von https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/141

Grimma, J. N. et al. (2017). *Lembacher Schweizer 8. Mathematik für Gymnasien*. Sachsen. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH

Gum − Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). (2008). Evaluation of measurement − guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008)

Heinicke, S. (2012). *Aus Fehlern Wird Man Klug: Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion des Messfehlers.* Berlin: Logos Verlag

Hellwig, J. (2012): *Messunsicherheiten verstehen. Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik.* [Doctoral Thesis, Ruhr-Universität] https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/files/1700/diss.pdf

Hellwig, J. & Heinicke, S. (2020). Messfehler – wann, warum und wie?. Unterrichtsansätze und Werkzeuge für die Sekundarstufe I zur Auseinandersetzung mit Mess"fehlern". *Unterricht Physik 177/178, S. 28-32*

Hellwig, J.; Schulz, J.; Priemer, B. (2017). Messunsicherheiten im Unterricht thematisieren. Ausgewählte Beispiele für die Praxis. *Praxis Der Naturwissenschaften – Physik in Der Schule 66(2), S. 16-22*

Helmerich, M. & Lengnink, K. (2016). *Einführung Mathematik Primarstufe – Geometrie*. Berlin und Heidelberg: Springer- Verlag

Holz, C. & Heinicke, S. (2019). Der Rest ist dann halt Messfehler- Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen. *Didaktik der Physik. Frühjahrstagung – Aachen 2019. S. 171-176*

Holz, C. & Heinicke, S. (2020). Tipps für Lehrkräfte. Der Umgang mit unsicheren Daten. *Unterricht Physik 177/178, S. 39-43*

KMK. Kultusministerkonferenz. Primarbereich. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/themen/allgemeinbildende-schulen/bildungswege-und-abschlu-esse/primarbereich.html#:~:text=Mit%20dem%20Beginn%20der%20Schul-pflicht,bis%20zur%20sechsten%20Jahrgangsstufe%20reicht. Zuletzt abgerufen am 10.04.23

KMK. Kultusministerkonferenz. Sekundarstufe I. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/themen/allgemeinbildende-schulen/bildungswege-und-abschlu-esse/sekundarstufe-i.html. Zuletzt abgerufen am 10.04.23

Kok, K. (2022). *Certain about uncertainty—What students need to know about measurement uncertainties to compare data sets.* [Doctoral Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Germany]. http://dx.doi.org/10.18452/24782

Kok, K., Boczianowski, F. & Priemer, B. (2020). Messdaten im Physikunterricht auswerten – wann sind Messunsicherheiten wichtig? *MNU Journal 73(4), S. 292-295*

Kok, K., & Priemer, B. (2020). Messunsicherheiten als Ausgangspunkt der Förderung im Umgang mit Daten. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (Vol. 46, pp. 880–883). Universität Duisburg-Essen. https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2020/TB2020_880_Kok.pdf

Kok, K. & Priemer, B. (2022). Messunsicherheiten quantifizieren: Welche Maße gibt es dafür? *Preprint MNU Journal*

Krabbe, H.; Zander, S. & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Materialien zur Lehrerfortbildung*. Münster, New York, NY: Waxmann (125). DOI: 10.25656/01:14031

Krauter, S. & Bescherer, C. (2013). *Erlebnis Elementargeometrie. Ein Arbeitsbuch zum selbstständigen und aktiven Entdecken*. 2. Auflage, Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag

LISUM. Landesinstitut für Schule und Medien Berlin- Brandenburg: Rahmenlehrplan. Teil C. Mathematik. Jahrgangsstufen 1-10. Herausgegeben von der Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie (Berlin) und dem Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Land Brandenburg

LISUM. Landesinstitut für Schule und Medien Berlin- Brandenburg: Rahmenlehrplan. Teil C. Naturwissenschaften. Jahrgangsstufen 5/6. Herausgegeben von der Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie (Berlin) und dem Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Land Brandenburg

LISUM. Landesinstitut für Schule und Medien Berlin- Brandenburg: Rahmenlehrplan. Teil C. Sachunterricht. Jahrgangsstufen 1-4. Herausgegeben von der Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie (Berlin) und dem Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Land Brandenburg

LWL Naturkundemuseum Münster. Arbeitsblatt. Wie misst man Entfernungen ohne ein Maßband?. Die Daumenanpeilung. Online verfügbar unter https://www.lwl-naturkundemuseum-muenster.de/media/filer_public/e7/0a/e70a21c2-8a83-4c12-96dc-a3cd87d87636/entfernungen_parallaxe_und_einheiten.pdf , zuletzt abgerufen am 01.05.23

Masnick, A. M. & Morris, B. J. (2008). Investigation the Development of Date Evaluation: The Role of Data Characteristics. *Child Development 4/79, S. 1032- 1048*

Nagel, C. (2021). Sicher ist sicher! Fachliche Klärung für die didaktische Rekonstruktion von Messunsicherheiten im Unterricht. *PlusLucis 04/2021, S.7-11.* Online verfügbar unter https://www.pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2021-4_PL.pdf

Priemer, B., & Hellwig, J. (2018). Learning About Measurement Uncertainties in Secondary Education: A Model of the Subject Matter. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *16*(1), 45–68. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9768-0

Regal, W. (2008). *Daumensprung und Jakobsstab. Messen ohne Maßband*. 3. Auflage. Welver: Conrad Stein Verlag.

Schulz, J. (2022). *Entwicklung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzen im Umgang mit Messunsicherheiten.* [Doctoral Thesis, Humbold- Universität zu Berlin, Germany]. http://dx.doi.org/10.18452/23957

Turiman, P.; Omar, J.; Mohd Daud, A. & Osman K. (2012). Fostering the 21st Century Skills through Scientific Literacy and Science Process Skills. *Procedia. Social and Behavioral Sciences 59, S. 110-116*

II. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

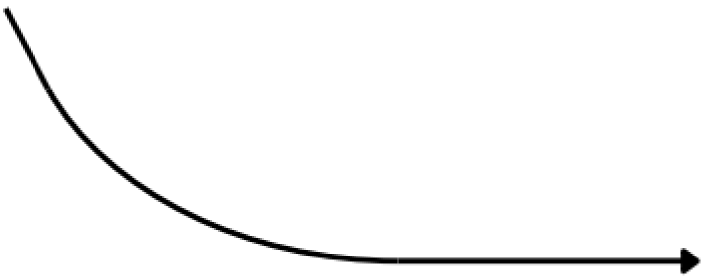
III. Anlagen

A. Arbeitsblätter des Lernmoduls
B. Unterrichtsergebnisse
C. Prä-Post-Test Vorlage 1
D. Prä-Post-Test Vorlage 2
E. Transkription der Antworten des Prä-Tests
F. Transkription der Antworten des Post-Tests
G. Transkription der Antworten des offenen Fragebogens
H. Ausblick: Die Methode der Messung mittels Försterdreieck

A. Arbeitsblätter des Lernmoduls

Arbeitsblatt I	Datum: ________

Aufgabe) Miss die Länge des Pfeils auf diesem Blatt und notiere sie.

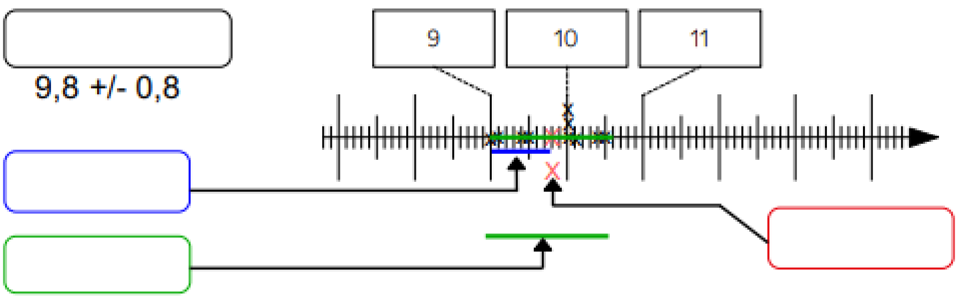


Die Länge des Pfeils beträgt _______

Arbeitsblatt II	Datum: ________

Wie notiere ich ein Messergebnis?

Jede Messung hat eine gewisse Unsicherheit. Viele Messungen der gleichen Sache können daher unterschiedliche Messwerte liefern. Trotz dieser Unsicherheit kann ein **Messergebnis** notiert werden. Hierfür wird ein **Mittelwert** und eine **Unsicherheit** bestimmt. Diese Unsicherheit liegt unter- und oberhalb des Mittelwertes und bildet ein **Intervall** um den Mittelwert herum. Dieses sagt aus, dass die Messgröße, die wir versuchen zu messen, mit hoher Wahrscheinlichkeit genau in diesem Intervall liegen wird.

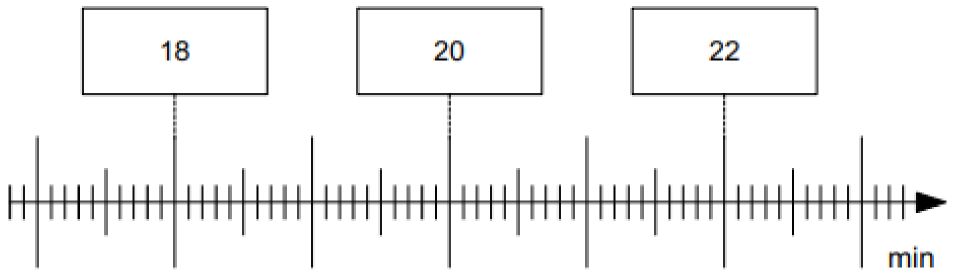


Schulweg	Datum: ________

Wie lange braucht Lars zur Schule?

Lars hat eine Woche lang mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, die er benötigt, um morgens von zu Hause zur Schule zu laufen.

Montag	21 min
Dienstag	18 min
Mittwoch	23 min
Donnerstag	18 min
Freitag	20 min



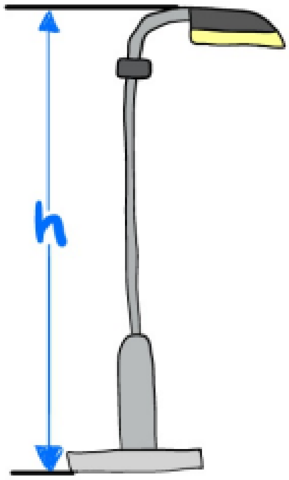
a) Markiere mit einem schwarzen X die jeweiligen Zeiten von Lars im Zahlenstrahl

b) Berechne den Mittelwert und markiere ihn mit einem roten X im Zahlenstrahl.

c) Lies im Zahlenstrahl die weiteste Entfernung des Mittelwertes zu einer der gemessenen Zeiten ab. Markiere diese Entfernung auf beiden Seiten des Mittelwertes mit einem grünen Strich.

Schätzen	Datum: ________

Eine Höhe schätzen



Aufgabe 1)
Wie hoch schätzt du die Laterne auf dem Schulhof. Notiere deinen Schätzwert.

____

Aufgabe 2)
Notiere den Mittelwert aller Schätzwerte der Klasse sowie die Unsicherheit. Wie lautet das Schätzergebnis der Klasse und in welchem Intervall liegt die Höhe der Laterne?

Mittelwert __________________

Unsicherheit ___________________

Schätzergebnis der Klasse: ________________±___________________

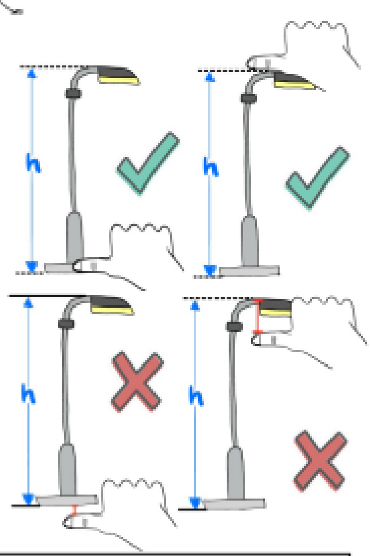
In welchem Intervall liegt die Höhe der Laterne? __________________

Daumensprung	Datum: _________

Mit dem Daumensprung eine Höhe messen

- Suche von der Laterne aus eine beliebige Richtung, von der aus du die Laterne vollständig siehst.
- Führe den Daumensprung aus:

1. Halte den Kopf waagerecht nach links geneigt
2. Strecke den rechten Arm mit seitlich nach links abgespreiztem Daumen in die Richtung der Laterne.
3. Kneife das linke Auge zu und halte den Arm so, dass die linke Außenseite des Daumens genau mit der Unterkante der Laterne abschließt.
4. Kneife nun das andere Auge zu und prüfe, ob der Daumen in die Höhe der Laterne „springt“.
5. Das Ziel ist es nun, dass die gleiche linke Außenseite des Daumens mit der Oberkante der Laterne abschließt. Gehe dafür so weit von der Laterne weg, bis der Daumensprung genau „passt“.
6. Laufe nun von dem ermittelten Standpunkt aus in deiner normalen Schrittlänge bis zu der Laterne und zähle dabei deine Schritte.



Gesamtanzahl der Schritte: ___________
Individuelles Längenmaß eines Schrittes: ___________

Rechnung für die Entfernung

Gesamtanzahl Schritte • individuelles Längenmaß

Rechnung:

Die Anzahl meiner Schritten entspricht einer Entfernung von ________

Entfernung : 10 = Höhe der Laterne!

Rechnung für die Höhe der Laterne

Rechnung:

Die Höhe der Laterne beträgt demnach ______________

Ergebnisse	Datum: ________

Schätzen vs. Daumensprung

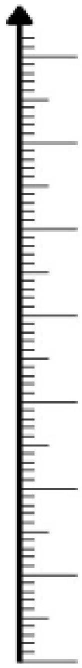
Aufgabe 1) [blau]
Notiere deine persönlichen Ergebnisse aus den Experimenten in den blauen Kästchen.

Aufgabe 2) [grau]
Übertrage den Mittelwert, das Intervall und das Ergebnis mit seiner Unsicherheit zum Experiment „Schätzen“ aus deinen Unterlagen in den grauen Kästchen.

Aufgabe 3) [gelb]
Berechnet in der Klasse den Mittelwert, das Intervall und das Ergebnis mit einer Unsicherheit zu dem Daumensprung-Experiment. Notiere die Daten in den gelben Kästchen.

	Schätzen	Daumensprung
Mittelwert		
Unsicherheit		
Ergebnis (Mittelwert ± Unsicherheit)		
Intervallgrenzen		
eigenes Ergebnis der Höhe der Laterne		

Aufgabe 4)
Zahlenstrahl aller Ergebnisse mit Unsicherheitsintervall



Messunsicherheiten	Datum: ________

Gründe für Messunsicherheiten

Aufgabe 1)
Notiere Gründe für die Unsicherheiten beim Schätzen und beim Daumensprung. Sofern Gründe auf mehrere Methoden zutreffen, kannst du diese Gründe auch an mehreren Stellen notieren.

Schätzen	Daumensprung

Aufgabe 2)
Markiere die Gründe für Messunsicherheiten wie folgt:

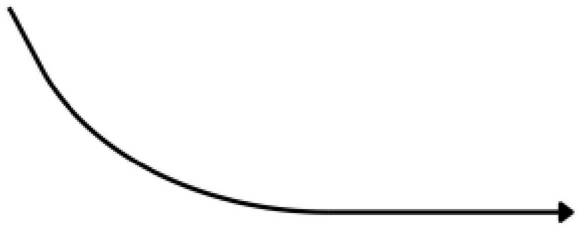
[grün] Umwelteinflüsse
[rot] menschliche Einflüsse
[blau] rechnerische Einflüsse

B. Unterrichtsergebnisse

Arbeitsblatt I

Arbeitsblatt I	Datum: ________

Aufgabe) Miss die Länge des Pfeils auf diesem Blatt und notiere sie.



Die Länge des Pfeils beträgt _______

Die Länge des Pfeils beträgt 13,86 cm ± 1,86 cm. (Klassenergebnis)

Mittelwert $\bar{x}$ = 13,86 cm

niedrigster Wert = 12,0 cm

höchster Wert = 15,0 cm

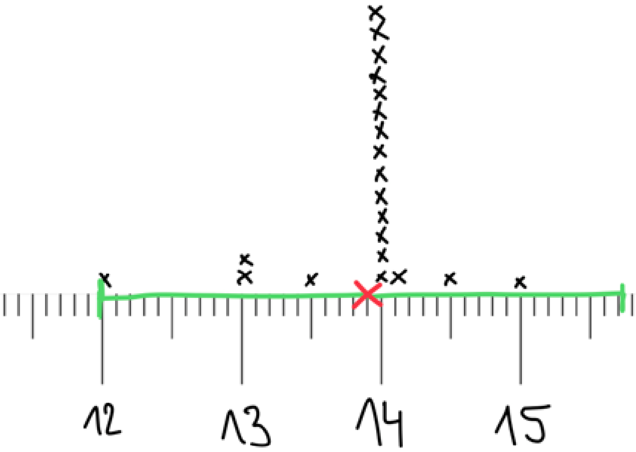
$12\,cm \xrightarrow{1{,}86\,cm} 13{,}86\,cm \xrightarrow{1{,}14\,cm} 15\,cm$

$\bar{x}$ ± größte Unsicherheit

13,86 ± 1,86 cm

Messung des Pfeils

Schüler*in (x)	Messergebnis	Gerundet auf eine Nachkommastelle
1	14	
2	14	
3	14	
4	14	
5	14	
6	14,1	
7	14	
8	14	
9	13	
10	14	
11	14	
12	14	
13	14	
14	14	
15	15	
16	13,5	
17	14	
18	13	
19	14	
20	14,5	
21	12	
Summe	291,1	
Anzahl	21	
Mittelwert (X)	13,8619047619048	13,9



X = 13,86 cm

niedrigster Wert = 12 cm

höchster Wert = 15 cm

12 cm $\xrightarrow{1{,}86\text{ cm}}$ 13,86 cm $\xrightarrow{1{,}14\text{ cm}}$ 15 cm

Ergebnis: 13,86 cm ± 1,86 cm

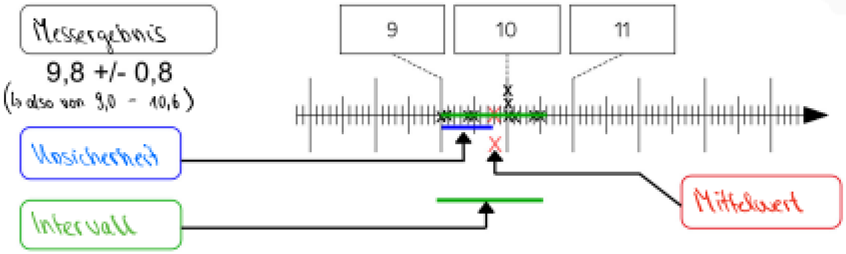
⇒ (12 cm – 15,72 cm)

Arbeitsblatt 2

Arbeitsblatt II	Datum: ________

Wie notiere ich ein Messergebnis?

Jede Messung hat eine gewisse Unsicherheit. Viele Messungen der gleichen Sache können daher unterschiedliche Messwerte liefern. Trotz dieser Unsicherheit kann ein **Messergebnis** notiert werden. Hierfür wird ein **Mittelwert** und eine **Unsicherheit** bestimmt. Diese Unsicherheit liegt unter- und oberhalb des Mittelwertes und bildet ein **Intervall** um den Mittelwert herum. Dieses sagt aus, dass die Messgröße, die wir versuchen zu messen, mit hoher Wahrscheinlichkeit genau in diesem Intervall liegen wird.



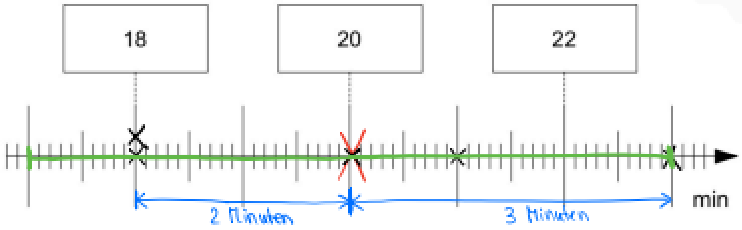
Arbeitsblatt „Schulweg"

Schulweg	Datum: ________

Wie lange braucht Lars zur Schule?

Lars hat eine Woche lang mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, die er benötigt, um morgens von zu Hause zur Schule zu laufen.

Montag	21 min
Dienstag	18 min
Mittwoch	23 min
Donnerstag	18 min
Freitag	20 min



a) Markiere mit einem schwarzen X die jeweiligen Zeiten von Lars im Zahlenstrahl

b) Berechne den Mittelwert und markiere ihn mit einem roten X im Zahlenstrahl.

```
    21
    18
    23
    18
+   20
   100 : 5 = 20 (Mittelwert X)
```

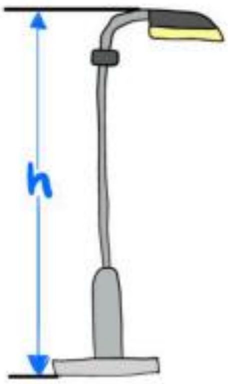
c) Lies im Zahlenstrahl die weiteste Entfernung des Mittelwertes zu einer der gemessenen Zeiten ab. Markiere diese Entfernung auf beiden Seiten des Mittelwertes mit einem grünen Strich.

→ Lars braucht 20 Min. ± 3 Min.

Arbeitsblatt „Schätzen“

Schätzen	Datum: ________

Eine Höhe schätzen



Aufgabe 1)
Wie hoch schätzt du die Laterne auf dem Schulhof. Notiere deinen Schätzwert.

eigene Schätzung

Aufgabe 2)
Notiere den Mittelwert aller Schätzwerte der Klasse sowie die Unsicherheit. Wie lautet das Schätzergebnis der Klasse und in welchem Intervall liegt die Höhe der Laterne?

Mittelwert 3,921 m

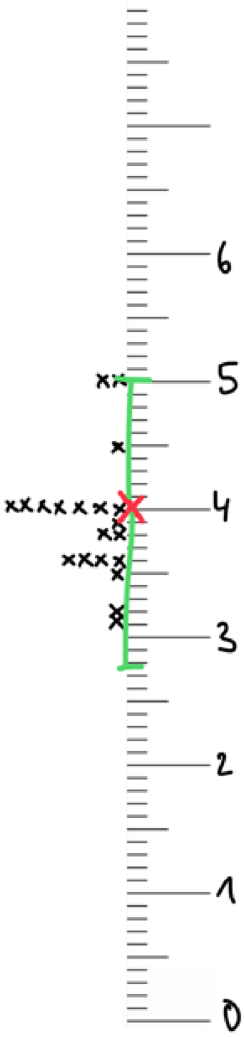
Unsicherheit ± 1,079

Schätzergebnis der Klasse: 3,921 m ± 1,079 m

In welchem Intervall liegt die Höhe der Laterne? 2,842 m - 5,0 m

Schätzung der Höhe der Laterne

Schüler*in (x)	Messergebnis	Gerundet auf eine Nachkommastelle
1	4	4,0
2	5	5,0
3	3,60	3,6
4	3,80	3,8
5	3,12	3,1
6	3,20	3,2
7	4	4,0
8	4	4,0
9	3,5	3,5
10	3,6	3,6
11	4	4,0
12	5	5,0
13	3,8	3,8
14	3,9	3,9
15	3,80	3,8
16	4	4,0
17	4,5	4,5
18	3,6	3,6
19	4	4,0
20	4	4,0
21		
Summe	78,42	
Anzahl	20	
Mittelwert (x)	3,921	4,0



X = 3,921 m

niedrigster Wert = 3,12 m

höchster Wert = 5,0 m

$3{,}12\,m \xrightarrow{0{,}801\,m} 3{,}921\,m \xrightarrow{1{,}079\,m} 5{,}0\,m$

Ergebnis: $3{,}921\,m \pm 1{,}079\,m$

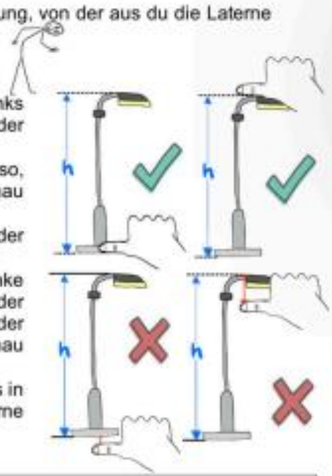
$\Rightarrow (2{,}842\,m - 5{,}0\,m)$

Arbeitsblatt „Daumensprung“

Daumensprung	Datum: ________

Mit dem Daumensprung eine Höhe messen

- Suche von der Laterne aus eine beliebige Richtung, von der aus du die Laterne vollständig siehst.
- Führe den Daumensprung aus:
  1. Halte den Kopf waagerecht nach links geneigt
  2. Strecke den rechten Arm mit seitlich nach links abgespreiztem Daumen in die Richtung der Laterne.
  3. Kneife das linke Auge zu und halte den Arm so, dass die linke Außenseite des Daumens genau mit der Unterkante der Laterne abschließt.
  4. Kneife nun das andere Auge zu und prüfe, ob der Daumen in die Höhe der Laterne „springt“.
  5. Das Ziel ist es nun, dass die gleiche linke Außenseite des Daumens mit der Oberkante der Laterne abschließt. Gehe dafür so weit von der Laterne weg, bis der Daumensprung genau „passt“.
  6. Laufe nun von dem ermittelten Standpunkt aus in deiner normalen Schrittlänge bis zu der Laterne und zähle dabei deine Schritte.



Gesamtanzahl der Schritte: individuell
Individuelles Längenmaß eines Schrittes: individuell

Rechnung für die Entfernung
Gesamtanzahl Schritte • individuelles Längenmaß
Rechnung:

Die Anzahl meiner Schritten entspricht einer Entfernung von ______

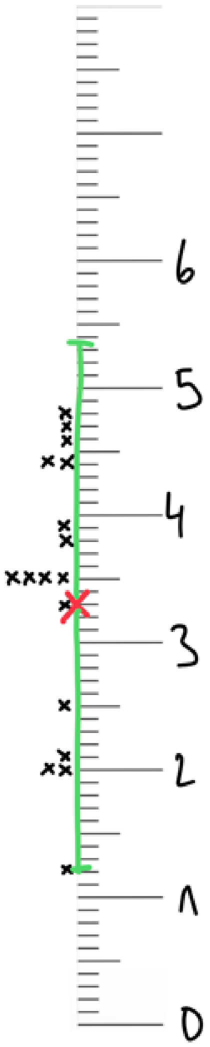
Entfernung : 10 = **Höhe der Laterne!**

Rechnung für die Höhe der Laterne
Rechnung:

Die Höhe der Laterne beträgt demnach ____________

Messung mittels Daumensprung

Schüler*in (x)	Messergebnis	Gerundet auf eine Nachkommastelle
1	4,402	4,4
2	2	2,0
3	4,68	4,7
4	2	2,0
5	3,5	3,5
6	2,485	2,5
7	4,41	4,4
8	1,155	1,2
9	?	
10	2,10	2,1
11	1,16	1,2
12	3,5	3,5
13	3,325	3,3
14	4,55	4,6
15	3,91	3,9
16	4,80	4,8
17	3,46	3,5
18	3,54	3,5
19	?	
20	3,8	3,8
Summe	58,777	
Anzahl	18	
Mittelwert (x)	3,26538888888889	3,3



$x = 3{,}265\,m$

niedrigster Wert = 1,155 m

höchster Wert = 4,80 m

$1{,}155m \xrightarrow{2{,}11m} 3{,}265m \xrightarrow{1{,}535} 4{,}80m$

Ergebnis: $3{,}265m \pm 2{,}11m$

$\Rightarrow (1{,}155m - 5{,}375m)$

Arbeitsblatt „Ergebnisse"

Ergebnisse	Datum: ________

Schätzen vs. Daumensprung

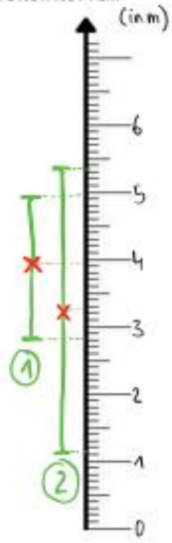
Aufgabe 1) [blau]
Notiere deine persönlichen Ergebnisse aus den Experimenten in den blauen Kästchen.

Aufgabe 2) [grau]
Übertrage den Mittelwert, das Intervall und das Ergebnis mit seiner Unsicherheit zum Experiment „Schätzen" aus deinen Unterlagen in den grauen Kästchen.

Aufgabe 3) [gelb]
Berechnet in der Klasse den Mittelwert, das Intervall und das Ergebnis mit einer Unsicherheit zu dem Daumensprung-Experiment. Notiere die Daten in den gelben Kästchen.

	Schätzen 1	Daumensprung 2
Mittelwert	3,921 m	3,27 m
Unsicherheit	± 1,079 m	± 2,11 m
Ergebnis (Mittelwert ± Unsicherheit)	3,921 m ± 1,079 m	3,27 m ± 2,11 m
Intervall-grenzen	2,842 m – 5,0 m	1,16 m – 5,38 m
eigenes Ergebnis der Höhe der Laterne	[individuell]	[individuell]

Aufgabe 4)
Zahlenstrahl aller Ergebnisse mit Unsicherheitsintervall



C. Prä-Post-Test Vorlage 1

Anonymer Code ___ ___ ___ ___

Wasserkocher

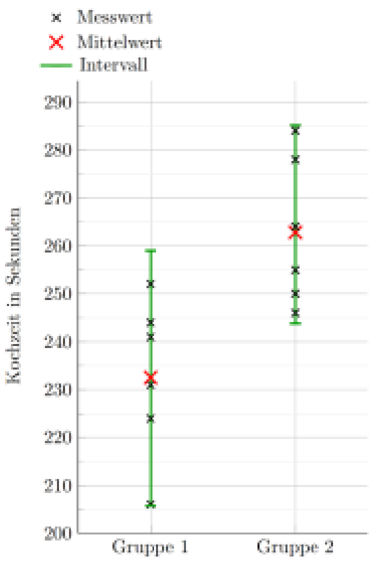
Zwei Gruppen von Schülerinnen und Schülern messen, wie lange es dauert, einen Liter Wasser zum Kochen zu bringen. Beide Gruppen haben dafür ihren eigenen Wasserkocher. Um herauszufinden, welcher Wasserkocher das Wasser am schnellsten zum Kochen bringt, misst jede Gruppe sechsmal die Kochzeit. Die Ergebnisse sind in dem Diagramm dargestellt.

In diesem Diagramm siehst du:

- Die sechs jeweiligen Messwerte als schwarze Kreuze.
- Den Mittelwert mit einem roten Kreuz.
- Die Unsicherheitsintervalle (um den Mittelwert) als grüne Balken.

Du willst herausfinden, ob einer der beiden Wasserkocher das Wasser schneller zum Kochen bringt als der andere (und wenn ja, welcher). Dazu vergleichst du die Daten aus dem Diagramm.

Bitte beschreibe für uns Folgendes.



Die Kochzeiten für einen Liter Wasser mit den Wasserkochern der Gruppen 1 und 2.

Für den Vergleich der Daten habe ich:

____

____

____

____

Ganz besonders habe ich dabei darauf geachtet, dass: ________________________________

____

____

____

Zum Schluss bin ich zu dem Ergebnis gekommen, dass ________________________________

____

____

D. Prä-Post-Test Vorlage 2

Anonymer Code ___ ___ ___ ___

Wasserkocher

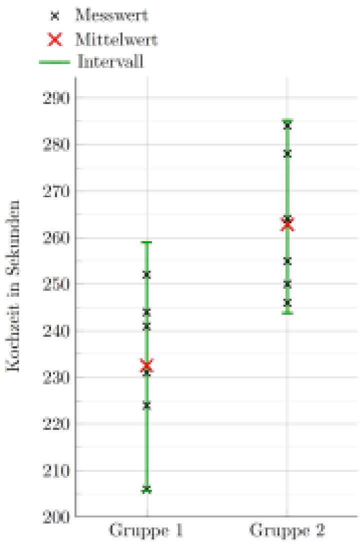
Zwei Gruppen von Schülerinnen und Schülern messen, wie lange es dauert, einen Liter Wasser zum Kochen zu bringen. Beide Gruppen haben dafür ihren eigenen Wasserkocher. Um herauszufinden, welcher Wasserkocher das Wasser am schnellsten zum Kochen bringt, misst jede Gruppe sechsmal die Kochzeit. Die Ergebnisse sind in dem Diagramm dargestellt.

In diesem Diagramm siehst du:

- Die sechs jeweiligen Messwerte als schwarze Kreuze.
- Den Mittelwert mit einem roten Kreuz.
- Die Unsicherheitsintervalle (um den Mittelwert) als grüne Balken.

Du fragst dich, ob einer der beiden Wasserkocher das Wasser schneller zum Kochen bringt als der andere (und wenn ja, welcher). Dazu vergleichst du die Daten aus dem Diagramm.

Bitte beschreibe für uns Folgendes.



Die Kochzeiten für einen Liter Wasser mit den Wasserkochern der Gruppen 1 und 2.

Benenne, welche Dinge du aus dem Diagramm zur Beantwortung der Frage vergleichen möchtest:

____

____

____

Benenne, was du beim Vergleich dieser Dinge Auffälliges festgestellt hast: ____________________

____

____

____

Deshalb komme ich bei dem Vergleich der beiden Wasserkocher zu folgendem Ergebnis: __________

____

____

E. Transkription der Antworten des Prä-Tests

Pre	Für den Vergleich der Daten habe ich:	Ganz besonders habe ich dabei darauf geachtet, dass:	Zum Schluss bin ich zu dem Ergebnis gekommen, dass
6A6C	Habe ich geckuckt wann es aufhört zu Kochen und das danch-rechnen wann es angefangen hat. (260-206=54 (A)) B: 285-	ich richtig abmesse	Wasserkoche 2 das Wasser schneller aufkockt.
6A51	ich weiß nicht	ich weiß nicht	ich nichts weiß
13i3A	leer	leer	leer
19NOt	Mir die roten Kreuze angeschaut.	ich es genau ausmesse	Gruppe 1 länge braucht
6A2I	leer	leer	leer
10a4n	die Werte der Gruppen abgelesen und verglichen	keine Ahnung	Gruppe 1 schneller war
4E8A	Auf das Diagramm (rechts oben) geguckt & geguckt welches weiter oben ist und das war schneller	die rechte weiter oben war	das rechte also Gruppe 2 schneller war
5b5E	geguckt wie groß der Abstand zwischen den Kreuzen ist und wie lang der gründe Balken ist. Der obere Balken (x-Achse) zeigt die Zeit die das Wasser braucht.	der Wasserkocher von Gruppe eins mit ca. 205s vertig ist und der 2. Wasserkocher mit ca. 250s vertig ist.	der 1. Wasserkocher schneller war.
7a4u	Gruppe 1 hat einen schneleren	auf die Zeit	leer
7E9O	Das rechte Diagramm ist langsamer	leer	leer
3A4e	Das bild	wo die kreuze sind	Gruppe 1 schneller das Wasser kocht weil das kreuz unten ist
6A6O	keine Ahnung	leer	Gruppe 1 ist schneller, weil der Mittelwert als schneller da ist und die Messwerte schneller sind
4I3E	geguckt welches kürzer ist	wie viele Sekunden es braucht	Gruppe 2 schneller war
5r3a	was weiß ich	ich hab auf nichts geachtet	ich keine Ahnung habe
7ü1i	Ich habe gekikt wo auf dem grünen strich das Kreutz am weitesten unten ist	auf das Kreutz	Gruppe 1 schneller ist
4TgI	ich habe geguckt welcher balken kürzer ist	wo der Mittelwert liegt	das beide Gruppen gleich schnell waren
4E4b	Ich habe erstes gemessen was höher ist, und ich habe gemessen das Gruppe 1 höher	Dass das, genau ist. Und nicht das es 1 mm underschid ist	Gruppe 1 höher ist. Dadurch dass das grüne Kreuz höher ist
4N2M	auf die Kreuze und Zahlen geachtet	die Kreuze weiter unten sind	beide Wasserkocher gleich schnell sind
6A4O	Die schwarzen Kreuzen. 260-205=55. 285-245=40	leer	Die Gruppe 1 Wasser schneller gekocht ist
6e7e	es sind beide gleich schnell	gleich	gleich
6T6T	Die Werte abgelesen und Verglichen	die Werte genau sind	der Wasserkocher die Gruppe 1 am schnellsten das Wasser zum Kochen
5A7A	mir die grünen Balken, das rote Kreuz und die schwarzen Kreuze	wo die roten und die schwarzen Kreuze angekukt	Gruppe 1 der Wasserkocher schneller in kochen ist

F. Transkription der Antworten des Post-Tests

Post	Benenne, welche Dinge du aus dem Diagramm zur Beantwortung der Frage vergleichen möchtest:	Benenne, was du beim Vergleich dieser Dinge Auffälliges festgestellt hast:	Deshalb komme ich bei dem Vergleich der beiden Wasserkocher zu folgendem
6A6C	leer	Der Intervall Bei 1 ist größer als ungenauer	Bei 1 dauert es 230 sek. +- 205-250. Bei 2 dauert es 265 sek. +- 245-285.
6A51	Ich möchte beide Intervalle vergleichen	Das dass Intervall der Gruppe 1 vorher beginn doch die Messwerte sind auf der gleichen Höhe	Das man nicht weiß welcher Wasserkocher zuerst kocht
13i3A	leer	Bei Gruppe 1 ist der Mittelwert 230, und bei Gruppe 2 ist der Mittelwert 260	Wasserkocher 2
19NOt	Die roten Kreuze	Gruppe 1 ist viel weiter unten. Gruppe 2 ist viel weiter oben	Gruppe zwei Wasserkocher ist schneller
6A2I	Ich möchte Gruppe1 mit Gruppe 2 vergleichen	Gruppe 2 ist definitiv viel höher als Gruppe 1	Gruppe 1 ist viel schneller als Gruppe 2 fertig geworden
10a4n	Ich möchte die Messwerte genauer erfahren	Das die Messzeiten immer weit auseinander sind	Das der Wasserkocher immer schneller wurde
4E8A	Gruppe 1 ist schneller weil der Wasserkocher von ihnen ein neueres Modell ist	Ich kann erkennen das Gruppe 2 viel länger gebraucht hat weil, sie weiter oben ist	Gruppe 1 ist schneller als Gruppe 2 weil, sie schneller Beschleunigen konnten
5b5E	Die Kreuze sind die Messwerte also wie lang jeder Wasserkocher brauch das Wasser zu kochen. Der grüne Strich ist das Intervall also der Abstand von dem Mittelwert zu der größten- / kleinsten Wert	Der Wasserkocher 2 hat ein kleineres Intervall als Wasserkocher 1. 2 braucht zwar meistens länger aber die Messwerte sind nicht so zerstreut (unterschiedlich) wie bei 1	Wasserkocher 2 braucht meistens länger hat baer nicht so viele Abweichungen
7E9O	Das Beide Wasserkocher ca. gleich schnell waren	Das sie ca. gleich schnell sind nur der Mittelwert nicht gleich ist	Das Wasserkocher unterschiedlich sind
3A4e	Gruppe 2 kocht das Wasser schneller	Der Mittelwert der Gruppe 2 ist weiter unten	Der Mittelwert der Gruppe 2 ist weiter unten
4I3E	Gruppe 2 ist schneller	Gruppe zwei ist kürzer (Intervall)	Gruppe 2 ist schneller
5r3a	Ich gucke mir die Kreuze an	Das eine ist höher	Gruppe 1 ist schneller
7ü1i	Der Mittelwert, und den Intervale	Das Gruppe 2 schneller	Das Gruppe 2 schneller ist weil der Mittelwert näher am unteren gründen Strich ist
4Tgl	Das Intervall, der Mittelpunkt und die Messwerte	das Gruppe zwei später startet als Gruppe eins	das von gruppe 2 der Wasserkocher schneller ist
4E4b	Gruppe 1 ist ziemlich weit auseinander. Gruppe 2 ist ziemlich eng zusammen. Die Gruppe 1 ist länger, Gruppe 2 ist kürzer und damit genauer	Das der Mittelwert ziemlich dich an Kreuze ist und das Gruppe 2 auf Augenblick kürzer ist als Gruppe 1	Das Gruppe 2 genauer ist als Gruppe 1 weil esl änger ist und so damit ungenauer
4N2M	Den Intervall, Mittelwert und den Messwert	Gruppe 2 ist höher als Gruppe 1	Beide sind gleich schnell
6A4O	der Mittelwert	Gruppe 2 hat später angefangen	Gruppe 2 Wasser hat schneller gekocht
6e7e	leer	leer	leer
6T6T	Mittelwert	Der Mittelwert sehr weit auseinander ist	Wasserkocher sind sehr unterschiedlich
5o6e	ich scheue mir die Messwerte an	bei gruppe 2 steigt die temperatur schneller	Gruppe 2 ist schneller

G. Transkription der Antworten des offenen Fragebogens

Fragen 1-3

Was hat dir gut gefallen			Was hat dir nicht gut gefallen		Wo würdest du dir Änderungen wünschen
draußen arbeiten	was neues gelernt		Rechnen		einfacher gestalten
draußen arbeiten			Rechnen		weniger erklären
draußen arbeiten	Daumensprung	Schätzen	rechnen		kindlicher verstehen
draußen arbeiten			Rechnen		dass es einfacher ist
draußen arbeiten			zu viel rechnen		verständlicher
Rausgehen			manchmal zu kompliziert		nicht so lange am Stück arbeiten
Rausgehen			war schwer zu verstehen		nicht so viele Stunden hintereinander
rausgehen			es war schwer		nicht so viel an einem Tag
draußen sein			zu lange (5h)		längere Pausen
praktisch draußen arbeiten			viele Stunden hintereinander		mehr aktiv und mehr rausgehen
praktisch arbeiten			so lange an einer Sache arbeiten		mehr rausgehen
das Praktische			viele Arbeitsblätter		mehr rausgehen und spielen
Schätzen			viele AB	viel Erklärung	mehr raus gehen
Schätzen			viele SuS nicht mitgemacht		x
AB Pfeil	AB Laterne		AB Gründe für Messunsicherheiten		x
etwas anderes, spannendes gelernt			nicht verstanden		keine
Ausmessen			nichts		nichts
hat Spaß gemacht			x		Daumensprung rechnen mit Taschenrechner
kreative Aufgabe			Daumensprung		Die Rechnungen sollen schwerer sein

Frage 4

zwei Begriffe	
Daumensprung	Messeinheiten
Daumensprung	Messeinheiten
Daumenspurng, Schätzen, Mittelwert, Unsicherheit, Intervall, Messergebnis	
Daumensprung	Unsicherheit
Intervall, Unsicherheit, Mittelpunkt, Schätzen	
Mittelwert	Unsicherheit
Intervall	messen
Unsicherheit	Mittelwert
irrelevant	Unsicherheit
Mittelwert	Unsicherheit
Daumensprung	Schätzen
Daumensprung	Rechnen
unsicher	Intervall
Mittelwert	Unsicherheit
Intervall	Daumensprung
Daumensprung	Mittelwert
Laterne	Tablet
Mittelwert	
Unsicherheit	Intervall

Frage 5

	Was bedeutet es für dich, dass jede Messung eine Unsicherheit hat	unklar	Point	Mix	Set
1	x				
2	Dass es nicht richtig oder falsch ist				x
3	x				
4	Verwirrung				
5	Es gibt für die zwei Arten von Messungen die wir gestern hatten ganz verschiedene Antworten geben kann (Abweichung)		x		
6	x				
7	Alle Aufgaben haben eine Unsicherheit, weil man nicht alles auf den Mikrometer genau messen kann			x	
8	Das man nicht immer alles perfekt macht		x		
9	Man ist sich nicht immer über das Ergebnis sicher	x			
10	Eine Unsicherheit sind zwei Zahlen wo in dem Bereich das Ergebnis ist				x
11	Jede Messung ist richtig			x	
12	Ist halt blöd				
13	Dass man nie 100% sicher sein kann			x	
14	Dass ich nie sicher sein kann, ob etwas richtig oder falsch ist			x	
15	Dass in dem Intervall halt eine Unsicherheit ist	x			
16	Dass nicht jede Messung genau ist		x		
17	x				
18	Es ist normal, dass nicht alle ein gleiches Ergebnis haben. Denn jeder rechnet es auf seine Art aus				x
19	x				
	SUMME	2	3	4	3

H. Ausblick: Die Methode der Messung mittels Försterdreieck

Die Methode der Messung mittels Försterdreieck

Das Försterdreieck gilt als Hilfsmittel zur indirekten Höhenmessung und wurde von Förstern erfunden, die eine Methode zur Höhenbestimmung von Bäumen entwickelten. Das sogenannte Försterdreieck ist „ein gleichschenkelig rechtwinkeliges Holzdreieck mit einem Lot" (Regal, 2008, S. 23).

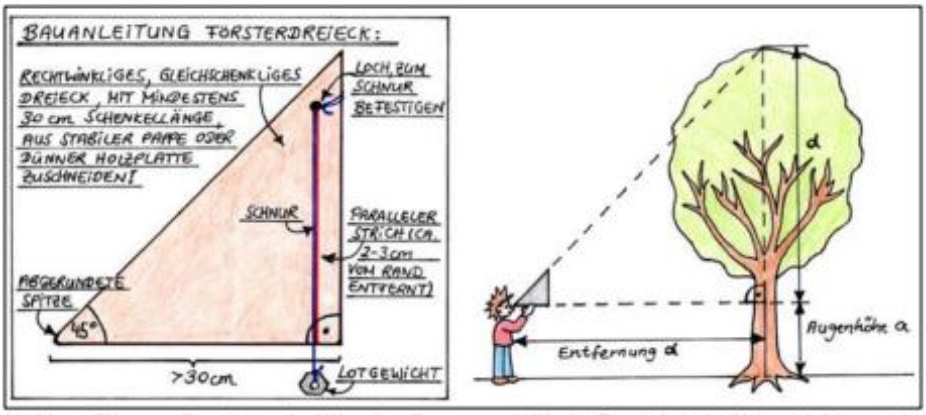


Abbildung: Skizze zur Berechnung der Höhe eines Baumens mit Hilfe des Försterdreiecks (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 186)

Zur Bestimmung der Höhe des mit dem Försterdreieck anvisierten Baumes wird das Dreieck am Auge angelegt, sodass über die Hypotenuse die Spitze des Baumes fixiert werden kann. Da das Försterdreieck gleichschenkelig ist, ist eine Berechnung der Höhe eines anvisierten Objektes unter Kenntnis der Strahlensätze simpel: „Durch die Gleichschenkligkeit des Försterdreiecks gilt, dass das untersuchte Objekt genauso hoch ist, wie man selbst vom Objekt entfernt steht, plus der Augenhöhe, auf der das Försterdreieck gehalten wird" (Helmerich & Lengnink, 2016, S. 186).

Die Messmethode mittels Försterdreieck könnte ihm Anschluss an die Methode des Daumensprungs thematisiert werden. Es wäre möglich, dass das Unsicherheitsintervall beim Daumensprung größer ist als beim Försterdreieck, da menschliche Einflussfaktoren auf die Unsicherheit aufgrund der Verwendung eines Hilfsmittels statt eines Körperteils reduziert werden könnten. Aus diesem Grund wird angenommen, dass die Methode mittels Försterdreieck insgesamt weniger Messunsicherheiten aufweist und dadurch zu einem Ergebnis mit geringerer Streuung führt.

Literatur

Regal, W. (2008). Daumensprung und Jakobsstab. Messen ohne Maßband. 3. Auflage. Welver: Conrad Stein Verlag.

Helmerich, M. & Lengnink, K. (2016). Einführung Mathematik Primarstufe – Geometrie. Berlin und Heidelberg: Springer- Verlag