



Entwicklung und Validierung von Informationstexten
für Lehrkräfte zum Thema Messunsicherheiten
mit Bezug zum naturwissenschaftlichen
Unterricht der Primarstufe

Development and validation of information texts for teachers on the topic of
measurement uncertainties with reference to primary school science education

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen
Grades Master of Education (M.Ed.)
von Marie Meyer

Erstprüfer: Prof. Dr. Burkhard Priemer
Zweitprüfer: Dr. Franz Boczianowski

Eingereicht am: 29.11.2024

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

Inhalt

1. EINLEITUNG.....	4
2. STAND DER FORSCHUNG	6
2.1 Relevanz von Messunsicherheiten in Forschung und Alltag.....	6
2.2 Alltagsvorstellungen zu Messunsicherheiten	7
2.2.1 Messunsicherheiten vs. Messfehler	7
2.2.2 Die Suche nach dem "wahren" Wert.....	8
2.2.3 Gründe für Messwiederholungen	8
2.2.4 Das point- und set-Paradigma	9
2.3 Das Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012)	11
2.3.1 Dimension 1: Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten.....	11
2.3.2 Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen.....	13
2.3.3 Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten	15
2.3.4 Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten.....	19
2.4 Die erste Reduzierung für die Sekundarstufe I (Hellwig, 2012)	22
3. ZUR RELEVANZ FÜR DEN PRIMARBEREICH.....	27
3.1 Rahmenlehrplan von Naturwissenschaften und Mathematik für die Klassenstufen 5/6	27
3.2 Die zweite Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe nach Schenke (2023)	29
3.2.1 Dimension 1	30
3.2.2 Dimension 2.....	31
3.2.3 Dimension 3.....	32
3.2.4 Dimension 4.....	34
4. FORSCHUNGSVORHABEN.....	35
5. METHODISCHES VORHABEN DER EMPIRISCHEN ERHEBUNG.....	35
5.1 Entwicklung der Informationstexte.....	35
5.2 Erhebung der Interviews	36
5.3 Textoberflächenanalyse anhand eines exemplarischen Beispiels.....	38
6. AUSWERTUNG DER EMPIRISCHEN ERHEBUNG.....	44
6.1 Auswertung der Interviews	44
6.1.1 Dimension 1	45
6.1.2 Dimension 2.....	49
6.1.3 Dimension 3.....	51
6.1.4 Dimension 4.....	53
6.2 Auswertung der Textoberflächenanalyse	55

7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	57
8. REFLEXION DER ARBEIT	62
9. FAZIT	64
I. LITERATUR.....	67
II. ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	69
III. ANLAGEN	70
A. Reduziertes Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I.....	71
B. Informationstexte für Lehrkräfte (Grundlage der Interviews und der Textoberflächenanalyse, S.1-15).....	72
C. Transkript Interview 1	88
D. Transkript Interview 2.....	93
E. Transkript Interview 3	99
F. Transkript Interview 4	103
G. Transkript Interview 5.....	106
H. Vorschlag für das reduzierte Sachstrukturmodell nach Schenke (2023) mit Beispielen zu den einzelnen Konzepten	110
I. Selbstständigkeitserklärung	111

1. Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Thematisierung von Messdaten und deren Unsicherheiten im Unterricht der Primarstufe. In einer zunehmend digitalisierten Welt wird die Fähigkeit, die Qualität und Aussagekraft von Daten zu beurteilen, immer wichtiger, da sie das wissenschaftliche Denken bei Kindern fördert (vgl. Kok et al., 2020). Es ist deshalb von großem Nutzen, dass Kinder bereits frühzeitig ein Verständnis für wissenschaftliche Daten entwickeln, statt sich auf Interpretationen durch andere verlassen zu müssen. Eine zentrale Kompetenz ist dabei die Fähigkeit, Messunsicherheiten einschätzen und berechnen zu können. Diese Kenntnisse ermöglichen es, verschiedene Messergebnisse vergleichen und die Qualität eines Experiments besser beurteilen zu können (vgl. Hellwig, 2012).

Das Verständnis für den Umgang mit erhobenen Daten und deren Interpretation wird als eine wesentliche wissenschaftliche Kompetenz im Rahmen der 21st Century Skills angesehen (vgl. Turiman et al., 2012). Schülerinnen und Schüler sind in der heutigen Zeit von einer Vielzahl an Daten umgeben, die direkt oder indirekt Entscheidungen von Kindern und Jugendlichen beeinflussen. Daher ist ein fundiertes Wissen über die Entstehung und Bedeutung von Werten besonders wichtig.

Bereits Hellwig betonte aber, dass Messunsicherheiten eine sehr untergeordnete Rolle im Unterricht spielen (vgl. Hellwig, 2012, S.2). Die Berücksichtigung von Messunsicherheiten bei der Erkenntnisgewinnung mithilfe von Experimenten im Unterricht ist aber notwendig - die Schülerinnen und Schüler sollten in die Lage versetzt werden, anhand ihrer experimentell gewonnenen Daten tragfähige Schlussfolgerungen zu ziehen und kritisch zu diskutieren. Eine Auseinandersetzung mit den dazugehörigen Messunsicherheiten ist deshalb unverzichtbar (vgl. Hellwig, 2012, S.6). Nur mithilfe von Messunsicherheiten kann eingeschätzt werden, was ein gemessenes Ergebnis bedeutet und wie es mit anderen Werten verglichen werden kann. Der Vergleich von Messergebnissen ist ohne Berücksichtigung der Messunsicherheiten kaum aussagekräftig, da diese wichtige Informationen darüber enthalten, wie präzise eine Messung ist und welche Verlässlichkeit die Daten aufweisen. Durch die Thematisierung von Messunsicherheiten im Unterricht kann das wissenschaftliche Denken der Schülerinnen und Schüler gefördert und somit ein grundlegendes Verständnis für die Qualität von Messungen und deren Ergebnisse geschaffen werden.

Messunsicherheiten können also helfen, ein angemessenes Bild der Wissenschaft zu vermitteln. Dennoch bleibt das Thema Messunsicherheiten für viele Schülerinnen und Schüler eine Herausforderung – nicht nur bei der Berechnung, sondern insbesondere bei der Interpretation der Ergebnisse (vgl. Kok, 2022). Ein Grund dafür liegt darin, dass Messunsicherheiten im Schulunterricht in der Regel nur als störendes Randthema behandelt werden, anstatt als Ausgangspunkt für eine kritische Auseinandersetzung mit dem Messprozess und den daraus gewonnenen Erkenntnissen zu dienen (vgl. Hellwig, 2012; Holz, Heinicke, 2019). Viele Kinder (und auch Erwachsene) haben inadäquate Vorstellungen zu diesem Thema, die ein Verständnis erschweren. Aus diesen Gründen ist es ratsam, Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe zu thematisieren, um inadäquate Vorstellungen bei Kindern frühzeitig entgegenwirken zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden deshalb kurze Informationstexte für Lehrkräfte der Naturwissenschaften in der Primarstufe entwickelt, die auf der Grundlage des Sachstrukturmodells nach Hellwig (2012) geschrieben wurden, das inzwischen auch einer inhaltlichen Reduzierung für den Primarbereich unterzogen wurde (Schenke, 2023).

Die Texte sollen das Thema Messunsicherheiten didaktisch so reduzieren, dass der Sachverhalt für die Primarstufe zwar umfassend, aber auch inhaltlich nicht überfordernd erklärt wird. Diese Informationstexte wurden Lehramtsstudierenden (mit dem Schwerpunkt Naturwissenschaften) zur Validierung von Inhalt und Verständlichkeit in qualitativen Interviews vorgelegt. Der vorliegenden Arbeit liegt die Vermutung zugrunde, dass Lehramtsstudierende und Primarstufen-Lehrkräfte mit Schwerpunkt Naturwissenschaften einen vergleichbaren Wissensstand beim Thema Messunsicherheiten haben. Damit sollte auch die von Schenke vorgeschlagene, zweite Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe validiert werden. Die Forschungsfragen, die mit dieser Arbeit geklärt werden sollen, lauten daher:

1. "Welche konzeptuellen Schwierigkeiten haben angehende Grundschullehrkräfte mit den Inhalten der didaktisch reduzierten Informationstexte zum Sachstrukturmodell?"

und

2. "Welchen Einfluss haben praktische Beispiele auf das Verständnis von Inhalten zum Sachstrukturmodell?"

Mithilfe der Antworten durch die Lehramtsstudierenden soll geprüft werden, ob die Texte geeignet sind, sie Lehrkräften zur Beurteilung vorzulegen, damit diese die Bedeutung der Thematisierung von Messunsicherheiten erkennen und daraufhin einschätzen können, inwiefern Messunsicherheiten im Unterricht der Primarstufe eingebracht werden sollen. Durch das Aufdecken möglicher konzeptueller Schwierigkeiten der Inhalte können die Texte angepasst und verbessert werden¹. Des Weiteren wurden die Texte einer Textoberflächenanalyse (vgl. Kulgemeyer, Staraschek, 2014) unterzogen, um damit zu prüfen, inwiefern die Gestaltung der Texte eventuell Einfluss auf das Verständnis hat.

Um die beiden Forschungsfragen beantworten zu können, wird in Kapitel 2 zunächst der aktuelle Forschungsstand zu Messunsicherheiten im schulischen Bereich vorgestellt. Hierbei wird insbesondere die Relevanz des Themas in Forschung und Alltag herausgestellt. Anschließend werden Alltagsvorstellungen beschrieben, aufgrund derer es zu inadäquaten Annahmen kommen kann. Darauf folgend wird das validierte Sachstrukturmodell vorgestellt, das Hellwig 2012 für einen umfassenden Überblick über das gesamte Themenfeld der Messunsicherheiten entwickelte (Hellwig, 2012). Dieses Modell wurde im Rahmen ihrer Dissertation mithilfe einer weiteren Validierung durch Lehrkräfte inhaltlich für die Sekundarstufe I reduziert. In Kapitel 3 wird unter Berücksichtigung der Rahmenlehrpläne der Primarstufe für die Fächer Naturwissenschaften und Mathematik eine weitere Reduzierung vorgestellt, die Schenke (2023) für den Primarbereich vorgeschlagen hat. Das Ziel dieser Arbeit, das in Kapitel 4 näher erläutert wird, besteht darin, diese zweite Reduzierung mithilfe von kurzen Informationstexten zu validieren. Hierfür wird das methodische Vorhaben zur Entwicklung dieser Texte für den Primarbereich und ihre Validierung durch qualitative Interviews und einer Textoberflächenanalyse in Kapitel 5 dieser Arbeit vorgestellt. Im letzten Teil werden die Ergebnisse ausgewertet (Kapitel 6), diskutiert (Kapitel 7) und reflektiert (Kapitel 8).

¹ Dies ist allerdings nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit; aus den hier erworbenen Ergebnissen werden ausschließlich Vorschläge für Verbesserungen unterbreitet.

2. Stand der Forschung

2.1 Relevanz von Messunsicherheiten in Forschung und Alltag

Messwerte und deren Genauigkeit haben nicht nur eine große Bedeutung in den Naturwissenschaften, sondern spielen auch in vielen alltäglichen Situationen eine wichtige Rolle und haben deshalb einen hohen Bezug zur Lebenswelt von Kindern. Wer z.B. schon oft mit Kindern gebastelt hat, kennt sicherlich die Situation, dass trotz sorgfältiger Bemühungen die zurecht geschnittenen Teile am Ende trotzdem nicht genau passen und das Bastelergebnis nicht so gelungen wie die Vorlage aussieht. Auch Mengenangaben beim Backen oder das Ablesen von Uhrzeiten sind mit Unsicherheiten behaftet, die Kinder erst lernen müssen und die so zunächst oft erstaunt sind, wie es sein kann, dass die beiden Uhren nicht immer die gleiche Zeit anzeigen. Schnell liegt die Vermutung nahe, dass eine der Uhren kaputt sein muss oder der Kuchen ungenießbar wird, wenn nicht die genaue Menge aus dem Rezept auf der Waage erscheint. Daten aus Tests und Messungen sind aber immer mit Messunsicherheiten verbunden, die notwendig für die Interpretation der Ergebnisse sind. Das gilt für schulische Experimente, aber auch für Messungen mit wissenschaftlich hochpräzisen Messinstrumenten – jede Messung ist mit Messunsicherheiten behaftet (vgl. Kok et al., 2020, S.293).

Nicht immer ist es nötig, die Qualität der Messwerte zu bewerten und somit die Messunsicherheiten zu bestimmen. Wenn diese nur dazu dienen, einen Zusammenhang herzustellen bzw. einen Effekt sichtbar zu machen, indem eine ungefähre Größenordnung ermittelt wird oder ein Konzept demonstriert werden soll, handelt es sich um einen qualitativen Umgang mit Messdaten (vgl. Kok, 2022, S.10). Für diese Experimente ist keine exakte Berechnung der Messunsicherheit erforderlich und sie kann in den Ergebnissen vernachlässigt werden. Die Kinder sollten dennoch darauf aufmerksam gemacht werden, "welche Rolle die Messdaten hierbei spielen und dass deren Aussagekraft aus naturwissenschaftlicher Sicht stark limitiert ist" (vgl. Kok et al., 2020, S.294).

Werden Messdaten als Grundlage für das Ableiten von Zusammenhängen oder zur Bestimmung unbekannter Werte verwendet, ist eine Abschätzung der Messunsicherheiten unverzichtbar, z.B. immer dann, wenn eine unbekannte Größe gemessen, eine Hypothese überprüft oder eine exakte Beziehung zwischen zwei Variablen ermittelt werden soll (vgl. Kok, 2022, S.10). Es handelt sich dabei um einen quantitativen Umgang mit Messdaten, die genaue Angabe der Messwerte muss sich dann aus dem Ergebniswert und einem Unsicherheitsbereich ergeben. Um eine Hypothese zu verifizieren oder eine Übereinstimmung mit einem bekannten Wert festzustellen, müssen die Unsicherheitsbereiche sich überschneiden. Dafür ist eine präzise Berechnung der Messunsicherheit notwendig. Messunsicherheiten müssen also nicht immer analysiert werden. Die Unterscheidung zwischen qualitativer und quantitativer Bearbeitung von Daten zeigt, dass dies vom Ziel der Messung abhängt (vgl. Kok, 2022, S.10). So wird den Kindern auf anschauliche und authentische Weise gezeigt, wie in der Wissenschaft gearbeitet wird.

Aus diesen Gründen ist ein kritischer Umgang mit Daten und deren Unsicherheiten bereits in der Schule wichtig, damit Kinder auch Daten in ihrer alltäglichen Lebenswelt besser einschätzen und das wissenschaftliche Arbeiten besser verstehen können.

Im Unterricht der Primarstufe kann das mithilfe einer didaktisch vereinfachten Bestimmung der Unsicherheiten umgesetzt werden, die somit die "Grundlage einer kritischen und ehrlichen Analyse der Aussagekraft der Messergebnisse" bildet (vgl. Kok et al., 2020, S.294). Erst unter Berücksichtigung der oftmals relevanten Unsicherheiten können vergleichende Aussagen über die Qualität von Messungen getroffen werden. Dennoch zeigen Studien, dass Messunsicherheiten in den Vorstellungen der Kinder (und auch vieler Erwachsener) keine Rolle spielen, was dazu führen kann, dass inadäquate Vorstellungen von Messergebnissen und ihren Bedeutungen entstehen können. Wie die Praxis zeigt, werden Begriffe wie *Messunsicherheit*, *-ungenauigkeit* und *-abweichung* im Allgemeinen unter dem Begriff *Messfehler* zusammengefasst. Hier ist es von entscheidender Bedeutung, die Unterschiede zu benennen, damit Kinder beim Messen Sicherheit auch für das wissenschaftliche Arbeiten entwickeln können (für eine ausführliche Beschreibung und Unterscheidung des Fehlerbegriffs vgl. Heinicke, 2012).

2.2 Alltagsvorstellungen zu Messunsicherheiten

Wie das vorherige Kapitel zeigt, spielt die Berücksichtigung von Messunsicherheiten eine wichtige Rolle, um die Qualität gemessener Daten einordnen und Messergebnisse miteinander vergleichen zu können. In einer ausführlichen Zusammenfassung führen Hull et al. (2021) verschiedene Alltagsvorstellungen auf, die zu konzeptuellen Schwierigkeiten bei der Beschäftigung mit Messunsicherheiten führen. Konzeptuelles Wissen ist jedoch die Grundlage für bedeutungsvolles und vertieftes Verständnis von fachspezifischen Inhalten, im Gegensatz zum reinen Auswendiglernen von Fakten. Einige der häufigsten Alltagsvorstellungen, die mit dem Unverständnis von Messunsicherheiten einhergehen, werden in den Abschnitten 2.2.1 bis 2.2.4 aufgeführt.

2.2.1 Messunsicherheiten vs. Messfehler

Durch die Vernachlässigung der Thematisierung von Messunsicherheiten können inadäquate Alltagsvorstellungen gefördert werden, wie sie u.a. von Höttecke und Hopf (2018) aufgeführt wurden. Mit dem Begriff *Messfehler* verbinden die Kinder oftmals falsch oder zumindest unvollkommen gewonnene Messwerte. (Höttecke, Hopf, 2018, S.279f.). Ein besonders großes Problem stellt der Begriff des *Messfehlers* deshalb dar, weil er in der Alltagssprache als Oberbegriff sowohl für *Messunsicherheiten* als auch für *Messabweichungen* (vgl. Kapitel 2.3.1 dieser Arbeit) steht.

Eine besondere Schwierigkeit liegt darin, dass diese verwendeten Begriffe "kaum trennscharf, eindeutig und einheitlich verwendet werden" (Heinicke, 2012, S.246). Dazu kommt die starke negative Alltagsverwendung des Wortes *Fehler*, die in der Regel mit einem negativen Eindruck behaftet ist. Somit ist es nicht verwunderlich, dass Schülerinnen und Schüler Messunsicherheiten häufig als persönliche Fehler oder Fehleinschätzungen interpretieren, d.h. als etwas, das sie falsch gemacht haben (vgl. Hull et al., 2020, S.64). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, zwischen Messunsicherheiten und Messfehlern zu unterscheiden. Fehler (beim Messen) können vermieden werden, während Messunsicherheiten unvermeidbar sind und beispielsweise durch die verwendete Ausrüstung oder den Versuchsaufbau entstehen. Sie begrenzen die Genauigkeit des Messergebnisses und sind ein Zeichen für gute wissenschaftliche Praxis, die Anerkennung verdient (vgl. Kok, 2022, S.15). Im Sachstrukturmodell nach Hellwig wird dieser Aspekt in Dimension 1, Konzept 2 aufgegriffen (vgl. Kapitel 2.3.1 dieser Arbeit).

Es ist also wichtig zu entscheiden, ob mit dem Begriff "Fehler" die Messunsicherheit einer Messung, die Abweichung von einem Referenzwert oder tatsächlich ein Fehler im Sinne einer fehlerhaften Durchführung des Experiments gemeint ist (Hellwig, Heinicke, 2020, S.28). Selbstverständlich können auch Fehler (z.B. in der Handhabung oder dem Ablesen eines Wertes) gemacht werden und sollten deshalb auch thematisiert werden. Von entscheidender Bedeutung ist allerdings der Aspekt, dass vermeintlich unterschiedliche Messwerte sich nicht zwangsläufig widersprechen müssen und dass jedes Ergebnis mit einer Unsicherheit betrachtet werden muss, die eben nicht das Resultat einer fehlerhaften Durchführung ist. Es sollte also nicht allgemein von „Messfehlern“ gesprochen, sondern der Unterschied zwischen "Messunsicherheiten" und "Messabweichung" diskutiert werden. Um negative Konnotationen zu vermeiden, sollte darauf geachtet werden, stets den Begriff „Messabweichung“ anstelle von „Messfehler“ zu verwenden (Hellwig, 2012, S.173).

2.2.2 Die Suche nach dem "wahren" Wert

In Bezug auf die bereits beschriebenen missverstandenen Begriffe von Fehler und Unsicherheit, fällt es vielen Schülerinnen und Schülern schwer zu akzeptieren, dass es Unsicherheiten in ihren Experimenten gibt, und so entsteht der Glaube, dass es zumindest in der Wissenschaft möglich ist ein Experiment durchzuführen, bei dem die Messunsicherheit exakt auf Null reduziert wird (vgl. Heinicke, 2012). Tatsächlich sind Messunsicherheiten jedoch ein unvermeidlicher Bestandteil jeder Messung, da experimentelle Ausrüstung nie perfekt ist und stets zu Unsicherheiten führt (vgl. Kok, 2022, S.15). Die Annahmen, dass es möglich ist, perfekte Messungen durchzuführen und dass perfekte Messinstrumente existieren, sind für das Verständnis und die Darstellung von wissenschaftlichem Arbeiten sehr problematisch.

Es ist deshalb wichtig, dass Schülerinnen und Schüler frühzeitig erkennen, dass Messunsicherheiten ein fester Bestandteil eines jeden wissenschaftlichen Experiments sind, um so ein angemessenes Verständnis für wissenschaftliches Arbeiten zu bekommen (vgl. Kok, 2022, S.15). Hull et al. beschreiben Studien, in denen Schüler/innen einen Mittelwert für ihre erhobenen Daten ermittelten, im Ergebnis aber dann einen Datenpunkt angaben, der dem Mittelwert am nächsten lag. Diese Schüler/innen scheinen davon auszugehen, dass der "wahre" Wert einer der gemessenen Werte sein muss (vgl. Hull et al., 2021, S.64). Andere Studien zeigten, dass Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung von Experimenten nach einem richtigen Ergebnis "suchen", was sich darin zeigt, dass gemessene Daten, die nicht genau diesen Erwartungen entsprechen, als Fehler der messenden Person gewertet werden (vgl. Hull et al., 2021, S.64). Wird ein Wert während einer Messung (zufällig) mehrmals gemessen, so vermuten viele Kinder, dass es sich dabei um den "wahren" Wert der Messung handelt (vgl. Höttecke, Hopf, 2018, S.231).

2.2.3 Gründe für Messwiederholungen

Messungen werden in der Regel wiederholt, um Auskunft über die mit ihnen verbundenen Unsicherheiten zu erhalten. Folglich berücksichtigten die meisten Studien, die sich mit Vorstellungen von Lernenden über Messunsicherheiten befassen, die Fragestellung, inwiefern die Wiederholung einer Messung als notwendig angesehen wird. Viele inadäquate Vorstellungen liegen in der Annahme, dass Messungen zum Üben experimenteller Verfahren wiederholt werden oder weil die Lehrkraft es verlangt (vgl. Hull, 2021, S.63). Wenn Kinder keine konzeptuelle Vorstellung von Messunsicherheiten haben, ist für sie die Möglichkeit, dass

unterschiedliche Werte gemessen werden könnten, nicht vorstellbar und somit eine mehrfache Messung nicht nötig. Andere Studien zeigten, dass Messungen wiederholt wurden, um sich dem "wahren" Wert anzunähern (Hull et al., 2021, S.64).

Dabei wird davon ausgegangen, dass trotz vieler Messungen die Kinder nur ein einziges Ergebnis dokumentieren, wobei unterschiedliche Studienergebnisse vorliegen. So gibt es Kinder, die immer den ersten gemessenen Wert angeben, weil "die Geräte noch sauber waren" (Hull et al., 2021, S.64). Andere Untersuchungen ergaben, dass Kinder nur den letzten gemessenen Wert angeben, da dieses Ergebnis nach der meisten Übung erzielt wurde (Hull et al., 2021, S.64). Hull et al. beschreiben weiterhin Studien, in denen Schülerinnen und Schüler bei einer Reihe von Messungen davon ausgehen, dass der Mittelwert der "wahre" Wert ist oder der Wert, der mehrmals gemessen wurde (vgl. Hull et al., 2021, S.64).

Auch Höttecke und Hopf beschreiben, wie bereits erwähnt, dass viele Kinder bei der (zufälligen) mehrfachen Messung eines Wertes vermuten, dass es sich dabei um den "wahren" Wert der Messung handelt (vgl. Höttecke, Hopf, 2018, S.231). Sie erwähnen nicht, dass wiederholte Messungen die Ermittlung der Varianz in den Daten ermöglichen, um die beste Schätzung der Messgröße zu erhalten. Wenn Schüler/innen mehrere Messungen vornehmen, um einen Mittelwert berechnen zu können, geben sie dazu verschiedene Gründe an, z.B. dass ihre Messung somit "genauer" wäre oder eine "größere Chance habe, eine genauere Messung zu erhalten". Obwohl diese Aussagen einen gewissen Wahrheitsgehalt haben, enthält keine von ihnen einen Hinweis auf Messunsicherheiten oder den Mittelwert als beste Schätzung (vgl. Kok, 2022, S.20).

Diese Betrachtungen lassen Hellwig (2012) zufolge darauf schließen, dass durch die fehlende Thematisierung von Messunsicherheiten im Unterricht ein zweifelhaftes Bild über den Prozess der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften gefördert wird. So könnte bei den Kindern der Eindruck entstehen, dass physikalische Experimente und Theorien direkt aus einmalig durchgeführten Messungen resultieren, was bedeuten würde, dass es keiner kritischen Interpretation von Daten aus wiederholt vorgenommener Messung bedarf, um begründete Schlussfolgerungen treffen zu können. Dabei wird gerade hinsichtlich dieser Thematik ein angemessenes Verständnis im naturwissenschaftlichen Unterricht für äußerst wichtig erachtet (vgl. Hellwig, 2012, S.7).

2.2.4 Das point- und set-Paradigma

Die dargestellten Alltagsvorstellungen, die zu Schwierigkeiten im Verständnis von Messunsicherheiten führen können, wurden in *point-* und *set-Paradigmen* zusammengefasst (vgl. Hellwig, 2012, Kok, 2022). Das *Point-Paradigma* basiert auf der Vorstellung, dass der „wahre“ Wert einer Messgröße durch eine einzelne Messung direkt bestimmt werden kann. Auch wenn eine Messung mehrfach durchgeführt wird, werden die einzelnen Messwerte als unabhängig voneinander betrachtet. Dies zeigt sich daran, dass nur ein bestimmter Wert aus einer Messreihe (z.B. der zuerst erfasste oder der häufigste) als das endgültige Messergebnis gewählt wird. Ebenso deutet der Vergleich zweier Messreihen anhand einzelner übereinstimmender Werte auf dieses Paradigma hin, in dem ein Messergebnis punktförmig, also ohne Messunsicherheit, angesehen wird (vgl. Hellwig, 2012, S.31).

Das Ziel der wiederholten Messungen ist es, experimentelle Verfahren zu üben oder nach wiederkehrenden Werten zu "suchen", die den "wahren" Wert darstellen könnten (vgl. Kok, 2022, S.26). Im Gegensatz dazu geht das *Set-Paradigma* davon aus, dass der "wahre" Wert einer Messgröße nicht direkt messbar ist. Ein Messergebnis stellt vielmehr eine Annäherung an diesen Wert dar. Da die Abweichungen einzelner Messwerte als zufällig gelten, ist es erforderlich, Messungen zu wiederholen und die Streuung der Werte zu betrachten, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Der gesamte Datensatz wird berücksichtigt und zieht idealerweise Mittelwert (und Standardabweichung) heran, um etwa zwei Messreihen sinnvoll zu vergleichen. Im *Set-Paradigma* wird das Messergebnis somit als eine Menge von Werten betrachtet, die der untersuchten Messgröße zugeordnet werden können (vgl. Hellwig, 2012, S.31). Die Messunsicherheiten machen es notwendig, Messungen zu wiederholen, um diese Messunsicherheit zu quantifizieren. Der Mittelwert wird als die beste Schätzung der Messgröße verwendet, und die Unsicherheit um ihn herum führt zu einem Intervall, in dem die Messgröße erwartet werden kann (vgl. Kok, 2022, S.27). Die Streuung der Daten lässt sich zwar durch die Verwendung präziserer Messinstrumente und sorgfältiger experimenteller Verfahren reduzieren, kann aber niemals Null erreichen. Die Messunsicherheit ist also ein Hinweis auf die Qualität der Daten.

Die größten Schwierigkeiten in den Alltagsvorstellungen scheinen also daraus zu resultieren, dass von einem "wahren" Wert ausgegangen wird, der mit einer Messung erzielt werden kann, wenn alles richtig gemacht wurde (vgl. Hull, 2021, S.64). Dass aber bei jeder Messung Messunsicherheiten auftreten, die das Ergebnis beeinflussen, wird nicht berücksichtigt. Somit wird auch keine Notwendigkeit für wiederholte Messungen gesehen. Obwohl in der Wissenschaft also die Beschäftigung mit Messunsicherheiten ausschlaggebend für die Erkenntnisgewinnung durch Experimente ist, findet sich das Thema nur selten im Unterricht wieder und wird von vielen Lehrkräften eher umgangen (vgl. Holz, Heinicke, 2019).

Um zu erfassen, welche Aspekte eines adäquaten Umgangs mit Messunsicherheiten Schülerinnen und Schülern sinnvoll vermittelt werden sollten, entwickelte Hellwig zunächst ein normatives vierdimensionales Sachstrukturmodell, das alle relevanten Aspekte des Themenfeldes der Messunsicherheiten berücksichtigt und das "ein aus wissenschaftlicher Sicht vollständiges Modell mit ausschließlich fachlich korrekten Inhalten darstellen" sollte (vgl. Hellwig, 2012, S.53). Dieses Modell enthält vier Dimensionen, die wiederum Grundkonzepte enthalten, die durch Unterkonzepte auf mehreren Ebenen aufgelöst werden (vgl. Glomski, Priemer, 2010, S.1). Das Modell soll einen umfassenden Überblick über das gesamte Themenfeld der Messunsicherheiten darstellen (vgl. Hellwig, 2012, S.53). Dieses allgemeine, sehr komplexe Modell ließ sie im Rahmen ihrer Dissertation (2012) durch Lehrkräfte validieren und reduzierte es inhaltlich für die Sekundarstufe I. Im Folgenden wird zunächst das validierte Sachstrukturmodell vorgestellt, um im weiteren Verlauf auf die Reduzierungen für die Sekundarstufe I durch Hellwig einzugehen.

2.3 Das Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012)

Das Sachstrukturmodell beinhaltet vier Dimensionen und dient als Grundlage für die Beschreibung und Erfassung von Kompetenzen für einen adäquaten Umgang mit Messunsicherheiten, das alle notwendigen Konzepte enthält. (vgl. Glomski, Priemer, 2010, S.1). Zunächst geht es allgemein um die *grundsätzliche Existenz* von Messunsicherheiten (erste Dimension), und dass jede Messung immer mit einer Messunsicherheit behaftet ist. Der *Einfluss* von Messunsicherheiten (zweite Dimension) soll beschreiben, wie sich Messunsicherheiten auf die Prozesse des Experimentierens auswirken.

Wichtig ist hierbei die Erkenntnis, dass es nicht den einen Wert einer Messung gibt, den man einfach nachmessen kann. Bei der *Erfassung* von Messunsicherheiten (dritte Dimension) geht es um die Berechnungen von Messunsicherheiten. Das ist wichtig, um schließlich die *Aussagekraft* von Messunsicherheiten (vierte Dimension) bestimmen, also z.B. Messergebnisse miteinander vergleichen, zu können. Dieses normative Modell wurde von sechs Experten auf dem Gebiet der Messunsicherheiten validiert, um somit ein Sachstrukturmodell zu erhalten, das einen angemessenen fachlichen Ausgangspunkt zu diesem Thema darstellt. Die vier Dimensionen und die dazugehörigen Konzepte werden im Folgenden vorgestellt (vgl. Hellwig, 2012, S.59ff.).

2.3.1 Dimension 1: Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten

In der ersten Dimension geht es um die allgemeine Fragestellung, was Messunsicherheiten sind und wie diese entstehen. Es gibt zwei Konzepte, die in dieser Dimension verortet werden, zum einen die *Ursachen der Messunsicherheit* (Tabelle 1) und zum anderen die *Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung* (Tabelle 2).

Konzept	Inhalte	
1. Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen	
	Einflussgrößen	Rückwirkung der Messanordnung
		Umwelteinflüsse
		Unvollkommenheit der Messgeräte
	Mathematische Operationen	
Faktor „Mensch“		

Tabelle 1: Dimension 1, Konzept 1: Ursachen der Messunsicherheit (Hellwig, 2012)

Tabelle (1) zeigt das Konzept der *Ursachen der Messunsicherheit*, dass jede gemessene Größe mit einer Unsicherheit versehen ist, auch wenn sehr genau und exakt gemessen wurde und sehr präzise Messgeräte verwendet wurden, weil dafür verschiedene Gründe verantwortlich sind (vgl. Hellwig, 2012, S.60f.). Sowohl bei analogen als auch bei digitalen Anzeigen können nur endlich viele Nachkommastellen einer gemessenen Größe angezeigt, abgelesen und notiert werden (Endlichkeit von Darstellungen). Auch die begrenzte Option der Skalenverfeinerung (z.B. bei einem Lineal) führt zu einer endlichen Darstellung.

Verschiedene Einflussgrößen beeinflussen bei jeder Messung das Messergebnis, weshalb es bei der Beobachtung einer Messgröße deshalb immer zu Schwankungen kommt, die systematisch oder zufällig sein können. Zu diesen Größen gehören die Rückwirkung der Messanordnung (z.B. durch den Widerstand des Messgeräts oder durch den Einfluss des Beobachters), Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Gravitation) oder auch die Unvollkommenheit der Messgeräte (z.B. systematische Effekte der Eichung).

Unsicherheiten entstehen ebenfalls bei der Überführung von Messwerten in ein Messergebnis (Mathematische Operationen). Spätestens an der letzten Stelle muss das Messergebnis gerundet werden. Aus diesem Vorgehen entsteht eine Messunsicherheit, die fest mit jedem Messergebnis verbunden ist. Auch die unbekannte Unsicherheit verwendeter Literaturwerte muss stets berücksichtigt werden. Selbst der experimentierende Mensch kann zur Unsicherheit der gemessenen Größe beitragen, z.B. im unsachgemäßen Umgang mit Geräten oder fehlender Sorgfalt, in der Beobachtung (z.B. Ablesefehler) sowie in der Auswertung (z.B. Verrechnungen). Darüber hinaus können auch die Erwartungshaltung und die Erfahrung des Beobachters die Unsicherheit beeinflussen (Faktor "Mensch"). Werden Unsicherheitsquellen erkannt, die auf fehlerhaftes Handeln zurückzuführen sind, sollte die Messung wiederholt werden (vgl. Hellwig, 2012, S.61).

Konzept	Inhalte	
2. Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung	Systematische Messabweichungen
		Zufällige Messabweichungen
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit	

Tabelle 2: Dimension 1, Konzept 2: Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung (Hellwig, 2012)

Tabelle (2) zeigt das zweite Konzept der ersten Dimension, die *Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung* (vgl. Hellwig, 2012, S.61). Diese Unterscheidung ist notwendig, um die Begriffe Messunsicherheit und Messabweichung voneinander abzugrenzen, anstatt die beiden verschiedenen Konzepte unter dem Oberbegriff "Messfehler" zusammenzufassen (siehe Kapitel 2.2.1 dieser Arbeit). Beide Konzepte haben unterschiedliche Bedeutungen bezüglich ihrer Berechnung und Aussagekraft und müssen deshalb klar voneinander abgegrenzt werden. Bei der Messabweichung handelt es sich um die Differenz aus dem Messergebnis und dem "wahren" Wert der untersuchten Messgröße. Damit wird also aufgezeigt, wie stark ein gemessener Wert vom "wahren" Wert abweicht. Da es aufgrund von Messunsicherheiten diesen einen "wahren" Wert aber niemals geben kann, kann auch die exakte Messabweichung nicht bestimmt werden. Nach Hellwig sollte deshalb nicht vom "wahren" Wert einer Messung, sondern von einem Referenzwert (bzw. einem vereinbarten Literaturwert) gesprochen werden. Es gibt systematische und zufällige Messabweichungen. Wenn systematische Messabweichungen quantitativ bekannt sind, können Messwerte mithilfe einer Korrektur bereinigt werden, so dass der Effekt ausgeglichen werden kann; sie können also oft verringert werden. Im Gegensatz dazu sind zufällige Messabweichungen unvorhersehbare, zeitliche oder räumliche Schwankungen einer Messgröße. Zufällige Messabweichungen sind außerdem im statistischen Mittel immer ungerichtet und haben einen Erwartungswert von Null (vgl. Hellwig, 2012, S.63).

Die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung hängt stark mit den Begriffen Präzision und Richtigkeit zusammen (vgl. Kok, 2022, S.7). Die Messunsicherheit beschreibt die Größe der Schwankungen zwischen einzelnen Messwerten (Präzision), ohne Berücksichtigung eines Referenzwerts. Beispielsweise entspricht sie dem Unterschied zwischen einzelnen gemessenen Geschwindigkeiten bei einem Versuch zur Geschwindigkeitsmessung eines Aufziehautos im Klassenzimmer, die von verschiedenen Kindern aufgenommen wurden (Streuung der Messwerte). Die Präzision einer Messung gibt also an, wie nah alle Messwerte bei wiederholter Messung beieinander liegen.

Die Messabweichung gibt an, wie weit entfernt die aufgenommenen Messwerte im Vergleich zu einem festgelegten Referenzwert liegen (Richtigkeit). In diesem Fall wäre das etwa der Unterschied zwischen dem Mittelwert der manuell erfassten Geschwindigkeiten und dem Wert einer professionellen Lichtschrankenmessung. Die Richtigkeit einer Messung beschreibt also, wie nah alle Messwerte an einem vorgegebenen Referenzwert liegen. Ein Referenzwert ist bei einer Messung nicht zwingend erforderlich (und auch nicht immer vorhanden) und somit ist die Angabe einer Messabweichung nur dann möglich, wenn es einen solchen Referenzwert gibt. Die Messabweichung gibt dann die Differenz zwischen einem Messergebnis und einem Vergleichswert an. Ein Ergebnis ist also dann genau, wenn es richtig und präzise ist (Genauigkeit = Präzision und Richtigkeit).

Für Hellwig ist das ein entscheidender Grund für die Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung und sie sieht diese als zentral für den Physikunterricht an, da daran sehr deutlich gemacht werden kann, dass der Vergleich eines erhaltenen Ergebniswerts mit einem Referenzwert kein Maß für die Vertrauenswürdigkeit der gemessenen Werte sein kann. Es wird somit "erst anhand der expliziten Einführung der Messabweichung die Relevanz der Messunsicherheit deutlich, wodurch ein Fundament für deren Thematisierung im Physikunterricht geschaffen werden kann" (vgl. Hellwig, 2012, S.105). Im Gegensatz zur Messabweichung gibt die Messunsicherheit das Vertrauen in die Messung und das daraus resultierende Ergebnis wieder. Auch wenn ein Messergebnis unwissend sehr nah am entsprechenden Referenzwert liegt und folglich eine kleine Messabweichung besitzt, kann dessen Unsicherheit trotzdem groß sein (also richtig, aber nicht präzise). Dementsprechend ist die Messabweichung allein kein aussagekräftiges Gütekriterium für eine Messung.

Es kann allerdings auch der Fall eintreten, dass ein Messergebnis mit einer geringen Unsicherheit verbunden ist, jedoch stark vom entsprechenden Referenzwert abweicht (also präzise ist, aber nicht richtig). Dies deutet darauf hin, dass bei der Messung Einflussgrößen aufgetreten sind, die das Messergebnis systematisch beeinflussen. Solche systematischen Messabweichungen können nicht verhindert werden. Werden sie erkannt, können sie aber oft verringert werden. Es wird stets angenommen, dass das Messergebnis bezüglich aller bekannten signifikanten systematischen Effekte korrigiert und dass alles unternommen wurde, um solche Effekte zu identifizieren (vgl. Hellwig, 2012, S.62).

2.3.2 Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen

Die zweite Dimension des Sachstrukturmodells beinhaltet den Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen, also die Tatsache, dass die Berücksichtigung von Messunsicherheiten die Planung und Durchführung einer Messung beeinflussen (vgl. Hellwig, 2012, S.63ff.). Dafür gibt es zwei Konzepte, das *Ziel der Messung* (Tabelle 3) und das *Ergebnis der Messung* (Tabelle 4).

Konzept	Inhalte	
1. Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit
		Anpassung des Messprozesses

Tabelle 3: Dimension 2, Konzept 1: Ziel der Messung (Hellwig, 2012)

Tabelle (3) zeigt das Konzept 1 der zweiten Dimension. Das Ziel einer Messung ist nicht, "eine Referenzgröße unendlich exakt zu reproduzieren, sondern ein möglichst enges Intervall zu erhalten, das die infrage kommenden Werte enthält" (vgl. Hellwig et al., 2017, S.17). Damit eine Messung also aussagekräftig ist, muss das Ziel der Messung vorher klar definiert sein, einschließlich der Art und Menge der benötigten Informationen über die Messgröße. Da Messunsicherheiten darüber Auskunft geben, wie genau eine Größe bestimmt wird, sind sie entscheidend bei der Zielsetzung der Messung. Das Ziel ist dabei idealerweise die Annäherung an den „wahren“ Wert der Messgröße, wenngleich dieser nur als theoretische Grenze verstanden werden kann, da die Unsicherheiten nie völlig beseitigt werden können (Unkenntnis des "wahren" Wertes). "Es handelt sich beim 'wahren' Wert also um einen Grenzwert, dem sich ein Messergebnis mit abnehmender Messunsicherheit immer weiter nähert, ohne ihn jemals zu erreichen" (vgl. Hellwig, 2012, S.64).

Es wird angestrebt, die Messunsicherheit möglichst klein zu halten, jedoch beeinflussen äußere Rahmenbedingungen wie Budget, Zeit oder technische Vorgaben dieses Ziel. Daher wird im Allgemeinen ein "angemessenes" Maß an Unsicherheit bestimmt, das akzeptabel und praktisch umsetzbar ist. Dieses *Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit* beinhaltet die Unterkonzepte *Festlegen eines Höchstwerts für die Messunsicherheit* und die *Anpassung des Messprozesses*. Ein Höchstwert für die Messunsicherheit wird im Vorfeld der Messung festgelegt. Dabei müssen zum einen die genannten äußeren Vorgaben einer Messung eingehalten werden, aber zum anderen auch eine möglichst geringe und besonders für das Ziel der Messung hinreichende Messunsicherheit angestrebt werden. Somit ist "der zu tolerierende Höchstwert für die Messunsicherheit im Spannungsfeld zwischen möglichst genau und möglichst wirtschaftlich vertretbar festzulegen" (vgl. Hellwig, 2012, S.64). Mit dem zweiten Subkonzept *Anpassung des Messprozesses* sind dagegen Änderungen im Messprozess gemeint, die auf der Grundlage von meist starken, bekannten Einflüssen auf die Unsicherheit eines Messergebnisses vorgenommen werden, so dass sich die Messunsicherheit im Messverfahren für zukünftige Messwerte verringern lässt. Diese Anpassung kann zum Beispiel in der Auswahl der zu verwendenden Messgeräte bestehen oder in einer Änderung der Anzahl der aufgenommenen Messwerte (vgl. Hellwig, 2012, S.65).

Konzept	Inhalte
2. Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen
	Dokumentation von Messergebnissen

Tabelle 4: Dimension 2, Konzept 2: Ergebnis der Messung (Hellwig, 2012)

Tabelle (4) zeigt das *Ergebnis der Messung*. Es muss alle Informationen beinhalten, die bei der Dokumentation und der Ergebnisangabe gesammelt und dargestellt werden. Das Unterkonzept *Mathematisches Modell der Auswertung* beinhaltet den Aspekt, dass für jede Messung eine Modellgleichung aufzustellen ist, mit "der die aufgenommenen Messwerte in das Messergebnis überführt, systematische Effekte korrigiert und die Unsicherheit des Ergebnisses ermittelt werden" (vgl. Hellwig, 2012, S.65ff.). Der Modellgleichung liegt die Prozessgleichung zugrunde, die den idealisierten Messprozess ohne Einflussgrößen mathematisch beschreibt. Erweitert man diese Prozessgleichung um Einflüsse der Messunsicherheit und die Korrektur von systematischen Effekten, kann die Modellgleichung aufgestellt werden, die somit den Weg zum Messergebnis aufzeigt. Messunsicherheiten prägen also nicht nur das Ziel, sondern auch die Art, wie das Messergebnis zu betrachten ist.

Dies umfasst die Auswahl und den Aufbau eines mathematischen Modells zur Auswertung, welches die Messwerte und systematische Effekte zu einem Ergebnis zusammenführt und dessen Unsicherheit quantifiziert. Das Messergebnis selbst fasst alle relevanten Informationen zur Messung zusammen, einschließlich des ermittelten Wertes und der zugehörigen Unsicherheit (*Messergebnis als Zusammenfassung sämtlicher Informationen*).

Ein vollständiges Ergebnis besteht also immer aus einem Ergebniswert und der Angabe der Messunsicherheit (Messergebnis = Ergebniswert Messunsicherheit). Diese Unsicherheit definiert ein Intervall um den geschätzten Wert, innerhalb dessen sich der tatsächliche theoretische Zielwert (den man aufgrund von Messunsicherheiten aber niemals genau bestimmen kann)² wahrscheinlich befindet.

Im dritten Unterkonzept *Dokumentation von Messergebnissen* geht es um die möglichst detaillierte Beschreibung des Messprozesses und somit um die Verlässlichkeit der Ergebnisse. Hellwig betont, dass die untersuchten Messgrößen jeweils so exakt angegeben werden sollten, wie es für die gegebene Problemstellung nötig ist. Zur vollständigen Nachvollziehbarkeit des Messergebnisses sollten detaillierte Angaben zu allen Eingangsgrößen und deren Unsicherheiten sowie zu den verwendeten Modellen und Korrekturen dokumentiert sein. Für eine hohe Vergleichbarkeit wird bei erweiterten Unsicherheiten oft ein Erweiterungsfaktor gewählt, der zu Vertrauensniveaus von 95% oder 99% führt. Wenn eine solche Normalverteilung des Messergebnisses nicht angenommen werden kann, sollte die genaue Wahrscheinlichkeitsverteilung angegeben werden (vgl. Hellwig, 2012, S.66).

2.3.3 Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten

Die dritte Dimension *Erfassung von Messunsicherheiten* enthält die mathematischen Methoden, um Messunsicherheiten ermitteln zu können. Sie enthält drei Konzepte, die im Folgenden vorgestellt werden (vgl. Hellwig, 2012, S.66ff.).

Konzept	Inhalte	
1. Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung	Aufstellen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Wdf)	Ermittlungsmethode A
		Ermittlungsmethode B
	Analyse der Wdf	Form der Wdf
		Ermittlung des Erwartungswertes
		Ermittlung der Standardmessunsicherheit
Freiheitsgrad		

Tabelle 5: Dimension 3, Konzept 1: Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung (Hellwig, 2012)

Im ersten Konzept der dritten Dimension (Tabelle 5) wird bei direkter Messung eine Unsicherheitskomponente mithilfe einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (*Wdf*) bestimmt, die die möglichen Werte einer Messgröße beschreibt (*Erfassung einer Unsicherheitskomponente*) (vgl. Hellwig, 2012, S.67).

² Bezeichnung für den "wahren" Wert, der aufgrund von Messunsicherheiten niemals bekannt sein kann (vgl. Hellwig, 2012, S.173).

Hellwig gliedert das Konzept weiter in die Aspekte *Aufstellen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion*, *Analyse der Wdf* und *Freiheitsgrad*. Das *Aufstellen einer Wdf* dient dazu, das Ergebnis einer Messung mit allen relevanten Informationen über die Messgröße und den Messprozess darzustellen, und kann entweder auf statistische Weise (Typ A) durch Messwiederholungen oder durch nicht- statistische Informationen (Typ B) ermittelt werden.

Die Auswahl der Verteilungstypen hängt von der Messmethode ab. Da es in beiden Fällen selten möglich ist, eine *Wdf* tatsächlich mathematisch zu modellieren, handelt es sich bei der aufgestellten *Wdf* in der Regel um eine Schätzung (vgl. Hellwig, 2012, S.67).

Bei Ermittlungsmethode A wird die *Wdf* "auf Grundlage der Streuung mehrerer aufgenommener Messwerte modelliert" (Hellwig, 2012, S.67). Eine Auswertung vom Typ A ist demnach ein statistisches Verfahren, bei dem die Unsicherheit (normalerweise die Standardabweichung) aus einer Reihe von wiederholten Messungen berechnet wird. Typ A verwendet die Häufigkeitsverteilung von Messwerten und folgt für genügend große Datensätze einer Normalverteilung.

Ermittlungsmethode B wird durchgeführt, wenn nur eine Messung möglich ist. In diesem Fall ist die beste Schätzung nicht der Mittelwert, sondern die aufgezeichnete Messung. Typ B beruht auf bekannten Eigenschaften und Gegebenheiten der Messgeräte und -verfahren. Die Unsicherheit wird dann also aus den angenommenen Unsicherheiten aus dem Versuchsaufbau, der Versuchsplanung und den genutzten Eigenschaften der Messgeräte geschätzt³. Ist die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion also nicht auf statistische Weise zu ermitteln, werden "sämtliche zur Verfügung stehende Informationen zurate gezogen, um auf diese Weise eine angenommene *Wdf* zu modellieren" (Hellwig, 2012, S.68).

Bei der *Analyse der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion* berücksichtigt man die Subkonzepte *Form der Wdf*, *Ermittlung des Erwartungswertes* sowie die *Ermittlung der Standardmessunsicherheit*. So übermittelt zum Beispiel die *Form der Wdf* Informationen darüber, wie das Ergebnis ermittelt wurde. Die *Ermittlung des Erwartungswertes* beschreibt das Maximum der Funktion, das üblicherweise im Zentrum dieser liegt, entspricht dem besten Schätzwert für den "wahren" Wert der Messgröße, es handelt sich somit um den *Erwartungswert der Wdf*. Der *Erwartungswert der Wdf* repräsentiert also den geschätzten "wahren" Wert, während die Standardunsicherheit auf der Streuung basiert und durch die Varianz berechnet wird. Die *Ermittlung der Standardmessunsicherheit* beinhaltet die Bestimmung der Standardmessunsicherheit aus der Breite der *Wdf*. Dazu wird die Standardabweichung verwendet (und ggf. die der theoretischen Verteilung im Falle der Ermittlungsmethode B).

Dem Aspekt *Freiheitsgrad* zufolge kann jeder Stichprobe ein Freiheitsgrad zugeordnet werden. Dieser liegt für die Ermittlungsmethode B (bei einer angenommenen Verteilung) bei einem Zahlenwert von unendlich. Für die Ermittlungsmethode A kann dieser Freiheitsgrad aus der Anzahl der Messwerte bestimmt werden, "ab etwa 50 Freiheitsgraden [ist] die Verteilung der Normalverteilung recht gut angenähert" (vgl. Hellwig, 2012, S.69).

³ Jedes Messgerät hat eine begrenzte Skala. Analoge Instrumente haben begrenzte Markierungen, digitale Instrumente haben eine begrenzte Anzahl von Dezimalstellen. Im Falle eines analogen Instruments beträgt die Unsicherheit die Intervallbreite der kleinsten ablesbaren Einheit. Bei einem digitalen Instrument ist dies ein ganzes Digit.

Konzept	Inhalt		
2. 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			

Tabelle 6: Dimension 3, Konzept 2: Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten (Hellwig, 2012)

Tabelle (6) zeigt das zweite Konzept der dritten Dimension. Es umfasst die *Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten* und beinhaltet die Tatsache, dass sich die mit der untersuchten Messgröße verbundene Messunsicherheit aus mehreren einzelnen Unsicherheitskomponenten zusammensetzt (vgl. Hellwig, 2012, S.69). Messverfahren können unterteilt werden in direkte und indirekte Messverfahren.

Bei indirekter Messung einer Größe (z.B. Geschwindigkeitsmessung durch die Berechnung von zurückgelegter Strecke und vergangener Zeit) wird ein mathematisches Modell aus mehreren einzelnen Unsicherheitskomponenten zusammengestellt.

Auch die direkte Messung einer Größe (z.B. Längenmessung mit einem Lineal) beinhaltet in der Regel mehrere Unsicherheitskomponenten, so dass in beiden Fällen aus den unterschiedlichen Einflüssen von Unsicherheiten eine resultierende Gesamtunsicherheit ermittelt werden muss. Dafür ist es nötig, die *Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz*, die *Fortpflanzung der Messunsicherheit*, die *Ermittlung der resultierenden Wdf*, die *Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen* und den *Freiheitsgrad eines Messergebnisses mit verschiedenen Unsicherheitskomponenten* zu ermitteln (siehe Tabelle 6).

Für jede Messung sollte eine *Unsicherheitsbilanz* erstellt werden, in der sämtliche Einflussfaktoren auf die Unsicherheit des Ergebnisses aufgeführt sind. Dies erfolgt üblicherweise in Form einer Tabelle, in der alle Unsicherheitskomponenten zusammen mit der Information zur Art der Unsicherheit (Ermittlung gemäß Methode A oder Methode B) aufgeführt werden (vgl. Hellwig, 2012, S.71).

Die *Fortpflanzung der Messunsicherheit* beinhaltet die Bestimmung der Gesamtunsicherheit einer Messung, d.h. die Unsicherheit eines Messergebnisses pflanzt sich fort, wenn mit dem ermittelten Messergebnis weitergerechnet wird (vgl. Hellwig, 2012, S.71). Hierbei wird von Hellwig weiter unterschieden in die *Schrittweise Bestimmung der Gesamtunsicherheit* und die

Ganzheitliche Bestimmung der Gesamtunsicherheit, wobei die *Schrittweise Bestimmung der Gesamtunsicherheit* sich weiter verzweigt in *Verschiedene Unsicherheitskomponenten bei 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*, sowie eine *Beliebige vom Messwert abhängige Funktion* (siehe Tabelle 6).

Das Unterkonzept *Verschiedene Unsicherheitskomponenten bei einer direkt gemessenen Größe* beinhaltet die Zusammenfassung der einzelnen Unsicherheitseinflüsse aus der Unsicherheitsbilanz zur Gesamtunsicherheit (vgl. Hellwig, 2012, S.71). Die anderen Unterkonzepte implizieren die Inhalte, dass sich in Summen und Differenzen gemessener Größen die (absoluten) Unsicherheiten addieren; in Produkten und Quotienten addieren sich die relativen Unsicherheiten, also die prozentualen Anteile der Unsicherheiten der dazugehörigen Bestwerte (vgl. Hellwig, 2012, S.71f.).

Bei dem Aspekt *Summe/Differenz aus Messwert und exakter Zahl* wird beschrieben, dass bei einem gemessenen Wert, der mit einer exakten Zahl addiert oder subtrahiert wird, die Gesamtunsicherheit der Unsicherheit des Messwerts entspricht, da die exakte Zahl keine Unsicherheit besitzt. Analoges gilt für den Aspekt *Produkt/Quotient aus Messwert und exakter Zahl*. Bei einem gemessenen Wert, der mit einer exakten Zahl multipliziert oder durch eine exakte Zahl dividiert wird, entspricht die relative Gesamtunsicherheit der des Messwerts, da die exakte Zahl keine Messunsicherheit besitzt.

Als letzten Unterpunkt zur *Schrittweisen Bestimmung der Gesamtunsicherheit* führt Hellwig die *Beliebige vom Messwert abhängige Funktion* auf. Wenn die Unsicherheit eines Messwerts hinreichend klein ist, verläuft die Funktion f innerhalb eines gegebenen Intervalls näherungsweise linear. Man erhält die resultierende Gesamtunsicherheit durch das Produkt aus Ableitung der Funktion und Unsicherheit des Messwerts.

Unter dem Aspekt *Ganzheitliche Bestimmung der Gesamtunsicherheit* wird beschrieben, dass es in der Regel sinnvoll ist, die resultierende Gesamtunsicherheit direkt in einem Schritt zu ermitteln, da "eine schrittweise Berechnung in manchen Fällen zu einer Überschätzung der Standardunsicherheit führen kann. Geht man davon aus, dass sämtliche Unsicherheiten unabhängig voneinander aus einer *Wdf* in Form einer Normalverteilung gewonnen wurden, kann die Gesamtunsicherheit einer Größe mit der Modellgleichung nach dem allgemeinen Gesetz der Unsicherheitsfortpflanzung berechnet werden" (vgl. Hellwig, 2012, S.73).

Zur Bestimmung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten wird weiterhin die *Ermittlung der resultierenden Wdf*, die *Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen* und der *Freiheitsgrad eines Messergebnisses mit verschiedenen Unsicherheitskomponenten* aufgeführt. Wenn zwei Eingangsgrößen den Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen p_1 und p_2 folgen, ergibt sich die resultierende Wahrscheinlichkeitsdichte durch eine Kombination beider Verteilungen (*Ermittlung der resultierenden Wdf*) (vgl. Hellwig, 2012, S. 73f.). Der zentrale Grenzwertsatz besagt, dass die Summe unabhängiger, normalverteilter Eingangsgrößen auch normalverteilt ist. Dies gilt auch näherungsweise für nicht normalverteilte Eingangsgrößen, solange die Varianz der Gesamtergebnisgröße wesentlich größer ist als die Varianz der einzelnen Komponenten.

Besteht ein Messergebnis aus vielen unsicheren Komponenten, geht man also meist von einer Normalverteilung aus. Wenn die Einflussgrößen nicht unabhängig sind, muss zur Addition der Unsicherheiten ein weiterer Term hinzugerechnet werden, der diese Abhängigkeit berücksichtigt, die Kovarianz der beiden Einflussgrößen (*Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen*). Besteht die Unsicherheit eines Messergebnisses aus mehreren Komponenten, kann die effektive Gesamtzahl der Freiheitsgrade mathematisch abgeschätzt werden. Dieser Freiheitsgrad ist wichtig, wenn eine erweiterte Messunsicherheit angegeben werden soll (vgl. Hellwig, 2012, S. 74.).

Konzept	Inhalt
3. Erweiterte Messunsicherheit	Wahl des Erweiterungsfaktors bei angenommener Normalverteilung
	Wahl des Erweiterungsfaktors bei anderen Wdf

Tabelle 7: Dimension 3, Konzept 3: Erweiterte Messunsicherheit (Hellwig, 2012)

Die *Erweiterte Messunsicherheit* (Tabelle 7) stellt als drittes Konzept der dritten Dimension eine Vergrößerung der Standardunsicherheit dar, die oft einen höheren Bereich abdeckt, um die Unsicherheit einer Messung repräsentativer darzustellen. Sie beinhaltet die Unterkonzepte *Wahl des Erweiterungsfaktors bei angenommener Normalverteilung* und *Wahl des Erweiterungsfaktors bei anderen Wdf*. Durch die Anwendung eines Erweiterungsfaktors, häufig der Wert 2, wird ein Intervall definiert, das die "wahre" Größe der Messung mit einer höheren Wahrscheinlichkeit umfasst. Dies geschieht durch Verwendung einer größeren Unsicherheit als der Standardunsicherheit (Hellwig, 2012, S.74f.). Bei der Verwendung der Standardunsicherheit beträgt der Vertrauensgrad ca. 68%.

Um eine erweiterte Unsicherheit und damit einen höheren Vertrauensgrad zu erlangen, wird die Standardunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor multipliziert. In der Praxis wird in der Regel angenommen, dass das Messergebnis normalverteilt ist. Falls diese Annahme jedoch nicht zutrifft, wird der Erweiterungsfaktor der Unsicherheit so gewählt, dass für jeden Freiheitsgrad dasselbe Vertrauensniveau erreicht wird wie bei einer Normalverteilung mit $k = 2$ (etwa 95 %) oder $k = 3$ (etwa 99 %). Liegt der Freiheitsgrad des Messergebnisses unter 50, muss bei der Wahl des Erweiterungsfaktors der Student-Faktor berücksichtigt werden, der die Abweichung zwischen der Normalverteilung und der Student-Verteilung beschreibt. Dieser Faktor hängt vom effektiven Freiheitsgrad und dem gewünschten Vertrauensgrad ab, und der entsprechende Erweiterungsfaktor lässt sich aus Tabellen entnehmen.

Um für den Standardfall denselben Vertrauensgrad wie bei einer Normalverteilung mit $k = 2$ (d.h. ca. 95 %) zu erreichen, kann der passende Erweiterungsfaktor auch über eine Näherungsformel berechnet werden (vgl. Hellwig, 2012, S.75).

2.3.4 Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten

In der vierten Dimension geht es darum, wie unter der Berücksichtigung von Messunsicherheiten Aussagen über das Messergebnis getroffen werden können. Sie beinhaltet drei Konzepte: *Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses*, *Vergleich von Messwerten* und *Regression*.

Konzepte	Inhalte
1. Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwertes
	Grad des Vertrauens
	Rückschlüsse auf die Messung

Tabelle 8: Dimension 4, Konzept 1: Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses (Hellwig, 2012)

Tabelle (8) zeigt das erste Konzept der vierten Dimension, die *Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses*. Die Messunsicherheit gibt an, wie verlässlich in Bezug auf den "wahren" Wert der ermittelte geschätzte Wert eines Messobjekts ist und legt fest, wie viele signifikante Stellen das Ergebnis besitzt, also auf welche Stelle ein Ergebnis zu runden ist (*Genauigkeit des Schätzwerts*) (Hellwig, 2012, S.76).

Für den *Grad des Vertrauens* wird die *Wdf* über ein bestimmtes Intervall integriert und gibt somit ein Maß für die Wahrscheinlichkeit an, in dem ein Messwert bei wiederholter Messung im Intervall der Messunsicherheit zu finden ist. Handelt es sich bei der *Wdf* für die Verteilung der Messwerte um die Normalverteilung, so liegt die Wahrscheinlichkeit dafür bei ca. 68%. Dieser Grad des Vertrauens entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass "der 'wahre' Wert der Messgröße im durch die Unsicherheit festgelegten Intervall enthalten ist" (Hellwig, 2012, S.76). Mithilfe dieser Unsicherheitsanalyse können Einflussgrößen herausgestellt werden, die eine besonders große Auswirkung auf die resultierende Gesamtunsicherheit des Messergebnisses haben. Diese Erkenntnisse helfen, die Messmethoden zur Reduktion der Unsicherheit zu optimieren (*Rückschlüsse auf die Messung*).

Konzepte	Inhalte		
2. Vergleich von Messwerten	Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert	Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen	
		Messrichtigkeit	
	Vergleich innerhalb einer Messreihe	Messpräzision	Wiederholungspräzision
			Vergleichpräzision
	Anomalien bzw. "Ausreißer" in Messreihen		

Tabelle 9: Dimension 4, Konzept 2: Vergleich von Messwerten (Hellwig, 2012)

Im zweiten Konzept der vierten Dimension (Tabelle 9) geht es um den *Vergleich von Messwerten*, wobei Hellwig zwischen dem *Vergleich mit einem Referenzwert* und dem *Vergleich von Messergebnissen innerhalb einer Messreihe* unterscheidet. Beim Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert (z.B. ein Literaturwert oder das Ergebnis einer anderen Messung) betont Hellwig, dass ein großer Unterschied dieser Werte nicht zwingend falsch ist, sondern auf Unsicherheiten im Vergleichswert oder systematische Fehler hindeuten können. Der *Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert* beinhaltet die Unterkonzepte *Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen* und *Messrichtigkeit* (vgl. Hellwig, 2012, S.77f.). Werden zwei Messergebnisse für eine Messgröße miteinander verglichen, wird die Differenz ihrer Ergebniswerte betrachtet. Zwei Ergebnisse sind prinzipiell dann als metrologisch verträglich anzusehen, wenn die Differenz kleiner als die Summe der entsprechenden Unsicherheiten ist und sich die Intervalle somit überschneiden. Die zu vergleichenden Messergebnisse müssen nicht zwangsläufig nach demselben Messprinzip gemessen worden sein. Ein Messergebnis kann auch mit einem akzeptierten Wert (z.B. Literaturwert) oder einem theoretisch vorhergesagten Wert verglichen werden, dessen Unsicherheit nicht zwangsläufig bekannt sein muss. Solch ein Wert lässt sich dann mit dem

Messergebnis vereinbaren, wenn er im Unsicherheitsintervall des Messergebnisses liegt. Die *Messrichtigkeit* bezeichnet das "Ausmaß der Nähe des Ergebniswerts zum entsprechenden Referenzwert" (Hellwig, 2012, S.78).

Neben dem Vergleich mit einem Referenzwert können auch *Vergleiche innerhalb einer Messreihe* angestellt werden. Darin finden sich die Unter Aspekte der *Messpräzision* und *Anomalien bzw. "Ausreißer" in Messreihen*. Mit dem Vergleich aufgenommener Werte in einer Messreihe kann die *Präzision* der Messung beurteilt werden (Hellwig, 2012, S.78). Im Unter aspekt *Messpräzision*, den Hellwig weiter nach *Wiederholpräzision* und *Vergleichpräzision* unterscheidet, werden im ersten Fall sogenannte "Wiederholbedingungen" durchgeführt, die z.B. dieselben Messverfahren und -geräte, aber auch Beobachter und denselben Messort umfassen. Hellwig betont, dass bei einer hohen Wiederholpräzision davon ausgegangen werden kann, dass sehr ähnliche Messwerte erzeugt werden können, wenn die Bedingungen kontrolliert werden. Im zweiten Fall werden die Messwerte aus wiederholter Messung derselben Messgröße unter sogenannten "Vergleichsbedingungen" gegenübergestellt. Dazu gehören ebenfalls dasselbe Messverfahren, derselbe Messort sowie die Wiederholung an demselben Objekt oder an ähnlichen Objekten über einen kurzen Zeitraum, aber im Gegensatz zur *Wiederholpräzision* dürfen sich bei der *Vergleichspräzision* gewisse Bedingungen (z.B. Messgeräte und Beobachter) ändern. Eine Angabe über veränderte Bedingungen ist dabei unverzichtbar.

Einen weiteren Unter aspekt bilden *Anomalien bzw. "Ausreißer" in Messreihen* und wie diese innerhalb einer Messreihe erkannt und behandelt werden sollten. Eine Anomalie bzw. ein „Ausreißer“ liegt immer dann vor, wenn ein Messwert deutlich außerhalb des Intervalls der Messunsicherheit liegt. Hellwig betont, dass Daten, die nicht den Erwartungen entsprechen, trotzdem nicht ohne weiteres aus der Messreihe entfernt werden dürfen, vielmehr sollte die gesamte Messung wiederholt werden. Je mehr Messdaten in einer Reihe zur Verfügung stehen, desto geringfügiger wirkt sich ein abweichender Wert auf das Messergebnis aus (Hellwig, 2012, S.80).

Konzepte	Inhalte	
3. Regression	Grafische Durchführung einer linearen Regression	Partielle Regression
		„Ausreißer“ bei der Regression
	Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit	

Tabelle 10: Dimension 4, Konzept 3: Regression (Hellwig, 2012)

Die *Regression* (Tabelle 10) untersucht Zusammenhänge zwischen Messgrößen, wobei die mit dem Messprozess verbundene Messunsicherheit dabei eine entscheidende Rolle spielt. Das Konzept der *Regression* beinhaltet die Unter Aspekte *Grafische Durchführung einer linearen Regression* einerseits und die *Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit* andererseits. Die lineare Regression erfolgt über eine Durchschnittsgerade, die die Unsicherheitsrechtecke der Datenpunkte möglichst gut trifft und die Abweichungen minimiert. Die *Grafische lineare Regression* wird weiter unterteilt in *Partielle Regression* und *„Ausreißer“ bei der Regression*. Der Unter aspekt *Partielle Regression* beschränkt sich auf einen bestimmten Bereich, in dem ein linearer Zusammenhang zwischen den entsprechenden Messgrößen vermutet wird (Hellwig, 2012, S.81). Wenn eine Regressionsgerade nicht alle Unsicherheitsrechtecke trifft, sind potenzielle Fehlerquellen wie zu niedrig angenommene Unsicherheiten zu prüfen (*„Ausreißer“ bei der Regression*). (Hellwig, 2012, S.81). Das Unterkonzept *Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit*

beschreibt, wie eine Regressionsgerade konstruiert und damit ein Bereich bestimmt wird, der durch die günstigsten Parameter der entsprechenden Ausgleichsfunktion mit den dazugehörigen Unsicherheiten mathematisch ermittelt wird und der sämtliche nach dieser Methode in Betracht kommende Funktionen enthält. Hellwig betont, dass immer zu prüfen ist, ob dieser Bereich eine Funktion enthält, von der tatsächlich alle Messpunkte erfasst, d.h. alle Unsicherheitsrechtecke geschnitten werden können, da dieses Verfahren für jeden beliebigen Satz von Messergebnissen durchgeführt werden kann. Ist das nicht der Fall, ist bei auftretenden „Ausreißern“ wie im Fall der grafischen Regression zu verfahren (vgl. Hellwig, 2012, S.82).

2.4 Die erste Reduzierung für die Sekundarstufe I (Hellwig, 2012)

Das in Kapitel 2.3 dieser Arbeit vorgestellte, sehr komplexe Modell hatte zum Ziel, einen umfassenden und übersichtlichen Überblick über das gesamte Themenfeld der Messunsicherheiten darzustellen und ein wissenschaftlich vollständiges Modell mit ausschließlich fachlich korrekten Inhalten abzubilden (vgl. Hellwig, 2012, S.53). Diese von Experten validierten Inhalte sind auf die Hochschulbildung ausgerichtet und sollten in einem zweiten Schritt inhaltlich so reduziert werden, dass ein Sachstrukturmodell entsteht, das einen „angemessenen fachlichen Ausgangspunkt zur Entwicklung eines entsprechenden normativen Erwartungshorizonts für den Physikunterricht der Sekundarstufe I darstellt“ (vgl. Hellwig, 2012, S.55). Die Reduktion der Inhalte basierte auf einer Befragung von 108 Lehrkräften, in der sie die Relevanz verschiedener Aspekte und Unter Aspekte für die Sekundarstufe I bewerten sollten, indem sie sowohl das nicht reduzierte Modell als auch die Vorschläge zur Reduzierung durch Hellwig beurteilen sollten. Die Lehrkräfte sollten dabei insbesondere die Relevanz der (Teil-)Konzepte sowie die Angemessenheit der vorgeschlagenen Reduktion hinsichtlich der Planung einer Unterrichtsreihe über Messunsicherheiten und einer generellen Relevanz für den regulären Unterricht beurteilen (vgl. Hellwig, 2012, S.87). Die Grundlage für diese Reduktion waren das erwartbare Wissen der Schüler in Mathematik, nationale Standards, die Verträglichkeit mit bestehendem Unterrichtsmaterial und Ergebnisse in der wissenschaftlichen Bildungsforschung (vgl. Hellwig, 2012, S.93f.).

Das Modell wurde in drei Kategorien eingeteilt. Dabei wurden relevante Inhalte, die in der Form beibehalten wurden, wie sie den teilnehmenden Lehrkräften bereits im ursprünglichen Modell vorgestellt wurden, grün markiert. Die Inhalte, die im Rahmen der Reduktion vereinfacht werden sollten, wurden gelb eingefärbt. Rot markierte Zellen zeigten an, dass der entsprechende Inhalt als nicht relevant für den Physikunterricht der Sekundarstufe I eingeschätzt wurde und somit im reduzierten Modell nicht mehr enthalten ist. (vgl. Hellwig, 2012, S.88; Übersicht des reduzierten Modells im Anhang A).

Die Lehrkräfte sollten in einem ersten Schritt die unreduzierten Konzepte bezüglich ihrer Relevanz für den Physikunterricht einschätzen, um dann in einem zweiten Schritt die reduzierte Version des entsprechenden Konzepts in Form eines zusammenhängenden Textes bezüglich der Angemessenheit der Reduktion und der Relevanz des Konzepts für den Physikunterricht zu beurteilen (vgl. Hellwig, 2012, S.248).

Für die Dimension 1 ergab sich nach den Überlegungen Hellwigs, da es sich hierbei um eine Grundvoraussetzung zur Thematisierung von Messunsicherheiten handelt, dass die meisten Inhalte unbedingt erhalten bleiben sollten (vgl. Hellwig, 2012, S.97). Mithilfe der Endlichkeit von Darstellungen kann einfach dargestellt werden, dass jede experimentell ermittelte Größe mit einer Unsicherheit behaftet ist, selbst wenn die Messung mit größter Sorgfalt durchgeführt wurde. Auftretende Schwankungen bei wiederholten Messungen können nur erklärt werden, wenn im Unterricht mögliche Einflussgrößen besprochen werden, die dafür verantwortlich sein könnten. Umwelteinflüsse und die Unvollkommenheit der Messgeräte können eine Messung stark beeinflussen und im schulischen Kontext gut beobachtet werden. So können "z.B. wetterbedingt bedeutsame Temperatur- und Druckunterschiede auftreten oder durch die zahlreichen Personen in einem Klassenraum Luftbewegungen verursacht werden, die sich störend auf die Messung auswirken" (vgl. Hellwig, 2012, S.97f.). Die Einflussgröße Rückwirkung der Messanordnung hat hingegen grundsätzlich eine sehr kleine Auswirkung auf eine Messung bei Schulversuchen. Aus diesem Grund wurde der Inhalt für nicht relevant befunden, zumal für das Verständnis der Herkunft dieses Einflusses ein physikalisches Vorwissen benötigt wird, das das Niveau des Physikunterrichts der Sekundarstufe I deutlich überschreitet (vgl. Hellwig, 2012, S.98). Da es wichtig ist, ein Bewusstsein zu entwickeln, dass sich frühzeitiges Runden von Messergebnissen, je nach den eingesetzten mathematischen Operationen, erheblich auf die Messunsicherheit des Gesamtergebnisses auswirken kann, wurde dieses Unterkonzept gelb markiert, um für die Sekundarstufe I reduziert vermittelt zu werden. Der Faktor "Mensch" ist im schulischen Kontext besonders eingängig und kann von den Schülerinnen und Schülern gut nachvollzogen werden, wenn man Erfahrungen, Motivation oder Sorgfalt bedenkt, so dass dieser Inhalt unreduziert vermittelt werden sollte (vgl. Hellwig, 2012, S.98).

Nach Hellwig ist auch das zweite Konzept der ersten Dimension sehr wichtig, da erst durch die Einführung der Messabweichung die Relevanz der Messunsicherheit deutlich wird (vgl. Hellwig, 2012, S.106). Die Unterscheidung zwischen systematischen und zufälligen Messabweichungen wird im reduzierten Modell dahingehend vereinfacht, dass nur die systematischen Messabweichungen stark vereinfacht thematisiert werden, da sie von großem Nutzen für das Verständnis sein können. Weicht ein gemessenes Ergebnis stärker vom Referenzwert ab, als es die ermittelte Messunsicherheit erlaubt, kann mithilfe der systematischen Messabweichung erklärt werden, warum ein Referenzwert nicht notwendigerweise im Unsicherheitsintervall liegt. So können ggf. systematische Einflussgrößen gefunden werden, die durch Anpassung zu einem anderen Messergebnis führen können (vgl. Hellwig, 2012, S.106). Unter welchen Umständen systematische Effekte entstehen und wie sich die daraus resultierende Messabweichung auf die Messunsicherheit auswirken kann, kann für den Unterricht der Sekundarstufe I aber vernachlässigt werden. Zufällige Messabweichungen sind zwar ebenfalls von großer Bedeutung, müssen aber nicht zwingend als "gesonderter Begriff im Physikunterricht bekannt sein" (vgl. Hellwig, 2012, S.106). Für die Unterscheidung von Messunsicherheiten reicht es aus, wenn Messabweichungen im Allgemeinen bekannt sind. Messabweichungen können grundsätzlich als zufällig angesehen werden, wenn nicht ausdrücklich von systematischen Abweichungen die Rede ist. Am Konzept der Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit sollte kein Inhalt reduziert werden, da den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden soll, dass es bei der Durchführung von Messungen nicht um bloße Reproduktion von Literaturwerten (d.h. um möglichst kleine Messabweichungen), sondern um den Erhalt möglichst aussagekräftiger und verlässlicher Ergebnisse geht. Nur so kann z.B. beurteilt werden, ob es sich bei einer besonders kleinen Abweichung des Ergebnisses vom entsprechenden Literaturwert um eine

zufällige oder systematische Abweichung handelt (vgl. Hellwig, 2012, S.106). Der entscheidende Aspekt, der durch diese Konzepte vermittelt werden sollte, ist eine klare Abgrenzung der beiden Begriffe Messunsicherheit und Messabweichung, anstatt die beiden verschiedenen Konzepte unter dem Begriff "Messfehler" zusammenzufassen (vgl. Hellwig, 2012, S.173). Der reduzierte Vorschlag für die erste Dimension konnte durch die Lehrkräftebefragung bestätigt werden.

Das erste Konzept der zweiten Dimension Ziel der Messung ist auch in der reduzierten Version vollständig erhalten geblieben und wird als sehr relevant für den Physikunterricht der Sekundarstufe I eingeschätzt (vgl. Hellwig, 2012, S.113). Bereits bei der Planung eines Experiments sollte immer das Ziel der Messung klar sein. Im Unterricht wird in der Regel versucht, einen Referenzwert zu reproduzieren. Da dieser Wert aber niemals exakt gemessen werden kann, muss die Unkenntnis des "wahren" Werts thematisiert werden (vgl. Hellwig, 2012, S.113). Wird im Unterricht ein Experiment geplant, sollte das damit verbundene Ziel unbedingt bekannt sein, um angemessene Entscheidungen treffen zu können. Dann kann mithilfe der angestrebten Messunsicherheit eine Anpassung des Messprozesses vorgenommen werden, die z.B. die Wahl der zu verwendenden Messgeräte oder die Anzahl der aufzunehmenden Messwerte betreffen (vgl. Hellwig, 2012, S.113). Unter Berücksichtigung der Rückmeldungen der befragten Lehrkräfte sollte das Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit im reduzierten Modell entfernt werden. Hellwig schreibt dazu, dass "es (...) für den Physikunterricht tatsächlich zu anspruchsvoll sein [könnte], den gerade noch zu tolerierenden Wert für die Messunsicherheit im Vorfeld an die Messung konkret festzulegen. Bei der Auswertung der Messung könnte auch im Nachhinein beurteilt werden, inwiefern die erhaltene Messunsicherheit als angemessen angesehen werden kann" (Hellwig, 2012, S.117).

Im zweiten Konzept der zweiten Dimension, dem Ergebnis der Messung, sollte die Dokumentation von Messergebnissen vereinfacht werden. Hellwig betont, dass dieser Aspekt zwar "äußerst relevant für den Physikunterricht [ist], nicht zuletzt deshalb, weil diese Fähigkeit in den Bildungsstandards gefordert wird (KMK, 2004)" (vgl. Hellwig, 2012, S.119). Es müssen aber nicht zwingend alle Bestandteile des ursprünglichen Modells aufgeführt werden, um im Physikunterricht der Sekundarstufe I behandelt zu werden. Eine Diskussion der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion Wdf auf dem angestrebten Niveau ist demnach nicht angebracht. Auch Erweiterungsfaktoren können im Rahmen der Sekundarstufe I vernachlässigt werden.

Da die dritte Dimension, die Erfassung von Messunsicherheiten, mathematisch sehr anspruchsvoll ist, ist das Konzept im ursprünglichen Modell für die Sekundarstufe I ungeeignet (vgl. Hellwig, 2012, S.124). Da es aber ein zentrales Konzept ist, mit dem Messunsicherheiten erst quantitativ erfasst werden können, muss es stark reduziert verwendet werden. Der Begriff der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Wdf) ist sehr abstrakt und setzt ein hohes mathematisches Verständnis voraus. Im Reduktionsvorschlag wurden deshalb alle Inhalte entfernt, die zur Analyse der Wdf gehören. Messunsicherheiten können grundlegend auch ohne den Begriff der Wdf erfasst werden, indem diese z.B. anhand von Minimal- und Maximalwert des Messergebnisses bestimmt werden (vgl. Hellwig, 2012, S.124). Die Differenzierung zwischen den beiden Ermittlungsmethoden A und B lässt sich auf diese vereinfachte Betrachtung der Messunsicherheit übertragen, indem den beiden Methoden entsprechend auf verschiedene Weise die Minimal- und Maximalwerte eines Messergebnisses bestimmt werden können.

Das zweite Konzept der dritten Dimension, die Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten, behält in der reduzierten Version nur noch die Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz im ursprünglichen Sinne bei (siehe Abschnitt 2.1.3). Mit der Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz sollen sich die Schülerinnen und Schüler verdeutlichen, welche Unsicherheitskomponenten berücksichtigt werden müssen, und diese in einer Tabelle notieren (vgl. Hellwig, 2012, S.178). Um die Berechnungen für die Sekundarstufe I anzupassen, können "lediglich die oberen Schranken der jeweils resultierenden Gesamtunsicherheit" betrachtet werden (vgl. Hellwig, 2012, S.132). Die Inhalte, die zur schrittweisen Bestimmung der Gesamtunsicherheit gehören, wurden reduziert. Die ganzheitliche Bestimmung der Gesamtunsicherheit wurde aus dem reduzierten Modell entfernt, auch die Konzepte der Ermittlung der resultierenden Wdf und Freiheitsgrad eines Messergebnisses mit verschiedenen Unsicherheitskomponenten und die Fortpflanzung im Falle korrelierter Einflussgrößen wurden gestrichen. Das liegt darin begründet, dass im Unterricht der Sekundarstufe I erst wenig Wissen über Einflussgrößen und ihre genauen Auswirkungen vorliegt. Zum anderen ist die Betrachtung korrelierter Einflussgrößen auch mathematisch nicht möglich, da zur Bestimmung der Kovarianz partielle Ableitungen bekannt sein müssen, was in der Sekundarstufe I nicht der Fall ist.

Die Ergebnisse bezüglich der Einschätzung der befragten Lehrkräfte zu dem unreduzierten Konzept zeigten, dass die Lehrkräfte nur den Inhalt der Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz übereinstimmend als relevant für den Physikunterricht der Sekundarstufe I einschätzen (vgl. Hellwig, 2012, S.141). Das dritte Konzept der dritten Dimension, die Erweiterte Messunsicherheit, wurde komplett ausgeschlossen, da, wie in den vorangegangenen Abschnitten erläutert wurde, auf dem Niveau der Sekundarstufe I nur die oberen Schranken der Unsicherheit und ihrer Fortpflanzung betrachtet werden können (vgl. Hellwig, 2012, S.142).

In der vierten Dimension enthält das erste Konzept, der Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses, im reduzierten Modell von Hellwig zwei unveränderte Unterkonzepte: die Genauigkeit des Schätzwertes und Rückschlüsse auf die Messung. Durch Betrachtung der Unsicherheit eines Messergebnisses kann eine Einschätzung der Verlässlichkeit des Messergebnisses und der Güte der Messung getroffen werden. Anhand der Messunsicherheit kann also beurteilt werden, bezüglich welcher Stellen eines angegebenen Ergebniswerts man sich tatsächlich sicher sein kann. Bei der Angabe der Messunsicherheit wird nur eine signifikante Ziffer berücksichtigt, die zugleich die Dezimalstelle festlegt, auf die der Messwert gerundet wird. Somit kann anhand der Messunsicherheit beurteilt werden, bei welchen Stellen des Ergebnisses eine zuverlässige Aussage möglich ist, sie gibt die Genauigkeit des Schätzwertes vor. Demnach bildet "die Betrachtung der Messunsicherheit eine unverzichtbare Grundlage zum Runden von Messwerten und Messergebnissen" (vgl. Hellwig, 2012, S.144). So sollte den Schülerinnen und Schülern bewusst sein, dass man sich sehr sicher sein kann, dass sämtliche unter denselben Bedingungen aufgenommene Messwerte im durch die Unsicherheit festgelegten Intervall liegen würden. Die Unsicherheit ist also so groß gewählt, dass der Grad des Vertrauens bei nahezu 100% liegt. Eine Erweiterung dieser Unsicherheit ist somit nicht sinnvoll und wurde im reduzierten Modell nicht berücksichtigt (vgl. Hellwig, 2012, S.142). So können durchgeführte Messungen bezüglich ihrer Verlässlichkeit diskutiert, und somit Rückschlüsse auf die Messung getroffen werden; z.B. welche Einflüsse konnten aufgedeckt werden, wie wirken sie sich auf die Messung auf und wie könnte der Versuchsaufbau verbessert werden (vgl. Hellwig, 2012, S.145). Der Aspekt der Genauigkeit des Schätzwertes wird auch von den befragten Lehrkräften mit deutlicher Mehrheit als relevant für den Physikunterricht der Sekundarstufe I angesehen (vgl. Hellwig, 2012, S.146).

Im zweiten Konzept der vierten Dimension, dem Vergleich von Messwerten, wurden die Unterkonzepte Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert und Anomalien (bzw. „Ausreißer“ in Messreihen) unverändert ins Reduktionsmodell übernommen. Hellwig begründet sowohl den Ausschluss der Messrichtigkeit als auch die Vergleiche innerhalb einer Messreihe damit, dass „das Sachstrukturmodell einen ersten Zugang zu Messunsicherheiten in der Sekundarstufe I darstellen sollte“ (vgl. Hellwig, S.151). So sollte zunächst nur der Begriff der Messabweichung eingeführt werden. Auch auf den zusätzlichen Fachbegriff der Messpräzision kann ihrer Meinung nach zunächst verzichtet werden. Im Rahmen einer ersten Thematisierung mit Messunsicherheiten im Physikunterricht sollte das Ziel verfolgt werden, den Schülerinnen und Schülern die Begriffe der Messunsicherheit und der Messabweichung und deren Abgrenzung voneinander zu vermitteln (vgl. Hellwig, 2012, S.151). Anomalien bzw. „Ausreißer“ in Messreihen sollten aber auch thematisiert werden, da diese anschaulich vermitteln können, dass erst „anhand der mit der Messung verbundenen Unsicherheit festgestellt werden kann, ob es sich bei einem verdächtigen Messwert tatsächlich um einen ‚Ausreißer‘ handelt, indem geprüft wird, ob der Ergebniswert im angegebenen Unsicherheitsintervall liegt“ (vgl. Hellwig, 2012, S.151).

Im dritten Konzept der vierten Dimension, der Regression, sind in der reduzierten Version des Sachstrukturmodells die Grafische Durchführung einer linearen Regression und „Ausreißer“ bei der Regression erhalten geblieben. Diese Aspekte sind Hellwig zufolge besonders relevant für den Physikunterricht, da „in Schulexperimenten häufig Größen bezüglich eines vermuteten linearen Zusammenhangs geprüft werden“ (vgl. Hellwig, 2012, S.157). Außerdem lässt sich anhand der Messunsicherheit einschätzen, wie zuverlässig ein vermuteter linearer Zusammenhang zwischen zwei Größen ist, was einen kritischen Umgang mit den eigenen Messergebnissen fördert. Beim Einzeichnen einer Ausgleichsgeraden können einzelne Messpunkte auftreten, deren Unsicherheitsbereiche von keiner der möglichen Geraden erfasst werden. Schülerinnen und Schüler sollten unbedingt lernen, wie mit solchen Ausreißern umzugehen ist (vgl. Hellwig, 2012, S.157f.). Nach Einschätzung der befragten Lehrkräfte wurde der Begriff Regression durch den für Schülerinnen und Schüler anschaulicheren Begriff der Ausgleichsgeraden ersetzt.

Insgesamt kritisierten die befragten Lehrkräfte am reduzierten Modell, dass die Texte zu abstrakt geschrieben seien und zu wenige Beispiele angeführt wurden (vgl. Hellwig, 2012, S.289f). Die Ausdrucksweise sollte alltagssprachlicher sein, die Sätze seien zu lang (vgl. Hellwig, 2012, S.300). Weiterhin wurde geäußert, dass die Rechnungen zu kompliziert und frühestens für die Sekundarstufe II geeignet seien, „wegen nötiger Sicherheit in die eigenen mathematischen Fähigkeiten“ (vgl. Hellwig, 2012, S.289f). Diese Kritikpunkte sollen in den Informationstexten, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt wurden, berücksichtigt werden.

Im folgenden Kapitel wird dafür erst auf die Rahmenlehrpläne für die Klassenstufen 5/6 in den Naturwissenschaften und Mathematik eingegangen. Es wird herausgestellt, welche Anforderungen bezüglich des Themas Messunsicherheiten an die Kinder gestellt werden und welche Kompetenzen sie erworben haben sollten/müssen, um damit arbeiten zu können. Im Anschluss daran wird der reduzierte Vorschlag durch Schenke dargestellt und mit Bezug auf Hellwigs Reduzierung verglichen.

3. Zur Relevanz für den Primarbereich

3.1 Rahmenlehrplan von Naturwissenschaften und Mathematik für die Klassenstufen 5/6

Der Kultusministerkonferenz (KMK) zufolge reicht die gemeinsame Grundschule in allen Bundesländern Deutschlands von der ersten bis zur vierten Klasse, in Berlin und Brandenburg allerdings bis zur sechsten Jahrgangsstufe (KMK, Primarbereich). Im Rahmen dieser Arbeit meint die Primarstufe die Klassenstufen 5/6 und umfasst ein Alter der Kinder von ca. 10-12 Jahren. In den Jahrgangsstufen 1 - 4 gibt es im Sachunterricht noch keine inhaltliche Unterscheidung in naturwissenschaftliche und gesellschaftswissenschaftliche Themen, weshalb diese hier vernachlässigt werden. Im Folgenden werden die entsprechenden Rahmenlehrpläne der Naturwissenschaften und Mathematik in Bezug auf die Anforderungen und Kompetenzen der Kinder aufgeführt.

Experimentieren und Messen sind bereits in der Primarstufe Bestandteil des Unterrichts. Im Rahmenlehrplan Naturwissenschaften für die Klassen 5/6 findet sich für die Bundesländer Berlin und Brandenburg der Hinweis, dass "Messungenauigkeiten sowie Mess- und Ablesefehler thematisiert werden sollen. Durch den Vergleich von selbst aufgenommenen Messwerten und den daraus angefertigten Grafiken und Wertetabellen kann dann die Methodenreflexion bei den Kindern angebahnt werden" (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Naturwissenschaften, S.22). Ein kritischer Umgang mit Daten und deren Unsicherheiten wird also bereits im Grundschulalter gefordert. Das Messen wird als naturwissenschaftliche Arbeitsweise thematisiert und die Kinder sollen den Umgang mit Geräten, Messgrößen, Messwerten und Maßeinheiten kennenlernen (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Naturwissenschaften, S.22).

Allerdings zeigt sich bei der Wahl der Worte Messungenauigkeiten, sowie Mess- und Ablesefehler genau die Problematik, mit der sich die Thematisierung von Messunsicherheiten auseinandersetzen muss. Alle drei im Rahmenlehrplan verwendeten Begriffe legen eine negative Assoziation der Begriffe zugrunde. Sowohl Ungenauigkeiten als auch Fehler legen die Vermutung nahe, dass etwas ungenau bzw. falsch gemacht wurde. Das Konzept der Messunsicherheiten wird damit nicht beschrieben. Sowohl Ungenauigkeiten als auch Mess- oder Ablesefehler sind prinzipiell vermeidbar, Messunsicherheiten können aber niemals gänzlich vermieden werden und stellen vielmehr einen Qualitätskennwert dar, um die Aussagekraft eines Experiments zu kennzeichnen (siehe Kapitel 2.2.1 dieser Arbeit).

Um Messunsicherheiten berechnen zu können, sollten Kinder bereits ein solides Verständnis von den grundlegenden Rechenoperationen und der Bedeutung von Mittelwerten haben. Mit diesen Kompetenzen können sie einfache Unsicherheiten berechnen, interpretieren und lernen, dass Messwerte nie exakt sind und immer eine gewisse Streuung aufweisen. Um mit Messunsicherheiten rechnen zu können, benötigen die Kinder also ein Verständnis, was ein Mittelwert ist und wie man diesen berechnet (vgl. Kok, 2022, S.109ff). Sie müssen die gegebenen Messwerte vergleichen können, um zu entscheiden, welche Messwerte am weitesten entfernt vom Mittelwert liegen, um so die Messunsicherheit berechnen zu können.

Im Rahmenlehrplan Mathematik findet sich für die Klassenstufen 5/6 unter den Kompetenzen, die Kinder im Alter von 10-12 Jahren erworben haben sollten, die Voraussetzung, ein solides Verständnis der Grundrechenarten zu besitzen (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C,

Mathematik, S.27). Diese Fähigkeiten helfen den Schülern, Zahlenwerte überhaupt erst miteinander vergleichen und Unterschiede oder Abweichungen von Messergebnissen berechnen zu können, was für das Verständnis von Messunsicherheiten grundlegend ist. Die Kinder müssen weiterhin ein Basiswissen über Größen und Maßeinheiten besitzen. Sie sollten bereits verstehen, was Maße wie Länge, Masse, Volumen oder Zeit bedeuten und wie sie mithilfe von verschiedenen Einheiten wie Zentimetern, Gramm oder Minuten ausgedrückt werden (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Mathematik, S.44). Dieses Wissen ermöglicht es ihnen, Messwerte korrekt interpretieren und Unterschiede zwischen Messungen einordnen zu können.

Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Kinder mit verschiedenen Messinstrumenten vertraut gemacht werden (wie etwa Linealen, Waagen oder Stoppuhren), aber bereits wissen, wie man diese verwendet (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Mathematik, S.44). Sie sollten bereits Erfahrungen im Ablesen von Skalen gesammelt haben und somit erkennen können, dass selbst bei größter Sorgfalt gewisse Abweichungen auftreten können – etwa durch Ungenauigkeiten im Ablesen oder durch Unterschiede in den Messinstrumenten (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Mathematik, S.62). Auch Erfahrungen im Schätzen von Größen und das Vergleichen von Schätzwerten mit gemessenen Werten sind hilfreich und werden im Rahmenlehrplan angegeben (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Mathematik, S.44). Schließlich ist es von Vorteil, wenn die Kinder bereits eine gewisse Übung im Erfassen und Darstellen von Daten haben, zum Beispiel durch das Anlegen von Tabellen oder Diagrammen (vgl. LISUM, Berliner Rahmenlehrplan, Teil C, Mathematik, S.62). Diese Fähigkeit kann dabei helfen, gemessene Werte übersichtlich zu ordnen, (Maximal-)Abweichungen zu erkennen und somit ein besseres Gefühl für die Streuung von Daten zu entwickeln. Diese Fähigkeiten können eine erste Thematisierung erleichtern.

Eine weitere Fähigkeit, die Kinder ab der 5. Klasse entwickeln sollen, ist das Rechnen mit gebrochenen Zahlen. Dadurch können sie die begrenzte Genauigkeit von Messergebnissen nachvollziehen. Ein solides Verständnis dieser mathematischen Operationen hilft den Schülerinnen und Schülern dabei, zu begreifen, dass Messgeräte nur eine bestimmte Anzahl von Ziffern anzeigen können. Theoretisch könnte eine solche Zahl jedoch noch präziser angegeben werden. Dieses Konzept wird durch das Runden von Dezimalzahlen verdeutlicht, welches ebenfalls ab der 5. Klasse eingeführt wird (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Mathematik, S.40).

Diese Kompetenzen bieten eine gute Grundlage für das Thematisieren von Messunsicherheiten in den Klassenstufen 5/6 der Primarstufe. Grundsätzlich wäre auch ein früherer Zeitpunkt möglich, allerdings müsste der mathematische Anspruch dann sehr reduziert werden. Da aber im Rahmenlehrplan für die Klassenstufen 1 - 4 vermerkt ist, dass die Kinder erste experimentelle Erfahrungen sammeln und einfache Messungen zu den übergreifenden Themen Erde, Wasser und Zeit vornehmen sollen (vgl. LISUM, Rahmenlehrplan Teil C, Sachunterricht, S. 28, 38, 42), wäre es zumindest eine Möglichkeit, bereits zu diesem Zeitpunkt Ursachen für mögliche Messunsicherheiten zu thematisieren, um die Kinder dafür zu sensibilisieren und somit den Weg dafür zu ebnen, das Thema mit komplexeren Inhalten in den höheren Klassenstufen wieder aufzugreifen.

Die dargestellten Erwartungen, die in den Rahmenlehrplänen für die Naturwissenschaften und Mathematik für die Primarstufe gefordert werden, legen den Schluss nahe, dass das Thema Messunsicherheiten mit vereinfachten Rechnungen bereits in der Primarstufe der Klassenstufen 5/6 behandelt werden kann, da die mathematischen Grundlagen in diesem Alter

so ausgebaut sein sollten, dass die Kinder mit Messunsicherheiten umgehen können. Auch Hellwig (2012) und Kok (2022) beschreiben in ihren Arbeiten, dass verschiedene Studien vermuten lassen, dass bereits "sehr junge Schülerinnen und Schüler prinzipiell dazu fähig sind, sich kritisch mit einem gegebenen Versuchsaufbau im Hinblick auf mögliche Unsicherheitsquellen auseinanderzusetzen" (vgl. Hellwig, 2012, S.15). Verwendet man für die Berechnungen von Messwerten und Messunsicherheiten durch didaktische Rekonstruktion vereinfachte Werte, ließe sich die Thematisierung von Messunsicherheiten im Unterricht realisieren (vgl. Kok, 2022, S.23).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Messunsicherheiten eine wichtige Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht einnehmen sollten und bereits in der Primarstufe der Klassenstufen 5/6 thematisiert werden können. Um mit Daten besser umgehen zu können, ist es wichtig, den Kindern Begriffe wie *Mittelwert* (beste Schätzung für die Messgröße eines Experiments), *Messergebnis* (vollständiges Ergebnis eines Experiments: Mittelwert +/- Unsicherheit), *Messunsicherheit* (größter Abstand zwischen dem Mittelwert und dem maximalen und minimalen Wert der Messreihe), sowie die Abgrenzung zum *Messfehler* ("bei der Messung ist etwas schiefgegangen") verständlich zu machen, um ein konzeptuelles Verständnis für Messunsicherheiten möglich zu machen (vgl. Kok, 2022, S.109ff).

Für die Thematisierung von Messunsicherheiten in der Primarstufe, wäre es demnach sinnvoll, anhand einfacher Rechnungen mit den Kindern zu erarbeiten, wie Mittelwerte und warum auch Messunsicherheiten berechnet werden müssen, um deren Relevanz und Bedeutung herauszuarbeiten. Dies kann mit einfachen Werten bereits in der Primarstufe durchgeführt werden und damit eine Basis für wissenschaftliches Wissen schaffen.

Dieser Annahme folgend hat Schenke eine weitere Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe vorgeschlagen, die im Folgenden vorgestellt wird. Diese Reduzierung erfolgte nach wissenschaftlich recherchierten Standards und auf Basis des Rahmenlehrplans Berlin-Brandenburg (vgl. Schenke, 2023, S.80).

3.2 Die zweite Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe nach Schenke (2023)

Um ein Lernmodul für die Primarstufe zu erarbeiten, entwickelte Schenke unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.1 vorgestellten Rahmenlehrpläne einen Vorschlag, wie das reduzierte Sachstrukturmodell nach Hellwig weiter vereinfacht werden könnte, um das Thema Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe zu behandeln (vgl. Schenke, 2023, S.28). Dabei wurden weitere Konzepte angepasst, die für Grundschulkindern noch zu komplex sind bzw. auch nicht vermittelt werden müssen, um Messunsicherheiten kindgerecht einführen zu können. Die bereits reduzierten Inhalte von Hellwig wurden in Schenkes Modell ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Inhalte, die von Hellwig uneingeschränkt bzw. vereinfacht zur Thematisierung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe I Anwendung fanden, wurden unter Abgleich mit den Inhalten der Rahmenlehrpläne Berlin-Brandenburg für die Naturwissenschaften und Mathematik für die Thematisierung in der Primarstufe bewertet. Beide inhaltlichen Reduzierungen werden im Folgenden für jede Dimension einander gegenübergestellt und die relevanten Konzepte für die Sekundarstufe I und die Primarstufe verglichen.

3.2.1 Dimension 1

Dimension 1: 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	

a. Reduzierung der ersten Dimension für die Sekundarstufe I (Hellwig, 2012)

Dimension 1: 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	

b. Reduzierung der ersten Dimension für die Primarstufe (Schenke, 2023)

Tabelle 11: Dimension 1 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe

Die Tabelle (11) zeigt die von Hellwig für die Sekundarstufe I reduzierte erste Dimension des Sachstrukturmodells (vgl. Kapitel 2.4) und darunter die noch einmal reduzierte Version für die Klassenstufen 5/6 nach Schenke. Auch in der zweiten Reduzierung nimmt die erste Dimension einen großen Stellenwert ein. So ist "ein Konzeptaufbau über die Ursachen von Messunsicherheiten notwendig, um deren Existenz nachvollziehen zu können" (vgl. Schenke, 2023, S.29). Es lassen sich leicht Umwelteinflüsse finden, die für Kinder gut nachvollziehbar sind (z.B. die Umgebungstemperatur) oder unterschiedlich aussagekräftige Messgeräte. Auch menschliche Ursachen von Messunsicherheiten lassen sich beim Vergleich von Messungen innerhalb einer Klasse gut beobachten.

Das mathematische Operationsverständnis sollte auf den Aspekt reduziert werden, dass die Kinder auf die Endlichkeit von sowohl analogen als auch digitalen Darstellungen hingewiesen werden, da diese besonders bedeutend für "ein Verständnis der Ursachen und Existenz von Messunsicherheiten ist, weil 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" (vgl. Schenke, 2023, S.29). Schenke schlägt vor, die "konkrete Klärung des Begriffs der Messunsicherheit als notwendig, die Klärung des Begriffs der Messabweichung allerdings als nicht zwingend für das Verständnis von Messunsicherheiten" zu betrachten (vgl. Schenke, 2023, S.29).

Wie die Tabelle (11b) zeigt, wird auch die Unterscheidung zwischen systematischen und zufälligen Messabweichungen bei einer ersten Behandlung mit diesem Thema als nicht relevant ausgeschlossen (vgl. Schenke, 2023, S.28 (Tabelle ihrer Arbeit)).

3.2.2 Dimension 2

Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen		
Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit
	Anpassung des Messprozesses	
Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung	
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	

a. Reduzierung der zweiten Dimension für die Sekundarstufe I (Hellwig, 2012)

Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen		
Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit
	Anpassung des Messprozesses	
Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung	
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	

b. Reduzierung für die zweite Dimension für die Primarstufe (Schenke, 2023)

Tabelle 12: Dimension 2 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe

Tabelle (12) zeigt die beiden reduzierten Dimensionen 2 für die Sekundarstufe I (a.) und für die Primarstufe (b.). Wie in Abschnitt 2.4 dargestellt, ist für Hellwig diese Dimension in voller Form für den Unterricht der Sekundarstufe I notwendig, allein die Dokumentation von Messergebnissen sollte dem Niveau der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Schenke schlägt vor, 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“ (vgl. Schenke, 2023, S.30). Den Kindern sollte dabei das Wissen vermittelt werden, dass das Ziel einer jeden naturwissenschaftlichen Messung darin liegen muss, so nah wie möglich an die vermutete Messgröße heranzukommen. Das Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit sollte für die Primarstufe aber inhaltlich reduziert werden; lediglich die Anpassung des Messprozesses sollte reduziert vermittelt werden, das Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit könnte in einer ersten Berührung mit dem Thema vernachlässigt werden. Für das zweite Konzept, das Ergebnis der Messung, würde Schenke das Thematisieren eines mathematischen Modells der Auswertung komplett ausschließen (vgl. Schenke, 2023, S.30). Das Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen sollte aber komplett erhalten bleiben, d.h. auch den Kindern der Primarstufe sollte vermittelt werden, dass das Messergebnis die Menge von Größenwerten darstellt, die durch die Messung einer Messgröße zugewiesen werden können. Das Ergebnis umfasst also den Ergebniswert und die ermittelte Unsicherheit des Experiments. Für eine Messung sollten grundsätzlich alle Schritte des Experiments notiert werden müssen, um ein Nachvollziehen jederzeit möglich zu machen. (vgl. Schenke, 2023, S.30). Die Dokumentation der Messergebnisse sollte allerdings noch weiter an die Kompetenzen von Grundschulern angepasst werden.

3.2.3 Dimension 3

Dimension 3: 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 Erwartungswertes	
		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 Wdf		

a. Reduzierung der dritten Dimension für die Sekundarstufe I (Hellwig, 2012)

Dimension 3: 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 Erwartungswertes	
		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 Wdf		

b. Reduzierung der dritten Dimension für die Primarstufe (Schenke, 2023)

Tabelle 13: Dimension 3 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe

Wie die Tabelle (13) zeigt, sind in der dritten Dimension, in der es um die mathematischen Methoden geht, wie Messunsicherheiten berechnet werden, bereits in der reduzierten Version von Hellwig viele Inhalte aufgrund ihrer Komplexität gestrichen worden. So enthält diese erste Reduzierung schon nur mehr zwei Konzepte und nur die Aufstellung einer Unsicherheitsbilanz hält Hellwig für notwendig, unreduziert vermittelt zu werden (vgl. Abschnitt 2.1.3). Vom Aufstellen und Benennen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion sieht Hellwig bereits für die Sekundarstufe I vollständig ab, womit sie für die Erfassung von Messunsicherheiten ausschließlich die Ermittlungsmethoden A und B unterscheiden und thematisieren würde. Schenke schlägt ebenfalls vor, bei der Berechnung von Messunsicherheiten nur auf die beiden Ermittlungsmethoden A und B einzugehen, da diese es ermöglichen, "die Messunsicherheit vereinfacht zu berechnen bzw. auszudrücken" (vgl. Schenke, 2023, S.31). Das Berechnen eines Maximalabstandes und das Ausschließen von Extremwerten ist demnach für die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 5/6 zu bewältigen. Das Aufstellen einer Unsicherheitsbilanz wird von Schenke für die Primarstufe ausgeschlossen, ohne dies im Speziellen zu begründen. Hellwig forderte des Weiteren eine Reduzierung der Inhalte der Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten, da sie das Thematisieren der Fortpflanzung von Messunsicherheiten in reduzierter Form für die Sekundarstufe I für nötig und möglich hält (vgl. Kapitel 2.4 dieser Arbeit). Aus Schenkes Sicht ist aber auch dieser Inhalt zu komplex für den Primarbereich, was ebenfalls zu einem Ausschluss der Inhalte führte (vgl. Schenke, 2023, S.32f.).

Das dritte Konzept der dritten Dimension der Erweiterten Messunsicherheit wird von Schenke komplett "für eine Thematisierung in der Primarstufe ausgeschlossen", da Hellwig dieses Konzept bereits für die Sekundarstufe I als zu komplex befunden hat (vgl. Kapitel 2.4).

3.2.4 Dimension 4

Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten			
Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwertes		
	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
		Vergleichspräzision	
Anomalien bzw. „Ausreißer“ in Messreihen			
Einsatz von Ausgleichsgeraden (Regression)	Grafische Durchführung einer linearen Ausgleichsgeraden (Regression)		Partielle Regression
			„Ausreißer“ bei der Ausgleichsgeraden (Regression)
	Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit		

a. Reduzierung der vierten Dimension für die Sekundarstufe I (Hellwig, 2012)

Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten			
Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwertes		
	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
		Vergleichspräzision	
Anomalien bzw. „Ausreißer“ in Messreihen			
Einsatz von Ausgleichsgeraden (Regression)	Grafische Durchführung einer linearen Ausgleichsgeraden (Regression)		Partielle Regression
			„Ausreißer“ bei der Ausgleichsgeraden (Regression)
	Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit		

b. Reduzierung der vierten Dimension für die Primarstufe (Schenke, 2023)

Tabelle 14: Dimension 4 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe

In Tabelle (14) ist die vierte Dimension in der reduzierten Version für die Sekundarstufe I (a.) und für die Primarstufe (b.) dargestellt. Während Hellwig für die *Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses* uneingeschränkt die Unterkonzepte *Genauigkeit des Schätzwertes* und *Rückschlüsse auf die Messung* für notwendig und vermittelbar in der Sekundarstufe I hält, schlägt Schenke vor, nur das zweite Konzept in reduzierter Form für die Vermittlung in der Primarstufe zu nutzen (vgl. Schenke, 2023, S.33). Dabei begründet sie nicht, warum sie für das erste Konzept die Unterasspekte *Genauigkeit des Schätzwertes* und *Rückschlüsse auf die Messung* ausschließt (vgl. Schenke, 2023, S.30), die bei Hellwig auch im reduzierten Modell als notwendiger Inhalt für die Sekundarstufe I befunden wurde (vgl. Hellwig, 2012, S.145f. und S.183). Für den *Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert bzw. mit anderen Messergebnissen* betont Schenke, dass die Kinder frühzeitig lernen können, was es heißt, wenn Messergebnisse miteinander verträglich sind. Zum anderen können „Ausreißer“ in Messungen thematisiert werden und wie man mit ihnen umgehen kann. Das dritte Konzept, das in der reduzierten Form bei Hellwig nicht mehr *Regression*, sondern *Einsatz von Ausgleichsgeraden* genannt wird und in Teilen nach Hellwig für unreduziert zu vermitteln sei (vgl. Kapitel 2.4), findet bei Schenke keine Berücksichtigung mehr.

4. Forschungsvorhaben

Wie beschrieben, werden Messunsicherheiten nach wie vor im schulischen Kontext kaum bis gar nicht beachtet. Das Ziel dieser Arbeit war deshalb die Entwicklung von Informationstexten für Lehrkräfte der Primarstufe, um eine übersichtliche Grundlage zu schaffen, welche Aspekte in der Grundschule bereits behandelt werden können. Die Informationstexte sollten kurz und prägnant geschrieben sein, aber vollständige Inhalte zu den einzelnen Dimensionen des reduzierten Sachstrukturmodells nach für die Primarstufe nach Schenke liefern. Um die Texte und damit auch das reduzierte Modell, das die Grundlage für die Texte bildet, validieren zu können, wurden qualitative Interviews mit Lehramtsstudierenden geführt. Damit sollte zum einen geprüft werden, welche konzeptuellen Schwierigkeiten Lehramtsstudierende mit den Texten haben (Forschungsfrage 1) und ob ihnen die praktischen Beispiele, die den Texten beigefügt wurden, beim Verständnis helfen (Forschungsfrage 2).

Durch die Klärung der Forschungsfragen und die Validierung der Texte und des reduzierten Modells sollte somit eine Möglichkeit geschaffen werden, Messunsicherheiten in den naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe integrieren zu können. Die Texte könnten dann als Übersicht dienen, um damit mögliche Lernumgebungen zu gestalten, in der Messunsicherheiten kindgerecht bereits frühzeitig vermittelt werden können.

5. Methodisches Vorhaben der empirischen Erhebung

Um das komplexe Thema der Messunsicherheiten für die Primarstufe zugänglich zu machen, wurden – wie die folgenden Kapitel zeigen – zunächst Informationstexte entwickelt (Kapitel 5.1). Diese wurden mithilfe qualitativer Interviews in Hinblick auf die beiden Forschungsfragen analysiert (Kapitel 5.2) und anschließend einer Textoberflächenanalyse unterzogen, um zu prüfen, ob die Texte inhaltlich umfassend und verständlich geschrieben wurden⁴. Kapitel 5.3 zeigt anhand eines exemplarischen Beispiels, wie diese Analyse der Textoberfläche durchgeführt wurde.

5.1 Entwicklung der Informationstexte

Um Informationstexte zu entwickeln, die das Thema Messunsicherheiten für die Primarstufe gut verständlich abbilden, wurden zum einen die beiden in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Reduzierungen des Sachstrukturmodells berücksichtigt. Zum anderen entwickelte Schulz im Rahmen seiner Dissertationsarbeit ein Testinstrument, das Kompetenzen von Lernenden in Bezug auf das Sachstrukturmodell erfassen sollte (vgl. Schulz, 2022). Dabei entwickelte er, im Rahmen der Testaufgaben, Informationstexte zu jedem Konzept des validierten Sachstrukturmodells (nach Hellwig, 2012), die Studierenden mit den anschließenden Testaufgaben vorgelegt wurden.

Diese Texte von Schulz und die Reduzierung nach Schenke bildeten den Ausgangspunkt zur Entwicklung der Informationstexte der vorliegenden Arbeit. Es wurden demnach nur die Texte

⁴ Die Informationstexte, die Transkriptionen der Interviews, sowie die Textoberflächenanalyse für alle Texte befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

der Konzepte verwendet und bearbeitet, die im reduzierten Modell für die Primarstufe noch berücksichtigt wurden.

Da die Texte von Schulz sehr umfangreich waren, um den Testpersonen eine solide Grundlage zur Bearbeitung der Testaufgaben zu bieten (vgl. Schulz, 2022, S.29), wurden die Texte für die vorliegende Arbeit so weit eingekürzt, dass die wesentlichen Aspekte der Konzepte zwar genannt werden, aber ohne Inhalte, die für den Primarstufenunterricht nicht relevant sind.

Damit versucht die vorliegende Arbeit auch der Kritik der ersten Lehrkräftebefragung von Hellwig entgegenzuwirken, dass die Texte des reduzierten Modells für die Sekundarstufe I zu abstrakt und zu wenig beispielhaft seien. Die Texte der vorliegenden Arbeit wurden kurz und übersichtlich geschrieben, sollten aber für die Primarstufe **komplette** Inhalte über die einzelnen Dimensionen liefern. Für jedes Konzept wurde ein Beispiel aufgeführt, das die Inhalte in ein konkretes Umfeld bringen sollte.

Die Lehramtsstudierenden sollten dann einschätzen, ob diese Texte so verständlich sind, dass den Lehrkräften die Notwendigkeit der Thematisierung von Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe verdeutlicht wird, ohne sie mit unverständlichem Inhalt zu überfordern.

5.2 Erhebung der Interviews

Die für die vorliegende Arbeit entwickelten Informationstexte wurden fünf Lehramtsstudierenden in qualitativen Einzelinterviews vorgelegt, die diese auf Inhalt und Validität prüfen sollten. Die Auswertung der Interviews basiert auf einer qualitativen Inhaltsanalyse, die sich an Mayring (2022) orientiert. So wurden die Teilnehmenden zu jedem Konzept zunächst um ihre Selbsteinschätzung gebeten, ob sie den jeweiligen Text verstanden haben. Dafür wurden die Texte zu den einzelnen Dimensionen nacheinander gelesen und die Studierenden sollten nach jedem Abschnitt zurückmelden, ob der gelesene Text verständlich war und sie den Inhalt ihrer Meinung nach verstanden haben. Anschließend sollten sie die einzelnen Konzepte in eigenen Worten wiedergeben und jeweils ein eigenes Beispiel für das Konzept finden. So sollte sichergestellt werden, dass sie den Inhalt auch auf einen anderen Kontext übertragen können.

Für die Auswertung wurden vier Kategorien gebildet und im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse genutzt, um systematisch zu erfassen, inwieweit die Informationstexte verstanden wurden und wo potenzielle Verständnisschwierigkeiten liegen, um somit die erste Forschungsfrage beantworten zu können. In Tabelle (15) sind die vier Kategorien für die vorliegende Analyse aufgeführt. Kategorien werden nach Mayring mit ihren Definitionen aufgeführt, also welche Textbestandteile unter eine bestimmte Kategorie fallen. Weiterhin werden Kodierregeln gebildet, um Abgrenzungsprobleme zwischen den einzelnen Kategorien zu vermeiden und eindeutige Zuordnungen möglich zu machen⁵ (vgl. Mayring, 2022, S.96).

⁵ Mayring schlägt weiterhin vor, dass neben Definition und Kodierregel für jede Kategorie Ankerbeispiele aufgeführt werden sollen. Dabei handelt es sich um konkrete Textstellen aus den Interviews, die unter eine Kategorie fallen und als Beispiele für diese Kategorie gelten sollen (vgl. Mayring, 2022, S.96). Aufgrund der geringen Anzahl von Interviews wird dieser Aspekt im Rahmen dieser Arbeit aber vernachlässigt.

Kategorie	Definition	Kodierregel
K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	Die Kernaussagen werden korrekt und in eigenen Worten wiedergegeben. Kernbegriffe werden genannt und korrekt wiedergegeben. Der Inhalt des Konzepts kann auf eine andere Situation angewendet werden (eigenes Beispiel).	Alle drei Aspekte der Definition müssen erfüllt sein.
K2: Konzeptuelles Verständnis	Die Kernaussagen werden korrekt und in eigenen Worten wiedergegeben. Kernbegriffe werden genannt und korrekt wiedergegeben. Der Inhalt des Konzepts kann nicht auf eine andere Situation angewendet werden (kein eigenes oder ungenaues Beispiel).	Alle drei Aspekte der Definition müssen erfüllt sein.
K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	Wichtige Aspekte des Textes werden verstanden und in eigenen Worten wiedergegeben. Es gibt Fragen bzw. Anmerkungen zum Text.	Beide Aspekte der Definition müssen erfüllt sein.
K4: Kein konzeptuelles Verständnis	Zentrale Aspekte oder Begriffe werden falsch verstanden oder ungenau wiedergegeben. Es gibt offensichtliche Anzeichen von Unsicherheit oder Verwirrung in Bezug auf bestimmte Teile des Textes.	Beide Aspekte der Definition müssen erfüllt sein.

Tabelle 15: Kategoriensystem für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage

Die Kategorien K1 und K2 legen ein grundsätzlich konzeptuelles Verständnis der interviewten Personen zugrunde, sie unterscheiden sich nur darin, dass für ein vollständig konzeptuelles Verständnis neben dem korrekten Wiedergeben in eigenen Worten ein eigenes Beispiel gefunden wurde. In Kategorie 3 ist ein teilweise konzeptuelles Verständnis in den Aussagen zu beobachten, wichtige Aspekte werden zwar verstanden und können korrekt in eigenen Worten wiedergegeben werden, aber es gibt auch Fragen oder Anmerkungen aufgrund von Unklarheit zum Text. Werden zentrale Aspekte oder Begriffe falsch oder ungenau wiedergegeben und es gibt offensichtliche Anzeichen von Unsicherheit oder Verwirrung in Bezug auf bestimmte Teile des Textes, liegt Kategorie K4 vor. Mithilfe dieser Kategorien sollte das konzeptuelle Verständnis zu den Inhalten sowie ggf. Verständnisschwierigkeiten eingeschätzt werden.

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurden weitere Kategorien gebildet. Hiermit sollte herausgestellt werden, wie bzw. ob die Verständnissicherung durch Beispiele gelingt:

B1: Ja: Die praktischen Beispiele verbessern das vorhandene Verständnis deutlich.

B2: Ja: Der Inhalt wird aber erst durch den Bezug zu einem praktischen Beispiel deutlich (Schwierigkeiten beim Verständnis, wenn keine oder zu wenige praktische Beispiele vorhanden sind).

B3: Nein: Praktische Beispiele sind für das Verständnis nicht nötig. Das vorhandene Wissen wird durch das Beispiel nicht weiter gefördert.

B4: Nein: Praktische Beispiele helfen für das Verständnis nicht weiter. Das (nicht) vorhandene Wissen wird durch das Beispiel nicht weiter gefördert.

Insgesamt umfasst das reduzierte Modell nach Schenke noch alle vier Dimensionen, aber nur noch 6 Konzepte (vgl. Kapitel 3.2). Gesondert wurde der Einleitungstext (siehe Anhang B, Informationstexte, S.2) betrachtet, der vorab auf die Relevanz der Thematisierung von Messunsicherheiten aufmerksam machen sollte. Auch hier sollten die Teilnehmenden zurückmelden, ob der Text verständlich ist, sie wurden aber nicht aufgefordert, den Text in eigenen Worten wiederzugeben.

Für die Klärung der beiden Forschungsfragen sollte durch diese Auswertung also herausgefunden werden, welche Teile der Texte verständlich gemacht werden konnten und an welchen Stellen noch vermehrter Erklärungsbedarf bezüglich der konzeptuellen Schwierigkeiten besteht. In einem zweiten Schritt sollte dann nach jedem Konzept geprüft werden, ob die gegebenen Beispiele in den Texten zum Verständnis beitragen konnten. Aus diesem Grund wurden während der Interviews keine Verständnisfragen beantwortet.

Bei der Befragung durch Hellwig für ihren Vorschlag eines reduzierten Modells für die Sekundarstufe I trat das Missverständnis auf, dass die Texte für die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I zu komplex seien. Es wurde nicht verstanden, dass es "lediglich um die Skizzierung der diesbezüglich in der Sekundarstufe I grundsätzlich zu thematisierenden Inhalte [gehen sollte]. Somit handelt es sich dabei nicht um Texte, die Schülerinnen und Schülern in unveränderter Form vorgelegt werden können" (vgl. Hellwig, 2012, S.105). Dieser Punkt wurde in der vorliegenden Arbeit dahingehend berücksichtigt, indem die befragten Lehramtsstudierenden darauf hingewiesen wurden, dass die Informationstexte nicht geschrieben wurden, um direkt als Unterrichtsmaterial verwendet zu werden. Stattdessen wurde zu Beginn der Interviews darauf hingewiesen, dass die Texte als Übersicht für Lehrkräfte dienen sollen, um damit eine mögliche Lernumgebung zu gestalten, in der Messunsicherheiten an das fachliche Niveau von Grundschulkindern vermittelt werden können.

Alle interviewten Lehramtsstudierenden studierten zum Zeitpunkt der Befragung im Q-Master die Fächer Mathematik, Deutsch und Sachunterricht und haben sich während des Studiums bereits im Rahmen eines Physik-Seminars mit Messunsicherheiten beschäftigt. Keiner der Teilnehmenden hatte zuvor bereits etwas von dem Sachstrukturmodell gehört.

5.3 Textoberflächenanalyse anhand eines exemplarischen Beispiels

Um zu prüfen, ob die Informationstexte verständlich genug geschrieben wurden, wurde im Anschluss an die geführten Interviews eine Textoberflächenanalyse durchgeführt, mit der dieser Aspekt geprüft werden kann (vgl. Kulgemeyer, Staraschek, 2014, S.243).

Die Autoren weisen dabei auf die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hin, weshalb die Sätze in einem Text nicht zu lang sein sollten. Je länger ein Satz ist, desto mehr Informationseinheiten beinhaltet er; diese müssen zu Propositionen⁶ verarbeitet werden. Je mehr Propositionen in einem Satz aufgeführt werden, desto mehr Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist belegt und desto schwerer zu verarbeiten ist der Text. Ein weiterer Grund für Verständnisschwierigkeiten in einem Text ist die Verwendung von drei- oder mehrsilbigen Wörtern.

⁶ Proposition = kleinste Wissenseinheit, die ohne Bezug auf andere Informationen eine Aussage hat und somit als "wahr" oder "falsch" bezeichnet werden kann (vgl. Kulgemeyer, Staraschek, 2014, S.243).

Das liegt daran, dass die meisten Wörter des gebräuchlichen Wortschatzes aus ein- und zweisilbigen Wörtern bestehen (ca. 85%) (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.244).

Da in einem Text mehrere Sätze aufeinander bezogen werden müssen, muss eine *Textkohärenz* hergestellt werden (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.243). Texte gelten demnach als umso verständlicher, je weniger Informationen aus dem Langzeitgedächtnis hinzugezogen werden müssen, um eine solche Kohärenz herzustellen. Sätze müssen sich aufeinander beziehen, damit sie miteinander vernetzt werden können, dabei gelingt die Kohärenzbildung zwischen Sätzen besonders gut, wenn dieselben Substantive in ihnen auftreten (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.244). Die Autoren unterscheiden zwischen *lokaler* und *globaler Kohärenz*. Lokale Kohärenz meint dabei die mentale Herstellung des Zusammenhangs zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sätzen, mit globaler Kohärenz ist gemeint, dass Sätze oder Textteile, die weit auseinander liegen, aufeinander bezogen werden müssen (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.244). Schulbuchtexte, die von Lernenden der Sekundarstufe I des Gymnasiums als verständlich eingeschätzt wurden, weisen im Mittel einen höheren Grad an lokaler und globaler Textkohäsion auf als vergleichbare, weniger verständlich eingeschätzte Schulbuchtexte (vgl. Starauschek, 2006, S.127). Für die Verständlichkeit eines Textes ist demnach also die mittlere Satzlänge in Wörtern oder Zeichen entscheidend, sowie zum einen die lokal substantivische Textkohäsion und zum anderen die global substantivische Textkohäsion (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.244).

Schwierigkeiten beim Textverstehen treten also dann auf, wenn benachbarte Sätze nicht erkennbar *lokal* miteinander verbunden sind. Auch weit auseinander liegende Bedeutungseinheiten, die zusammen gehören und nicht als zusammengehörig erkannt werden, können zu Schwierigkeiten des Textverständnisses führen, da dann sogenannte Kohärenzlücken auftreten (globale Textkohäsion) (vgl. Starauschek, 2006 S.130).

Eine weitere Schwierigkeit beim Verarbeiten eines Textes kann die Menge an Fachwörtern bzw. unbekanntem Wörtern sein. Die Fachwörter sollten für ein besseres Verständnis im Text wiederholt werden (fw_1), "damit Lernende die Gelegenheit erhalten, die Bedeutung der Fachwörter aus dem Kontext zu erkennen. Die Differenz der Zahl der mehrfach und der Zahl der einfach verwendeten Fachwörter bezogen auf die Gesamtzahl der verwendeten Wörter können daher als weitere Maße zur Einschätzung der Textverständlichkeit verwendet werden" (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.244f).

Ein letzter Punkt, den die beiden Autoren anführen, ist, dass auch Nominalisierungen und Passivkonstruktionen die Textverständlichkeit erschweren und vermieden werden sollten.

Mithilfe dieser Oberflächenmerkmale kann ein Sachtext sprachstatistisch charakterisiert werden. Hierfür werden Sets gebildet, mit denen sich verständliche Texte als Ganzes interpretieren lassen. Für die vorliegende Textoberflächenanalyse wurde das Set genutzt, das von den Autoren vorgeschlagen und im Folgenden erläutert wird. Es umfasst die Berechnung der mittleren Satzlänge (s) und der mittleren Zahl der zwei- und dreisilbigen Wörter (ms), um die Klassenstufe (K) bzw. den Verständlichkeitsindikator berechnen zu können. Das Set umfasst weiterhin das Errechnen des Grads der lokalen substantivischen Textkohäsion (lsk), des Grads der globalen substantivischen Textkohäsion (gsk), des Anteils der Fachwörter (fw), sowie des Anteils der einmal verwendeten Fachwörter (fw_1) (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.245).

Zusammengenommen können die errechneten Werte dann Aufschluss darüber geben, wie verständlich ein Text anhand seiner Oberflächenmerkmale ist. Die errechneten Werte können dann mit Referenzwerten verglichen werden und somit auf Verständlichkeit geprüft werden. Der vorliegende Text der Autoren untersuchte Texte für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I, sodass die Referenzwerte von einem von den Kindern als gut verständlich bezeichneten Physikbuch stammen, das ebenfalls einer Textoberflächenanalyse unterzogen wurde (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.248).

In einem ersten Schritt werden bei einer Textanalyse, wie hier vorgeschlagen, zunächst die mittlere Satzlänge (s) und die mittlere Zahl der drei- und mehrsilbigen Wörter (ms) bestimmt, um die Klassenstufe (K) zu bestimmen. Durch die Zahl der Wörter W und die Zahl der Sätze S kann die mittlere Satzlänge bestimmt werden:

$$s = W/S.$$

Die Anzahl der drei- und mehrsilbigen Wörter MS kann durch Auszählen bestimmt und der prozentuale Anteil an der Gesamtzahl der Wörter mit berechnet werden:

$$ms = MS/W \cdot 100$$

Mithilfe der Textoberflächenmerkmale *Satzlänge* und *Silbenanzahl* der Wörter wurde empirisch versucht, sogenannte Lesbarkeitsformeln zu entwickeln. Für Sachtexte hat sich die *Vierte Wiener Sachtextformel* als gut geeignet erwiesen, nach der die Klassenstufe (K), also der Verständlichkeitsindikator (bzw. die Lesbarkeit) abgeschätzt wird, für deren Leser/innen der Text verständlich sein soll (vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.246). Diese lautet:

$$K = 0,2656 \cdot W/S + 0,2744 \cdot MS/W \cdot 100 - 1,694$$

In einem zweiten Schritt werden der Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion (l_{sk}) und der Grad der globalen substantivischen Textkohäsion (g_{sk}) bestimmt. Die lokale substantivische Textkohäsion wird bestimmt, indem gezählt wird, wie oft ein Substantiv aus dem vorherigen Satz im darauffolgenden Satz auftritt. So erhält man Satzpaare, die lokal substantivisch miteinander verbunden sind (LSK). Der Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion (l_{sk}) errechnet sich dann mit:

$$l_{sk} = LSK/S \cdot 100\%$$

(vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.246).

Um den Grad der globalen substantivischen Kohäsion (g_{sk}) zu bestimmen, werden die Substantive isoliert notiert und alle gestrichen, die zwei Mal oder häufiger auftreten. Verwandte Substantive werden als unterschiedlich gezählt. Da es zu Problemen der Berechnung bei der Vermischung von lokaler und globaler substantivischer Textkohäsion kommen kann, schlagen die Autoren vor, insbesondere bei längeren Texten die Anzahl der Substantive, die zweimal oder öfter im Text auftreten (SUB_2) durch die Anzahl aller Substantive (SUB) zu teilen, um den Grad der globalen substantivischen Kohäsion (g_{sk}) zu berechnen.

$$g_{sk} = SUB_2/SUB \cdot 100\%$$

(vgl. Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.246).

Zuletzt müssen noch der Anteil der Fachwörter (fw) und der Anteil der einmal verwendeten Fachwörter (fw_1) errechnet werden. Hierfür wird zunächst die Zahl der Fachwörter FW bestimmt, indem eine Liste angelegt wird, in der die Wörter aufgelistet werden, die als

Fachwörter bezeichnet werden. Anschließend werden die Fachwörter gezählt, die einmal vorkommen (FW_1). Daraus lässt sich zum einen der Grad der verwendeten Fachwörter errechnen:

$$fw = FW/W \ 100\%$$

Zum anderen kann der Grad der einfach verwendeten Fachwörter und ihre Differenz errechnet werden:

$$fw_1 = FW_1/W \ 100\%$$

(vgl. Kulgemeyer, Staraschek, 2014, S.247).

Tabelle (16) zeigt in Anlehnung die Orientierungswerte der Autoren, die auch für die hier vorliegende Textoberflächenanalyse genutzt wurden.

Textoberflächenmerkmal	Symbol	Maßzahl	Orientierungswerte
Erste Näherung 2-Tupel			
Mittlere Satzlänge	S	$s = W/S$	$s < 12$
Mittlere Silbenzahl	Zs	Zs	$zs < 180$
Zweite Näherung: 5-Tupel			
4. Wiener Sachtextformel	K	$K = 0,2656 W/S + 0,2744 MS/W \ 100 - 1,694$	$K = 7$ $5,4 < K < 8,4$
Grad der lokal substantivischen Textkohäsion	Lsk	$lsk = LSK/S \ 100\%$	$lsk = 51\%$ $41\% < lsk < 65\%$
Grad der global substantivischen Textkohäsion	Gsk	$gsk = SUB_2/SUB \ 100\%$	$gsk = 80\%$ $70\% < gsk < 89\%$
Anteil der Fachwörter	Fw	$fw = FW/W \ 100\%$	$fw < 7\%$
Anteil der einmal verwendeten Fachwörter	fw ₁	$fw_1 = FW_1/W \ 100\%$	$fw_1 < 3\%$

Tabelle 16: Orientierungswerte der Maße der Textoberflächenmerkmale für verständliche naturwissenschaftsdidaktische Texte (angepasst nach: Kulgemeyer, Staraschek, 2014, S.249)

In Abbildung (1) ist ein exemplarisches Beispiel aufgeführt, wie anhand der zugrunde liegenden Informationstexte eine Textoberflächenanalyse nach Kulgemeyer und Starauschek (2014) durchgeführt wurde. Es handelt sich um den Informationstext der vierten Dimension (Anhang B, Informationstexte, S.13/14).

1 **Dimension** 4: **Aussagekraft** von **Messunsicherheiten**

2 In der vierten **Dimension** des **Modells** geht es darum, wie anhand von **Messunsicherheiten** **Aussagen** über das **Messergebnis** selbst und bezüglich der mit der **Messung** verbundenen **Fragestellung** getroffen werden können.

3 Die **Dimension** beinhaltet die **Konzepte** „**Verlässlichkeit** der **Messung** und ihres **Ergebnisses**“, „**Vergleich** von **Messwerten**“ und „**Regression**“.

4 Für den **Primarbereich** ist nur das zweite **Konzept** relevant, da im **Rahmen** dieses **Konzeptes** die **Schülerinnen** und **Schüler** lernen, einen **Vergleich** von **Messwerten** durchführen zu können.

5 **Konzept** 2: **Vergleich** von **Messwerten**:

6 Um ein wissenschaftliches **Verständnis** zu entwickeln, ist es notwendig, ein gemessenes **Ergebnis** mit anderen **Messergebnissen** oder einem **Referenzwert** in **Beziehung** setzen zu können.

7 Für beide **Möglichkeiten** gilt, dass zwei **Messergebnisse** (bzw. ein **Messergebnis** und ein **Referenzwert**) miteinander verträglich sind, wenn sich die **Unsicherheitsintervalle** der beiden **Werte** überschneiden.

8 Sie stimmen dann im **Rahmen** der **Messunsicherheiten** überein.

9 Das **Ziel** dieser **Dimension** ist es also, dass die **Schülerinnen** und **Schüler** über die **Aussagekraft** der **Verlässlichkeit** einer **Messung** und ihres **Ergebnisses** unter **Rückschluss** auf eine angegebene **Messunsicherheit** das **Vertrauensniveau** einer **Messung** einschätzen zu lernen.

10 Die **Kinder** lernen auf diese **Weise**, **Ergebnisse** miteinander zu vergleichen und zu erkennen, dass unterschiedliche **Messwerte** unter **Berücksichtigung** der ermittelten **Messunsicherheiten** nicht zwangsläufig unverträglich miteinander sind.

11 Sie lernen, **Ergebnisse** kritisch zu deuten und werden geschult, diese auch interpretieren zu können.

12 Ein weiterer wichtiger **Aspekt** sind **Ausreißer** in **Messreihen**.

13 Es handelt sich hierbei um **Messungen**, die sehr auffällig sind, z.B. weil sie sehr weit weg von anderen **Messungen** in der **Messreihe** liegen.

14 Zu entscheiden, wann es sich bei einer **Messung** um einen **Ausreißer** handelt, ist nicht immer einfach und sollte insbesondere im **Primarbereich** nur ausgeschlossen werden, wenn eindeutig bestimmt werden kann, dass diese **Ausreißer** auf einem fehlerhaften **Vorgehen** beruhen.

15 Am besten sollte man deshalb **Experimente** wählen, in denen die **Kinder** schnell einen großen **Datensatz** erhalten können, z.B. die **Zeit** messen, die ein **Wassertropfen** zum **Fallen** benötigt.

16 So haben mögliche **Ausreißer** auch einen geringeren **Einfluss**, je mehr **Messwerte** erhoben werden.

17 **Beispiel** für die „**Verträglichkeit** mit anderen **Messergebnissen**“:

18 Zwei **Kinder** haben das **Klettergerüst** auf dem **Schulhof** ausgemessen.

19 **Kind** 1 hat 10m gemessen, **Kind** 2 hat 16m gemessen.

20 Da es sich um jeweils nur eine **Messung** handelt, kommt **Ermittlungsmethode B** zum **Tragen** und es ergibt sich unter **Berücksichtigung** aller möglichen **Unsicherheitsfaktoren** eine **Messunsicherheit** von $\pm 4\text{m}$.

21 Die **Ergebnisse** der beiden **Kinder** sind miteinander verträglich, da die **Unsicherheitsintervalle** sich überschneiden.

22 Das **Unsicherheitsintervall** von X_1 liegt zwischen 6m und 14m.

23 Das **Unsicherheitsintervall** von X_2 liegt zwischen 12m und 20m.

24 Der **Bereich** zwischen 12m und 14m liegt innerhalb der beiden **Intervalle**.

Markierungen:

orange = Substantiv

unterstrichen = lokale Kohäsion ($l_{sk} = LSK/S$ 100%)

durchgestrichen = globale Kohäsion (SUB_2/SUB 100%)

Liste der Fachwörter: Messunsicherheit, Regression, Referenzwert, Unsicherheitsintervall, Vertrauensniveau, Verträglichkeit (6 Fachwörter, 3 davon einmal verwendet (Regression, Vertrauensniveau, Verträglichkeit).

Abbildung 1: Exemplarische Textoberflächenanalyse (nach Kulgemeyer, Starauschek, 2014)

Wie beschrieben, wurden für die Textanalyse zunächst die Wörter (W) und Sätze (S) bestimmt, um daraus die mittlere Satzlänge (s) zu berechnen. Der Text aus Dimension 4 hat 494 Wörter und besteht aus 24 Sätzen. Die Überschrift und das Beispiel wurden dabei mitgerechnet. Die mittlere Satzlänge beträgt 21 Wörter. Dieser Wert ist sehr hoch, im Vergleich zu den Orientierungswerten aus Tabelle (16), die angeben, dass gut verständliche Sätze für das Niveau der Sekundarstufe I mit weniger als 12 Wörtern gut verständlich sind.

Mithilfe des prozentualen Anteils der drei- und mehrsilbigen Wörter (MS) zu der Gesamtzahl aller Wörter (ms) kann die Klassenstufe bzw. der Verständlichkeitsfaktor (K) bzw. die Lesbarkeit bestimmt werden. Im Text gibt es 116 drei- und mehrsilbige Wörter, der prozentuale Anteil zur Gesamtzahl aller Wörter liegt bei 23%. Um die Klassenstufe K zu berechnen, werden die Werte in die Vierte Wiener Sachtextformel eingegeben, so dass sich für K ergibt:

$$K = 0,2656 \cdot 494/24 + 0,2744 \cdot 116/494 \cdot 100 - 1,694 \cdot 11,1$$

Nach den Orientierungswerten in Tabelle (16) sind Texte gut verständlich, wenn neben anderen Aspekten K zwischen 5,4 und 8,4 liegt. Der Informationstext liegt mit $K = 11,1$ deutlich darüber. Die Werte für die lokale und globale Textkohärenz liegt mit $l_{sk} = 88\%$ aber deutlich über den Werten der Orientierungswerte und $g_{sk} = 72\%$ liegt auch im Bereich für verständliche Texte. Auch der Anteil der Fachwörter liegt im Rahmen eines verständlichen Textes, mit f_w und $f_{w_1} = 1\%$.

Das Set für den Beispieltext lautet also $K = 11,1$, $l_{sk} = 88\%$, $g_{sk} = 72\%$, $f_w = 1\%$, $f_{w_1} = 1\%$. Der Vergleich mit den Orientierungswerten aus Tabelle (16) für verständliche naturwissenschaftsdidaktische Texte (nach Kulgemeyer, Starauschek, 2014, S.249) zeigt ein einigermaßen optimales Bild.

Der Lesbarkeitsindikator K und die mittlere Satzlänge s sind hoch, die Werte für *lsk* und *gsk* aber auch, was dafür spricht, dass das Arbeitsgedächtnis für die Verarbeitung nicht übermäßig beansprucht werden muss. Auch die Verwendung der Fachwörter ist für den hier untersuchten Text angemessen. Die Diskussion zur Auswertung der gesamten Textoberflächenanalyse findet sich in Kapitel 7.

6. Auswertung der empirischen Erhebung

6.1 Auswertung der Interviews

Wie in Kapitel 5 beschrieben, wurden die Informationstexte zur Validierung des reduzierten Sachstrukturmodells durch Schenke in fünf Einzelinterviews Lehramtsstudierenden vorgelegt, die diese auf Inhalt und Verständlichkeit prüfen sollten. Die Auswertung erfolgte aufgrund der gebildeten Kategorien und sollte die dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfragen beantworten. Dabei wurden die einzelnen Dimensionen nacheinander besprochen und sollten von den Studierenden in eigenen Worten wiedergegeben werden. Die Einleitung zur Relevanz der Thematisierung von Messunsicherheiten (Anhang B, Informationstexte, S.2) stellte dahingehend eine Besonderheit dar, dass diese zwar auch auf Inhalt und Verständlichkeit geprüft, aber nicht in eigenen Worten wiedergegeben werden musste.

Alle Proband/innen meldeten zurück, dass die Einleitung zur Relevanz verständlich sei. Zwei der Befragten, die den Text in eigenen Worten wiedergaben, zeigten damit, dass hier die Relevanz der Thematisierung erkannt wurde, um eine Grundlage für das wissenschaftliche Arbeiten bei Kindern der Primarstufe zu schaffen. Es wurden der Rahmenlehrplan und die daraus resultierende Notwendigkeit der Thematisierung erwähnt, und dass nur mithilfe von Messunsicherheiten überhaupt Messergebnisse verglichen werden können (vgl. Interview 5, Z.48-57).

Im Folgenden werden die einzelnen Dimensionen der Reihe nach aufgeführt und jedes Konzept in Bezug auf konzeptuelle Schwierigkeiten des Verständnisses der Befragten geprüft. In einem zweiten Schritt wird jeweils geprüft, inwiefern das gegebene Beispiel für das jeweilige Konzept zum Verständnis des Inhalts beiträgt. Jede Dimension hatte ebenfalls eine kurze Einleitung, die mit den Studierenden zusammen gelesen wurde und die ebenfalls nur als verstanden bzw. nicht verstanden zurückgemeldet werden sollte. Die Diskussion der Auswertung der Antworten erfolgt in Kapitel 7. Die Tabelle (17) zeigt eine Übersicht über die Einordnung der Antworten je Kategorie.

	Interview 1	Interview 2	Interview 3	Interview 4	Interview 5
Dimension 1 Konzept 1	K1	K3	K1	K1	K3
Konzept 2	K4	K2	K4	K4	K2
Dimension 2 Konzept 1	K3	K2	K2	K1	K1
Konzept 2	K2	K2	K2	K2	K2
Dimension 3 Konzept 1	K3	K2	K3	K1	K1
Dimension 4 Konzept 2	K3	K2	K3	K3	K3

Tabelle 17: Übersicht über die Kategorien der einzelnen Konzepte je Interview

6.1.1 Dimension 1

Das Ziel der reduzierten Version für die Primarstufe sollte es nach Schenke sein, einen Konzeptaufbau über die Ursachen von Messunsicherheiten zu vermitteln, um zu Beginn der Thematisierung deren Existenz nachvollziehen zu können (vgl. Schenke, 2023, S.29). Dabei sollten für Kinder gut nachvollziehbare Umwelteinflüsse, wie beispielsweise die Umgebungstemperatur, thematisiert werden.

Der Einleitungstext der ersten Dimension (Anhang B, Informationstexte, S.3) ergab keine Verständnisschwierigkeiten bei den Befragten. Alle meldeten zurück, dass er verständlich sei und fassten das Ziel dieser Dimension richtig zusammen, dass jede Messung Messunsicherheiten beinhaltet und dass es wichtig sei, dieses Wissen an die Schüler und Schülerinnen zu vermitteln.

Dimension 1: Zur Existenz von Messunsicherheiten					
Konzept 1: Ursachen der Messunsicherheit		K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	K2: Konzeptuelles Verständnis	K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	K4: Kein konzeptuelles Verständnis
Verstanden	5	3		2	
nicht verstanden	0				

Tabelle 18: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zu den Ursachen von Messunsicherheiten

Die Tabelle (18) zum ersten Konzept der ersten Dimension zeigt aber, dass das Konzept zu den *Ursachen* von Messunsicherheiten anhand des Informationstextes nicht von allen Lehramtsstudierenden vollständig verstanden wurde. Nur drei der Befragten konnten der qualitativen Inhaltsanalyse zufolge der Kategorie 1 (vollständig konzeptuelles Verständnis) zugeordnet werden. Sie gaben das Konzept in eigenen Worten wieder und konnten ein eigenes Beispiel finden.

Zwei der teilnehmenden Personen wurden Kategorie 3 (teilweise konzeptuelles Verständnis) zugeordnet. Das liegt in beiden Fällen daran, dass die befragten Personen Schwierigkeiten hatten, alle Aspekte des gegebenen Beispiels nachzuvollziehen.

Denn obwohl alle Befragten angaben, dass das gegebene Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.4) für die Verständnissicherung hilfreich war⁷, weil es den Sachverhalt "anschaulicher" macht, konnten zwei der Befragten nicht alle Punkte im Beispiel nachvollziehen.

Bei einer Person gab es Verständnisschwierigkeiten mit Punkt 3 des Beispiels⁸ – die Aussage "mehrere Kinder lösen die Stoppuhr aus, wenn das akustische Signal ertönt" in

⁷ Zwei Personen gaben an, dass das Beispiel hilfreich, aber für das Textverständnis nicht unbedingt nötig sei (Interview 3, Z.83, Interview 4, Z.91).

⁸ Punkt 3 des Beispiels für die Ursachen von Messunsicherheiten (siehe auch Anhang): Mehrere Kinder lösen die Stoppuhr aus, wenn das akustische Signal ertönt und stoppen, wenn das Kind über die Ziellinie läuft. Die angezeigten Messwerte der Stoppuhr können nur maximal so genau sein, wie die Uhr Nachkommastellen anzeigt (Endlichkeit von Darstellungen).

Verbindung zu *Endlichkeit der Darstellung* richtig zu interpretieren. Sie konnte dem Text nicht entnehmen, ob mehrere Kinder die gleiche Stoppuhr auslösen (was sie dann aber selbst aufgrund der unrealistischen Ausführbarkeit ausschließen konnte) oder ob mehrere Kinder jeweils eine Stoppuhr haben und dann der Mittelwert der Ergebnisse erhoben werden soll (Interview 2, Z.93-103).

Geschrieben wurde Punkt 3 des Beispiels aus dem Aspekt heraus, dass man die Kinder darauf aufmerksam machen sollte, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass bei mehreren Kindern verschiedene Ergebnisse auftreten, da sie zum einen unterschiedliche Reaktionszeiten haben, aber auch, da die Stoppuhren nur eine endliche Darstellung haben und die letzte Zahl auf- oder abgerundet wird.

So sollen die Kinder beim eigenen Messen auf die Ursachen der Messunsicherheiten aufmerksam gemacht werden. Der Hinweis auf die *Endlichkeit der Darstellung* scheint hier allerdings zu verwirren und sollte demnach deutlicher formuliert werden.

Eine andere befragte Person merkte zu Punkt 5⁹ des Beispiels an, dass in dem gegebenen Beispiel nicht klar werde, wie Umwelteinflüsse (Temperaturen und elektromagnetische Strahlung) in dem konkreten Fall Einfluss nehmen würden und wie dies im Unterricht thematisiert werden könnte (Interview 5, Z.87-89). Es sollte im Text deshalb deutlicher gemacht werden, welche Auswirkungen diese Umwelteinflüsse konkret in diesem Beispiel haben könnten, da auch sie einen Einfluss auf die Geschwindigkeitsmessung haben können. Temperaturveränderungen können die bei der Messung verwendeten Materialien (z.B. die Stoppuhr) beeinflussen, was zu kleinen, aber messbaren Messunsicherheiten führen kann. Auch externe elektromagnetische Strahlung (z.B. von Mobiltelefonen) kann Messgeräte beeinflussen und die Signale stören. Diese Umweltfaktoren können also direkt die Laufzeit eines Signals beeinflussen und führen zu Unsicherheiten in der Messung, weshalb auch sie berücksichtigt werden sollten. Um Messunsicherheiten zu minimieren, müssen also auch diese Umgebungsbedingungen beachtet, überwacht und gegebenenfalls korrigiert werden, z.B. durch den Einsatz spezieller Messtechniken, die weniger empfindlich auf diese Umweltveränderungen reagieren. Insbesondere für den Schulunterricht sollte aber im Vorfeld überlegt werden, wie genau das Ergebnis gemessen werden soll und wie genau das Messgerät dafür sein muss. Dies kann man gut im Unterricht mit den Kindern thematisieren, um diese für Unsicherheiten im Alltag und im experimentellen Umfeld zu sensibilisieren. Dabei kann auch thematisiert werden, dass Unsicherheiten in verschiedenen Größen auftreten und bestimmte Einflussfaktoren gegenüber anderen vernachlässigt werden können (vgl. Hellwig et al., 2017, S.22).

Alle Befragten konnten ein eigenes, korrektes Beispiel finden, wie zum Beispiel, dass das Bestimmen der Dichte einer Münze von verschiedenen Unsicherheiten abhängt (Schmutz, Anzeige der Waage). Auch die Schallmessung mit dem Handy wurde als Beispiel genannt, da das Handy oftmals nicht auf das richtige Signal, das Klatschen, sondern auf andere Geräusche aus der Umgebung reagierte, um die Zeit zu starten bzw. zu stoppen, sondern auf andere Geräusche in der Umgebung reagierte und die Messergebnisse deshalb stark

⁹ Punkt 5 des Beispiels für die Ursachen von Messunsicherheiten (siehe auch Anhang): Auch die Temperatur, elektromagnetische Strahlung oder die Luftfeuchtigkeit können beim Messen der Laufzeit zu Messunsicherheiten führen (Umwelteinflüsse).

schwankten (Interview 1, Z.99-104).

Das spricht dafür, dass das Konzept grundsätzlich verstanden wurde, aber das Beispiel überarbeitet werden sollte (siehe Kapitel 7 dieser Arbeit).

Das gegebene Beispiel wurde trotz der beschriebenen Verständnisschwierigkeiten von allen Personen als hilfreich bewertet. Vier Personen betonten, dass das Beispiel das vorhandene Verständnis deutlich verbessert habe (B1), da es dafür sensibilisiert, wie häufig es in alltäglichen Situationen zu Messunsicherheiten kommt (z.B. Interview 1, Z.81, Interview 2, Z.89-92).

Dimension 1: Zur Existenz von Messunsicherheiten					
Konzept 2: Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung		K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	K2: Konzeptuelles Verständnis	K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	K4: Kein konzeptuelles Verständnis
Verstanden	2		1		1
nicht verstanden	3		1		2

Tabelle 19: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zur Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung

Tabelle (19) zeigt die Ergebnisse der Auswertung des zweiten Konzepts der ersten Dimension. Dieses Konzept sollte nach Schenke für die Primarstufe notwendigerweise auf die konkrete Klärung des Begriffs der Messunsicherheiten reduziert werden. Die Klärung des Begriffs der Messabweichung sieht sie "als nicht zwingend für das Verständnis von Messunsicherheiten", betont aber, dass die Kinder laut Rahmenlehrplan ein Untersuchungsergebnis unter Rückbezug auf die Hypothese beschreiben sollen und somit auch der Begriff der Messabweichung (in reduzierter Form) deutlich gemacht werden sollte (vgl. Schenke, 2023, S.29f.).

Drei der fünf befragten Lehramtsstudierenden schätzten selbst ein, das zweite Konzept der ersten Dimension nach dem Lesen des Informationstextes nicht verstanden zu haben (Anhang, Informationstexte, S.4-5). Zwei davon wurden auch K4 (kein konzeptuelles Verständnis) zugeordnet, da sie Teile des Konzepts nur ungenau wiedergeben konnten. Eine Person gab dabei den Begriff der Messunsicherheiten in eigenen Worten korrekt wieder, hatte aber Schwierigkeiten mit dem Begriff der Messabweichung, der nicht korrekt wiedergegeben werden konnte¹⁰. Die andere Person konnte das Konzept der Messunsicherheiten nur ungenau wiedergeben, anhand des Beispiels konnte die Unterscheidung zum Konzept der Messabweichung aber doch nachvollzogen werden¹¹. Der Bezug bei ihrer Erklärung auf das gegebene Beispiel lässt ebenfalls darauf schließen, dass das gegebene Beispiel dabei helfen konnte, den komplexen Inhalt des Konzepts besser nachzuvollziehen.

Eine der Personen, die einschätzte, das Konzept nicht verstanden zu haben, konnte

¹⁰ "(...) dass die Messabweichung, dass ich dafür zwei Werte brauche oder gucke, wie weit diese Werte voneinander entfernt sind und wie weit sie voneinander abweichen" (Interview 4, Z.85f.).

¹¹ "Messunsicherheit, dass man das überhaupt berechnet und diese Angabe dann mit dem Plus Minus. Und die Messabweichung ist dann, (.) ach genau, nochmal der Vergleich mit einem Referenzwert, den es ja oft in der Literatur gibt" (Interview 1, Z.84f.).

allerdings K2 (konzeptuelles Verständnis) zugeordnet werden. Sie war zwar beim Wiedergeben in eigenen Worten sehr unsicher, gab das Konzept aber dennoch richtig wieder.

Sie bezog sich dabei auf das gegebene Beispiel mit dem Referenzwert der Fallbeschleunigung (Anhang, Informationstexte, S.5) (Interview 2, Z.112-122). Hier zeigt sich, dass der Inhalt erst durch den Bezug des Beispiels deutlich wurde (B2).

Zwei Personen gaben an, das Konzept verstanden zu haben. Die qualitative Inhaltsanalyse ergab, dass nur eine/r von ihnen die Begriffe Messunsicherheit und Messabweichung korrekt in eigenen Worten wiedergeben konnte. Die andere Person musste hingegen Kategorie 4 (kein konzeptuelles Verständnis) zugeordnet werden. Sie gab das Konzept der Messabweichung zwar korrekt wieder, das Konzept der Messunsicherheiten konnte aber nicht korrekt in eigenen Worten wiedergegeben werden¹². In der Antwort zeigte sich, dass das Berechnen von Mittelwerten für die Bestimmung der Unsicherheit zwar scheinbar bekannt ist, die Beschreibung blieb allerdings sehr unpräzise.

Insgesamt gaben drei Personen an, mehr Zeit für das Verstehen des Konzepts zu benötigen. Als Begründung gab ein/e Proband/in an, dass das Konzept "von der Erklärung sehr abstrakt (ist)" und "mit sehr vielen Zahlenwerten schon gleich so rumgeschmissen wird" (Interview 5, Z.92-93). Zu Schwierigkeiten mit den Berechnungen äußerte sich auch eine andere befragte Person, dass ihr aus dem Text heraus nicht klar wurde, woher der Zahlenwert für die angegebene Messunsicherheit kommt (Interview 1, Z.88f.).

Keine der fünf befragten Personen konnte ein eigenes Beispiel finden, was ebenfalls dafür spricht, dass dieses Konzept hinsichtlich seiner Verständlichkeit überarbeitet werden muss. Drei der Befragten gaben an, dass das im Text gegebene Beispiel für die *Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung* aber geholfen habe, den Text besser nachzuvollziehen. Der Inhalt wurde dabei erst durch den Bezug zu dem praktischen Beispiel deutlich (B2). Dies spricht sehr dafür, dass praktische Beispiele insbesondere bei schwer verständlichen Texten dabei helfen können, Inhalte verständlicher zu machen.

Eine Person meldete zurück, dass das Beispiel "zu mathematisch" sei. Außerdem würde aus dem Text nicht ersichtlich, wofür diese Unterscheidung der beiden Begriffe überhaupt wichtig sein sollte (Interview 4, Z.95-96). Praktische Beispiele helfen demnach der Verständnissicherung nicht unbedingt weiter, wenn noch nicht genügend Wissen zu einem Thema vorhanden ist (B4).

Eine weitere Schwierigkeit ergab sich beim Begriff *Referenzwert*. Dieser führte bei einer interviewten Person zunächst zu konzeptuellen Verständnisschwierigkeiten [Interview 5, Z.95f.]. Durch das Beispiel konnte der Begriff allerdings deutlich gemacht werden, was dafür spricht, dass das praktische Beispiel dabei helfen konnte, abstrakte Konzepte besser zu verstehen (B2).

¹² "Und eine Messunsicherheit, glaube ich, wird dann ja auch immer, das ist quasi der Mittelwert, also wird dann als Mittelwert berechnet. Also man guckt dann und man nimmt dann alle Messungen und dann wird das addiert und dann wieder geteilt und dann hat man, glaube ich, die Unsicherheit." (Interview 3, Z.103-105).

Auch mit den Berechnungen im Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.5) fühlen sich drei der Befragten überfordert. Hier wurde gewünscht, dass die Berechnungen weniger komplex gemacht werden sollten und auch der Text wäre zu abstrakt (Interview 5, Z.93f.).

Eine Person äußerte die Überlegung, dass der Grund für die Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung noch einmal deutlicher gemacht werden sollte (Interview 2, Z.94-96).

6.1.2 Dimension 2

Im Rahmen des ersten Konzepts der zweiten Dimension, das *Ziel der Messung*, sollte nach Schenke für das reduzierte Modell der Primarstufe vermittelt werden, dass es nicht den einen Messwert geben kann, der mit einer Messung gemessen werden kann und deshalb in naturwissenschaftlichen Experimenten mehrere Messungen nötig sind, um den "besten Wert einer Messreihe" zu bestimmen (vgl. Schenke, 2023, S.30).

Dabei soll den Kindern auch vermittelt werden, sich der vermuteten Messgröße so dicht wie möglich anzunähern, um eine möglichst geringe Messunsicherheit in einem Experiment zu erreichen und ggf. den Messprozess verändern zu können (vgl. Schenke, 2023, S.30). Der kurze Einleitungstext (Anhang B, Informationstexte, S.6) war für alle Befragten verständlich.

Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen						
Konzept 1: Ziel der Messung		Vollständig konzeptuelles Verständnis	Konzeptuelles Verständnis	Teilweise konzeptuelles Verständnis	Kein konzeptuelles Verständnis	
Verstanden	5	2	2	1		
nicht verstanden	0					

Tabelle 20: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zum Ziel der Messung

Tabelle (20) zeigt, dass alle Befragten das Konzept *Ziel der Messung* (Anhang B, Informationstexte, S.6) nach eigener Einschätzung verstanden haben. Vier der befragten Personen konnten das Konzept richtig und in eigenen Worten wiedergeben, zwei fanden ein eigenes Beispiel (K1). Zwei nannten zwar ein Beispiel, diese waren aber ungenau, weil sie das Ziel der Messung nicht definierten (K2) (Interview 2, Z.141f., Interview 3, Z.146f.).

Eine Person hatte Schwierigkeiten mit dem gegebenen Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.7), das sie "verwirrend" fand, da für sie nicht eindeutig klar wurde, welche Ursachen die Messunsicherheit hier die Messung beeinflussen (Interview 1, Z.134). Außerdem äußerte sie Probleme mit dem Begriff *Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit*. Anhand des "Schrank"-Beispiels (Anhang B, Informationstexte, S.6) fasste sie das Konzept dahinter zwar in eigenen Worten zusammen, aber sie blieb unschlüssig und wünschte sich hierfür eine andere Bezeichnung (Interview 1, Z.143-148).

Eine weitere Person meldete ebenfalls zurück, dass der Begriff *Anstreben einer*

Messunsicherheit auch bei ihr zu Verständnisschwierigkeiten führte, da ihr der Begriff vorher nicht bekannt war. Die Erklärung dazu konnte sie aber nachvollziehen und den Text dann in eigenen Worten richtig wiedergeben (Interview 3, Z.118f.).

Alle betonten, dass es nicht den einen Wert geben kann, den man messen kann, da es immer Messunsicherheiten gibt (z.B. Interview 1, Z.129). Das sollte den Kindern vermittelt werden, aber auch die Tatsache, dass erstmal geprüft werden muss, was gemessen und welches Messgerät gewählt werden sollte (Interview 1, Z.130-131).

Alle Befragten stellten heraus, dass das "Schrank-Beispiel", das bereits im Text genannt wird (Anhang B, Informationstexte, S.6), sehr hilfreich für das Verständnis war, um aufzuzeigen, was mit dem *Ziel der Messung* und dem "*Anstreben einer Messunsicherheit*" gemeint sei (z.B. Interview 2, Z.152f.) (B2). Trotzdem meldeten vier Personen zurück, dass das "Klassenraum- Beispiel" (Anhang B, Informationstexte, S.7) noch einmal anschaulich herausstellt, wie Messunsicherheiten überhaupt entstehen (B1).

An den Rückmeldungen zu den Beispielen zeigt sich, dass auch hier praktische Beispiele scheinbar zum einen dabei helfen können, das vorhandene Verständnis zu verbessern, aber auch dabei, einen komplexen Inhalt erst mithilfe des Beispiels zu verstehen (B1 und B2).

Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen						
Konzept 2: Ergebnis der Messung		K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	K2: Konzeptuelles Verständnis	K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	K4: Kein konzeptuelles Verständnis	
Verstanden	5		5			
nicht verstanden	0					

Tabelle 21: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zum Ergebnis der Messung

Im Rahmen des Konzepts *Ergebnis der Messung* nach Schenke sollte das Ziel für die Primarstufe darin bestehen, dass Schülerinnen und Schüler lernen, grundsätzlich alle Schritte eines Experiments mitsamt ihren einzelnen Ergebnissen notieren, um ein Nachvollziehen jederzeit möglich zu machen (vgl. Schenke, 2023, S.30).

Die Tabelle (21) zeigt, dass auch das zweite Konzept der zweiten Dimension *Ergebnis der Messung* von allen Befragten als verstanden eingeschätzt wurde. Die qualitative Inhaltsanalyse ergab, dass alle Befragten der Kategorie K2 (konzeptuelles Verständnis) zugeordnet werden konnten. Die Kernaussagen konnten korrekt und in eigenen Worten wiedergegeben werden. Dabei wurde betont, dass das Messergebnis eine Zusammenfassung aller vorher erhobenen Werte ist, und dass dafür eine genaue Dokumentation notwendig ist, damit auch der Forschungsprozess transparent ist und das Experiment und die Messung replizierbar sind (z.B. Interview 4, Z. 117-119).

Ein eigenes Beispiel nannte niemand, zwei der befragten Personen äußerten aber den Vorschlag, in das Beispiel-Protokoll (Anhang B, Informationstexte, S.8) bei der Durchführung eine Tabelle einzufügen, um die gemessenen Ergebnisse einzutragen (Interview 2, Z.161f. und Interview 5, Z.133f.).

Drei der Befragten meldeten zurück, dass das gegebene Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.8) bei der Verständnissicherung geholfen habe, da es praktisch aufzeigt, wie eine solche Ergebnissicherung durchgeführt werden kann (z.B. Interview 2, Z.160) (B1).

Zwei Personen meldeten zurück, dass bereits der Text verständlich war und das Beispiel deshalb nicht unbedingt nötig (B4). Unter der Berücksichtigung, dass man das Thema in einer Klasse behandeln möchte, sei es allerdings hilfreich, eine solche Protokollvorlage vorliegen zu haben (Interview 3, Z.138f., Interview 4, Z.122f).

6.1.3 Dimension 3

Das Ziel der dritten Dimension zur Erfassung von Messunsicherheiten sollte in der Primarstufe darin liegen, den Kindern zu vermitteln, wie Messunsicherheiten vereinfacht berechnet bzw. ausgedrückt werden können (vgl. Schenke, 2023, S.31).

Der Einleitungstext der reduzierten dritten Dimension, die nur noch die Ermittlungsmethode A und B umfasst, wurde von allen Befragten als verständlich bezeichnet.

Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten						
Konzept 1: Ermittlungsmethode A		K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	K2: Konzeptuelles Verständnis	K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	K4: Kein konzeptuelles Verständnis	
Verstanden	5	2	1	2		
nicht verstanden	0					

Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten						
Konzept 1: Ermittlungsmethode B		K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	K2: Konzeptuelles Verständnis	K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	K4: Kein konzeptuelles Verständnis	
Verstanden	5	2	1	2		
nicht verstanden	0					

Tabelle 22: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zu Erfassung von Messunsicherheiten

Da die beiden Ermittlungsmethoden getrennt voneinander betrachtet die gleiche Kategorienverteilung der Antworten zeigten, werden sie, wie in Tabelle (22) dargestellt, im Folgenden gemeinsam besprochen.

Zwei der Befragten konnten K1 (vollständig konzeptuelles Verständnis) zugeordnet werden, da beide Ermittlungsmethoden korrekt in eigenen Worten wiedergegeben werden und die Personen ein eigenes Beispiel nennen konnten. Eine Person zeigte beim Wiedergeben des Textes ein konzeptuelles Verständnis, nannte aber kein eigenes Beispiel (K2) und zwei Personen zeigten ein teilweise konzeptuelles Verständnis (K3). Alle Personen konnten den Unterschied zwischen den beiden Ermittlungsmethoden nachvollziehen und in eigenen

Worten wiedergeben, zu Verständnisschwierigkeiten kam es zum einen wegen der Begrifflichkeiten *Mittelwert* (Interview 1, Z.191f.), *verträglicher Bereich* und der Verwendung *Ergebniswert/Bestwert* (Interview 1, Z.198f.) Diese Person wünschte sich auch bereits im Informationstext ein Beispiel für Methode B, z.B., dass man die Informationen dann aus einer Bedienungsanleitung nehmen könnte.

Zum anderen wurde der Begriff *Unsicherheitsintervall* als unverständlich bezeichnet, da nicht klar geworden sei, was damit genau bezeichnet wird (Interview 3, Z.171f.). Die Person fasst zusammen, wie ein solches Unsicherheitsintervall berechnet wird, und dass alle Messungen, die nicht innerhalb dieses Intervalls liegen, offensichtlich aufgrund von Messfehlern entstanden sein müssen. Deshalb ist es also auch hier notwendig, diese Begriffe noch genauer zu definieren bzw. zu umschreiben, um ein konzeptuelles Verständnis zu erleichtern.

Ein weiterer Aspekt, der angemerkt wurde, betraf die Schreibweise der Berechnung im Beispiel zur Ermittlungsmethode B. Die Person merkt hierfür an, dass zunächst von 1,11 Sekunden Gesamtunsicherheit gesprochen wird. Anschließend werden nur noch 1,1 Sekunden aufgeführt. Hier weist sie darauf hin, dass das verwirren könnte und somit erklärt werden sollte, wie das Ergebnis zustande kommt und wie viele Nachkommastellen angegeben werden müssen (Interview 1, Z.223-225).

Die Auswertung der Antworten bezüglich der Verständnissicherung durch die Beispiele ergab vor allem, dass beide Beispiele das vorhandene Verständnis deutlich verbessern (B1). Das zeigt sich darin, dass alle Antworten sich auf die Beispiele (Anhang B, Informationstexte, S.11/12) bezogen.

Insbesondere für die Ermittlungsmethode B wurde das Beispiel als sehr hilfreich empfunden, da der Informationstext zu dieser Methode (Anhang B, Informationstexte, S.10) anfangs sehr abstrakt war. Der Inhalt wurde erst durch den Bezug zu dem praktischen Beispiel deutlich (B2) (Interview 4, Z.136). Die Person betonte, dass das Beispiel dabei hilft, die abstrakte Erklärung aus dem Informationstext auf eine nachvollziehbare Ebene zu heben und es konkret beschreibt, welche Einflussgrößen dafür eine Rolle spielen können (Interview 4, Z.141f.).

Eine weitere Person merkte an, dass das Schätzen der Messunsicherheit (Ermittlungsmethode B) sehr komplex und anspruchsvoll ist und damit schwierig für Kinder der Klassenstufen 5/6. Die beiden Beispiele haben aber sehr geholfen, sich zu verdeutlichen, was die beiden Ermittlungsmethoden letztendlich bedeuten und wie wichtig es sei, sich als Lehrkraft vorab zu überlegen, welche Messunsicherheiten einen Einfluss haben können und das dann auch mit Kindern zu thematisieren (Interview 2, Z.187-202).

Mehrere Personen merkten an, dass die Übersichtstabelle zur dritten Dimension (Anhang, Informationstexte, S.9) sehr groß und abschreckend wirkte und die beiden Konzepte, die nicht relevant sind, die Übersicht unnötig verkomplizieren (z.B. Interview 4, Z.134). Für die Nutzung als Lehrkraft wäre es ausreichend, nur die relevanten Konzepte aufzuführen, die für den Unterricht auch wirklich gebraucht werden. Der wissenschaftliche Aspekt der Vollständigkeit sei verständlich, aber für den hier gedachten Verwendungszweck wäre es

nicht zielführend (Interview 2, Z.296-304).

6.1.4 Dimension 4

Das Ziel der vierten Dimension liegt für die Primarstufe laut Schenke darin, dass die Schülerinnen und Schüler lernen sollen, wie man Messergebnisse miteinander vergleichen kann. Dabei ist es auch wichtig, Ausreißer in Messreihen zu thematisieren und wie man mit ihnen umgehen kann (vgl. Schenke, 2023, S.33).

Der Einleitungstext für die reduzierte, vierte Dimension wurde von allen befragten Personen als verständlich bezeichnet.

Dimension 4						
Konzept 2: Vergleich von Messwerten		K1: Vollständig konzeptuelles Verständnis	K2: Konzeptuelles Verständnis	K3: Teilweise konzeptuelles Verständnis	K4: Kein konzeptuelles Verständnis	
Verstanden	5		1	4		
nicht verstanden	0					

Tabelle 23: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zum Vergleich von Messwerten

In Tabelle (23) zeigt sich, dass die qualitative Inhaltsanalyse dieses Konzepts über die Aussagekraft von Messunsicherheiten ergab, dass vier Personen der Kategorie 3 (teilweise konzeptuelles Verständnis) zugeordnet werden mussten, eine Person konnte das Konzept in eigenen Worten richtig wiedergeben (K2). Die konzeptuellen Schwierigkeiten zeigten sich darin, dass zum einen der Begriff "verträglich" nicht ausreichend verstanden wurde. Es wurde gewünscht, diesen Begriff genauer zu erläutern (Interview 1, Z.253f.). Die gleiche Person hatte auch Schwierigkeiten damit, im Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.14) nachzuvollziehen, warum es sich um Ermittlungsmethode B handelt, konnte es sich aber daran deutlich machen (Interview 1, Z.258). Das Beispiel konnte demnach bei der Verständnissicherung helfen (B1).

Zu dem "Klettergerüst"-Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.14) meldete eine andere Person zurück, dass sie sich bei diesem Beispiel fragte, welche Konsequenz es hätte, wenn die beiden Intervalle sich nicht überschneiden würden (Interview 3, Z.213). Sie kommt zu dem Schluss, dass dann die Wahl des Messinstruments überdacht werden und die Messung wiederholt werden müsste, um zu erreichen, dass die Unsicherheitsintervalle sich überschneiden. Sie ist bis zum Schluss unsicher geblieben und es könnte sein, dass sie damit eine ähnliche Meinung äußert wie zwei andere befragte Personen. Diese äußerten Unverständnis darüber, warum die Messunsicherheit in dem Beispiel vier Meter betragen sollte (Interview 4, Z.165f. und Interview 5, Z.182f.). Beide konnten sich keine Situation vorstellen, in dem ein gemessener Gegenstand, der im Bereich von 12 m und 14 m liegt, solch ein großes Unsicherheitsintervall haben sollte. Es wird vorgeschlagen, die Messunsicherheit für das Beispiel anzupassen, beide meldeten aber zurück, dass sich das Beispiel grundsätzlich gut eigne, den Sachverhalt darzustellen.

Der Aspekt der Ausreißer wurde von zwei Personen als kompliziert bewertet, da es schwierig sein kann, solche Ausreißer insbesondere mit Kindern zu thematisieren, wenn nicht eindeutig klar ist, dass bei der Messung tatsächlich etwas falsch gemacht wurde.

Insbesondere für den Aspekt, Messunsicherheiten bei Ermittlungsmethode B schätzen zu können, müssen die Kinder damit schon vertraut sein (Interview 2, Z.197f.). Alle erkennen an, dass dieser Aspekt am besten gelöst werden kann, indem man im schulischen Kontext ein Experiment wählt, mit dem die Kinder schnell große Datensätze erheben können.

Sowohl das "Klettergerüst"-Beispiel als auch das "Wassertropfen"-Beispiel (Anhang B, Informationstexte, S.13) aus dem Text wurde als sehr hilfreich für die Verständnissicherung bewertet, auch wenn die aufgeführten Anmerkungen bei der Überarbeitung der Informationstexte natürlich berücksichtigt werden sollten (B1).

Die Auswertung der Interview-Aussagen ergab, dass insbesondere das zweite Konzept der ersten Dimension (Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung) sowie das Konzept der vierten Dimension (Vergleich von Messwerten) sich als konzeptionell anspruchsvoll erwiesen. Eine gezielte Überarbeitung der Texte mit klareren Begriffserklärungen, einer stärkeren Reduktion von Fachterminologie und mehr praxisorientierten Beispielen wäre sinnvoll, um die Verständlichkeit weiter zu verbessern.

Bevor diese Ergebnisse in Kapitel 7 diskutiert werden, werden im Folgenden noch die Ergebnisse der Auswertung der Textoberflächenanalyse vorgestellt. Diese wurde durchgeführt, um damit zu überprüfen, ob die Texte ggf. zu anspruchsvoll geschrieben wurden, so dass die aufgetretenen Verständnisschwierigkeiten in den Interviews ggf. auch darauf zurückgeführt werden könnten. Die Einleitung, sowie die einzelnen Dimensionen wurden – wie in Kapitel 5.3 beschrieben – einer Textoberflächenanalyse (nach Kulgemeyer, Staraschek, 2014) unterzogen.

6.2 Auswertung der Textoberflächenanalyse

Tabelle (24) zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Textoberflächenanalyse. Die ausführliche Textoberflächenanalyse für alle Informationstexte findet sich im Anhang I. Die Analyse wurde jeweils für die gesamte Dimension (ggf. beide Konzepte und Beispiele) durchgeführt, da laut der Autoren die Texte nicht zu kurz sein sollten, um aussagekräftig sein zu können. Aufgelistet sind die einzelnen Werte der Textoberflächenanalyse für die Einleitung und die einzelnen Dimensionen der Informationstexte.

	<i>W</i>	<i>s</i>	<i>MS</i>	<i>ms</i>	<i>K</i>	<i>LSK</i>	<i>Isk</i>	<i>SUB</i>	<i>SUB₁</i>	<i>gsk</i>	<i>FW</i>	<i>FW₁</i>	<i>fw</i>	<i>fw₁</i>
Einleitung	403	18	124	31%	12,6	16	73%	108	58	54%	14	11	4%	3%
Dimension 1	601	17	161	27%	15,0	16	46%	160	106	66%	20	16	3%	3%
Dimension 2	524	15	135	26%	14,4	19	56%	149	97	65%	15	7	3%	1%
Dimension 3	478	18	127	27%	12,8	28	104%	127	97	76%	17	8	4%	2%
Dimension 4	494	21	116	23%	11,1	21	88%	101	73	72%	7	3	1%	1%

Tabelle 24: Auswertung der Textoberflächenanalyse aller Informationstexte (*W*: Anzahl der Wörter; *s*: mittlere Satzlänge; *MS*: Anzahl der Wörter mit drei oder mehr Silben; *ms*: Prozentualer Anteil der drei- und mehrsilbigen Wörter; *K*: Klassenstufe; *LSK*: lokale substantivische Textkohäsion; *Isk*: Grad der lokalen substantivischen Kohäsion; *SUB*: Zahl der Substantive; *SUB₁*: Zahl der Substantive, die mehr als zwei Mal auftreten; *gsk*: Grad der global substantivischen Kohäsion; *FW*: Zahl der Fachwörter; *FW₁*: Zahl der einmal verwendeten Fachwörter; *fw*: Anteil der Fachwörter; *fw₁*: Anteil der einmal verwendeten Fachwörter)

Vergleicht man die Werte aus der Tabelle mit den Orientierungswerten aus Tabelle (16) zeigt sich, dass die mittlere Satzlänge in allen Informationstexten deutlich länger ist als in einem vergleichbar "normal verständlichen Text" für die Sekundarstufe I. Demnach gelten Sätze mit einer mittleren Satzlänge < 12 als gut verständlich.

K steht für die Klassenstufe bzw. die Lesbarkeit eines Textes, wobei gut lesbare Texte für die Sekundarstufe I zwischen 5,4 und 8,4 liegen. Die Informationstexte liegen zwischen 11,1 und 15, also sehr viel höher. Nach Bamberger und Vanecek zeigt die Berechnung der Lesbarkeit eines Textes mithilfe der Wiener Sachtextformel, die speziell für deutschsprachige Texte entwickelt wurde, an, für welche Schulstufe ein Sachtext geeignet ist. Die Skala beginnt bei Schulstufe 4 und endet bei 15, wobei ab der Stufe 12 eher von Schwierigkeitsstufen als von Schulstufen gesprochen werden sollte.

Ein Wert von 4 steht demnach für einen sehr leichten Text, dagegen bezeichnet 15 einen sehr schwierigen Text (vgl. Bamberger, Vanecek, 1984).

Ein lokaler Textzusammenhang wird hergestellt, wenn zwei aufeinander folgende Sätze zusammenhängen. Die lokal substantivische Textkohäsion beschreibt das Verhältnis der lokal substantivisch verbundenen Satzpaare zur Gesamtzahl der Sätze. Die Ergebnisse der vorliegenden Textoberflächenanalyse zeigen für den Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion *lsk* hohe Werte, was dafür spricht, dass die mentale Herstellung des Zusammenhangs zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sätzen in den Informationstexten gut gelungen ist. Den Autoren zufolge sollten Texte zwischen 41% und 65% liegen, die Informationstexte liegen mit 46% - 104% klar im Rahmen gut verständlicher Texte.

Der global substantivischen Kohärenz zufolge, die die Zahl der mehrfach im Text verwendeten Substantive beschreibt, wird ein Text **demnach** leichter verstanden, wenn Sätze oder Textteile, die weit auseinander liegen, aufeinander bezogen werden können, da die gleichen Substantive verwendet werden. Der Textzusammenhang wird also üblicherweise zwischen Sätzen oder Teilsätzen hergestellt. Ein globaler Textzusammenhang umfasst die Tatsache, dass Sätze, die im Text weit auseinander liegen, semantisch zusammenhängen (vgl. Staraschek, 2006, S.130). Je höher die Gradzahl im Mittel an lokaler und globaler Textkohäsion ist, desto verständlicher werden Texte eingeschätzt. Die Orientierungswerte gehen von einem gut verständlichen Text aus, wenn die Werte zwischen 70% und 89% liegen.

Die Gradzahl der global substantivischen Textkohäsion *gsk* in der Einleitung, sowie den Dimensionen 1 und 2 mit Werten von 54%, 66% und 65% unter den Werten für einen gut verständlichen Text. Die dritte und vierte Dimension sind mit 76% und 72% in Bezug auf die globale substantivische Textkohäsion besser verständlich.

Im nächsten Schritt wurde die Verwendung der Fachwörter untersucht. Hier zeigen die Werte aus der Tabelle, dass die Verwendung der Fachwörter in allen Informationstexten im Rahmen eines verständlichen Textes liegt. Die Nutzung der Fachwörter stellt laut der erreichten Werte daher auch kein erhöhtes Verständigungsproblem dar. Es wurden allerdings viele Wörter mit einer hohen Silbenanzahl verwendet, was zu Schwierigkeiten führen könnte.

Nach Annahme der Autoren könnten weitere Schwierigkeiten für die Verständlichkeit eines Textes durch die Verwendung von Passivkonstruktionen und Nominalisierungen zustande kommen. Die Überprüfung der Informationstexte ergab allerdings, dass diese grammatikalischen Strukturen in den untersuchten Texten nicht vermehrt vorliegen und deshalb vernachlässigt werden können.

Die Textoberflächenanalyse ergab **also** für die erste Dimension Werte, die auf eine erhöhte Verständnisschwierigkeit des Inhalts schließen lassen können. Zunächst handelt es sich um die Dimension mit den meisten Wörtern und auch mit den meisten drei- oder mehrsilbigen Wörtern. Es sind auch mehr Fachwörter enthalten als in den anderen Informationstexten, auch wenn der prozentuale Anteil mit 3% im Rahmen für einen verständlichen Text liegt. Die errechnete Klassenstufe *K* ist mit 15 der höchste Wert der untersuchten Texte. Auch die lokale Textkohärenz hat im Vergleich zu den anderen Dimensionen den niedrigsten Wert. Obwohl er laut den Orientierungswerten der lokalen Textkohäsion im Rahmen eines

verständlichen Textes liegt, betonen die Autoren, dass die unterschiedlichen Werte nicht allein betrachtet werden können und immer in Beziehung mit den anderen erhobenen Werten gesetzt werden müssen. Hier zeigt sich, dass der Text für die erste Dimension nach der Analyse der Textoberfläche als schwer eingeschätzt werden muss und diesbezüglich einer Überarbeitung bedarf.

Neben der ersten Dimension wurde auch der Text der vierten Dimension nach Analyse der qualitativen Auswertung nicht gut verstanden. Hier ergaben die Werte aber keine so eindeutigen Ergebnisse, wie in Kapitel 5.3 dargestellt. Der *K*-Wert ist auch für diese Dimension hoch, aber im Vergleich zu den anderen Texten ist er am niedrigsten. Auch die Werte für die lokale und globale Textkohäsion ergeben Werte, die einen diesbezüglich gut verständlichen Text evozieren.

Die Textoberflächenanalyse ergab insgesamt also leicht erschwerte Bedingungen durch die Gestaltung der Texte, insbesondere für die erste Dimension. Für alle Informationstexte könnte die Satzlänge insgesamt verkürzt werden, damit die Texte verständlicher werden. Da die Werte der global substantivischen Textkohärenz ebenfalls nicht optimal waren, könnten die Texte auch diesbezüglich verbessert werden. Die lokale substantivische Textkohärenz ergab gute Werte für die Verständlichkeit. Auch die Verwendung von Fachwörtern ergab gute Werte für die Verständlichkeit der Texte.

7. Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der beiden Auswertungen aufeinander bezogen werden. Hierfür werden die Dimensionen wieder im Einzelnen betrachtet.

Die Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse ergab für das erste Konzept der ersten Dimension, dass insgesamt der reduzierte Vorschlag Schenkes für die vorgeschlagenen Inhalte der *Ursachen von Messunsicherheiten* bestätigt werden konnte, da alle befragten Personen zurückmeldeten, diese nachvollziehen zu können und sie auch für wichtig erachteten, um mit Kindern über die einzelnen Aspekt zu sprechen. Die konzeptuellen Verständnisschwierigkeiten der zwei befragten Personen, die K3 (teilweise konzeptuelles Verständnis) zugeordnet wurden, bezogen sich jeweils auf das aufgeführte Beispiel und nicht auf den Informationstext, was darauf schließen lässt, dass hier insbesondere das Beispiel in Bezug auf die Anmerkungen überarbeitet werden sollte.

Es könnte z.B. überlegt werden, ob zu Beginn der Thematisierung beispielsweise nicht alle Ursachen aufgeführt werden müssen, denn die Verständnisschwierigkeiten des Beispiels weisen darauf hin, dass insbesondere zu Beginn der Thematisierung in der Primarstufe nicht alle Ursachen für Messunsicherheiten thematisiert werden sollten, um die Kinder nicht zu überfordern. Da es zunächst darum geht, zu sensibilisieren, kann es ggf. reichen, anfänglich nur ganz offensichtliche Ursachen (wie beispielsweise "*Faktor Mensch*" oder die *Endlichkeit von Darstellungen*) zu benennen. Dem grundsätzlichen Ziel dieses Konzepts, auf umweltbasierende Messunsicherheiten aufmerksam zu machen, wird dadurch dennoch Rechnung getragen. Weitere Umwelteinflüsse könnten dann im späteren Verlauf eingeführt Seite

werden.

Das zweite Konzept der ersten Dimension ergab in der Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse der Interviews auch für dieses Konzept prinzipiell eine Bestätigung für Schenkes Reduzierungsvorschlag, dass das Thema vereinfacht werden sollte, da es hier in der reduzierten Form noch zu einigen Verständnisschwierigkeiten kam. Da die Unterscheidung der Begriffe von Messunsicherheit und Messabweichung aber sehr wichtig ist, um den weit gefassten Begriff des Messfehlers abzugrenzen, sollte hier vertieft überlegt werden, wie das im Rahmen der Primarstufe gelingen könnte.

Dieses Konzept sollte in den Informationstexten deshalb hinsichtlich seiner Verständlichkeit noch einmal stark überarbeitet werden.

Insbesondere der Aspekt der Bedeutsamkeit der Unterscheidung in Bezug auf den Begriff *Messfehler* sollte deutlicher gemacht werden. Die Begründung für die Unterscheidung zwischen den beiden Begriffen *Messunsicherheit* und *Messabweichung* ist in dem kurzen Informationstext scheinbar nicht deutlich genug geworden. Es sollte deshalb unbedingt der Aspekt ergänzt werden, dass diese Unterscheidung getroffen wird, um Messunsicherheiten vom Begriff des Messfehlers abzugrenzen, um somit die Relevanz der Unterscheidung deutlicher zu machen. Für eine bessere Verständlichkeit könnten an dieser Stelle in den Informationstexten ggf. die Begriffe *Präzision* und *Richtigkeit* eingeführt werden, um die Unterscheidung der Begriffe deutlicher zu machen (siehe Kapitel 2.3.1). Insgesamt ergaben die vermehrten Rückmeldungen zu dem Beispiel der Messabweichung (Anhang B, Informationstexte, S.5), dass es "zu mathematisch" sei. Auch diesbezüglich könnte überlegt werden, das Beispiel in einen weniger komplexen Kontext zu bringen, indem man beispielsweise eine Situation aus dem Schulalltag wählt, die weniger mathematisch und intuitiver verständlich ist, um so den Unterschied von Messabweichung zu Messunsicherheit herauszustellen und dabei mehr auf den Zusammenhang zwischen Präzision und Richtigkeit eingeht.

Es sollte grundsätzlich auch überlegt werden, ob man diesbezüglich das reduzierte Modell von Schenke zumindest um den Begriff der systematischen Messabweichung erweitert und mit in die Informationstexte aufnimmt, um die Unterscheidung zwischen den Begriffen Messunsicherheit und Messabweichung deutlicher zu machen. So könnte z.B. ein Ergebnis, dass aufgrund seiner großen Messabweichung von einem Referenzwert als misslungen betrachtet wird, unter Berücksichtigung einer sehr kleinen Messunsicherheit und somit einer sehr genauen Messung, darauf zurückgeführt werden, dass bei der Messung systematische Einflussgrößen aufgetreten sind und die Messung bestenfalls wiederholt werden sollte. Dies könnte man im Beispiel des Informationstextes (Anhang, Informationstexte, S.5) ohne großen Aufwand erklären und somit für eine bessere Verständlichkeit des Begriffs der Messabweichung sorgen.

Wie die Ergebnisse der Auswertung zeigen, ergab die Textoberflächenanalyse, dass die Texte der ersten Dimension am schwersten zu verstehen waren, so dass die Texte und die Beispiele diesbezüglich überarbeitet werden sollten. Insbesondere die erhöhte Verwendung der drei- oder mehrsilbigen Wörtern, sowie die niedrigen Werte für die lokale Textkohärenz könnten verbessert werden.

Die Auswertung der Interviewaussagen zur zweiten Dimension ergab, dass der Vorschlag der Reduzierung für die Primarstufe durch Schenke auch für die zweite Dimension des Sachstrukturmodells bestätigt werden kann. Die konzeptuellen Schwierigkeiten, die durch den Ausdruck *Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit* entstanden sind, lassen sich ggf. dadurch reduzieren, indem man das Konzept dahinter mit anderen Worten umschreiben könnte, so wie Schenke es auch vorgeschlagen hat. Die Antworten der Interviews lassen weiterhin darauf schließen, dass der Gedanke hinter dem Konzept allen klar geworden zu sein scheint, auch die *Anpassung des Messprozesses* scheint verstanden worden zu sein, da es hierzu keine weiteren Anmerkungen gab.

Die Verständnisschwierigkeiten mit dem gegebenen Beispiel lassen darauf schließen, dass das Beispiel zu überarbeiten ist und konkreter auf unterschiedliche Messergebnisse eingegangen werden sollte, um verschiedene Ziele einer Messung deutlicher hervorzuheben. Hellwig schlägt in ihrem reduzierten Modell beispielsweise vor, dass die Dichte eines Quaders auf drei verschiedene Arten der Messung (Küchenwaage, Volumenverdrängung mit Wasser, Federwaage) bestimmt werden soll. Je nachdem, welches Ziel die Messung verfolgt, kann dann eines der drei gemessenen Ergebnisse herangezogen werden. Soll z.B. die Dichte möglichst genau bestimmt werden, wird das Ergebnis mit der geringsten Messunsicherheit gewählt; soll aber der Aspekt der Wasserverdrängung (als Vorbereitung für das Archimedische Prinzip) betrachtet werden, eignet sich das Ergebnis mit einer größeren Unsicherheit besser, mit dem aber diese Art von Messung gezeigt werden kann. Die Wahl des Messprinzips und der Messgeräte hängt also davon ab, was gemessen werden soll, die Messunsicherheit ist das entscheidende Kriterium für die Genauigkeit der Messung und die Auswahl der Messgeräte (vgl. Hellwig, 2012, S.175). Ein solches Beispiel lässt sich prinzipiell auch ohne großen Aufwand in die vorliegenden Informationstexte integrieren.

Die Textoberflächenanalyse ergab für die Texte der zweiten Dimension ebenfalls hohe Werte, insbesondere die Satzlänge und damit der *K*-Wert, sowie die Werte der lokalen und globalen Textkohäsion ergaben erhöhte Werte. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 5.3 dargestellten Oberflächenmerkmale sollte der Text diesbezüglich überarbeitet werden.

Für die dritte Dimension umfasste der reduzierte Vorschlag von Schenke nur noch das erste Konzept zur Erfassung der Messunsicherheiten bei direkter Messung. Die Auswertung der Interviews erbrachte eine Bestätigung für Schenkes Vorschlag, da sie betonte, die Berechnungen zu vereinfachen, indem auf die Standardabweichung verzichtet wird und die vereinfachte Berechnung durch 'Maximalabstand' und 'Ausschließen von Extremwerten' ausreicht (vgl. Kapitel 3.2.3).

Die Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse ergab, dass das Konzept grundsätzlich verstanden wurde und die Unterscheidung zwischen den beiden Ermittlungsmethoden deutlich gemacht werden konnte. Die Verständnisschwierigkeiten, die zwei der Befragten mit dieser Dimension hatten, bezogen sich weitestgehend auf die gegebenen Beispiele. Diese sollten daraufhin überarbeitet werden. Hierbei wurden die Begriffe *Mittelwert*, *verträglicher Bereich* und die gleichbedeutende Verwendung von *Ergebniswert* und *Bestwert* genannt. Zum anderen wurde der Begriff Unsicherheitsintervall nicht genau genug definiert. Aus diesem Grund ist es also notwendig, diese Begriffe noch genauer zu definieren bzw. zu umschreiben, um ein konzeptuelles Verständnis zu erleichtern.

Trotz dieser Schwierigkeiten meldeten die Studierenden auch in dieser Dimension zurück, dass die Beispiele für das Verständnis hilfreich waren und nicht ganz weggelassen werden sollten. Insbesondere für die Ermittlungsmethode B wurde das Beispiel als sehr hilfreich empfunden, da der Informationstext zu dieser Methode als sehr abstrakt empfunden wurde. Der Inhalt wurde hier erst durch den Bezug zu dem praktischen Beispiel deutlich. Das Beispiel hilft demnach dabei, die abstrakte Erklärung aus dem Informationstext auf eine nachvollziehbare Ebene zu heben und es beschreibt konkret, welche Einflussgrößen dafür eine Rolle spielen können.

Insbesondere für die dritte Dimension wurde gewünscht, die Übersichtstabelle zu Beginn der Dimension nicht mit allen für die Primarstufe irrelevanten Aspekten aufzuführen, da dies abschreckend und unnötig komplex wirkt. Für die Nutzung als Lehrkraft wäre es ausreichend, nur die relevanten Konzepte aufzuführen, die für den Unterricht auch wirklich gebraucht werden. Der wissenschaftliche Aspekt der Vollständigkeit sei verständlich, aber für den hier gedachten Verwendungszweck wäre es nicht zielführend.

Die Textoberflächenanalyse ergab ebenso wie für die anderen Dimensionen eine erhöhte mittlere Satzlänge sowie einen hohen K -Wert von 12,8. Die Werte für die lokale und globale Textkohäsion, sowie die Verwendung von Fachwörtern liegen aber im Rahmen eines gut verständlichen Textes.

Für die vierte Dimension ergaben die vorliegenden Auswertungen der Interviews ebenfalls eine Bestätigung für Schenkes Vorschlag, da im Rahmen der vierten Dimension im reduzierten Sachstrukturmodell für die Primarstufe an die Kinder vermittelt werden sollte, wie Messergebnisse miteinander verglichen werden können und was Messunsicherheiten über die Qualität eines Ergebnisses aussagen. Außerdem sollte bereits in der Primarstufe vermittelt werden, wie man mit Ausreißern in Messreihen umgehen kann.

Alle Befragten meldeten zurück, dass die zu vermittelnden Inhalte gut abgebildet werden und diese auch wichtig seien, und deshalb bereits in der Primarstufe vermittelt werden sollten. Die konzeptuellen Schwierigkeiten der Dimension zeigten sich zum einen in dem nicht ausreichend nachvollzogenem Begriff der „Verträglichkeit“ zweier Messergebnisse, weshalb hier bei der Überarbeitung der Informationstexte bezüglich der Verständlichkeit des Begriffs eine umfassendere Erklärung gegeben werden sollte.

Weitere Schwierigkeiten gab es auch in dieser Dimension aufgrund des gegebenen Beispiels. Deshalb sollten auch hier die Inhalte dieses Beispiels verbessert werden. Die Kritik der Angabe der großen Messunsicherheit lässt sich dabei einfach nachbessern, indem man entweder einen anderen Kontext oder andere Werte wählt. Hilfreich wäre es hier zudem, beispielhaft darzulegen, wie der angegebene Wert der Messunsicherheit zustande kommt, um hier das konzeptuelle Verständnis zu erleichtern. Da auch die Frage aufkam, welche Konsequenz es hätte, wenn die beiden Intervalle sich nicht überschneiden würden, wäre zu überlegen, auch ein solches Beispiel aufzunehmen und diesen Aspekt so verständlicher machen zu können. So könnte auch ein möglicher Rückbezug auf die Anpassung des Messprozesses thematisiert werden.

Insgesamt wurden die gegebenen Beispiele in allen Dimensionen aber trotz der Rückmeldungen zu den genannten Aspekten als sehr hilfreich für die Verständnissicherung bewertet, auch wenn die aufgeführten Anmerkungen bei der Überarbeitung der Informationstexte natürlich berücksichtigt werden müssen. Die Kategorien B1 (*Ja, die praktischen Beispiele verbessern das vorhandene Verständnis deutlich.*) wurde am häufigsten genannt, aber auch Kategorie B2 (*Ja, der Inhalt wird aber erst durch den Bezug zu einem praktischen Beispiel deutlich. (Schwierigkeiten beim Verständnis, wenn keine oder zu wenige praktische Beispiele vorhanden sind.)*) trat vermehrt auf. Kategorie B4 (*Nein, praktische Beispiele helfen für das Verständnis nicht weiter. Das (nicht) vorhandene Wissen wird durch das Beispiel nicht weiter gefördert.*) wurde nur zwei Mal genannt. Auch die Erkenntnis, dass die dritte Kategorie der Beispiele B3 (*Nein, praktische Beispiele sind für das Verständnis nicht nötig. Das vorhandene Wissen wird durch das Beispiel nicht weiter gefördert wird.*) bei den Antworten in keiner Dimension beobachtet werden konnte, spricht dafür, dass die Beispiele eine wichtige Rolle bei der Verständnissicherung gespielt haben.

Der Aspekt der Ausreißer sollte auf jeden Fall auch frühzeitig thematisiert werden, auch wenn mehrere Befragte zurück meldeten, dass dieses Thema insbesondere mit so jungen Kindern sehr anspruchsvoll ist und schwierig, wenn eingeschätzt werden soll, wann ein geschätzter oder gemessener Wert ausgeschlossen werden sollte, wenn nicht eindeutig klar ist, dass bei der Messung tatsächlich etwas falsch gemacht wurde. Dies mit Kindern der Primarstufe zu thematisieren, stellt eine besondere Herausforderung dar und es sollte im Vorfeld einer Messung von der Lehrkraft gut durchdacht werden, welche Messunsicherheiten im vorliegenden Experiment auftreten können, um so auch gezielt mit den Kindern zu besprechen, welche Messunsicherheiten zulässig sind und wie die erwartbaren Unsicherheiten möglichst gering gehalten werden können. So können mögliche Ausreißer leichter nachvollzogen werden. Eine befragte Person betonte, dass es für Kinder entscheidend sei, am Ende des Experiments nicht den Eindruck zu haben, dass Messungen grundsätzlich beliebig oder ohne greifbares Resultat bleiben.

Daran zeigt sich der wichtige Aspekt, dass den Schülerinnen und Schülern verdeutlicht werden sollte, dass ihre Messungen zu einem fundierten, wenngleich nicht vollkommen exakten Ergebnis führen. Anstatt frustriert zu sein über die fehlende Präzision ihrer Ergebnisse, sollten die Schüler erkennen, dass ihre Messungen Näherungswerte liefern, die durch Methoden wie Mittelwertbildung näher an den tatsächlichen Wert herangeführt werden können. Das erklärt auch die Tatsache, dass Messungen wiederholt werden, um zu genaueren Messwerten zu gelangen. Dieses Verständnis fördert die Erkenntnis, dass experimentelle Ergebnisse trotz unvermeidbarer Messunsicherheiten valide und aussagekräftig sind, da sie eine Annäherung an den realen Wert darstellen und somit wissenschaftlich relevant sind.

Die Auswertung der qualitativen Interviews ergab, dass die Informationstexte grundsätzlich als verständlich eingeschätzt wurden. Die größten konzeptuellen Schwierigkeiten zeigten sich in den gegebenen Beispielen, die diesbezüglich überarbeitet werden sollten. Die vorgestellten Konzepte scheinen inhaltlich gut auf das Niveau der Primarstufe angepasst zu sein, wobei die Verständnisschwierigkeiten dennoch Aspekte aufzeigten, die in den Informationstexten für ein besseres Verständnis angepasst werden sollten. Insgesamt zeigte sich, dass mehr Beispiele gewünscht werden, die einen direkten Bezug zum Unterricht haben. Es könnte überlegt werden, ob die Informationstexte um noch konkretere Beispiele bereichert werden können, die im Grundschulbereich angewandt werden können.

Alle interviewten Personen äußerten, nach dem Lesen der Informationstexte ein besseres Verständnis zu haben und das Thema als relevant für den Unterricht einschätzen und dieses auch im eigenen Unterricht umsetzen wollen. Als Wunsch für ein noch besseres Verständnis wurde mehrfach genannt, dass die zusammenfassende Tabelle (Anhang, Informationstexte, S.15), die zum Abschluss der Gespräche gezeigt wurde, die Einzige sein sollte, die den Informationstexten beiliegen sollte, da die ausgegrauten Flächen (insbesondere in Dimension 3) als sehr verwirrend und abschreckend eingeschätzt wurden. Weiterhin wurde der Wunsch geäußert, dass diese zusammenfassende Tabelle anschaulicher beschriftet wird, so dass ein Blick darauf gleich an die Informationstexte erinnert. So wurde z.B. genannt, dass statt der Begriffe Ermittlungsmethode A und B gleich in der Tabelle *mehrere Messungen* vs. *einmalige Messung* stehen sollten. So könnte die Tabelle bei der Planung einer Unterrichtseinheit genutzt werden und es müsste nicht immer unbedingt noch einmal in die Texte geschaut werden¹³.

Bei der Auswertung der qualitativen Inhaltsanalyse ist aufgefallen, dass in mehreren Interviews bis zum Ende von dem "wahren Wert, den es ja nicht gibt" gesprochen wird. Ein Blick in die Informationstexte zeigt aber auch, dass dieser Begriff dort weiterhin häufig auftaucht, obwohl bereits in der zweiten Dimension darauf hingewiesen wird, dass dieser Begriff vermieden werden sollte, da er die inadäquate Alltagsvorstellung fördert, dass es diesen einen "wahren" Wert tatsächlich gibt. Hieraufhin sollten die Informationstexte auch überarbeitet werden, um in den Texten einen passenden Alternativbegriff zu verwenden, da ansonsten die inadäquate Alltagsvorstellung höchstwahrscheinlich bestehen bleibt, dass es doch den einen bestimmten Wert geben muss, den man messen kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Selbsteinschätzung nach allen Texten bis auf den Text der Dimension 1, Konzept 2 (die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung) so eingeschätzt wurde, verstanden worden zu sein. Die qualitative Inhaltsanalyse ergab, dass für die anderen Texte der ersten drei Dimensionen mehr Aussagen den Kategorien 1 und 2 zugeordnet werden konnten, was insgesamt einem grundsätzlichen Verständnis entspricht. Für das Konzept der vierten Dimension zeigten mehr Personen nur ein teilweise konzeptuelles Verständnis. Hier sollte vor allem das Beispiel überarbeitet werden. Da die Anzahl der befragten Personen nur sehr klein war, wäre es spannend, wie sich das Bild verschieben würde, wenn die Stichprobe größer gewählt würde – eine Tendenz ist aber immerhin zu erkennen.

8. Reflexion der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Validierung von Informationstexten zum Thema Messunsicherheiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe, die eine Basis schaffen sollen, um Lehrkräften die Relevanz und Bedeutung des Themas nahe zu bringen und somit eine Möglichkeit zu bieten, auf Grundlage der Texte in einem weiteren Schritt Unterrichtseinheiten zu diesem Thema entwickeln zu können.

Mithilfe der vorliegenden Informationstexte sollte die zweite Reduzierung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe validiert werden, indem geprüft wurde, inwiefern Lehramtsstudierende die Texte dafür geeignet halten, das Thema Messunsicherheiten in

¹³ Ein Vorschlag für eine solche Tabelle findet sich in Anhang H.

dieser reduzierten Form an Lehrkräfte der Primarstufe zu vermitteln.

Zunächst wurde hierfür der Stand der Forschung vorgestellt, um zu verdeutlichen, was Messunsicherheiten sind und wie entscheidend sie sowohl im Alltag als auch in der Wissenschaft sind und wie wichtig die Thematisierung deshalb bereits frühzeitig in den naturwissenschaftlichen Unterricht integriert werden sollte.

Das für die Thematisierung grundlegende Sachstrukturmodell von Hellwig, das umfangreich alle Aspekte von Messunsicherheiten darstellt, wurde vorgestellt, um daran anschließend zunächst die Reduzierung durch Hellwig für die Sekundarstufe I zu erläutern, und dann in einem zweiten Schritt die Reduzierung für die Primarstufe durch Schenke darzulegen. Aufgrund dieser zweiten Reduzierung wurden Informationstexte für die verbliebenen Konzepte für die Primarstufe erstellt, die die Inhalte verständlich und knapp verdeutlichen sollten.

Mithilfe von Interviews von angehenden Grundschullehrkräften (mit dem Schwerpunkt Naturwissenschaften) und deren qualitativer Auswertung sollten die Informationstexte zum einen auf konzeptuelle Schwierigkeiten des Verstehens geprüft werden und zum anderen sollte untersucht werden, wie praktische Beispiele dabei helfen können, das Verständnis komplexer Texte zu verbessern. Damit sollten die Texte und das reduzierte Sachstrukturmodell für die Primarstufe nach Schenke validiert werden.

Die Vorgehensweise der qualitativen Inhaltsanalyse von Interviews erwies sich dabei als gut geeignet, um das konzeptuelle Verständnis der didaktisch reduzierten Informationstexte zum Sachstrukturmodell abzufragen. Durch das Wiedergeben der Texte in eigenen Worten und das Finden eigener Beispiele konnte das konzeptuelle Verständnis der Studierenden gut nachvollzogen werden. Ob Inhalt in den Informationstexten fehlt, konnte in den Interviews allerdings nicht erarbeitet werden. In den abschließenden Zusammenfassungen der Studierenden wurde diesbezüglich gewünscht, in dem vorgeschlagenen Versuchsprotokoll eine Tabelle für die gemessenen Werte aufzunehmen.

Durch das Aufdecken der konzeptuellen Schwierigkeiten, die die Lehramtsstudierenden mit den Informationstexten hatten, können die Inhalte der Texte in einem nächsten Schritt aber zielführend angepasst und verbessert werden.

Um zu überprüfen, ob die Texte verständlich genug geschrieben wurden, wurde eine Textoberflächenanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, wie wichtig es ist, die entwickelten Texte kritisch zu prüfen, inwiefern bereits die Textstruktur schon überfordern kann und somit vom Inhalt ablenkt. Auch die Analyse der Textoberflächenanalyse ergab Resultate, die dabei helfen können, die Informationstexte so zu vereinfachen, dass sie leichter zu verstehen sind. Die Berücksichtigung dieser Aspekte kann ebenfalls dazu beitragen, dass die komplexen Inhalte leichter nachvollzogen werden können.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Informationstexte eine gute Basis für weitere Forschung zu diesem Thema bieten, damit dieses wichtige Thema nicht länger nur als Randerscheinung im Unterricht erwähnt wird. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse können die überarbeiteten Texte für eine Lehrkräftebefragung dienen, die die Inhalte für den eigenen Unterricht beurteilen sollen. So kann Unterrichtsmaterial entwickelt werden, das das Thema Messunsicherheiten sinnvoll und altersgerecht in den Unterricht der Primarstufe einbinden kann.

Es konnte eindeutig gezeigt werden, dass praktische Beispiele dabei helfen, komplexe Texte verständlicher zu machen. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass die Wahl der Beispiele gut durchdacht und im Fall der vorliegenden Arbeit verbessert werden muss. Grundsätzlich wurde aber in allen Interviews zurückgemeldet, dass die gegebenen Beispiele hilfreich und wichtig für das Verständnis waren. Die größten Verständnisschwierigkeiten traten jedoch in den Berechnungen in den Beispielen auf, weshalb zu überlegen ist, wie man hier noch zielgerichtetere Beispiele einsetzen könnte.

Es zeigte sich somit, dass die Reduzierungen für die Primarstufe, die Schenke vorgeschlagen hat, grundsätzlich bestätigt werden konnten. Die Konzepte, die in den Informationstexten aufgeführt wurden, werden als wichtig für die Vermittlung angesehen. Das reduzierte Modell für die Primarstufe von Schenke konnte somit validiert werden, auch wenn die Stichprobe mit fünf befragten Studierenden relativ klein war und somit die Ergebnisse eine höhere Unsicherheit aufweisen als mit einer größeren Stichprobe hätten erzielt werden können, ist eine Tendenz dennoch zu beobachten.

9. Fazit

Die vorliegende Masterarbeit, deren zugrunde liegendes Thema Messdaten und deren Unsicherheiten im Unterricht der Primarstufe darstellt, untersuchte den Nutzen der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Informationstexte, um damit Lehrkräften eine Möglichkeit zu bieten, dieses wichtige Thema bereits frühzeitig im Unterricht behandeln. Gleichzeitig wurde geprüft, ob das für die Primarstufe reduzierte Sachstrukturmodell nach Schenke (2023) geeignet ist und alle relevanten Informationen enthält, die notwendig sind, um das Thema umfassend, aber inhaltlich nicht überfordernd zu beschreiben.

Damit greift sie die zentrale Problematik auf, die in der Bildungsforschung bereits mehrfach thematisiert wurde: die mangelnde Berücksichtigung von Messunsicherheiten im Unterricht, trotz ihrer Relevanz für die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens und eines fundierten Datenverständnisses. Die Arbeit zeigt auf, dass der Umgang mit Messunsicherheiten nicht nur eine fachliche Kompetenz ist, sondern auch die Grundlage für die kritische Auseinandersetzung mit Daten und deren Interpretation darstellt. In einer zunehmend datengetriebenen Gesellschaft ist es unerlässlich, bereits im Grundschulalter ein Bewusstsein für die Qualität und Aussagekraft von Messwerten zu schaffen. Die entwickelten Informationstexte, die auf einer didaktischen Reduktion des Sachstrukturmodells von Hellwig basieren, stellen dabei einen vielversprechenden Ansatz dar, um komplexe Inhalte verständlich und altersgerecht zu vermitteln.

Es bleibt zu hoffen, dass weitere Forschung dazu führt, dieses in einer zunehmend digitalisierten Welt wichtige Thema in den Primarstufenunterricht zu integrieren, um bei Kindern bereits frühzeitig ein Verständnis für wissenschaftliche Daten entwickeln zu können. Je früher das Thema in den Unterricht findet, desto eher besteht die Möglichkeit, inadäquate Vorstellungen zu diesem Thema, die ein Verständnis erschweren, gar nicht erst entstehen zu lassen. Aus diesen Gründen ist es also ratsam, Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe zu thematisieren, um inadäquaten Vorstellungen bei Kindern frühzeitig entgegenwirken zu können.

Die beiden Forschungsfragen, welche konzeptuellen Schwierigkeiten angehende Grundschullehrkräfte mit den Inhalten der didaktisch reduzierten Informationstexte zum Sachstrukturmodell haben und welchen Einfluss praktische Beispiele auf das Verständnis von Inhalten zum Sachstrukturmodell, konnten dahingehend beantwortet werden und liefern wichtige Informationen für die Nachbesserung der vorliegenden Informationstexte. So zeigte sich, dass die meisten Verständnisschwierigkeiten aufgrund der Beispiele auftraten, die den Informationstexten beigefügt waren. Trotzdem ergab die Auswertung der Interviews auch, dass alle Befragten nicht auf Beispiele verzichten würden und sich diese mehr an dem konkreten Unterricht orientieren sollten. Diese Erkenntnis unterstreicht die Bedeutung von Anwendungsbezügen und anschaulichen Kontexten in der Vermittlung abstrakter Konzepte wie Messunsicherheiten.

Die an die Interviews anschließende Textoberflächenanalyse diente ebenfalls dem Ziel, eventuelle Schwierigkeiten der Informationstexte zu ermitteln, um diese in einem weiteren Schritt "lesbarer" zu gestalten. Es konnte anhand der Ergebnisse auch hiermit gezeigt werden, dass sich die Texte hinsichtlich der beschriebenen Textoberflächenmerkmale noch verbessern lassen.

Es wurde herausgestellt, welchen Einfluss Messunsicherheiten haben und wie wichtig ein frühes Thematisieren bereits in der Grundschule ist, damit Kinder im Alltag ein Gefühl für Daten bekommen und auch früh ein grundlegendes Verständnis für das wissenschaftliche Arbeiten entwickeln können.

Das Ziel der Arbeit, die Entwicklung von Informationstexten für die Primarstufe und ihre Validierung durch Interviews und Textoberflächenanalyse, ergab eine Bestätigung des Vorschlags des Sachstrukturmodells nach Schenke. Somit können die Texte als Grundlage genutzt werden, sie Lehrkräften der Primarstufe vorzulegen, um herauszufinden, ob sie das Thema ebenfalls für relevant halten und die Texte als grundlegende Basis dienen können. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die Texte für eine erste Thematisierung mit Messunsicherheiten geeignet sind. Es muss dennoch gut überlegt werden, welche Aspekte bei einer allerersten Behandlung unbedingt vermittelt werden müssen.

Es konnte gezeigt werden, wie bedeutend eine zielgerichtete Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten ist, insbesondere im Hinblick auf die Vermittlung eines konzeptionellen Verständnisses. Die Berücksichtigung von Messunsicherheiten und die Reflexion über die Genauigkeit der Ergebnisse wird als wesentlicher Aspekt naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung angesehen. Mit einer frühen Thematisierung bereits in der Primarstufe kann idealerweise inadäquaten Vorstellungen entgegengewirkt werden und den Kindern ein wissenschaftliches Verständnis vermittelt werden. Gleichzeitig macht die Arbeit deutlich, dass eine tiefere Verankerung des Themas in der Lehrkräfteausbildung notwendig

ist, um langfristig eine höhere Akzeptanz und Umsetzung im Unterricht zu gewährleisten.

I. Literatur

- Bamberger, R., Vanecek, E. (1984). *Lesen – Verstehen – Lernen – Schreiben*. Jugend und Volk, Wien; Diesterweg, Frankfurt 1984.
- 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>.
- 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.; 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.
- 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.
- Holz, C., Heinicke, S. (2019). "Der Rest ist dann halt Messfehler. Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen". In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 1.0*.
- Höttecke, D., Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In: H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht*, Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_13
- Hull, M., Jansky, A., Hopf, M. (2021). Probability related naïve ideas across physics topics, *Studies in Science Education*, 57:1, 45-83, DOI:10.1080/03057267.2020.1757244
- KMK. Kultusministerkonferenz. Primarbereich. Online verfügbar unter <https://www.kmk.org/themen/allgemeinbildende-schulen/bildungswege-und-abschluesse/primarbereich.html#:~:text=Mit%20dem%20Beginn%20der%20Schulpflicht,bis%20zur%20sechsten%20Jahrgangsstufe%20reicht>. Zuletzt abgerufen am 02.11.2024
- 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.

- Kulgemeyer, C., Starauschek, E. (2014). Analyse der Verständlichkeit naturwissenschaftlicher Fachtexte. In: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, DOI 10.1007/978-3-642-37827-0_20, Springer-Verlag Berlin. Heidelberg 2014, S.243-249.
- 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 – letzter Zugriff: 02.11.2024.
- 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 – letzter Zugriff: 02.11.2024.
- 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 – letzter Zugriff: 08.11.2024.
- Mayring, P. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Beltz Verlagsgruppe, 69 469 Weinheim, ISBN: 9783407258991
- Schenke, N. (2023). Entwicklung eines Lernmoduls zum Thema Messunsicherheiten im NaWi-Unterricht der Primarstufe. Masterarbeit.
- Schulz, J. (2022). Entwicklung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzen im Umgang mit Messunsicherheiten. [Doctoral Thesis, Humboldt Universität zu Berlin, Germany]. <http://dx.doi.org/10.18452/23957>
- Starauschek, E. (2006). Der Einfluss von Textkohäsion und gegenständlichen externen piktoralen Repräsentationen auf die Verständlichkeit von Texten zum Physiklernen – In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften: ZfDN* 12 (2006), S. 127-157 – URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-316189 – DOI: 10.25656/01:31618
- 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

Abbildung 1: Exemplarische Textoberflächenanalyse	43
Tabelle 1: Dimension 1, Konzept 1: Ursachen der Messunsicherheit (Hellwig, 2012)	11
Tabelle 2: Dimension 1, Konzept 2: Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung (Hellwig, 2012)	12
Tabelle 3: Dimension 2, Konzept 1: Ziel der Messung (Hellwig, 2012).....	13
Tabelle 4: Dimension 2, Konzept 2: Ergebnis der Messung (Hellwig, 2012)	14
Tabelle 5: Dimension 3, Konzept 1: Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung (Hellwig, 2012).....	15
Tabelle 6: Dimension 3, Konzept 2: Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten (Hellwig, 2012)	17
Tabelle 7: Dimension 3, Konzept 3: Erweiterte Messunsicherheit (Hellwig, 2012)	19
Tabelle 8: Dimension 4, Konzept 1: Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses (Hellwig, 2012)	20
Tabelle 9: Dimension 4, Konzept 2: Vergleich von Messwerten (Hellwig, 2012).....	20
Tabelle 10: Dimension 4, Konzept 3: Regression (Hellwig, 2012).....	21
Tabelle 11: Dimension 1 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe	30
Tabelle 12: Dimension 2 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe	31
Tabelle 13: Dimension 3 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe	32
Tabelle 14: Dimension 4 in der reduzierten Version von Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I und Schenke (2023) für die Primarstufe	34
Tabelle 15: Kategoriensystem für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage.....	37
Tabelle 16: Orientierungswerte der Maße der Textoberflächenmerkmale für verständliche naturwissenschaftsdidaktische Texte	41
Tabelle 17: Übersicht über die Kategorien der einzelnen Konzepte je Interview	44
Tabelle 18: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zu den Ursachen von Messunsicherheiten.....	45
Tabelle 19: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zur Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung.....	47
Tabelle 20: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zum Ziel der Messung	49
Tabelle 21: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zum Ergebnis der Messung	50
Tabelle 22: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zu Erfassung von Messunsicherheiten	51
Tabelle 23: Selbsteinschätzung und Verständnis der Lehramtsstudierenden zum Vergleich von Messwerten.....	53
Tabelle 24: Auswertung der Textoberflächenanalyse aller Informationstexte.....	55

III. Anlagen

- A. Reduziertes Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I
- B. Informationstexte für Lehrkräfte (Grundlage der Interviews und der Textoberflächenanalyse, S.1-15)
- C. Transkript Interview 1
- D. Transkript Interview 2
- E. Transkript Interview 3
- F. Transkript Interview 4
- G. Transkript Interview 5
- H. Vorschlag für das reduzierte Sachstrukturmodell nach Schenke (2023) mit Beispielen zu den einzelnen Konzepten
- I. Selbstständigkeitserklärung

A. Reduziertes Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) für die Sekundarstufe I

Dimension 1: 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			
Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen			
Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes		
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit	
		Anpassung des Messprozesses	
Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung		
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen		
	Dokumentation von Messergebnissen		
Dimension 3: 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 Erwartungswertes	
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 Wdf		
Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten			
Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses	Genauigkeit des Schätzwertes		
	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
			Vergleichspräzision
Anomalien bzw. „Ausreißer“ in Messreihen			
Einsatz von Ausgleichsgeraden (Regression)	Grafische Durchführung einer linearen Ausgleichsgeraden (Regression)		
	Partielle Regression		
„Ausreißer“ bei der Ausgleichsgeraden (Regression)			
Regression nach dem Prinzip der größten Wahrscheinlichkeit			

Tabelle 11: Das reduzierte Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012).

Farbkodierung: „grün = ursprüngliche Inhalte, gelb = reduzierte Inhalte, rot = entfernte Inhalte“

B. Informationstexte für Lehrkräfte (Grundlage der Interviews und der Textoberflächenanalyse, S.1-15)

Seite 1:

Liebe/r Studierende/r,

im Rahmen meiner Masterarbeit zum Thema Messunsicherheiten und ihrer Relevanz für den Primarbereich der Klassen 5/6 bitte ich um deine Mithilfe. Im Folgenden liest du vier kurze Texte, in denen ich dir einzelne relevante Inhalte des Themas vorstelle.

Ziel meiner Masterarbeit ist es, diese Texte, die anschließend Lehrkräften zur Beurteilung vorgelegt werden sollen, mit Lehramtsstudierenden auf Inhalt und Verständlichkeit zu validieren. Es geht also darum, ob diese Texte so verständlich sind, dass den Lehrkräften die Notwendigkeit der Thematisierung von Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe verdeutlicht wird, ohne sie mit unverständlichem Inhalt zu überfordern.

Als Grundlage dient ein Modell, das aus vier Dimensionen besteht. Zu Beginn liest du eine kurze Einleitung in das Thema, das die Relevanz des Themas deutlich machen soll. Anschließend folgen vier Texte, die jeweils mit einer tabellarischen Übersicht über die **Konzepte** und **Inhalte** der jeweiligen **Dimension** beginnen. Grau markiert sind die Felder, die bereits für ältere Jahrgänge (Sek. I und II) ausgeschlossen wurden und somit auch keine Relevanz für die Primarstufe haben, sie werden nur der Vollständigkeit halber aufgeführt. Um die Texte anschaulich zu erklären, gibt es für jedes Konzept ein Beispiel. Auch hierfür bitte ich dich, zu beurteilen, ob das Beispiel den Text gut ergänzt, ob es überflüssig ist oder ob der Inhalt unklar bleibt.

Zunächst bitte ich dich um einige allgemeine Angaben:

Studienfächer: _____

Semester: _____

Ich habe mich schon einmal mit dem Thema „Messunsicherheiten“ auseinandergesetzt:	Trifft zu	Trifft nicht zu
während des Studiums	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
bei Fortbildungen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
im eigenen Unterricht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Einleitung: Messunsicherheiten als Thema im Unterricht der Primarstufe

Die Beurteilung der Qualität von Daten und ihrer Bedeutung ist eine Kompetenz, die immer mehr an Relevanz gewinnt, da sie unter anderem das wissenschaftliche Denken bei Kindern schult. Ein Verständnis zum Umgang mit erhobenen Daten und deren Interpretation gilt heutzutage als eine wichtige wissenschaftliche Fähigkeit der 21st century skills. Mehr denn je ist es deshalb hilfreich, wenn die Kinder bereits frühzeitig ein Verständnis von wissenschaftlichen Daten entwickeln, anstatt sich auf die Interpretation anderer verlassen zu müssen. Dazu gehört auch die Fähigkeit, Messunsicherheiten abzuschätzen und zu berechnen, um zum Beispiel verschiedene Messergebnisse miteinander vergleichen zu können oder die Qualität eines Experimentes einschätzen zu können. **Der Vergleich zweier Messergebnisse ist ohne die Berücksichtigung ihrer Messunsicherheiten nicht möglich, da diese entscheidende Informationen beinhalten, wie präzise eine Messung ist und welche Qualität die gemessenen Daten damit haben.**

Trotzdem sind Messunsicherheiten ein Thema, mit dem viele Schülerinnen und Schüler Probleme haben - nicht nur bei der Berechnung, sondern vor allem bei der Interpretation. Es stellt sich also die Frage, ob die Thematisierung von Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe Anwendung finden kann, um zu vermeiden, dass sich falsche Vorstellungen zum wissenschaftlichen Arbeiten bei Kindern festigen; und wenn ja, welche konkreten Inhalte dafür vermittelt werden sollten, ohne die Kinder zu überfordern.

Im Rahmenlehrplan für Berlin/Brandenburg wird für die Klassenstufen 5/6 unter dem Thema „Von den Sinnen zum Messen“ gefordert, dass „... sie den Umgang mit Geräten, Messgrößen, Messwerten und Maßeinheiten lernen. Der **Vergleich** von selbst aufgenommenen Messwerten und den daraus angefertigten Grafiken und Wertetabellen führt zur Methodenreflexion. Besonderes Augenmerk wird auf Messungenauigkeiten sowie Mess- und Ablesefehler gelegt.“ (RLP C Naturwissenschaften 5/6, S. 22).

Messunsicherheiten sind also schon Bestandteil des Rahmenlehrplans, z.B. beim Vergleichen von Messwerten, was ohne die Berücksichtigung von Messunsicherheiten aber gar nicht möglich ist. Es wäre deshalb grundsätzlich entscheidend zu wissen, wie man dieses komplexe Thema bereits im Primarbereich der Grundschule behandeln könnte, um frühzeitig eine Grundlage für ein wissenschaftliches Verständnis zu schaffen.

Für den Sekundarbereich liegt ein sehr ausführliches Sachstrukturmodell zum Thema *Messunsicherheiten* (Hellwig, 2012) vor, das für die Primarstufe aber angepasst werden muss.

Das Modell besteht aus vier Dimensionen:

1. Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten:

Jede Messung hat immer eine Messunsicherheit.

2. Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen:

Es gibt keinen „wahren“ Wert einer Messung.

3. Erfassung von Messunsicherheiten:

Berechnung von Mittelwert und Messunsicherheit.

4. Aussagekraft von Messunsicherheiten:

Werte können nur miteinander verglichen werden, wenn ihre Unsicherheiten bekannt sind.

Dimension 1: Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten

Konzepte	Inhalte	
1. Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen	
	Einflussgrößen	Rückwirkung der Messanordnung
		Umwelteinflüsse
		Unvollkommenheit der Messgeräte
	Mathematische Operationen	
Faktor „Mensch“		
2. Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung	Systematische Messabweichungen
		Zufällige Messabweichungen
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit	

In der ersten *Dimension*, in der es primär um das Erkennen der **grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten** geht, beinhaltet das Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) die *Konzepte* „Ursachen der Messunsicherheiten“ und „Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung“.

Das Ziel dieser gesamten Dimension liegt insbesondere darin, bereits den Schülerinnen und Schülern der Primarstufe zu vermitteln, dass **jede** gemessene Größe mit einer Unsicherheit behaftet ist, selbst wenn die Messung mit höchstpräzisen Messinstrumenten besonders sorgfältig durchgeführt wurde.

Konzept 1: Ursachen der Messunsicherheit:

Unabhängig von der Art eines Messgerätes und wie präzise es ist, kann es nicht beliebig genau messen. **Ursachen für Messunsicherheiten** sind verschiedene **Einflussgrößen** wie **Umwelteinflüsse** (z.B. Windzug, Reibung), die **Unvollkommenheit der Messgeräte** (z.B. nicht korrekt eingestellte Eichung) und der **„Faktor Mensch“** (z.B. die Reaktionszeit oder das Ablesen einer Skala). Jedes Messgerät kann nur eine **endliche Darstellung** eines Messergebnisses anzeigen (z.B. die Anzahl der Nachkommastellen auf einer Stoppuhr oder die Einteilung der Markierungen auf einem Lineal).

Beispiel für das „Sichtbarmachen von Messunsicherheiten“:

Stellen Sie sich eine Sportstunde vor. Mehrere Kinder sollen die Laufzeiten eines Kindes beim 50m-Lauf messen. Wo kommt es hier zu Messunsicherheiten?

1. Die Laufstrecke muss ausgemessen werden. Je nachdem, welches Messgerät man benutzt, kann die Strecke mehr oder weniger genau gemessen werden (aber immer nur endlich genau, weil die Anzeige auf einem (herkömmlichen) Maßband im cm-Bereich angegeben wird (**Endlichkeit von Darstellungen**)).
 2. Das Kind läuft bei einem akustischen Signal los, hier muss die menschliche Reaktionszeit berücksichtigt werden, die bei ca. 0,2-0,3 s liegt (**Faktor „Mensch“**).
 3. Mehrere Kinder lösen die Stoppuhr aus, wenn das akustische Signal ertönt und stoppen, wenn das Kind über die Ziellinie läuft. Die angezeigten Messwerte der Stoppuhr können nur maximal so genau sein, wie die Uhr Nachkommastellen anzeigt (**Endlichkeit von Darstellungen**).
 4. Auch durch mangelnde Sorgfalt oder unsachgemäße Handhabung von Messgeräten können Messunsicherheiten entstehen. Und welcher Teil des Kindes wird der Messung bei der Ziellinie zugrunde gelegt? (**Faktor „Mensch“**)
 5. Auch die Temperatur, elektromagnetische Strahlung oder die Luftfeuchtigkeit können beim Messen der Laufzeit zu Messunsicherheiten führen (**Umwelteinflüsse**).
- Diese Ursachen lassen sich mit Kindern im Unterricht erarbeiten. Indem man die Kinder selbst Laufzeiten messen lässt, kann man mit ihnen erarbeiten, warum unterschiedliche Messwerte aufgetreten sind und woran das liegen könnte. Hier könnte man auch thematisieren, wie Laufzeiten im Profisport gemessen werden (Lichtschranken) und warum.

Konzept 2: Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung:

Die beiden Begriffe haben unterschiedliche Bedeutungen bezüglich ihrer Berechnung und Aussagekraft.

Die **Messunsicherheit** ist eine Quantifizierung der Streuung von Messwerten. Sie stellt somit ein Maß für die Genauigkeit einer Messung und die Qualität des Experimentes dar (Maß für die Variabilität von Messdaten). In einem Ergebnis wird die Messunsicherheit wie folgt geschrieben: z.B.:

$$g_1 = (9,87 \pm 0,09) \text{ m/s}^2$$

Die **Messabweichung** bezeichnet die Differenz von einem Messergebnis mit einem Referenz- oder Vergleichswert (Maß für den Unterschied zwischen dem Ergebniswert und Referenzwert). Gibt es keinen Referenzwert, kann die Messabweichung nicht bestimmt werden.

Beispiel für die Unterscheidung von Messunsicherheit und Messabweichung:

Misst man beispielsweise in einer Messreihe g_1 die Fallbeschleunigung g bei einem Fadenpendel und erhält $g_1 = (9,87 \pm 0,09) \text{ m/s}^2$. Bei einer zweiten Messreihe g_2 erhält man das Ergebnis $g_2 = (9,82 \pm 0,17) \text{ m/s}^2$.

Der Referenzwert für die Fallbeschleunigung liegt in Deutschland bei $9,81 \text{ m/s}^2$.

Für g_1 liegt die Messabweichung demnach bei $|9,87 \text{ m/s}^2 - 9,81 \text{ m/s}^2| = 0,06 \text{ m/s}^2$, die Messunsicherheit bei $0,09 \text{ m/s}^2$.

Für g_2 liegt die Messabweichung bei nur $|9,82 \text{ m/s}^2 - 9,81 \text{ m/s}^2| = 0,01 \text{ m/s}^2$, die Messunsicherheit ist mit $0,17 \text{ m/s}^2$ aber deutlich größer.

$$g_1 = (9,87 \pm 0,09) \text{ m/s}^2$$



Messabweichung: $0,06 \text{ m/s}^2$
Unsicherheitsintervall: $9,78 - 9,96 \text{ m/s}^2$

$$g_2 = (9,82 \pm 0,17) \text{ m/s}^2$$



Messabweichung: $0,01 \text{ m/s}^2$
Unsicherheitsintervall: $9,65 - 9,99 \text{ m/s}^2$

Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen

Konzepte	Inhalte	
1. Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Festlegen eines Höchstwertes für die Messunsicherheit
		Anpassung des Messprozesses
2. Ergebnis der Messung	Mathematisches Modell der Auswertung	
	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	

In der zweiten *Dimension* des Modells geht es um den **Einfluss der Messunsicherheiten auf das Messwesen**, also wie Messunsicherheiten die Prozesse des Experimentierens beeinflussen. Dafür sind zwei *Konzepte* wichtig: „Ziel der Messung“ und „Ergebnis der Messung“.

Ziel dieser Dimension ist es, den Kindern zu vermitteln, dass es nicht den einen „wahren“ Messwert geben kann, den sie perfekt nachmessen können, sondern dass das Ergebnis **immer** eine gewisse Unsicherheit hat und somit ein Unsicherheitsintervall aufspannt.

Konzept 1: Ziel der Messung:

Dieses Konzept beinhaltet, dass es immer eine Forschungsfrage zu beantworten gilt, also der Wunsch, etwas zu bestimmen oder zu schlussfolgern. Dafür ist es entscheidend, den Kindern zu verdeutlichen, dass es **nicht den einen „wahren“ Wert** geben kann, und dass es vom Ziel der Messung abhängig ist, welches Messinstrument gewählt werden muss. Soll eine Messung auf eine bestimmte Vorgabe genau messen (z.B. ob ein Schrank beim Umzug durch die Tür passt – so ist es i.d.R. nicht nötig, ihn mm-genau auszumessen. (**Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit**)). Die Auswahl eines geeigneten Messgeräts sollte also zur gewünschten Zielstellung passen, also praktikabel in Beziehung zur Durchführbarkeit und Zweckmäßigkeit sein. Das Ziel einer Messung ist immer, die angestrebte Messunsicherheit zu erreichen und ansonsten zu prüfen, wie das Messverfahren präzisiert werden kann (**Anpassung des Messprozesses**).

Beispiel für „Ziel der Messung“:

Stellen Sie sich vor, dass Sie mit den Kindern die Länge des Klassenraum ausmessen wollen. Das sollen die Kinder zunächst mit einem Geodreieck machen. Die gemessenen Werte weichen stark voneinander ab, z.B. wegen des wiederholten Anlegens des Geodreiecks, um den Raum auszumessen. Welches Messinstrument eignet sich besser? Reicht ein Tafellineal mit der Unterteilung von 1 cm oder benötigt man ein Lasermessgerät mit der Präzision von 1 mm?

Konzept 2: Ergebnis der Messung:

Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen: Eine Messung ohne Messunsicherheit (Streuung der Messwerte) gibt es nicht. Sie ist immer mit dem Messergebnis verbunden. Messergebnisse müssen deshalb immer die Angabe einer Messunsicherheit enthalten:

Messergebnis = Ergebniswert \pm Messunsicherheit

Im Rahmen des schulischen Kontextes ist der *Ergebniswert* in der Regel der Mittelwert der erhobenen Messwerte und die *Messunsicherheit* der Maximalwert der Abweichung von diesem Mittelwert (im wissenschaftlichen Kontext ist diese Maximalabweichung meistens die Standardabweichung).

Für die **Dokumentation der Messung** (in Bezug auf die Messunsicherheiten) ist es sinnvoll, die Kinder ein Protokoll führen zu lassen (s. Beispielkasten). Auf diesem wird die Forschungsfrage notiert und die Planung des Experiments. Diese sollte so gestaltet sein, dass die Kinder das Experiment zu einem späteren Zeitpunkt wieder durchführen können. Das schult das wissenschaftliche Arbeiten. Im Feld der Durchführung werden Materialliste, Aufbau und Messverfahren notiert, da nur so das Experiment auch reproduzierbar/nachvollziehbar ist und die Qualität der Messung (Messergebnisse und Messunsicherheiten) beurteilt werden kann.

Beispiel für das „Ergebnis einer Messung“:

Versuchsprotokoll von:	Datum:
Thema:	
Forscherfrage: Was will ich herausfinden?	
Vermutung: Was könnte die Antwort auf meine Forscherfrage sein?	
Planung: Wie kann ich meine Vermutung überprüfen und welche Materialien werden benötigt?	
Durchführung: Hier schreibe ich die Materialliste und das Messverfahren auf, skizziere den Aufbau und notiere meine gemessenen Ergebnisse.	
Auswertung und Interpretation: Was sagen meine Ergebnisse in Bezug auf die Forscherfrage aus?	
Reflexion: Was lief gut und was würde ich beim nächsten Mal anders machen?	

Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten

Konzepte	Inhalte		
1. Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung	Aufstellen einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (Wdf)		Ermittlungsmethode A
			Ermittlungsmethode B
	Analyse der Wdf		Form der Wdf
			Ermittlung des Erwartungswertes
			Ermittlung der Standardmessunsicherheit
Freiheitsgrad			
2. 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			
3. Erweiterte Messunsicherheit	Wahl des Erweiterungsfaktors bei angenommener Normalverteilung		
	Wahl des Erweiterungsfaktors bei anderen Wdf		

In der dritten *Dimension* des Modells geht es um die **Erfassung von Messunsicherheiten**, sie enthält die mathematischen Methoden, um Messunsicherheiten ermitteln zu können. Die Dimension enthält die *Konzepte* „Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung“, „Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten“ und „Erweiterte Messunsicherheit“. Für die Primarstufe relevant ist nur das erste Konzept, da es erklärt, dass Messunsicherheiten auf verschiedene Weise erhoben werden können.

Ziel dieser Dimension ist es, die Messunsicherheiten quantifizieren zu können und damit eine Aussage über die Qualität der Messung machen zu können.

Konzept 1: Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung

Es gibt eine **Ermittlungsmethode A**, bei der Messunsicherheiten auf Grundlage der Streuung mehrerer aufgenommener Messwerte bestimmt werden (statistische Auswertung von mehreren Messungen). Im Rahmen des schulischen Kontextes ist der Ergebniswert in der Regel der Mittelwert der erhobenen Messwerte und die Messunsicherheit der Maximalwert der Abweichung von diesem Mittelwert (im wissenschaftlichen Kontext ist die Unsicherheit meistens die Standardabweichung).

Nicht immer stehen aber mehrere Messwerte zur Verfügung, z.B. wenn eine Messung nur einmal durchgeführt wurde und dementsprechend keine Streuung entstehen kann. Dafür gibt es **Ermittlungsmethode B**, wenn nur ein Messwert zur Verfügung steht. Dann wird die Messunsicherheit auf Basis aller zur Verfügung stehenden Informationen des Messgerätes ermittelt oder geschätzt.

Beispiel für „Ermittlungsmethode A“:

Denken Sie an das Beispiel aus Dimension 1, in der die Zeit eines Kindes beim 50-m-Lauf gemessen wird.

Folgende Messwerte wurden beim Lauf des Kindes gestoppt:

t[s]

7,54

7,71

8,54

8,52

7,63

$$\text{Mittelwert} = \frac{\text{Summe der Messwerte}}{\text{Anzahl der Messwerte}}$$

(Mittelwert: Die beste Schätzung für den Ergebniswert eines Experiments)

$$\text{Der Mittelwert der gemessenen Werte liegt bei } t = \frac{7,54 + 7,71 + 8,54 + 8,52 + 7,63}{5}$$

$$t = 7,99\text{s}$$

Um die Unsicherheit der Messreihe zu bestimmen, muss man nun den größten Abstand zwischen dem Mittelwert und dem minimalen oder maximalen Wert der Messreihe bestimmen:

t[s]

$$7,54 \text{ Min.} \quad 7,99\text{s} - 7,54\text{s} = 0,45\text{s}$$

7,71

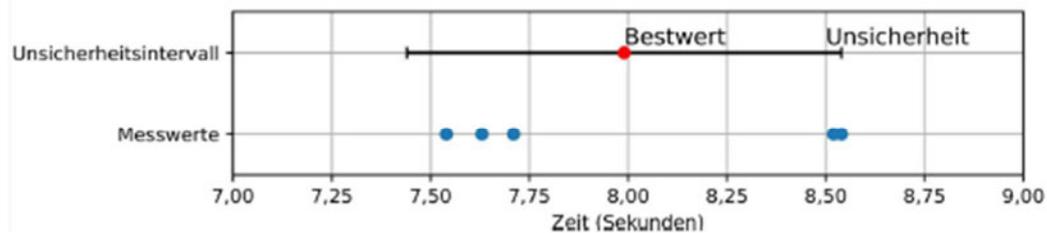
$$8,54 \text{ Max.} \quad 8,54\text{s} - 7,99\text{s} = 0,55\text{s} \rightarrow \text{größter Abstand} = \text{Messunsicherheit}$$

8,52

7,63

Das Ergebnis wird notiert: Die Laufzeit des Kindes beträgt: $(7,99 \pm 0,55)\text{s}$

Alle Werte, die innerhalb des Unsicherheitsintervalls liegen, sind im verträglichen Bereich der Messung (7,44 – 8,45)s. Der anzunehmende Wert für die Messung liegt also mit hoher Wahrscheinlichkeit im aufgespannten Unsicherheitsintervall.



Beispiel für „Ermittlungsmethode B“:

Hat man nur einen gemessenen Wert, ist es möglich, sämtliche zur Verfügung stehende Informationen zurate zu ziehen, um eine Gesamtunsicherheit zu berechnen, die dann mit dem Ergebniswert der Messung das Unsicherheitsintervall beschreibt.

Für unser Beispiel bedeutet das:

Berücksichtigt man die menschliche Reaktionszeit (Referenzwert: ca. 0,3s) bei Start und Stopp der Uhr, außerdem die Ablesunsicherheit, die vom Gerät abhängt (für die angenommenen Uhren: 0,01s) und eine optische Komponente, wenn das Kind über die Ziellinie läuft (0,5s), dann liegt die Gesamtunsicherheit bei 1,1s.

Gesamtunsicherheit bei: $(0,3s \times 2) + 0,01s + 0,5s = 1,11s$

Der einzige gemessene Wert liegt bei 7,5s. Das Ergebnis ist dann also:

$$(7,5 \pm 1,1)s$$

Das Unsicherheitsintervall liegt somit zwischen 6,4s und 8,6s.

Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten

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

In der vierten *Dimension* des Modells geht es darum, wie anhand von Messunsicherheiten Aussagen über das Messergebnis selbst und bezüglich der mit der Messung verbundenen Fragestellung getroffen werden können. Die Dimension beinhaltet die *Konzepte* „Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses“, „Vergleich von Messwerten“ und „Regression“. Für den Primarbereich ist nur das zweite Konzept relevant, da im Rahmen dieses Konzeptes die Schülerinnen und Schüler lernen, einen **Vergleich von Messwerten** durchführen zu können.

Konzept 2: Vergleich von Messwerten:

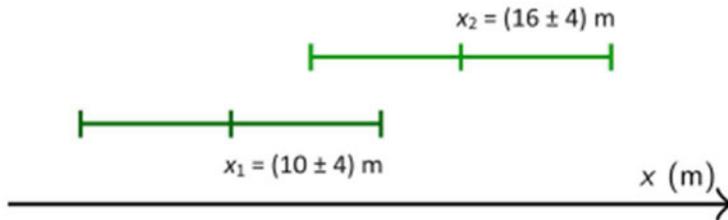
Um ein wissenschaftliches Verständnis zu entwickeln, ist es notwendig, ein gemessenes Ergebnis mit **anderen Messergebnissen** oder **einem Referenzwert** in Beziehung setzen zu können. Für beide Möglichkeiten gilt, dass zwei Messergebnisse (bzw. ein Messergebnis und ein Referenzwert) miteinander verträglich sind, wenn sich die Unsicherheitsintervalle der beiden Werte überschneiden. Sie stimmen dann im Rahmen der Messunsicherheiten überein.

Das Ziel dieser Dimension ist es also, dass die Schülerinnen und Schüler über die Aussagekraft der Verlässlichkeit einer Messung und ihres Ergebnisses unter Rückschluss auf eine angegebene Messunsicherheit das Vertrauensniveau einer Messung einschätzen zu lernen. Die Kinder lernen auf diese Weise, Ergebnisse miteinander zu vergleichen und zu erkennen, dass unterschiedliche Messwerte unter Berücksichtigung der ermittelten Messunsicherheiten nicht zwangsläufig unverträglich miteinander sind. Sie lernen, Ergebnisse kritisch zu deuten und werden geschult, diese auch interpretieren zu können.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind **Ausreißer in Messreihen**. Es handelt sich hierbei um Messungen, die sehr auffällig sind, z.B. weil sie sehr weit weg von anderen Messungen in der Messreihe liegen. Zu entscheiden, wann es sich bei einer Messung um einen Ausreißer handelt, ist nicht immer einfach und sollte insbesondere im Primarbereich nur ausgeschlossen werden, wenn, **eindeutig** bestimmt werden kann, dass diese Ausreißer auf einem fehlerhaften Vorgehen beruhen. Am besten sollte man deshalb Experimente wählen, in denen die Kinder schnell einen großen Datensatz erhalten können, z.B. die Zeit messen, die ein Wassertropfen zum Fallen benötigt. So haben mögliche Ausreißer auch einen geringeren Einfluss, je mehr Messwerte erhoben werden.

Beispiel für die „Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen“:

Zwei Kinder haben das Klettergerüst auf dem Schulhof ausgemessen. Kind 1 hat 10m gemessen, Kind 2 hat 16m gemessen. Da es sich um jeweils nur eine Messung handelt, kommt Ermittlungsmethode B zum Tragen und es ergibt sich unter Berücksichtigung aller möglichen Unsicherheitsfaktoren eine Messunsicherheit von ± 4 m.



Die Ergebnisse der beiden Kinder sind miteinander verträglich, da die Unsicherheitsintervalle sich überschneiden. Das Unsicherheitsintervall von X_1 liegt zwischen 6m und 14m. Das Unsicherheitsintervall von X_2 liegt zwischen 12m und 20m. Der Bereich zwischen 12m und 14m liegt innerhalb der beiden Intervalle.

Zusammenfassung des Sachstrukturmodells für die Primarstufe

Dimension 1: Existenz von Messunsicherheiten		
Konzepte	Inhalte	
1. Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen	
	Einflussgrößen	Umwelteinflüsse
		Unvollkommenheit der Messgeräte
Faktor „Mensch“		
2. Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung	
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit	
Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen		
1. Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit	Anpassung des Messprozesses
2. Ergebnis der Messung	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen	
	Dokumentation von Messergebnissen	
Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten		
1. Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung	Ermittlungsmethode A	
	Ermittlungsmethode B	
Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten		
2. Vergleich von Messwerten	Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert	Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen
	Anomalien bzw. „Ausreißer“ in Messreihen	

C. Transkript Interview 1

1 Transkribiert mit 1 noScribe Vers. 0.5

2 Audiodatei: C:/Users/Marie/OneDrive/Dokumente/Zoom/2024-07-31 10.10.11 Zoom Meeting von Marie Meyer/Interview 1_1.m4a

3 (Start (hh:mm:ss): 00:00:00 | Qualität: precise | Sprache: de | Sprecher:in erkennen: auto | Überlappende Sprache: 1 | Zeitmarken: 4 0 | Pausen markieren: 1)

5 Sprecher 1 = S01 = Lehramtsstudierende*r

6 Sprecher 2 = S02 = Interviewerin

7 S02: Du bist bereit, dass ich dich aufnehme und deine Daten anonymisiert verwende?

8 S01: Ja, darfst du machen.

9 S02: Klasse, gut, okay, dann sage ich dir kurz den Einleitungstext und worum es geht. Es geht darum, dass ich in meiner
10 Masterarbeit zum Thema Messunsicherheiten, Texte, die eigentlich Lehrkräften vorgelegt werden sollen, da die Relevanz für den
11 Primarbereich der Primarstufe 5/6 untersuchen will und mit Studierenden die Texte, die ich geschrieben habe, auf Inhalt und
12 Verständlichkeit validieren möchte. Es soll so sein, dass die Lehrkräfte, die in der Regel ja noch nicht so viel mit
13 Messunsicherheiten zu tun haben, dass die nicht zu überfordert sind von dem ganzen Thema. Deswegen haben wir versucht,
14 das runterzuschrauben. Als Grundlage dient ein Modell, das aus vier Dimensionen besteht. Das Sachstrukturmodell von Julia
15 Hellwig, hast du von dem schon gehört?

16 S01: (...) Jetzt vom Namen her nicht.

17 S02: Okay, und, das Ganze ist jetzt hier so aufgebaut, dass es zu jeder Dimension eine kurze Einleitung gibt. Diese Dimensionen
18 bestehen aus verschiedenen Konzepten und da geht es jeweils um die Inhalte. Du siehst am Anfang jedes Kapitels eine Tabelle
19 mit der ganzen Dimension, die Frau Hellwig damals für die Sekundarstufe 1 geschrieben hat. Da sind Teile grau markiert und die
20 sind für uns nicht relevant. Wir haben es so weit angepasst und nur das Weiße ist relevant. Wir haben das Graue nur drin gelassen
21 für die Vollständigkeit, aber die berücksichtigen wir gar nicht. Genau, und am Ende von diesen Texten, wo ich immer die Konzepte
22 erkläre für jede Dimension, gibt es ein Beispiel und da wäre mir auch wichtig, dass du guckst, ob dir der Text so an sich schon
23 reichen würde zum Verstehen oder ob das Beispiel dir hilft oder es dich vielleicht sogar verwirrt. Ja, so. Und am Anfang steht die
24 Einleitung, die findest du auf Seite 2, die ist ein bisschen länger, aber so kurz es ging und die würde ich dich jetzt einfach bitten,
25 einmal durchzulesen und mir am Ende zu sagen, ob du alles verstanden hast, also die Relevanz des Themas, ob das verständlich
26 ist, okay?

27 S01: Ja, ganz kurz, wir sind Klasse 5/6, ne?

28 S02: Ja, genau, das ist wichtig. Die Texte sind aber nicht für die Kinder geschrieben, sondern für die Lehrkräfte der 5,6, die dann
29 im Idealfall daraus Unterricht entwickeln sollen.

30 S01: Okay, das heißt, ich lese jetzt die Einleitung.(.)

31 S02: Genau. (2 Minuten Pause.) Okay, zu dem Modell... Nee, erstmal frage ich dich, ist das so weit klar? Zu dem Modell unten
32 könnte ich sonst auch noch einfach kurz den Kasten zusammenfassen - dieses ganze Modell, das sind halt die vier Dimensionen,
33 die miteinander in Verbindung stehen...

34 S01: Nee, ist klar so weit. Genau, du hast ja erklärt, warum das so wichtig ist, dass das bereits im Rahmenlehrplan sogar gefordert
35 wird, und dass du das jetzt für die Primarstufe anpasst.

36 S02: Genau.

37 S01: Dieses Modell von Hellwig. Ja, und die vier Dimensionen, nee, soweit eigentlich verständlich.

38 S02: Sehr gut. Okay, also dieses Modell besteht aus den vier Dimensionen, die grundsätzliche Existenz, dass es überhaupt
39 Messunsicherheiten gibt, das ist jetzt nochmal dieser kleine Kasten. Dann kommt die zweite Dimension, der Einfluss und da geht
40 es, vielleicht nochmal wichtig, um die Entscheidungen, die bei der Planung und Durchführung zu treffen sind, also bei der Planung
41 eines Experiments, was für einen Einfluss diese Messunsicherheiten haben und dabei eben, dass es keinen wahren Wert gibt.
42 Dann kommt die Erfassung von Messunsicherheiten, dass man die auch berechnen muss, um dann viertens Werte miteinander
43 vergleichen zu können. Also, die sind so grundsätzlich alle nötig und wie gesagt, ist es jetzt soweit angepasst für die Primarstufe.
44 (.) Dann siehst du auf Seite drei die erste Dimension, die grundsätzliche Existenz und dort eben links die Konzepte eins und zwei,
45 also mehr gibt es tatsächlich auch bei Hellwig nicht und dann gibt es zum einen Ursachen der Messunsicherheit und zum anderen
46 die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung und dann rechts davon die Inhalte und das habe ich jetzt
47 versucht zusammenzufassen in den Texten. Also erstmal immer, worum es in der Dimension geht, das lesen wir zusammen und
48 du überlegst, ob das verständlich ist. Dann kommen die Konzepte, die für uns in der 5/6 relevant wären und zu jedem Konzept
49 habe ich versucht, einen ganz kurzen Text zu schreiben und dann kommt in diesen Kästen immer noch ein Beispiel. Das lasse
50 ich dich dann lesen und würde dich anschließend nach jeder Dimension bitten, dass du es einmal, so wie du es verstanden hast,
51 wiedergibst und wenn du kannst, eigene Beispiele findest. (..)

52 S01: Okay, ich lese die Konzepte der ersten Dimension und dann melde ich mich.

53 S02: Genau. Aber erst lesen wir den Text unter der Tabelle zusammen und du überlegst, ob dir einleuchtet, was da steht.

54 S01: Okay.

55 S02: In der ersten Dimension, in der es primär um das Erkennen der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten geht,
56 beinhaltet das Sachstrukturmodell nach Hellwig 2012 die Konzepte Ursachen der Messunsicherheiten und Unterscheidung
57 zwischen Messunsicherheit und Messabweichung. Das Ziel dieser gesamten Dimension liegt insbesondere darin, bereits den
58 Schülerinnen und Schülern der Primarstufe zu vermitteln, dass jede gemessene Größe mit einer Unsicherheit behaftet ist, selbst
59 wenn die Messung mit höchstpräzisen Messinstrumenten besonders sorgfältig durchgeführt wurde. Ist das soweit klar?

60 S01: (.) Ja, also, dass das Ziel das Erkennen der Existenz von Messunsicherheiten ist, das leuchtet mir ein. (.) Und Ursachen von
61 Messunsicherheiten ist auch irgendwie klar. Das andere hier, die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und
62 Messabweichung (...) Das erschließt sich mir jetzt so noch nicht so richtig (.)

63 S02: Okay. Dann bitte ich dich jetzt, die Texte zu den beiden Konzepten zu lesen und mir anschließend in eigenen Worten
64 wiederzugeben, was du verstanden hast. Ob die Beispiele helfen oder verwirren (..) Und ganz wichtig. Du kannst nichts falsch
65 machen, es geht ja genau darum, ob die Texte verständlich sind. Melde mir also unbedingt zurück, was nicht klar ist.

66 S01: Okay, gut. (4 Minuten Pause) Okay, ich bin gerade kurz an deine Berechnungen hier. (.)

67 S02: Die wurden aber alle nachgerechnet.

68 S01: Ja, ich glaube schon, dass das richtig ist. (52 Sekunden Pause) Verstehe ich noch nicht genau, aber ich glaube, wenn ich
69 länger darüber nachdenken würde, würde ich es verstehen. (..) Aber sollen wir erstmal von oben anfangen? (..) Ja, ich soll jetzt
70 zusammenfassen?

71 S02: Ja, bitte.

72 S01: (...) Genau, bei der ersten Dimension geht es ja darum, überhaupt erstmal SchülerInnen klarzumachen, deutlich zu machen,
73 dass eigentlich bei jeder Messung, egal wie fein aufgelöst vielleicht das Messgerät arbeitet, dass es immer eine Messunsicherheit

74 gibt. (...) Die ist unterschiedlich groß und kann verschiedene Ursachen haben. (...) Zum einen eben natürlich die Endlichkeit des
75 Messgerätes. (...) Was ich eben schon meinte, je nach Auflösung des Messgerätes gibt es trotzdem immer noch eine weitere
76 Nachkommastelle, die eben nicht angezeigt wird. Dann der Faktor Mensch natürlich, weil ja eine gewisse Reaktionszeit notwendig
77 ist, bis irgendwelche Stoppuhren gedrückt werden oder bis losgelaufen wird auf ein Signal. (...) Dann auch Umwelteinflüsse, dass
78 durch Temperatur, Wind, wie auch immer, da auch schon irgendwelche Messergebnisse beeinflusst werden können.
79 S02: Genau.

80 S01: Du hast ja im Text schon Beispiele drin, von daher war das schon relativ klar. Ich fand trotzdem, dass der Beispielkasten das
81 noch mal anschaulicher macht. Einfach die Tatsache, wie oft es in alltäglichen Situationen zu Messunsicherheiten kommt. Wie
82 man das in den Unterricht einbauen kann, finde ich auch gut. (...) Weil es (...) aufzeigt, wie man das (...) ohne großen Aufwand
83 thematisieren kann. Genau, und das zweite Konzept ist die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung.
84 (.....) Da müsste ich jetzt nochmal reingucken, um es genau zu sehen. Ja. (...) Genau, Messunsicherheit, dass man das überhaupt
85 berechnet und diese Angabe dann mit dem Plus Minus. Und die Messabweichung ist dann, (...) ach genau, nochmal der Vergleich
86 mit einem Referenzwert, den es ja oft in der Literatur gibt, du erzählst ja als Beispiel die Fallbeschleunigung.
87 S02: Genau.

88 S01: Genau, und da hänge ich jetzt ein bisschen an der Berechnung. Die wurde ja zweimal gemessen, mit 9,87 und 9,82 m/s²
89 und der Referenzwert ist ja ein anderer. (...) So, jetzt kurz die Berechnung. 9,87 ist 0,06 bei G1 und was ist jetzt bei 0,09? Da war
90 ich jetzt... Achso, die Messunsicherheit, die ist da oben angegeben.
91 S02: Ja, die ist einfach, genau, die ist einfach festgelegt. Ich habe das Beispiel aus irgendeinem Buch.
92 S01: Ach, und daraus hattest du dann den Wert?
93 S02: Genau, das ist einfach ein willkürlicher Wert, die 0,09. (...)
94 S01: Echt? Ah ja, jetzt habe ich es auch... Ich habe irgendwie ganz nochmal nach oben geguckt, wo auf einmal das herkommt.
95 Genau, und da ist die Messabweichung zwar geringer, aber dadurch, dass die Messunsicherheit viel größer war bei G2, ist das
96 Unsicherheitsintervall auch größer. (...) Ja, doch, soweit klar. (...)
97 S02: Sehr schön. Gut, und die Beispiele, haben dir die geholfen oder hättest du es auch ohne verstanden? (...) Nur mit dem Text?
98 S01: Ne, die sind gut, auf jeden Fall. (...) Ja, doch. Ja, vor allem beim zweiten, nochmal dieses Beispiel, den Referenzwert zum
99 Vergleichen. (...) Puh, du wolltest auch, dass ich eigene Beispiel finde. (...) Ja (...) also, beim ersten Konzept fällt mir vielleicht unser
100 Experiment mit der Münze ein.. aus welchem Material die ist (...) Da gab es ja auch sehr unterschiedliche Ergebnisse, schon allein
101 zu entscheiden, welche Waage und welches Messverfahren überhaupt man nimmt. Manche Waagen waren einfach zu ungenau
102 in der Darstellung, aber mit der Volumenbestimmung mit Wasser war es auch sehr ungenau. Einige, erinnere ich mich, haben die
103 Münzen auch geputzt und dann ganz andere Ergebnisse erhalten. Oder das, wo wir den Schall messen sollten. Das konnten
104 unsere Handys ja auch nur sehr unzuverlässig messen.
105 S02: Oh ja, stimmt. Das war leider nervig.

106 S01: Ja. (...) Zu der Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung. (...) Da fällt mir jetzt leider gar nichts
107 anderes ein. Das Beispiel mit dem Referenzwert erklärt das gut, aber (...) mir fällt nicht mal ein anderer typischer Referenzwert ein.
108 Sorry.
109 S02: Macht überhaupt nix. Du meinstest ja aber, dass die Unterscheidung grundsätzlich dir schon klar geworden ist.
110 S01: Ja.
111 S02: Gut. Dann machen wir mit Dimension 2 weiter. (...) Der Einfluss von Messunsicherheiten und da geht es jetzt genauso. Ich
112 lese den Einleitungstext vor, du überlegst, ob das einleuchtend ist und dann liest du die Konzepte und anschließend fasst du
113 zusammen, was verständlich war. (...)
114 S01: Okay.

115 S02: Genau, es gibt wieder zwei Konzepte, Ziel und Ergebnis. (...) Und wieder zwei Beispiele. (.....) Also (...) In der zweiten
116 Dimension des Modells geht es um den Einfluss der Messunsicherheiten auf das Messwesen, also wie Messunsicherheiten die
117 Prozesse des Experimentierens beeinflussen. Dafür sind zwei Konzepte wichtig: Ziel der Messung und Ergebnis der Messung.
118 Ziel dieser Dimension ist es, den Kindern zu vermitteln, dass es nicht den einen wahren Messwert geben kann, den sie perfekt
119 nachmessen können, sondern dass das Ergebnis immer eine gewisse Unsicherheit hat und somit ein Unsicherheitsintervall
120 aufspannt. Ist das klar?
121 S01: Ja, das ist lustig. Da muss ich kurz drüber nachdenken, dass Ziel und Ergebnis unterschiedliche Dinge sind. (...) Ja, aber
122 macht schon Sinn. (...) Ich bin aber gespannt, was du dazu geschrieben hast.
123 S02: Mh, okay.
124 S01: Dann lese ich jetzt wieder für mich. (...) Du hast ja schon gemerkt, ich lese sehr langsam. Wenn ich genau lese, dauert es ein
125 wenig.
126 S02: Ja, aber das ist ja eigentlich auch das, was man will, dass ihr euch mit dem Text auseinandersetzt.
127 (4 Minuten Pause.)

128 S01: Also, es geht ja im ersten Konzept darum, den SchülerInnen klarzumachen, dass es eben so einen wahren Wert nicht gibt.
129 Weil es gibt ja immer irgendwie eine Messunsicherheit. Deswegen kann man gar nicht sagen, das ist der Wert und der muss
130 unbedingt rauskommen. Ansonsten ist es nicht richtig, deine Messung. (...) Und, genau, Ziel der Messung. Ach ja, dass man quasi
131 erstmal guckt, was möchte ich eigentlich messen oder was möchte ich rausfinden. Also sich nochmal so eine Forschungs- oder
132 Forscherfragen überlegt. (...) Und daraufhin das Messinstrument wählt. (...) Also da war ja das Beispiel mit dem Klassenraum
133 ausmessen. (...) Dass es mit dem Geodreieck halt nicht so zielführend ist. (...) Sondern lieber ein anderes Messinstrument zu
134 nehmen und dann nochmal zu diskutieren. Das finde ich an sich ein schönes Beispiel. Ich war nur kurz verwirrt, muss ich zugeben.
135 Weil es geht ja darum, dass die Messunsicherheit entsteht durch das wiederholte Anlegen des Dreiecks. (...) Das ist ja quasi die
136 Dimension Faktor Mensch wahrscheinlich dann. (...) Und dann wird aber das Beispiel aufgemacht, ist ein Tafel-Lineal oder ein
137 Lasermessgerät ausreichend? (...) Und das ist aber ja dann wieder eine andere Dimension. Das ist ja dann eher das
138 Messinstrument an sich. Also ich fand es, es hing nicht beides zusammen. (.....)
139 S02: Ah, ok.

140 S01: Also da bin ich ganz kurz drüber gestolpert. (...) Weißt du, was ich meine?
141 S02: Ja, ich glaube schon. Das ist also nicht klar geworden. Ja. (...)
142 S01: An sich gute Beispiele, aber ich fand es ein bisschen, es ging nicht ineinander über. (...) Genau. (...) Das zu dem Konzept.
143 (.....) Ach und da habe ich noch auf Seite 6 den letzten Satz. Das Ziel einer Messung ist immer, die angestrebte Messunsicherheit
144 zu erreichen. (...) Und ansonsten zu prüfen, wie das Messverfahren präzisiert werden kann. Die angestrebte Messunsicherheit zu
145 erreichen, ja?
146 S02: Ja.
147 S01: Ich strebe vorher schon die Unsicherheit an. (...) Indem ich sage, ich muss das nicht auf den Millimeter genau wissen, ob der
148 Schrank da durchpasst, ja?. So ist das gemeint. Ja. (...) Muss ich mal gucken, vielleicht kann man das noch irgendwie anders. (...)

149 Also da bin ich ja auch ein bisschen gestolpert.
150 S02: Okay.
151 S01: Dass ich die Messunsicherheit erreichen will. (..) Genau. Bei dem zweiten Ergebnis, genau wie sich das berechnet, ist das
152 ja. (...) Beziehungsweise wie man das immer angeben muss, zusätzlich zu meinem Wert. Wie das meist berechnet wird, mit dem
153 Mittelwert und den Abweichungen dann der Maximalwerte. (..) Und die Dokumentation auf dem Protokoll. (...) Nochmal, was will
154 ich herausfinden. Vermutung, Planung. (...) Bei Planung und bei Durchführung die Materialien aufschreiben, ja? (...)
155 S02: Gut, das könnte man vielleicht nochmal überdenken.
156 S01: Hm, was schreiben wir in Bezug auf die Forscherfrage auf? Ja, okay. (..) Nee, ansonsten, schön. (..)
157 S02: Ja gut. Könntest du zu Dimension 2 eigene Beispiele finden? Weil zum Beispiel dieses eine fandst du ja nicht ganz so
158 gelungen. Würde dir da ein besseres einfallen mit dem Geodreieck? (...)
159 S01: Ähm, ich fand es an sich schon gelungen. (..) Ich fand, ähm, das erste hat nicht zum Zweiten gepasst, aber jetzt ein Beispiel,
160 wo alles passt, ähm ...
161 S02: Richtig schwierig, ne?
162 S01: Ja, aber, ähm, oder man reichert es noch ein bisschen an, dass man einmal sagt, dass da quasi zwei Faktoren berücksichtigt
163 werden, ne? Einmal diese menschliche Komponente, ähm, und wenn man sich dann eben um diese menschliche Komponente
164 des Anlegens, des fehlerhaften Anlegens, ähm, möglichst klein zu halten, (..) könnte man ja ein Tafellineal wählen oder ein
165 Maßband, ne? Und dass man dann aber auch nochmal in einem weiteren Schritt diskutiert, was besser geeignet ist aufgrund der
166 Unterteilung. (..) Also an sich kann, würde ich die Beispiele glaube ich so lassen, aber vielleicht noch ein bisschen mehr anreichern.
167 S02: Mhm, okay.
168 S01: Also, wenn andere da überhaupt auch drüber stolpern, ne? Vielleicht ist das ja auch für andere okay. (..) Dass es dann bei
169 der Unterteilung gar nicht mehr darum geht, dass man Fehler macht beim Anlegen. (...)
170 S02: Mhm, okay. (...) Gut, jetzt sind wir bei Dimension 3. Der Berechnung. (..) Ich lese wieder die Einleitung und du dann wieder
171 die Konzepte.
172 S01: Zum Glück machen wir nicht das Ausgegraute. (..)
173 S02: Ja, das stimmt. (..) In der dritten Dimension des Modells geht es um die Erfassung von Messunsicherheiten, sie enthält die
174 mathematischen Methoden, um Messunsicherheiten ermitteln zu können. Die Dimension enthält die Konzepte Erfassung einer
175 Unsicherheitskomponente bei direkter Messung, Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten und
176 Erweiterte Messunsicherheit. Für die Primarstufe relevant ist nur das erste Konzept, da es erklärt, dass Messunsicherheiten auf
177 verschiedene Weise erhoben werden können. Ziel dieser Dimension ist es, die Messunsicherheiten quantifizieren zu können und
178 damit eine Aussage über die Qualität der Messung machen zu können.
179 S01: Ähm, ja, finde ich sehr schön beschrieben. Sehr verständlich, der Text. (..) Okay, dann lese ich das Konzept. (3 Minuten
180 Pause). Unten hast du zwei Komma. (..) Im letzten Abschnitt.
181 S02: Oh ja, stimmt. (..)
182 S01: Ja. (..) Ähm, wo dann steht der letzte Satz, dann wird die Messunsicherheit auf Basis aller zur Verfügung stehenden
183 Informationen des Messgerätes ermittelt oder geschätzt. (..) Da hätte ich mir an der Stelle, könnte ich mir vielleicht schon mal ein
184 Beispiel in Klammern vorstellen, zum Beispiel aufgrund der Bedienungseinleitung, dass da was angegeben ist, ne?
185 S02: Mhm. (...)
186 S01: Weil das, ich meine, ich konnte mir das schon zusammenreimen, weil wir das ja gemacht haben erst, aber andere fragen
187 sich vielleicht, was hab ich denn für Informationen, irgendwie.
188 S02: Ja, okay. (...)
189 S01: Genau. Hast du ja oben auch teilweise schon in Klammern im Text gemacht, zum Beispiel. (..) Deswegen passt das da ganz
190 gut an die Stelle. (..) Dann, genau, im Kasten, das Beispiel. Genau, dann hast du ja die fünf Messwerte, wie die berechnet werden,
191 das finde ich auch sehr anschaulich. (..) Da steht ja dann, Mittelwert ist die beste Schätzung für den Ergebniswert eines
192 Experiments. (...) Vielleicht könnte man hier auch noch so einen Zusatz bringen, so ungefähr. (...) Ist das die höchste
193 Wahrscheinlichkeit, mit der der Ergebniswert eintreffen kann, oder? (..) Kann man das so gar nicht sagen? (...)
194 S02: Das muss ich jetzt erstmal so stehen lassen. (..)
195 S01: Ja. Vielleicht noch irgendeinen Zusatz, um das nochmal zu erklären. Weil das tritt jetzt zum ersten Mal auf, was der Mittelwert
196 eigentlich ausmacht. (...) Weil ich hab dafür auch ein bisschen länger damals gebraucht, um das zu verstehen, tatsächlich. (..) Ja,
197 kannst du darüber nachdenken, ob man da noch was ergänzen mag? (..) Ja, ne, aber so ist es sehr anschaulich, finde ich super.
198 Auch mit dieser Grafik nochmal, mit dem Bestwert. Bestwert heißt das hier. (..) Und diesem Intervall, das eingezeichnet ist. Sagt
199 man, das ist der verträgliche Bereich, ja? (...)
200 S02: Mhm.
201 S01: Ok. (..) Nee, das ist gut, sehr schön, sehr anschaulich.
202 S02: Kannst du das noch in eigenen Worten wiedergeben, das 202 Konzept? (...)
203 S01: Ermittlungsmethode A? Ne, das ist das Konzept. (..) Es geht einfach jetzt darum, wie man die Messunsicherheit berechnet.
204 (..) Und da gibt es ja für die Primarstufe, werden zwei Wege jetzt hier aufgezeigt. Einmal Methode A ist ja, wenn man mehrere
205 Messwerte hat, berechnet man ja die Messunsicherheit, also beziehungsweise das Ergebnis wird ja erstmal anhand des
206 Mittelwertes der Messung bestimmt, der Ergebniswert. Und die Streuung quasi vom höchstem zum niedrigstem Wert ist dann das
207 Messunsicherheitsintervall. (...)
208 S02: Ja. (...)
209 S01: Genau. Und Methode B wäre ja dann, wenn ich nur einen Wert gemessen habe, wie mache ich das dann? Dann mache ich
210 das halt zum Beispiel mit Informationen zum Messgerät. Da ist ja dann hier, hier steht was von Ableseunsicherheit. (...) Das fand
211 ich ein bisschen verwirrend an der Stelle. Also, jetzt beim Beispiel mit Methode B..
212 S02: Okay...
213 S01: (...) der zweite Absatz quasi, da habe ich jetzt gedacht, ich habe eine Unsicherheit beim Ablesen, weil ich falsch abgelesen
214 habe. Aber eigentlich ist es doch nicht die Ableseunsicherheit, sondern eher die Messunsicherheit des Gerätes, oder?
215 S02: Okay.
216 S01: In der Bedienungseinleitung oder irgendwo angegeben, wurden diese 0,01 Sekunden. Oder? Habe ich das falsch
217 verstanden? (..) Also ich fand Ableseunsicherheit an der Stelle nicht ganz schlüssig.
218 S02: Ja, okay. (...)
219 S01: Genau. Ansonsten, ja. Man berechnet das eben auch von verschiedenen Werten, die ich zur Verfügung habe oder annehme,
220 wie die Reaktionszeit beim Drücken der Uhr. Das muss ich ja zweimal machen, einmal zum Starten, einmal zum Stoppen.
221 Deswegen ja unten auch mal zwei. (...) Oder genau diese optische Verzögerung, wenn das Kind über die Ziellinie läuft. Also alle
222 Werte, die ich irgendwie ermitteln kann, berechne ich dann zusammen. Und das ergibt dann das Unsicherheitsintervall. Einzige
223 Anmerkung vielleicht hier noch zur Berechnung. (..) Du hast ja gesagt, das sind 1,11 Sekunden, die Gesamtunsicherheit. (..) Und

224 dann stehen da nur noch 1,1 Sekunden. Dass man vielleicht noch schreibt, dass das immer mit so vielen Nachkommastellen
225 angegeben wird, wie auch mein Ergebnis. (..)

226 S02: Ja, dass das klar ist, ja. (.)

227 S01: Wie genau man das angeben muss. (.) Ja, ansonsten sehr übersichtlich. (...) Hab's verstanden. (.)

228 S02: Sehr gut. (..) Okay, dann kommen wir auch schon zur letzten Dimension. (.) „In der vierten Dimension des Modells geht
229 es darum, wie anhand von Messunsicherheiten Aussagen über das Messergebnis selbst und bezüglich der mit der Messung
230 verbundenen Fragestellung getroffen werden können. Die Dimension beinhaltet die Konzepte Verlässlichkeit der Messung und
231 ihres Ergebnisses, Vergleich von Messwerten und Regression. Für den Primärbereich ist nur das zweite Konzept relevant, da die
232 Schülerinnen und Schüler im Rahmen dieses Konzeptes lernen, einen Vergleich von Messwerten durchführen zu können. Das
233 Ziel dieser Dimension ist es also, dass die Schülerinnen und Schüler über die Aussagekraft der Verlässlichkeit einer Messung
234 und ihres Ergebnisses unter Rückschluss auf eine angegebene Messunsicherheit das Vertrauensniveau einer Messung
235 einschätzen können. Die Kinder lernen auf diese Weise, Ergebnisse miteinander zu vergleichen und zu erkennen, dass
236 unterschiedliche Messwerte unter Berücksichtigung der ermittelten Messunsicherheiten nicht zwangsläufig unverträglich
237 miteinander sind. Sie lernen, Ergebnisse kritisch zu deuten und werden geschult, diese auch interpretieren zu können.“

238 S01: Sehr schön und verständlich. Gut. Dann lese ich Konzept 2. (5 Minuten Pause) Okay. (...) Ist auch relativ viel weggelassen
239 worden, wenn man die Tabelle so betrachtet.

240 S02: Ja. (...)

241 S01: Genau, soll ich wieder zusammenfassen?

242 S02: Ja, bitte. (..)

243 S01: Genau, also es geht in diesem zweiten Konzept, geht's ja darum zu schauen, also Messwerte zu vergleichen. Entweder
244 zwei gemessene Werte oder ein Messwert mit einem Referenzwert. Zu vergleichen und zu schauen, ob die verträglich sind. (...)

245 Genau, oder ob die sich unterscheiden, ob das jetzt unterschiedliche Werte sind. (...) Und das ist eben so das Ziel, dass man das
246 den SchülerInnen vermittelt. (...) dass sie halt eben Ergebnisse einschätzen und interpretieren können. (..) Und dass sie nicht
247 sagen, wir haben unterschiedlich gemessen, einer hat falsch gemessen. Sondern dass man ihnen zeigt, nee, auch wenn ihr
248 unterschiedliche Ergebnisse habt, ihr habt trotzdem beide richtig (in Anführungsstrichen) gemessen. (.) Genau, und der andere
249 Aspekt wäre die Betrachtung von Ausreißern. (..) Wobei das aber schwierig ist, solche Ausreißer zu identifizieren. Man sollte sie
250 eben, so habe ich das jetzt verstanden, nur aus der Messreihe wirklich rausnehmen, wenn eindeutig klar ist, dass da wirklich
251 falsch gemessen wurde. Keine Ahnung, statt 0 bei 10 angelegt wurde oder sowas. (.) Genau, aber man kann das ganz gut
252 übergehen, solche Ausreißer, indem man einfach viele Messwerte produziert lässt. (...) Dann mittelt sich das ja wieder ein. (...)

253 Ganz kurz zu dem verträglich vielleicht. (.) Das taucht jetzt, soweit ich mich erinnern kann, zum ersten Mal auf, dieses Wort
254 verträglich. (.) Vielleicht könnte man noch einen kleinen Zusatz machen, was das bedeutet, verträglich. (.) Dass sie quasi gleich,
255 nicht unterschiedlich sind. Also irgendwie sowas, so dass es natürlich fachlich korrekt ist, aber dass die wissen, was gemeint ist.
256 (..) Nicht um unterschiedliche Messwerte dann handelt. (...)

257 S02: Ja, ok.

258 S01: Und was ich kurz bei dem Beispiel nicht verstanden habe, warum das jetzt Ermittlungsmethode B ist, weil man einfach sagt,
259 man will die Messungen vergleichen und nicht aus den beiden Messungen eine Unsicherheit berechnen. (...) Da habe ich kurz
260 gestutzt, wieso ist das jetzt B? Ich habe zwei Messwerte und nicht nur einen. (...) Aber genau, man will sie einfach miteinander
261 vergleichen wahrscheinlich, damit die beiden ein gleiches Ergebnis haben. Ich weiß immer nicht, wie ich das sagen soll, korrekt.
262 (..)

263 S02: Verträglich? (.)

264 S01: Verträglich, ja. (...) Aber ansonsten, diese Darstellung mit den beiden Intervallen und dass die sich da überlappen, (.) in
265 diesem Bereich von zwei Metern, ja, anschaulich. Was vielleicht noch fehlt dir zum Beispiel zu den Ausreißern? (.) Weil ich jetzt
266 nach unten gescrollt habe und dachte, da kommt jetzt noch was zu den Ausreißern. Aber dann war schon Schluss. (...)

267 S02: Okay.

268 S01: Falls du da noch irgendwas hast. (...) Ja, aber es ist auch so verständlich ohne Beispiel. (.)

269 S02: Okay, das ist schon mal gut. (.) Und auf Seite 15 ist jetzt noch mal dieses Modell ohne graue Bereiche. Tatsächlich nur das,
270 was du jetzt eigentlich gerade gelesen hast in meinen Texten. (..) Und genau, wenn du das jetzt noch mal so kurz Revue passieren
271 lässt, (..) ist jetzt noch irgendwie, wenn du es im Zusammenhang siehst, ist dir noch irgendwas eingefallen, was du gerne noch
272 gesagt hättest? (..) Oder ist es überhaupt deutlich geworden? Oder nicht? Und wenn du das noch kurz begründen könntest, das
273 wäre toll. (...)

274 S01: Genau, ich gehe noch mal ganz kurz so gedanklich durch. (...) Genau, in der ersten ging es ja darum, überhaupt erst mal zu
275 schärfen. Es gibt Messunsicherheiten. Dann die Ursachen. (..) Einflussgrößen, Umwelt, Endlichkeit von Darstellungen, Faktor
276 Mensch. (...) Dann die Unterscheidung, Messunsicherheit, Messabweichung. (...) Messabweichung fällt mir jetzt gerade noch ein
277 bisschen schwer, das einzuordnen, ehrlich gesagt. Das war dieses, was wir eben noch mal hatten, dieses Vergleichen, oder? (.)
278 Abweichung von dem Referenzwert. (...)

279 S02: Ja.

280 S01: Das geht in die vierte Dimension rein, oder? Ja. Meinem Verständnis nach jetzt zumindest. (...) Dann genau, der Einfluss,
281 dass ich vorher gucken muss, (..) welches Messinstrument ich wähle, welche Messunsicherheit ich anstrebe überhaupt. (...) Ich
282 dokumentiere. (...) Und dann die Erfassung, die zwei Ermittlungsmethoden. (.) Und jetzt zum Schluss noch, wie man die vergleicht
283 und die Ausreißer. (..) Also wenn ich das jetzt so sehe, kann ich mir, glaube ich, alle Inhalte erklären für mich. (.) Das ist ja schon
284 mal gut. (...) Und ob da jetzt was fehlt, kann ich jetzt so genau nicht sagen.

285 S02: Aber meinst du, man könnte sowas den Lehrkräften vorlegen, damit die dann auch was damit anfangen können? Dass sie
286 damit eine ganz gute Grundlage haben. (.) Das war ja das eigentliche Ziel. (...)

287 S01: Ja, ich denke schon. Es wird ja alles sehr niedrigschwellig erklärt, mit Beispielen angereichert. (..) Also ich denke schon, das
288 auch eine Lehrkraft, die bisher noch nie damit in Bezug gekommen ist, damit was anfangen könnte. Ich gucke gerade noch mal
289 zu der Relevanz. (11 Sekunden Pause) Ja, da wird doch sehr gut dargelegt, warum es eben so wichtig ist. (..)

290 S02: Und was weglassen? Und die Beispiele, meinst du, sind die auch notwendig? (..) Oder würde der Text alleine reichen? (.)

291 S01: Natürlich würde der nicht reichen. (...) Der würde vielleicht an manchen Stellen auch reichen, aber die Beispiele helfen
292 einem, das noch mal genauer nachzuvollziehen. (.) Also würde ich schon drinnen lassen. (...)

293 S02: Was mir jetzt so aufgefallen ist, dass das Problem ja ist, dass es mit den Messfehlern eigentlich immer, was ich ja auch am
294 Anfang sage, dass die Messfehler, da wird ja eigentlich immer von Fehlern gesprochen.

295 S01: Ja, verstehe, was du meinst. Vielleicht könnte man in der Einleitung ja nochmal so eine klare Abgrenzung zu Messfehlern
296 machen. Ja. Wenn es um Messfehler geht, vielleicht Beispiele für Messfehler wirklich nennen. (.) Wie, ne? Lineal falsch
297 angehalten oder Messfehler machen?

298 S02: Genau, wenn es tatsächlich falsch gemacht wird. (..)

299 S01: Es wäre vielleicht ganz gut, dass man da nochmal ganz klar abgrenzt. Es geht hier nicht um Fehler. Ja. Unsicherheiten. Und
300 die sind wirklich immer, egal wie sauber man arbeitet, egal wie das Messintervall ist, (.) dass das auch in der wissenschaftlichen
301 Forschung, wo ganz präzise gearbeitet wird, passiert. (..) Ja. Und das ist wichtig, das anzugeben. Das ist ja für die Qualität eines
302 Messwertes ausschlaggebend. Aber das schreibst du ja auch, welche Qualität die gemessene Daten haben. (.)
303 S02: Genau.
304 S01: Ich weiß nicht, ob man noch erwähnen sollte, dass je größer das Intervall, desto weniger qualitativ ist die Lösung?
305 S02: Ja, wobei, das den Kern nicht ganz trifft. Ich habe nämlich auch immer geschrieben, je geringer die Messunsicherheit, desto
306 qualitativer das Ergebnis. Aber das ist genau diese angestrebte Messunsicherheit... Man muss halt nicht zwangsläufig ganz
307 präzise messen. Und du kannst auch nicht immer so genau wie möglich messen, schon gar nicht in der Schule. Muss man ja
308 aber eben auch nicht immer (.) Man sollte den Kindern aber vermitteln, dass so präzise wie möglich und nötig gemessen werden
309 sollte. Damit am Ende die Kinder nicht dastehen und denken, egal, was ich messe, passt schon.
310 S01: Ja (.) Aber ich verstehe natürlich diese Dimension. Es kommt ja manchmal überhaupt nicht darauf an, ob das jetzt ein paar
311 Zentimeter Unterschied hat. Wenn es jetzt wirklich darum geht, passt der Schrank durch die Tür. (..) Da reichen ja Zentimeter,
312 aber in Millimeter muss es nicht gemessen werden. (..) Ja, das stimmt. Das kann man eigentlich gar nicht sagen, dass das
313 qualitativ minderwertiger ist. (...) Das mit den Ausreißern stelle ich mir leider sehr schwierig vor (.) weil, das ist so frustrierend.
314 S02: Ich habe auch wirklich überlegt, wie man das machen könnte, deswegen habe ich das mit den vielen Daten, dass man so
315 was einfach machen muss, dass die Kinder halt nicht nur einen Wert haben, sondern eben viele. (.) Mit den Wassertropfen finde
316 ich jetzt auch nicht so richtig gelungen, aber darum geht es ja. Wir hatten ja auch einige Experimente im Seminar und ich fand
317 das mit dem Lineal auch nicht schlecht. Aber auch schwierig. Weil das so oft runtergefallen ist.
318 S01: Oder was wir mal in dem anderen Seminar hatten mit dem Papierflieger. (.)
319 S02: Mit dem Papierhubschrauber, ja das stimmt. (.)
320 S01: Vielleicht einfacher als ein Wassertropfen.
321 S02: Ja, weil da hat man ein bisschen länger auch was zum Messen. Das war auch relativ schnell aufgenommen.
322 S01: Aber ich überlege auch, mit den Ausreißern? Eigentlich müsste man das schon noch irgendwie thematisieren, weil es eben
323 auch gerade dann so ein Problem werden kann.
324 S02: Ja, ja, das ist wirklich etwas blöd in einer Klasse.
325 S01: Dann könnte man nämlich an der Stelle auch nochmal dieses Thema Messfehler aufgreifen. (.) Dann hätte man das noch
326 drin. (...) Da kannst du ja noch drüber nachdenken. (..)
327 S02: Ja, das ist doch ein schönes Schlusswort. Dann danke ich dir sehr. (..)

D. Transkript Interview 2

Transkribiert mit 1 noScribe Vers. 0.5

2 Audiodatei: C:/Users/Marie/OneDrive/Dokumente/Zoom/2024-08-01

3 10.01.16 Mein Meeting/Interview_2.m4a

4 (Start (hh:mm:ss): 00:00:00 | Qualität: precise | Sprache: de | Sprecher:in erkennen: auto | Überlappende Sprache: 1 | Zeitmarken: 5 0 | Pausen markieren: 1)

6 Sprecher 1 = S01 = Interviewerin

7 Sprecher 2 = S02 = Lehramtsstudierende*r

8 S01: Du bist bereit und ich darf dich aufnehmen?

9 S02: Ja, darfst du.

10 S01: Sehr schön. Gut, dann sage ich dir jetzt einmal, worum es geht. Und ganz zum Anfang, das hättest du jetzt eigentlich selbst

11 ausgefüllt, das würde ich jetzt für dich ausfüllen, diese allgemeinen Angaben auf der ersten Seite. (..) Ähm, was du studierst,

12 studierst du auch Q-Master?

13 S02: Ja.

14 S01: Und dann natürlich alle drei Fächer. Und in welchem Semester bist du?

15 S02: Äh, jetzt, nein, noch im zweiten. Also, genau. Ja.

16 S01: Okay. Und du hast dich auf jeden Fall schon mal im Studium mit den Messunsicherheiten auseinandergesetzt?

17 S02: Ja. (..)

18 S01: Und sonst, hast du auch schon eine Fortbildung dazu gemacht?

19 S02: Fortbildung nicht, im eigenen Unterricht, uh, ich glaube auch nicht, nee.

20 S01: Okay, okay, gut. Okay, dann würde ich jetzt einmal kurz das, was hier auf der Seite steht, dir kurz erzählen. (..) Mhm. In

21 meiner Masterarbeit geht es um Messunsicherheiten und (..) die Texte, die du jetzt im Folgenden liest, die sind für Lehrkräfte

22 eigentlich geschrieben, nicht für die Kinder zum Verstehen. (..) Und denen soll quasi vermittelt werden, wie, wichtig das Thema,

23 schon im (..) Primarbereich, also schon Klasse 5, 6, ist. (..) Da geht's darum, dass es wichtig ist, das bereits frühzeitig im Unterricht

24 einzubringen. Ähm, und deine Aufgabe wäre, die Texte auf Inhalt und Verständlichkeit zu prüfen. (..) Du kannst ja nichts falsch

25 machen. (..) Ich hab versucht, es so einfach wie möglich zu beschreiben. (..) Und das sollt ihr einfach prüfen, indem ihr mir dann

26 rückmeldet, was klar und was unklar ist. Das sind vier Dimensionen von einem Modell, das ich auf die Primarstufe angepasst

27 habe. Und (..) nach jeder Dimension bitte ich dich, dass du die Texte einmal zusammenfasst, was, ähm, da drin steht quasi.

28 S02: Okay.

29 S01: Okay. Das ist so aufgebaut. (..) Erstmal die Einleitung, dann kommen diese Dimensionen. Da siehst du am Anfang immer so

30 eine Tabelle. (..) Und die ausgegrauten Flächen, sind nicht relevant. Also dieses Modell wurde geschrieben für die Sekundarstufe.

31 Und ich habe das für die Primarstufe angepasst. Und diese grauen Flächen, die sind für uns gar nicht relevant, sind aber drin,

32 damit es (..) vollständig ist. (..) Okay. Dann würde ich dich jetzt bitten, die Einleitung erst mal zu lesen. (..) Schon mit dem Gedanken,

33 ob es inhaltlich verständlich ist. Und dieses Modell, das wird da auch nochmal kurz erklärt. (..) Okay? Und du lässt dir so viel Zeit,

34 wie du brauchst. (..)

35 S02: Okay. Und ich geb dir dann eine Rückmeldung, wenn ich fertig bin mit der Einleitung.

36 S01: Genau.

37 S02: Richtig? Das ist nur die erste?

38 S01: Das ist erstmal nur die erste Seite, genau. Ja. Und dann geht's weiter so nach und nach. (2 Minuten Pause)

39 S02: Ok. Jetzt bin ich wieder da. (..)

40 S01: Okay. Ist es soweit klar, worum es geht? Soll ich, also dieses Modell, das ist halt schon von 2012. Hast du von dem schon

41 mal gehört gehabt vorher?

42 S02: Gar nicht, nein.

43 S01: Okay, ist es soweit aber auch klar, oder soll ich da zu den Dimensionen nochmal was sagen?

44 S02: Nee, ich denke, das kann man gut nachvollziehen.

45 S01: Okay. Sehr gut. Ja, dann geht es schon in die erste Dimension. Also, die ist auf Seite 3. Siehst du diese Tabelle?

46 S02: Mhm.

47 S01: Es ist jetzt immer so aufgebaut, es gibt verschiedene Konzepte, die du links siehst. Und die werden dann mit den Inhalten

48 dahinter erklärt. Was ich in dem Text dann unten mache, ist quasi die Tabelle nochmal in Worte zu fassen.

49 S02: Mhm.

50 S01: Und ein bisschen für die Verständlichkeit haben wir die Konzepte und die Inhalte immer fett markiert im Text. Einfach, um

51 das so ein bisschen übersichtlicher zu machen. (..) Genau. (..) Am Ende von jedem Konzept steht ein Beispiel. (..) Und da geht es

52 mir auch darum, dass du vielleicht den Text und das Beispiel so ein bisschen gesondert anschaust. Es geht auch darum, ob das

53 Beispiel nötig ist oder ob du meinst, der Text wäre im Idealfall ausreichend. (..) Und was ganz toll wäre, wenn du eigene Beispiele

54 finden könntest.

55 S02: Oh, okay.

56 S01: Und dass du dann am Ende die Konzepte quasi in eigenen Worten mir wiedergeben kannst.

57 S02: Ja.

58 S1: Okay. Das wäre super.

59 S02: Versuchen wir das mal.

60 S01: Ja, genau. Danke dir. Ich würde dir für jede Dimension den kurzen Einleitungstext vorlesen und dich danach um eine

61 Einschätzung bitten, (..) ob der Text verständlich ist. Danach liest du dann die Konzepte und (..) die Beispiele und fasst dann

62 zusammen, was du verstanden hast. (..) Es geht wirklich nicht darum, dass du alles perfekt wiedergeben musst, sondern darum,

63 dass wir herausfinden, was noch verständlicher gemacht werden muss.

64 S02: Okay. Ich darf aber, während ich dir das wiedergebe, schon noch in den Text gucken, ne?

65 S01: Ja, auf jeden Fall. Ich kann nur keine Fragen beantworten. Also, wenn irgendwas nicht klar ist, dann markierst du mir das, 66 sagst, dass das unklar ist und das müssen wir dann erstmal so stehen lassen.

67 S02: 67 Okay, alles klar.

68 S01: Gut, dann kommt hier der erste Text zur Dimension 1. In der ersten Dimension, in der es primär um das Erkennen der 69 grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten geht, beinhaltet das Sachstrukturmodell nach Hellwig (2012) die Konzepte 70 Ursachen der Messunsicherheiten und Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung. Das Ziel dieser 71 gesamten Dimension liegt insbesondere darin, bereits den Schülerinnen und Schülern der Primarstufe zu vermitteln, dass jede 72 gemessene Größe mit einer Unsicherheit behaftet ist, selbst wenn die Messung mit höchstpräzisen Messinstrumenten besonders 73 sorgfältig durchgeführt wurde. (.) So, ist das verständlich?

74 S02: Ja, das macht Sinn. (.) Gut ist, dass man dabei die Tabelle anschauen kann (.) So kann man das gleich richtig einordnen.

75 (.) Okay, und jetzt lese ich die Konzepte und melde mich dann wieder. (.)

76 S01: Ja, genau. Danke.

77 S02: Dann gucken wir mal. (2 Minuten Pause) Ich muss mal kurz das Dokument wechseln, damit ich mir hier was markieren kann.

78 (...) Also, ich habe verstanden, dass es hier erstmal darum geht, anzuerkennen, dass es immer Messunsicherheiten gibt, egal 79 mit welchen Geräten und wie präzise diese Geräte sein mögen, ob es Atomuhren sind oder was auch immer. Es gibt immer 80 irgendwelche Messunsicherheiten, und dass das an die Kinder vermittelt werden soll. Und dass es einmal das Konzept der 81 Ursachen der Messunsicherheit gibt, was darauf gründet, dass es eben verschiedene Einflussgrößen wie Umwelteinflüsse gibt, 82 die ich mit berücksichtigen muss bei meinen Messungen. Da fällt mir zum Beispiel ein, dass wir in dieser fachwissenschaftlichen 83 Vertiefung draußen mit Thermometern gearbeitet haben, als wir die Temperatur in den Flaschen gemessen haben und da ganz 84 verschiedene Umwelteinflüsse auch eine Rolle gespielt haben, wie die Wolken, die sich dann plötzlich vor die Sonne geschoben 85 haben oder Wind oder solche Geschichten, die ich dann nicht kontrollieren kann und die dann eben meine Messergebnisse 86 verändern. (.) Dann geht es um die Unvollkommenheit der Messgeräte, also dass da einfach irgendwas nicht genau so 87 funktioniert, wie es eigentlich funktionieren sollte. (...) Und dann ein für mich neuer Punkt, worüber ich noch gar nicht nachgedacht 88 habe, aber klar, es spielt auch da mit rein, dass Darstellungen eben endlich sind und nicht unendliche Nachkommastellen genutzt 89 werden können, um Messunsicherheiten oder auch Messungen einfach vorzunehmen. Ich finde das Beispiel dazu total passend. 90 Ich finde es auch total hilfreich, weil ich glaube, wenn man sich mit Messunsicherheiten noch nicht so viel beschäftigt hat, dann 91 hilft es einfach total, um das einordnen zu können und auch diese ganzen Einflussgrößen quasi nochmal, ja, sich einfach anhand 92 von so einem Beispiel vorstellen zu können. Ich habe zwei Sachen in dem Beispiel, die ich nicht ganz genau verstanden habe, 93 beziehungsweise eine Formulierungsanregung. Bei Punkt drei steht hier, mehrere Kinder lösen die Stoppuhr aus, wenn das 94 akustische Signal ertönt. Da habe ich nicht verstanden, ob mehrere Kinder die gleiche Stoppuhr auslösen, (.) also das funktioniert 95 ja eigentlich nicht, oder ob jeder eine Stoppuhr hat und ob dann der Mittelwert ermittelt wird. Also, ich habe mir vorgestellt, 96 wahrscheinlich soll es so sein, dass mehrere Kinder jeweils eine Stoppuhr haben, damit man eben einen möglichst genauen Wert 97 bekommt. Aber hier ist ja nicht klar, das werden ja vier verschiedene Ergebnisse bei vier verschiedenen Kindern sein, wie dann 98 eigentlich das Ergebnis zustande kommt. Also, ob dann ein Mittelwert gebildet wird oder was, wie man dann dahin kommt. Weil 99 eigentlich willst du ja auf die Endlichkeit von Darstellung hinaus in diesem Punkt und das, finde ich, braucht man gar nicht, indem 100 mehrere Kinder da die Stoppuhr auslösen, sondern das könnte ja auch sein, dass eins einfach die Stoppuhr auslöst. Also, wenn 101 du nur auf die Endlichkeit von Darstellung hinaus willst, dann würde das ausreichen. Ich verstehe den Gedanken dahinter zu 102 sagen, okay, wir wollen ja so präzise wie möglich sein und deswegen sollen mehrere das machen, aber dann bräuchte es vielleicht 103 noch einen Satz, dass dann daraus der Mittelwert gebildet wird oder so. (...)

104 S01: Hm, ok.

105 S02: Und in Punkt 4, da hast du geschrieben, welcher Teil des Kindes wird der Messung bei der Ziellegung zugrunde gelegt. Das 106 würde ich einfach umformulieren, würde ich sagen, welcher Körperteil. Also, mir ist auch schon klar, dass es um die Nase oder 107 ums Knie oder was auch immer, aber damit es einfach ein bisschen präziser ist. Genau. Also, ich fand das Beispiel total gut. Die 108 beiden Begriffe Messunsicherheit und Messabweichung, die Unterscheidung zwischen denen war mir jetzt auch neu. (.) Okay. 109 Ich finde, dass der Text das gut beschreibt, aber ich müsste mich damit wahrscheinlich jetzt nochmal genau beschäftigen, um 110 diese Klarheit zu kriegen, was eigentlich der Unterschied ist. Also, ich habe verstanden, dass die Messunsicherheit einen Rahmen 111 angibt, quasi eine Spannweite, in der die Messergebnisse abweichen. (.) Und je geringer die Messunsicherheit ist, desto höher 112 ist die Qualität des Experiments. Die Messabweichung braucht, wenn ich das richtig verstanden habe, einen Referenzwert, so 113 wie das ja hier auch, und auch das finde ich ein gutes Beispiel, unten bei der Fallbeschleunigung erklärt ist, mit 9,81 Meter pro 114 Sekunde. Das ist der Wert, auf den man sich quasi geeinigt hat, der die Fallbeschleunigung international angibt. Und das, was 115 meine Messung davon abweicht, weil das ja der Referenzwert ist, das ist die Messabweichung. So habe ich es jetzt verstanden. 116 Also, es ist keine Spannweite, sondern tatsächlich eine einzelne Zahl. (...) Oder vielleicht in einer Messreihe, vielleicht ist es dann 117 doch auch eine Spannweite. (...) Nee, ich glaube nicht. Ich glaube, es ist eine Zahl. Wenn ich mich in meiner Messreihe auf einen 118 Wert sozusagen, hier in dem Beispiel, das ist ja auch so, ich habe mich hier auf den Wert 9,82 festgelegt in meiner Messreihe, 119 dass das sozusagen mein gemitteltes Ergebnis ist. Und dann habe ich (.) genau die Messabweichung. Achso, nee, die 120 Messabweichung, genau, das ist die eine Zahl und die Unsicherheit ist aber eine Spanne, weil es ist ja Plus Minus. Genau, ja. (...) 121 Aber ein Beispiel für diese Unterscheidung zu finden. (...) Das ist schwer. Das mit der Fallbeschleunigung ist gut, mir (.) fällt jetzt 122 leider nix anderes ein.

123 S01: Macht nix. (.) Gut. Okay, das war die erste Dimension zur Existenz. Dann kommen wir jetzt zur zweiten.

124 S02: Okay, weiter geht's.

125 S01: Okay, ist genauso aufgebaut. Auch hier gibt es zwei Konzepte, die wichtig sind, aber nicht alles ist für die Primarstufe 126 relevant. Genau. Und was vielleicht noch zu sagen ist, dass es hier um Entscheidungen geht, die für eine Planung und 127 Durchführung zu treffen sind, bei einem Experiment. Ich lese vor. (.) Also. In der zweiten Dimension des Modells geht es um den 128 Einfluss der Messunsicherheiten auf das Messwesen, also wie Messunsicherheiten die Prozesse des Experimentierens 129 beeinflussen. Dafür sind zwei Konzepte wichtig: Beginn der Messung und Ergebnis der Messung. Ziel dieser Dimension ist es,

130 den Kindern zu vermitteln, dass es nicht den einen wahren Messwert geben kann, den sie perfekt nachmessen können, sondern
131 dass das Ergebnis immer eine gewisse Unsicherheit hat und somit ein Unsicherheitsintervall aufspannt. (.)

132 S02: Das ist auch sehr einleuchtend, ja. Gut geschrieben und verständlich.

133 S01: Sehr schön. (.) Ja, dann geht es jetzt genauso weiter wie eben. Text und Beispiel einschätzen. Und wenn du eigene Beispiele
134 findest, sehr gerne.

135 S02: Okay. (4 Minuten Pause) Also hier geht es zum einen darum, sich zu verdeutlichen, was das Ziel der Messung eigentlich
136 sein soll und daran auszurichten, welche Messunsicherheiten eigentlich okay sind für dieses Ziel. (..) Dafür muss erstmal
137 anerkannt werden, dass der wahre Wert sich zusammensetzt aus Messunsicherheit und dem gemessenen Wert. Und dass es
138 aber diesen einen wahren Wert eigentlich gar nicht geben kann. (..) Und dann geht es, wenn ich das richtig verstanden habe,
139 darum, halt rauszufinden, welche Messunsicherheiten akzeptabel sind und daraufhin zu bestimmen, welche Messgeräte ich
140 eigentlich verwenden kann. Das hast du hier formuliert mit Längenmaßen. Mir fällt dazu auch wieder die Thermometer ein. Also,
141 welches Thermometer brauche ich, um was messen zu können? Reicht mir so ein normales Quecksilber-Hier-Runter-Schüttel-
142 Thermometer? Oder brauche ich eins, was irgendwie bis auf die dritte Nachkommastelle genau ist, um eben diese
143 Messunsicherheit auch richtig wiedergeben zu können, beziehungsweise überhaupt erfassen zu können? Weil ich ja bei einem
144 Thermometer mit einer größeren Einteilung das vielleicht gar nicht sehe, dass da Messunsicherheiten sind, sondern immer der
145 gleiche Wert dabei rauskommt und das ja das Ergebnis verfälscht. (.) Ich habe im Konzept 1 dieses Beispiel mit dem Schrank
146 gelesen, was ich grundsätzlich auch gut finde und das gut veranschaulicht. Vielleicht wäre es an der Stelle hilfreich, nochmal zu
147 schreiben, also hier steht, so ist es in der Regel nicht nötig, in Millimeter genau auszumessen. Ich würde vielleicht ergänzen, eine
148 Angabe in Zentimeter ist ausreichend oder so, damit, weil ich erst überlegen musste, doch, also irgendwie will ich ja wissen, wie
149 groß der Schrank ist, aber tatsächlich ist mir dann erst hinterher aufgefallen, ja, Millimeter muss ich vielleicht nicht wissen, aber
150 Zentimeter wäre da die angemessene Maßeinheit. (...) Und genau, da finde ich, kann man das Beispiel im Kasten dazu nehmen,
151 aber dadurch, dass du das mit dem Schrank oben im Text schon hast, könnte man es meiner Meinung nach theoretisch auch
152 weglassen. (.) Also ich habe den Text über die Angemessenheit oder genau die Frage, was ist denn die angemessene
153 Messunsicherheit und welche Gerätschaften brauche ich dafür, fand ich jetzt einleuchtend, auch aufgrund des kleinen Beispiels
154 im Text mit dem Schrank. Aber das Beispiel mit dem Klassenraum ist natürlich nochmal, veranschaulicht es nochmal mehr, zumal
155 ja da dann auch klar ist, wie Messunsicherheiten entstehen können, nämlich durch dieses häufige Anlegen des Geodreiecks
156 kommt es natürlich zu höheren Messunsicherheiten, obwohl das Geodreieck an sich eine feinere Einteilung hätte als dieses
157 Tafellineal. Also vielleicht stellt das auch nochmal einen anderen Zusammenhang her. (.) Ja, genau. Dann geht es hier um, ach
158 so, genau, hier war der Punkt mit dem Ergebnis der Messung, mit dem Ergebniswert und plus minus der Messunsicherheit, dass
159 das dann das Messergebnis ist, was aber nicht das wahre Ergebnis ist, weil es das ja in dem Sinne gar nicht gibt. (..) Aber eben
160 das, worauf man sich dann festlegt quasi, dass das das Messergebnis ist. Und dieses Versuchsprotokoll finde ich super, dass
161 das dabei ist, dass man da nochmal gucken kann, wie kann man sowas aufbauen. Vielleicht könnte man bei der Durchführung,
162 beziehungsweise bei den gemessenen Ergebnissen, für mich ist das irgendwie immer so was Tabellarisches. Ich habe irgendwie
163 erwartet, dass da jetzt irgendwo eine Tabelle kommt. Vielleicht würde mir das als Lehrkraft helfen, wenn da noch irgendwo ein
164 Hinweis ist. Also hier schreibe ich die Materialliste und das Messverfahren auf, skizziere den Aufbau und notiere, Klammer auf,
165 tabellarisch, Klammer zu, meine gemessenen Ergebnisse oder so. Das könnte mir helfen, das nochmal auch für die SchülerInnen
166 dann gut planen zu können. (...)

167 S01: Super, gut. Dann sind wir schon bei Dimension 3. Da siehst du sehr viel ausgegraut.

168 S02: Ja, das ist alles nicht relevant?

169 S01: Ganz genau, das ist sehr mathematisch. Darum geht es jetzt eben, wie man Messunsicherheiten berechnet. Aber dieses
170 ganze Graue ist weggelassen. (.)

171 S02: Gott sei Dank, ja. (.)

172 S01: Es geht nur um das erste Konzept, deswegen ist dann auch nur das erste aufgeschrieben. Ich lese wieder vor. In der dritten
173 Dimension des Modells geht es um die Erfassung von Messunsicherheiten, sie enthält die mathematischen Methoden, um
174 Messunsicherheiten ermitteln zu können. Die Dimension enthält die Konzepte Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei
175 direkter Messung, Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten und Erweiterte Messunsicherheit. Für
176 die Primarstufe relevant ist nur das erste Konzept, da es erklärt, dass Messunsicherheiten auf verschiedene Weise erhoben
177 werden können. Ziel dieser Dimension ist es, die Messunsicherheiten quantifizieren zu können und damit eine Aussage über die
178 Qualität der Messung machen zu können.

179 S02: Okay. (..) Der Text ist (.) verständlich (.) Aber die Tabelle ist so groß. Okay, ich lese, was du dazu schreibst. (3 Minuten
180 Pause). Okay, hier geht es also darum zu überlegen, wie man solche Messunsicherheiten eigentlich erfassen kann. (..) Und es
181 werden zwei Ermittlungsmethoden dargestellt. Die erste ist die, die ja auch schon weiter oben so ein bisschen mitklang, oder die
182 ich vielleicht auch reininterpretiert habe, nämlich mehrere Werte zu erfassen und dann die Messunsicherheit quasi aus dem
183 Maximalwert der Abweichung dann zu errechnen, die sich aus dem Mittelwert ergibt. (...) Wahrscheinlich soll man ja dieses ganze
184 Paket in einem Rutsch lesen. (.) Stelle ich mir jedenfalls vor, dass die verschiedenen Dimensionen quasi für mich als Lehrkraft
185 mich einmal damit beschäftigen. Da gibt es eine kleine Wiederholung, ist mir gerade aufgefallen, in dem ersten Konzept, nämlich
186 nochmal den Verweis auf die Standardabweichung. Den hast du weiter oben schon mal geführt. (..) Kann man da stehen lassen,
187 aber mir ist aufgefallen, dass ich das gerade schon mal gelesen habe. (...) Und genau, also das kann ich machen. Ich kann
188 entweder halt den Mittelwert messen und dann den Maximalwert der Abweichung nehmen und das als meine Messunsicherheit
189 quasi angeben. Oder ich kann das schätzen. Das ist eine ziemlich anspruchsvolle Methode, finde ich, auch für die Grundschule,
190 weil es gar nicht so voraussetzungslos ist. Da ist das Beispiel auch wieder total hilfreich. Das Rechenbeispiel für die Ermittlung
191 der Standardabweichung oder dieses Intervalls ist auch gut. Das hilft, glaube ich, auch. Für mich war das jetzt relativ klar, was
192 damit gemeint ist, weil wir das viel gemacht haben in der fachwissenschaftlichen Vertiefung. Aber ich glaube, dass das jemand,
193 der sich damit noch gar nicht beschäftigt hat, dem wird das dadurch sicherlich auch noch mal klarer. Und bei dem zweiten Beispiel
194 ist mir halt aufgefallen, dass da so Geschichten wie menschliche Reaktionszeit, dann Ablesunsicherheiten und -was hast du
195 noch geschrieben - eine optische Komponente, wenn das Kind über die Ziellinie läuft. Das sind halt so Sachen, das muss man

196 irgendwie einschätzen können. Sowohl als Lehrkraft muss man ja wissen, welche Parameter es eigentlich zu berücksichtigen gilt
197 bei so einer Schätzung einer Messunsicherheit. Also worauf ich da sozusagen Bezug nehmen kann. Für die Kinder, glaube ich,
198 ist es extrem anspruchsvoll, das rauszufinden und das dann schätzen zu können. Also ich habe verstanden, was man da macht.
199 Das war total eingängig. Aber ich finde es, glaube ich, krass anspruchsvoll, das irgendwie hinzukriegen mit einer fünften oder
200 sechsten Klasse und da auch die richtigen Werte rauszufinden. Also auch im Vorhinein das zu planen. Mir ist gerade nochmal so
201 aufgegangen, dass das echt anspruchsvoller ist, als einen Mittelwert zu errechnen und da irgendwie eine Standardabweichung
202 von hinzukriegen. Aber es war alles irgendwie verständlich. (...)

203 S01: Gut, fällt dir noch ein eigenes Beispiel ein? (...)

204 S02: Ich erinnere mich an die Ermittlung der Turmhöhe von diesem Wasserturm. Da haben wir ja auch irgendwie verschiedene
205 Methoden angewendet, beziehungsweise mega verschiedene Ergebnisse gehabt und haben das dann irgendwie auch versucht
206 zu mitteln und zu errechnen, was da eigentlich die Standardabweichung war, beziehungsweise ja dann die Messunsicherheit.
207 Und die war ja dann teilweise auch echt ziemlich groß. Je nachdem, welche Messmethode und welche Personen und welche
208 Tagesform man so hatte, da waren ja irgendwie verschiedenste Faktoren, die das irgendwie voll beeinflussten. Also kann ich mich
209 noch erinnern, dass das echt eindrücklich war, was für verschiedene Ergebnisse wir da hatten und wie groß die Messunsicherheit
210 war. Tatsächlich auch voneinander abgewichen sind.

211 S01: Ja, stimmt.

212 S02: Wo wir das geschätzt haben, die Messunsicherheit. (.) Haben wir bestimmt auch bei irgendwas gemacht. Ich glaube, das
213 wurde schon irgendwie mit uns auch mal besprochen, aber da kann ich mich jetzt an kein konkretes Beispiel erinnern. (..) Vielleicht
214 fällt mir später noch was ein. (.)

215 S01: Genau. Hast du am Ende nochmal die Möglichkeit. Ja. (..) Gut, dann hast du es jetzt gleich geschafft. Dann kommt jetzt nur
216 noch die vierte Dimension, einmal zur Aussagekraft.

217 S02: Ah, wir sind schon bei vier.

218 S02: Ja, okay. Und dann, da ist auch nur das zweite Konzept relevant. Die anderen sind rausgeschmissen. (.) In der vierten
219 Dimension des Modells geht es darum, wie anhand von Messunsicherheiten Aussagen über das Messergebnis selbst und
220 bezüglich der mit der Messung verbundenen Fragestellung getroffen werden können. Die Dimension beinhaltet die Konzepte
221 Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses, Vergleich von Messwerten und Regression. Für den Primärbereich ist nur
222 das zweite Konzept relevant, da die Schülerinnen und Schüler im Rahmen dieses Konzeptes lernen, einen Vergleich von
223 Messwerten durchführen zu können. Das Ziel dieser Dimension ist es also, dass die Schülerinnen und Schüler über die
224 Aussagekraft der Verlässlichkeit einer Messung und ihres Ergebnisses unter Rückschluss auf eine angegebene Messunsicherheit
225 das Vertrauensniveau einer Messung einschätzen können. Die Kinder lernen auf diese Weise, Ergebnisse miteinander zu
226 vergleichen und zu erkennen, dass unterschiedliche Messwerte unter Berücksichtigung der ermittelten Messunsicherheiten nicht
227 zwangsläufig unverträglich miteinander sind. Sie lernen, Ergebnisse kritisch zu deuten und werden geschult, diese auch
228 interpretieren zu können.

229 S02: Gut. Ja, ist auch klar. (.) Ja, dann lese ich jetzt dein Konzept. (4 Minuten Pause). Okay, in der Dimension Vier soll
230 herausgefunden werden, was diese Messunsicherheiten eigentlich genau bedeuten, was die aussagen und wann denn dann
231 Ergebnisse wirklich aussagekräftig sind, glaube ich. (...) Und (.) genau, es soll den Kindern beigebracht werden, dass es eben
232 notwendig ist, Messergebnisse miteinander in Beziehung zu setzen und miteinander zu vergleichen. Und da eben zu gucken,
233 wann sich Messergebnisse inklusive ihrer Messunsicherheiten überschneiden, dass dann diese Messergebnisse nicht im
234 Widerspruch zueinander stehen, sondern tatsächlich miteinander in Verbindung gebracht werden können. Und da ein, also das
235 wahre Ergebnis, was es ja nicht gibt, dann relativ wahrscheinlich im Rahmen dieser Messung ermittelt werden konnte, auch wenn
236 die Messunsicherheiten Ergebnisse liefern, die relativ weit voneinander abweichen. Und da geht es eben um die Überschneidung
237 dieser Messunsicherheiten, beziehungsweise der Ergebnisse inklusive der Messunsicherheiten und dass man da einen
238 Überschneidungsbereich findet, in dem dann das gemittelte Ergebnis aller Wahrscheinlichkeit nach liegen wird. (...) Genau, da
239 fand ich das total hilfreich. Also ich habe mir hier diesen letzten Satz von dem ersten Absatz markiert. Konzept 2, Vergleich von
240 Messwerten. Diesen ersten Absatz habe ich mir markiert. Für beide Möglichkeiten gilt, dass zwei Messergebnisse miteinander
241 verträglich sind, wenn sich die Unsicherheitsintervalle der beiden Werte überschneiden, sie stimmen dann im Rahmen der
242 Messunsicherheiten überein. Das fand ich eigentlich den Kern der Aussage. Ich dachte, das würde ich mir, glaube ich, dann auch
243 fett markieren und ein Ausrufezeichen dran machen, damit ich verstehe, worum es hier eigentlich geht. (..) Und dann ging es noch
244 um Ausreißer in Messreihen, also wie man damit umgeht, dass da eben auch Ausreißer dabei sind und dass die nur
245 ausgeschlossen werden sollen von der Messreihe, also dass sie nur nicht berücksichtigt oder unberücksichtigt bleiben, wenn das
246 tatsächlich darauf zurückzuführen ist, dass die Kinder irgendwie fehlerhaft vorgegangen sind. (.) Ich fand auch hier das Beispiel
247 total hilfreich. Also, tatsächlich würde ich nicht so viele Beispiele rausnehmen grundsätzlich von deinen Ausführungen, weil das
248 eben das Ganze nochmal auf so eine praktische Ebene bringt und einfach klar macht, worum geht's denn hier eigentlich. Das
249 eine ist halt, dass man das theoretische Konzept hier dahinter klar irgendwie verbal erfassen kann, aber ich finde, die zeigen halt,
250 worum es wirklich geht. Und das finde ich auch mit der grafischen Darstellung von diesem Überschneidungsbereich total sinnvoll,
251 dass man da versteht, dass der Bereich, der dann da gemessen wurde, zwischen 12 und 14 Meter, dass das wahre Ergebnis
252 wahrscheinlich (...) da zwischenliegt. Im zweiten Absatz von Konzept 2 zu entscheiden, wann es sich bei einer Messung um einen
253 Ausreißer handelt, ist nicht immer einfach. Da würde ich den Punkt machen und würde dann schreiben, insbesondere im
254 Primärbereich sollte nur dann ausgeschlossen werden, wenn eindeutig bestimmt werden kann. Weil ansonsten bezieht sich der
255 zweite Teil des Satzes, oder ist unklar, worauf es sich bezieht. Also, da fehlt irgendwie ein Pronomen im Zweifelsfall. Also, naja,
256 du hast geschrieben, zu entscheiden, wann es sich bei einer Messung um einen Ausreißer handelt, ist nicht immer einfach und
257 sollte insbesondere im Primärbereich nur ausgeschlossen werden. Also, was sollte denn ausgeschlossen werden? Das würde
258 ich noch mal umformen. Ich habe verstanden, was du meinst. Aber um es eindeutiger zu machen. (.)

259 S01: Ich habe das jetzt schon so oft gelesen. Ich bin sehr dankbar über solche Kommentare.

260 S02: Ja, man ist dann irgendwann total betriebsblind.

261 S01: Ja, gerade mit der 4.5, wie oft wir das schon angeguckt haben. (...) Ja, echt witzig. Ja, gut. Dann hast du das jetzt alles

262 zusammengefasst. Dann siehst du jetzt auf der letzten Seite nochmal eine Zusammenfassung dieses Modells nur für die
263 Primarstufe. Also, alles Graue ist raus und das ist jetzt quasi alles, was du dir jetzt schon einmal durchgelesen hattest. Nochmal
264 als Übersicht in der Tabelle. Und jetzt wäre einfach nur noch mal, wenn du dir das jetzt so anguckst, findest du, dass das alles
265 abdeckt oder ist es viel zu ausführlich? Könnte man ein Konzept noch weglassen oder ist es schon so (.) gut abgedeckt, wenn
266 du das einschätzen könntest? Und wenn du eine Begründung finden könntest für ja oder nein, das wäre mir noch sehr Tabelle.
267 Oder ob du sonst noch irgendwas hast, wenn du jetzt das Ganze gesehen hast.

268 S02: Ich finde, dass das, warte mal kurz, ich glaube, wir müssen kurz warten, bis sich die Verbindung stabilisiert. Die Verbindung
269 ist jetzt instabil. (...)

270 S01: Also, ich höre dich jetzt wieder, aber eben warst du weg. (...)

271 S02: Jetzt höre ich dich auch wieder flüssig. (.....) So. Ich habe deine Aufgabenstellung nicht verstanden. Vielleicht kannst du
272 mir die noch mal mitteilen.

273 S01: Also, wenn du jetzt das ganze Modell nochmal jetzt nur betrachtest für das, was du jetzt gelesen hast, ob du da noch
274 Anmerkungen hast. Die beziehen sich ja alle irgendwie so ein bisschen aufeinander. Ein bisschen hast du es vorhin sogar schon
275 mal angedeutet, dass du meinst, dass das in einem Rutsch gelesen werden müsste, damit man das versteht. Geplant wäre es
276 tatsächlich so, das so zu machen wie mit euch, Dimension für Dimension. (..) Aber wenn du sagst, und genau das ist ja die Frage,
277 weil je mehr man darüber liest, desto mehr Aspekte kriegt man natürlich, ob sich dadurch dann Sachen davor besser erklären.
278 Also das für mich wäre jetzt einfach wichtig, ob du die Texte geeignet hältst, sie Lehrkräften vorzulegen, dass sie die Relevanz
279 verstehen. Die müssen ja dann beurteilen, wie sie es in den Unterricht bringen. Das ist ja dann nochmal was anderes. Aber ob
280 du glaubst, dass damit alles abgedeckt ist oder dass es noch zu umfangreich ist, dass man vielleicht was weglassen könnte und
281 das kurz begründest.

282 S02: Ich würde mal kurz noch eine Verständnisfrage stellen. In welchem Rahmen ist denn das gedacht? Also beschäftige ich
283 mich als Lehrkraft alleine damit in der Vorbereitung meines Unterrichts und das ist einfach ein Kapitel in irgendeinem didaktischen
284 Kommentar zu irgendwas, zum Nawibuch oder so? Oder ist das im Rahmen von einer Fortbildung gedacht oder wie beschäftige
285 ich mich damit?

286 S01: Als Lehrkraft? (...) Also, naja, so richtig als Fortbildung nicht. So ist es jetzt erst mal so gedacht, dass man es so wie mit
287 euch, also eigentlich sollte ich ja auch mit Lehrkräften genau diese Interviews führen. Das war der ursprüngliche Plan. (.) Und
288 dann tatsächlich genauso, wie wir es jetzt machen, das Dimension für Dimension durchzugehen und die sollen dann daraus die
289 Relevanz für ihren Unterricht erkennen. Also man gibt ihnen ja keine Unterrichtsplanung vor, aber ob sie das Thema, so wie es
290 vorliegt, in ihren Unterricht integrieren würden, um Kinder eben an dieses Thema heranzuführen. (.) Und da geht es jetzt erstmal
291 darum, durch diese möglichst einfachen Texte die Relevanz einfach zu verdeutlichen und zu fragen, würden sie damit in den
292 Unterricht gehen? Und dann kann man darauf aufbauen und wieder Unterricht planen. (.)

293 S02: Ja, das klingt für mich total schlüssig. Also ich finde das gut runtergebrochen. Ich weiß nicht, ob ich diese ganzen Bezüge
294 zu diesem ursprünglichen Modell bräuchte als Lehrkraft. Also ich verstehe den wissenschaftlichen Anspruch dahinter zu sagen,
295 okay, das Modell ist eigentlich viel größer und wir brechen das hier gerade runter. Aber das würde mich ehrlich gesagt überhaupt
296 nicht interessieren, weil ich denke, ich brauche ja nur das, was für den Primarbereich gerade für mich wichtig ist. Das ganze
297 Ausgegraute hat mich eher, was ist das richtige Verb, ich weiß nicht so genau. Also als du dann gesagt hast, es ist nicht relevant,
298 war ich erleichtert, weil ich gedacht habe, okay, da stehen so viele Sachen, von denen ich überhaupt keine Ahnung habe und das
299 Ganze nicht einordnen kann. Und das macht es so, also gerade bei der dritten Dimension, glaube ich, macht es das halt voll
300 riesig, diese Tabelle. Und ich denke mir, oh mein Gott, jetzt kommt irgendwie voll viel Inhalt, den ich irgendwie verstehen muss
301 und dann brauche ich das aber gar nicht. (.) Ich glaube, ich wäre zugänglicher, also für mich war das jetzt kein Problem, aber ich
302 kann mir vorstellen, dass Menschen zugänglicher sind, wenn es von vornherein nur so klein ist. Und diese ganzen anderen
303 Sachen, mit denen muss ich mich ja eh nicht beschäftigen in dem Rahmen, die muss ich dann vielleicht auch gar nicht wissen.
304 (.) Für das, was ich wissen muss über Messunsicherheiten, finde ich die Infotexte total geeignet. Ich finde die Beispiele super. (...)

305 S01: Und jetzt hängt es leider wieder. (...)

306 S02: Mir hat es jetzt die Bedeutung, ich wüsste jetzt, was ich, oh nein, warte, wir warten kurz und lassen es sich stabilisieren. Hier
307 steht jetzt gerade, ist instabil, hörst du mich?

308 S01: Ja, jetzt höre ich dich gerade wieder. (.)

309 S02: Das ist das Problem mit diesen digitalen Interviews. (..) Genau, also ich finde das hilfreich. Ich wüsste jetzt auch, worauf ich
310 achten muss, was ich tun kann, um die Kinder diesbezüglich zu sensibilisieren. Ich müsste mich, glaube ich, trotzdem nochmal
311 selbst in Bezug auf mein geplantes Experiment einfach damit beschäftigen, was sind denn hier die Messunsicherheiten, an
312 welchen Stellen muss ich damit rechnen. (.) Was ich gut finde, ist, dass die Beispiele so gewählt sind, dass sie eben auch
313 verschiedene Faktoren mit berücksichtigen. Also sowohl das, was ja eigentlich in der ersten ... (...)

314 S01: Jetzt verstehe ich dich wieder nicht. (..) Das ist natürlich ein bisschen blöd. (...) Jetzt. (.)

315 S02: Jetzt hab ich natürlich ein bisschen den Faden verloren. Genau, also was ich an den Beispielen gut finde, ist, dass sie eben
316 diese verschiedenen Einflussfaktoren auf Messunsicherheiten auch ein paar deutlich machen. Und da eben nochmal so den
317 Faktor Mensch mit einbeziehen, aber auch die verschiedenen Gerätschaften oder einfach auch Maßeinheitenfragen nochmal
318 aufwerfen. Dass eben da nochmal diese ganzen verschiedenen Möglichkeiten, die Messunsicherheiten eigentlich zustande
319 kommen können, nochmal aufgezeigt werden. Durch die Unterschiedlichkeit der Beispiele. Das hat mir auch gut gefallen und
320 geholfen, das mir nochmal selber zu verdeutlichen. Und dann eben auch eventuell den Transfer zu vollziehen auf meine eigene
321 Unterrichtsplanung. Also wenn ich jetzt mit den Kindern, wie auch in einem der Texte ja beschrieben war, zum Beispiel die
322 Fallbeschleunigung anhand eines fallenden Wassertropfens messen möchte, würde mir das glaube ich helfen, mich vorher
323 nochmal die Messunsicherheiten auseinandergesetzt zu haben und nochmal zu wissen, welche Faktoren spielen denn hier
324 eigentlich eine Rolle und was muss ich berücksichtigen. Und was hilft mir dann auch ein möglichst genaues Ergebnis, auch wenn
325 es das jetzt nicht geben kann im wissenschaftlichen Sinne, aber für die Kinder auch ein Ergebnis zu finden, auf das wir uns
326 einigen können. (.) Genau, was hilft mir dabei quasi das so vorzubereiten, dass wir das auch am Ende erreichen. Weil ich glaube,
327 das ist für die Kinder schon wichtig, dass sie am Ende nicht das Gefühl haben, jetzt habe ich hier irgendwie Sachen gemessen

328 und es gibt gar kein wahres Ergebnis. Ich glaube, es ist unbefriedigend, wenn die Kinder mit sowas dann rausgehen, sondern zu
329 verstehen, okay, ich habe jetzt ein Ergebnis gefunden für mein Experiment, für meinen Versuch, aber es ist eben nicht ganz
330 präzise. Das ist ja glaube ich der Kern der Sache, zu sagen, okay, das ist ein gemittelttes Ergebnis, das ist ein 330 ungefährer Wert,
331 aber er ist an dem, was wirklich wahr ist, im philosophischen Sinn dann vielleicht, relativ nah dran. (..)
332 S01: Ja, sehr gut. (....)
333 S02: Also ich finde es gut, ich würde es benutzen. (.)
334 S01: Sehr gut, noch besser. (..) Du hast ja jetzt auch schon Lehrerfahrung. Ja, gut. (..) Dann sage ich vielen Dank und beende
335 das hier.

E. Transkript Interview 3

Transkribiert mit 1 noScribe Vers. 0.5

2 Audiodatei: C:/Users/Marie/OneDrive/Transkribierte Datei/Interview3.m4a

3 (Start (hh:mm:ss): 00:00:00 | Qualität: precise | Sprache: de | Sprecher:in erkennen: auto | Überlappende Sprache: 1 | Zeitmarken:

4 0 | Pausen markieren: 1)

5 (..)

6 S02: Interviewerin

7 S01: Studierende/r

8 S02: So, ich nehme nun auf. Gut, also. Dann muss ich dich als erstes einmal fragen, ob du dich bereit fühlst und ob ich dich

9 aufnehmen darf.

10 S01: Ja.

11 S02: Fein. Gut, dann würde ich jetzt einfach einmal kurz sagen, worum es geht, aber zuerst kurz mit dir diese allgemeinen

12 Angaben durchgehen. Studienfächer, du bist auch im Q-Master, ne?

13 S01: Mhm.

14 S02: Und dann sind es die drei Fächer Mathematik, Sachunterricht, Deutsch und du bist jetzt im Semester vier. (.)

15 S01: Genau.

16 S02: Ja. Und hast du dich schon mal mit Messunsicherheiten auseinandergesetzt während deines Studiums? (.)

17 S01: Im Rahmen von einem Seminar.

18 S02: Ja, sehr gut. Und hast du schon Fortbildung oder eigenen Unterricht gemacht? (..)

19 S01: Nee, beides nein.

20 S02: Gut, okay, dann würde ich dir jetzt einmal kurz erzählen, worum es so im Groben geht. Nämlich, dass ich im Rahmen meiner

21 Masterarbeit Texte geschrieben habe, die eigentlich Lehrkräften vorgelegt werden sollen. Und ihr als Lehramtsstudierende habt

22 jetzt die Aufgabe, diese Texte auf Inhalt und Verständlichkeit zu prüfen. (.) Und dabei geht es darum, ob diese Texte so verständlich

23 sind, dass den Lehrkräften die Notwendigkeit der Thematisierung von Messunsicherheiten klar wird, worum es ja geht, das man

24 das bereits in der Primarstufe im Unterricht schon unterrichten sollte, ohne dass es zu überfordernd wirkt. Also daraufhin sollen

25 die Texte so ein bisschen geprüft werden, ob die verständlich sind. Sie sind nicht für Kinder geschrieben worden, sondern für die

26 Lehrkräfte zum Verstehen (.) Und, genau, als Grundlage dient ein Modell, das Sachstrukturmodell von Julia Hellwig. Ich weiß

27 nicht, ob du das kennst oder ob du davon noch nichts gehört hast.

28 S01: Nein, kenn ich nicht.

29 S02: Macht nichts. Genau, das besteht aus vier Dimensionen. Und so sind die Texte jetzt aufgebaut. Als erstes gibt es eine kurze

30 Einleitung, die machen wir noch zusammen. Und dann kommt dieses Modell, das besteht aus vier Dimensionen und die Texte

31 sind dann pro Dimension so aufgebaut, dass du immer eine kleine Übersichtstabelle siehst. Und dann gibt es jeweils ein Konzept

32 oder mehrere Konzepte und dazu Inhalte und die habe ich versucht, so verständlich wie möglich aufzuschreiben. Genau, und das

33 machen wir so nach und nach. Also wir machen jetzt erst die Einleitung und dann würde ich dich im Anschluss immer bitten, mir

34 einmal kurz zurückzumelden, ob die Einleitung jeweils schon so verständlich ist. (.) Und dann liest du quasi die Konzepte selbst

35 für dich und dazu gibt es immer Beispiele. Und da würde ich dich auch noch mal bitten, kurz in dich zu gehen, ob dir die Texte

36 schon reichen würden oder ob dir das hilft, dass du auch noch immer ein Beispiel dazu siehst oder ob man das dann grundsätzlich

37 weglassen könnte oder so. Also, du kannst nichts falsch machen. Es geht wirklich nur darum, ob man die Texte so verstehen

38 kann. Bei den Lehrkräften gehen wir ja grundsätzlich davon aus, dass die mit dem Thema auch noch wirklich relativ wenig bis gar

39 nichts zu tun hatten. Ja, also. (.) Achso, dann muss ich noch sagen, dass ich Verständnisfragen nicht beantworten kann während

40 unseres Interviews, weil darum geht es ja gerade. Du markierst also einfach für mich, was dir unklar geblieben ist und das muss

41 dann nur erstmal einfach so stehen bleiben.

42 S01: Und das besprechen wir einfach oder markiere ich irgendwas und schicke dir das dann zurück?

43 S02: Nee, das wäre so, dass du mir am Ende von jeder Dimension dann einmal kurz in eigenen Worten zusammenfasst, was du

44 verstanden hast von dem Text. Es geht nur einfach darum, das einmal in eigenen Worten wiederzugeben. Und richtig toll wäre,

45 wenn du noch ein eigenes Beispiel findest.

46 S01: Ok, ich versuche das mal.

47 S02: Also, das wäre einfach super, weil wir dann sehen können, dass du es wirklich auch verstanden hast. Aber genau, du guckst

48 einfach, was verständlich ist. Ich habe es wie gesagt versucht, so verständlich wie möglich zu schreiben. (..)

49 S01: Okay, ich habe mir jetzt mal die Texte geöffnet.

50 S02: Ja, genau. Dann würde ich dich bitten, diese Einleitung, dass du die jetzt einmal selbst für dich liest und dich dann zurück

51 meldest, wenn du fertig bist.

52 S01: Dann melde ich mich zurück, wenn ich fertig bin?

53 S02: Ja, genau. Ich warte einfach auf dich.

54 S01: Okay. (2 Minuten Pause) Bin wieder da.

55 S02: Okay. Ist das so im Großen und Ganzen verständlich? (...)

56 S01: Ja, ich denke schon. (..) Also, das ist genau, die Relevanz des Themas soll ja hier verdeutlicht werden.

57 S02: Ja, gut. Und unten sieht man schon dieses Modell, dass das aus diesen vier Dimensionen besteht, die alle natürlich irgendwie

58 miteinander zu tun haben. Und was ich jetzt am Anfang vergessen habe, dir zu sagen, das wirst du jetzt gleich sehen, wenn du

59 auf Seite 3 zur ersten Dimension kommst. Da ist als erstes die Tabelle. (.) Dimension 1 beschäftigt sich mit der grundsätzlichen

60 Existenz von Messunsicherheiten. (..) Und dann sieht man links die Konzepte, die aus dem ursprünglichen Modell von der Hellwig

61 stammen (.) Und die hat es ursprünglich geschrieben für die Sekundarstufe. (..) Und wir haben es, wie gesagt, versucht auf die

62 Grundschule anzupassen und deswegen sind dort grau markierte Bereiche, die sind grundsätzlich weggelassen worden. Also,

63 das ist schon zu komplex. Und deswegen haben wir es aufgeführt, um das Modell vollständig zu haben, es ist aber komplett

64 irrelevant für uns. Uns es geht nur um das, was weiß ist. (.) Genau, da sieht man links die Konzepte und rechts die Inhalte, um

65 die es in den Konzepten geht. Und die liest du jetzt. Also, ich lese dir immer kurz den Einleitungstext vor, worum es in der

66 Dimension geht. Und danach kommen diese Konzepte und um die geht es dann. Ob du die dann am Ende gut zusammenfassen

67 kannst, okay? (.....) Okay. Und so gehen wir dann alle durch.

68 S01: Okay, good. Let's get it on.

69 S02: Dann lese ich dir einmal vor, worum es bei der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten geht. In der ersten

70 Dimension, in der es primär um das Erkennen der grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten geht, beinhaltet das

71 Sachstrukturmodell nach Hellwig die Konzepte Ursachen der Messunsicherheit und Unterscheidung zwischen Messunsicherheit
72 und Messabweichung. Das Ziel dieser ganzen Dimension liegt insbesondere darin, bereits den Schülerinnen und Schülern der
73 Primarstufe zu vermitteln, dass jede gemessene Größe mit einer Unsicherheit behaftet ist, selbst wenn die Messung mit
74 höchstpräzisen Messinstrumenten besonders sorgfältig durchgeführt wurde. (..) Das war der Einleitungstext zur ersten Dimension.
75 S01: Ah ja, alles klar.
76 S02: Okay? Und jetzt würde ich dich Konzept 1 und Konzept 2 lesen lassen. Wie gesagt, gibt es immer in diesem Beispielkasten
77 Beispiele, die dir das nochmal erklären. Aber wenn du beim Lesen einfach versuchst, die beiden Sachen unabhängig voneinander
78 einmal anzugucken, also erstmal nur den Text, ob der vielleicht schon reichen würde oder ob du sagst, kann ja auch sein, dass
79 die Beispiele total verwirrend sind und das darfst du mir auch, also auf jeden Fall rückmelden, was unklar bleibt.
80 S01: Also soll ich jetzt erstmal nur den Absatz lesen und dir dann Rückmeldung geben und dann die Beispiele angucken?
81 S02: Nö, ich würde sagen, du liest schon alles zu diesem Konzept, was jetzt noch da ist, bis es dann zu Dimension 2 geht und
82 meldest am Ende alles zurück. Okay?
83 S01: Okay. (4 Minute[n] Pause) Okay. (..)
84 S01: Also ich hätte die beiden Texte, Konzept 1 und Konzept 2, hätte ich auch ohne die Beispiele verstanden. (..) Aber ich fand
85 das super hilfreich, die Beispiele zu haben, einfach um auch nochmal das Verständnis abzuklären. Also um das abzugleichen
86 nochmal, habe ich es richtig verstanden, macht es Sinn? (..) Und es hilft auch Ideen zu bekommen, glaube ich, für Lehrkräfte oder
87 jetzt auch generell, (...) auf was man das noch anwenden könnte. (..) Genau. (..)
88 S02: Fällt dir ein eigenes Beispiel ein? (15 Sekunden Pause)
89 S01: Ich glaube, es gibt ganz viele Sachen, zum Beispiel auch Temperatur. Also wenn man jetzt einen Experimentaufbau hat und
90 da geht es auch um die Bestimmung von der Temperatur, oder dass bestimmte Faktoren gleich bleiben sollen. Und da hängt es
91 ja dann auch ganz stark davon ab, welche Tageszeit, welches Thermometer, wie wird es protokolliert und so weiter und so fort.
92 Das wäre jetzt was, was mir jetzt einfallen würde.
93 S02: Ja, super. (..) Gut. (..) Achso, du solltest jetzt noch die Konzepte zusammenfassen. (..)
94 S01: Ach ja. Genau. Also was Ursachen der Messunsicherheit sind und genau, und das andere. (..) Also bei der Messunsicherheit
95 geht es ja darum, Faktoren auszumachen, die eine Messung beeinflussen und das den Kindern aufzuzeigen, was das sein könnte.
96 Und da kann man als erstes immer erstmal das Messinstrument zum Beispiel nehmen. Dann eben auch Umwelteinflüsse, wie ich
97 es ja auch schon genannt hatte, mit der Temperatur zum Beispiel, dass man wirklich immer guckt, dass man das irgendwie
98 versucht mitzudenken. Dann wurde, glaube ich, auch der Faktor Mensch genannt, was ja auch beim Ablesen zum Beispiel vom
99 Instrument wichtig wäre. Auch beim Übertragen von Zahlen zum Beispiel, wird das richtig abgeschrieben? Dann auch diese
100 Reaktionszeiten, was ja an dem Beispiel auch beschrieben wurde. Genau. Und ich glaube, dann wurde das noch mit der Endlichen
101 Darstellung genannt, dass eben ja immer nur eine bestimmte Anzahl von Nachkommastellen auftauchen auf den Messgeräten
102 und es dadurch ja auch dann quasi zu Unsicherheiten kommt. Und bei dem anderen, bei der Ungleich-, Abweichung. Eine
103 Abweichung bedeutet ja immer, dass es quasi einen Referenzpunkt geben muss. (..) Und eine Abweichung kann somit quasi nur
104 festgestellt werden, wenn es diesen Referenzwert gibt. (..) Und eine Messunsicherheit, glaube ich, wird dann ja auch immer, das
105 ist quasi der Mittelwert, also wird dann als Mittelwert berechnet. Also man guckt dann und man nimmt dann alle Messungen und
106 dann wird das addiert und dann wieder geteilt und dann hat man, glaube ich, die Unsicherheit. Okay, da bin ich sehr unsicher (..).
107 S02: Okay, lassen wir es erstmal so stehen. Vielleicht wird es mit den nächsten Dimensionen klarer. (..) Gut, dann hast du alles
108 zusammengefasst und ich würde dich zur Dimension 2 schicken. (..) Ich lese dir wieder den Text kurz vor und dann ist es genau
109 so wie eben. Man sieht oben wieder die Tabelle, das Graue ist nicht interessant und es gibt wieder Beispiele und es ist genau wie
110 vorher, okay? (..) Gut, in der zweiten Dimension des Modells geht es um den Einfluss der Messunsicherheiten auf das
111 Messwesen, also wie Messunsicherheiten die Prozesse des Experimentierens beeinflussen. Dafür sind zwei Konzepte wichtig,
112 Ziel der Messung und Ergebnis der Messung. (..) Ziel dieser Dimension ist es, den Kindern zu vermitteln, dass es nicht einen
113 wahren Messwert geben kann, den sie perfekt nachmessen können, sondern dass das Ergebnis immer eine gewisse Unsicherheit
114 hat und somit ein Unsicherheitsintervall aufspannt. (....) Okay, im herkömmlichen Modell gibt es auch nur diese beiden Konzepte,
115 (..) also es ist nichts weggelassen, nur wird für die Grundschule halt ein bisschen ausgedünnt. Macht der Text klar, worauf die
116 Dimension abzielt?
117 S01: Ja. Sehr hilfreich ist, dass da immer das Ziel im Text angegeben ist. (..)Okay. (..) Gut, bis gleich. (3 Minute[n] Pause). So,
118 bin wieder da.(..) Also (..) Konzept 1, Ziel der Messung. (....) Also ich konnte dem folgen, aber ich musste es tatsächlich zweimal
119 lesen. (..) weil ich mit diesem Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit, das habe ich so noch nicht gelesen oder gehört,
120 (.....) es macht eigentlich total Sinn und trotzdem war es für mich irgendwie neu. Okay. (.....) Das Beispiel dazu, das hat Sinn
121 gemacht, das war hilfreich, fand ich auch wieder, (..) weil es nochmal ganz gut erklärt, inwiefern ein Instrument einen Unterschied
122 machen kann und auch nochmal in dem Zusammenhang, müsste man sich einfach mit den Schülern einigen, also einigen zu
123 sagen, wie genau soll jetzt die Messung sein, wollen wir nur Pi mal Daumen quasi wissen, wie groß ungefähr der Raum ist, dann
124 können wir vielleicht auch sagen, okay, ein Schritt ist ungefähr ein Meter oder wir wollen es halt auf einen Zentimeter haben oder
125 Millimeter genau. (..) Das war ganz gut als Beispiel. (..) Und mit dem wahren Wert, da geht es ja darum, dass man sagt, es gibt
126 nicht dieses eine Ergebnis oder diese eine Messung, auf die man sich dann verlassen kann, sondern das sozusagen (..) hängt
127 von unterschiedlichen Faktoren ab. (....) Und mit der Anpassung des Messprozesses hatte ich ja eigentlich schon gesagt, dass
128 man dann guckt, je nachdem, wie genau soll es sein, da muss man dann natürlich unterschiedliche Werkzeuge benutzen. (.....)
129 Mit dem Ergebnis der Messung, da war jetzt gar kein Beispiel, oder? Ach doch, da unten, das habe ich gar nicht gesehen. (..)
130 Sorry, da habe ich gar nicht nach unten gescrollt. Da wird ja sozusagen einmal so ein Versuchsprotokoll abgebildet. Was bestimmt
131 immer gut ist, das einmal als Lehrkraft als Beispiel zu haben und dann kann man es dann individuell anpassen. (....) Und die Idee
132 für die Schüler, wäre meine Idee gar nicht unbedingt gewesen, dass sie das dann später nochmal rausgraben können, aber eher
133 so ein Setting von, okay, man hat mehrere Gruppen und die eine Gruppe macht das Messverfahren und die andere das andere.
134 Und dann können die sich gegenseitig vorstellen, was sie gemacht haben und wie es abgelaufen ist, dass man so etwas zum
135 Beispiel hat. (....) Und ja, da geht es ja sozusagen um das Ergebnis und wie das Ergebnis aufgezeigt wird. Und das Ergebnis ist
136 quasi immer der Mittelwert von den ganzen einzelnen Messungen, die man hat, mit eben der Messunsicherheit. Das heißt, man
137 hat dann, wenn man den Mittelwert bestimmt hat von den ganzen Messungen, dann guckt man, was ist der größte Ausreißer
138 nach oben oder nach unten, wie auch immer. Also die höchste Summe, die Differenz wird dann genommen, um die
139 Messunsicherheit anzuzeigen. (....) So habe ich das jetzt verstanden. (....) Und da hätte ich jetzt die Abbildung als Beispiel nicht
140 gebraucht für diesen Punkt. Wobei, wie gesagt, wenn man das jetzt direkt transferieren möchte und eine Idee haben möchte, wie
141 man das im eigenen Unterricht umsetzen könnte mit dem Versuchsaufbau und so, (..) aber mit der Dokumentation ist es ja viel
142 mehr, dann ist es auf jeden Fall voll hilfreich, das einmal so zu haben, als Gerüst quasi.
143 S02: Ja, genau. (....) Gut. (.....) Ich glaube, so ein eigenes Beispiel hattest du jetzt eigentlich schon genannt, oder? (....) Fällt dir

144 noch was ein?

145 S01: Ich gucke mal, überlege gerade. Ich hatte jetzt das genannt, dass man zum Beispiel auch die Klasse ablaufen könnte.

146 S02: Stimmt, ja. (20 Sekunden Pause)

147 S01: Ja, keine Ahnung, das Messen von der Körpergröße oder sowas, dass man dann sagt, (.) okay, man schätzt es, indem man
148 mehrere Leute nebeneinander stellt und die sagen, ich glaube, ich bin so und so groß zum Beispiel. Oder man nimmt halt einen
149 Zollstock oder man nimmt eine Messlatte, dann ist aber wieder die Frage, wo ist die richtig aufgehängt, die Messplatte? Und das
150 Ding, wenn man ein Buch auflegt, nimmt man die Oberkante oder die Unterkante zum Ablesen und all diese Sachen.

151 S02: Genau. Okay. Gut. Dann kommen wir zur dritten Dimension. (.) Ja. (.) Die ist sehr umfangreich, aber es interessiert uns
152 nur das Weiße, also nur Konzept 1. (.) Also es geht jetzt darum, wie werden Messunsicherheiten berechnet. Und ich lese dir
153 wieder kurz vor und lasse dich dann nur mit Konzept 1 kurz allein. Da gibt es dann zwei Beispiele. In der dritten Dimension des
154 Modells geht es um die Erfassung von Messunsicherheiten. Sie enthält die mathematischen Methoden, um Messunsicherheiten
155 ermitteln zu können. Die Dimension enthält die Konzepte Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung,
156 Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten und erweiterte Messunsicherheit. Für die Primarstufe
157 relevant ist nur das erste Konzept, da es erklärt, dass Messunsicherheiten auf verschiedene Weise erhoben werden können. Ziel
158 dieser Dimension ist es, die Messunsicherheiten quantifizieren zu können und damit eine Aussage über die Qualität der Messung
159 machen zu können. (...) So weit, so klar?

160 S01: Ja. (4 Minute[n] Pause) Okay. (...) Jetzt hat es ein bisschen gedauert, bis ich die Zahlen zusammen hatte. (...) Juti. (...)

161 Zusammenfassung. (...) Genau, da geht es ja darum, dass man jetzt den Kindern erklärt, wie man diese Messunsicherheiten
162 angibt. (...) Und dann gibt es einmal, was wir eigentlich im vorherigen Beispiel schon hatten, dass man, wenn man mehrere
163 Messwerte hat, also es gibt zwei unterschiedliche Methoden, wenn man mehrere Messwerte hat, dann würde man die alle
164 addieren und dann durch die Anzahl der Messungen teilen. (.) Und das ist dann dieses Messergebnis. (...) Und dann würde man
165 gucken, wo die größte Abweichung liegt, nach unten oder nach oben, also niedrigster oder höchster Wert. (.) Und dann da, wo
166 die Differenz größer ist, das wäre dann die Abweichung. Und wenn man jetzt nicht mehrere Messungen hat, sondern nur eine
167 Messung und man will die Messunsicherheit trotzdem bestimmen, dann gibt es Referenzwerte, von denen ich jetzt auch nichts
168 wusste, aber die werden da ja aufgeführt bei dir im Beispiel. Also klar, ich wusste schon, dass oft Geräte oder Gerätehersteller
169 von Waagen zum Beispiel auch angeben, was die Messunsicherheit ist. (.) Aber jetzt zum Beispiel auf den Menschen bezogen,
170 dass das irgendwie diese 0,3 oder was war das, 0,3 oder 3? 0,3. Okay, das wusste ich nicht. Aber gut, sowas kann man dann
171 sicher wahrscheinlich entsprechend irgendwo raussuchen aus Literatur oder so. (.) Und dann würde man die auch entsprechend
172 einfach nur addieren und hätte dann die Unsicherheit. (...) Genau. Ach so, und dann wurde jetzt immer noch was von dem
173 Unsicherheitsintervall gesagt. Das heißt, man nimmt dann die Unsicherheit und um diesen Intervall zu bestimmen, (...) zieht man
174 die Unsicherheit von dem, also man nimmt das Messergebnis und addiert deswegen ja auch immer dieses Plus Minus
175 Unsicherheit, addiert es oder subtrahiert es einmal von dem Messergebnis, um dann eben diesen Intervall zu haben. Genau. (...)
176 Und alle Messungen, die innerhalb dieses Intervalls liegen, die sind dann sozusagen Bestandteil der Messung. (...) Kann man
177 das so sagen? (11 Sekunden Pause) Oder können die dann berücksichtigt werden? Nee, es ist irgendwie, ja. (...) Oder da würde
178 man dann sagen, also wenn eine Messung jetzt abweicht, da drüber oder da drunter liegt, würde man sagen, da ist ein Messfehler
179 offensichtlich aufgetaucht und dann müsste man es vielleicht wiederholen oder so. (.) Ja, weil es dann über diesen Toleranzwert
180 hinausgeht.

181 S02: Mhm. (...)

182 S01: Gut. (...) Okay. (...)

183 S02: Ja, dann machen wir jetzt die letzte Dimension zur Aussagekraft von Messunsicherheiten. (.)

184 S01: Mhm. (.)

185 S02: In der vierten Dimension des Modells geht es darum, wie anhand von Messunsicherheiten Aussagen über das
186 Messergebnis selbst und bezüglich der mit der Messung verbundenen Fragestellung getroffen werden können. Die Dimension
187 beinhaltet die Konzepte Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses, Vergleich von Messwerten und Regression. Für den
188 Primarbereich ist nur das zweite Konzept relevant, da im Rahmen dieses Konzepts die Schülerinnen und Schüler lernen, einen
189 Vergleich von Messwerten durchführen zu können. (...)

190 S01: Okay. (...) Ach so, das hast du jetzt gerade hier vorgelesen. (.) Das hat sich so schön freigesprochen angehört, (.) dass ich
191 jetzt dachte, okay, und jetzt liest du was vor. Aber ja, sehr schön. (...) ist verständlich.

192 S02: Gut, dann ist es nur noch einmal Konzept Zwei mit Beispielen. Und dann kommen wir zum Schluss.

193 S01: Okay, gut, bis gleich. (2 Minute[n] Pause) Ja, hier geht es ja quasi darum, den Schülern nochmal zu zeigen, dass es
194 unterschiedliche Formen von Messungen gibt. Und um dann eine Aussagekraft zu haben oder zu erarbeiten zu können, wie sicher
195 eine Messung ist, gilt es eben dann nicht per se einfach zu sagen, ja, das Lineal mit einer kleineren Maßeinheit ist genauer als
196 eins mit einer größeren, sondern man kann dann die Instrumente, die Messinstrumente und die gemessenen Ergebnisse
197 miteinander vergleichen, indem man eben diese Unsicherheitsintervalle gegeneinander stellt oder übereinander, wie auch immer,
198 um dann zu gucken, ob die Überschneidungen haben. Und wenn die Überschneidungen haben, dann kann man entsprechend
199 die Ergebnisse auch besser vergleichen. Also dann kann man die miteinander vergleichen. (.) Ja, genau. (...) Ja, und dann wird
200 hier von diesen Ausreißern noch gesprochen, (...) dass es manchmal schwer ist, also für die Schüler in der Grundschule schwer
201 ist nachzuvollziehen, warum sich so Ausreißer nach unten oder nach oben ergeben oder dann auch zurückzuschließen, (...) woran
202 das liegt. (.) Und um dann, wenn man jetzt wenig Messungen hat, angenommen man macht nur drei und dann ist irgendwie einer
203 dabei und er weicht komplett ab, dann kommen ja gleich Zweifel an diesen ganzen Messverfahren auf. Und um das quasi zu
204 umgehen, wird hier die Empfehlung abgegeben, eben Settings zu nehmen, bei denen viele Messungen (.) vorgenommen werden
205 können, damit so ein Ausreißer halt nicht so stark ins Gewicht hält. (...) Ach so, ich habe mir das Beispiel wieder nicht angeguckt.
206 (...)

207 S02: Gut, ist aber auch ein Beitrag, dass man das besser sichtlich machen muss. (...)

208 S01: Ja, ich habe einfach nicht runtergescrollt. Ich habe mich jetzt voll auf den Text eingelassen, obwohl ich eigentlich davor mal
209 gesagt habe, dass das total hilfreich ist, die Beispiele zu haben. (.) Ja, so war es. (...) Aber vielleicht komme ich jetzt ja nochmal
210 zu neuen Erkenntnissen. Anfang des Beispiels. (50 Sekunden Pause) Hm, ja, nee, ich habe jetzt keine neuen Erkenntnisse. (...)
211 Aber hier ist diese Gegenüberstellung von diesen Unsicherheitsintervallen, die kann man natürlich jetzt hier sehr gut
212 nachvollziehen. (...) Anhand der Abbildung. (...)

213 S02: Ist dir irgendwas noch nicht klar? Ist irgendwas, wo du denkst, hä, macht nicht so viel Sinn?

214 S01: Naja, ich habe jetzt einfach nur gedacht, wie wäre das jetzt zum Beispiel, wenn die sich nicht überschneiden würden? Also
215 was wäre dann jetzt die Konsequenz daraus, dass man sagen kann, man kann die nicht miteinander vergleichen, weil die
216 Unsicherheitsintervalle sich nicht überschneiden. (...) Man müsste dann quasi nochmal ein anderes Messinstrument

217 wahrscheinlich (.) zurate ziehen. (..) Und dann gucken, wenn man die Messung wieder durchführt, mit der entsprechenden
218 Unsicherheit, (.) ob dann die Ergebnisse eher vergleichbar sind. (....) Das ist jetzt das Einzige, was ich mich jetzt frage, ob das
219 dann sozusagen der richtige Weg wäre. (....) Ich glaube ja, aber genau weiß ich es nicht. (..)
220 S02: Gut, lassen wir jetzt erstmal so stehen. (.) Und auf der letzten Seite siehst du jetzt nochmal diese Tabelle. (..)
221 S01: Daumen hoch. (...)
222 S02: Da siehst du jetzt nochmal die Zusammenfassung. (..) Ohne das Ausgegraute quasi, nur das, was du jetzt alles gerade auch
223 gelesen hast. (.) Und wenn du da jetzt noch einmal so drauf guckst, würde ich dich einfach nochmal kurz bitten, darüber
224 nachzudenken, ob du das für sinnvoll hältst, das so aufzuführen. (.) Oder ob das zu viele Informationen sind, also es geht ja
225 darum, dass wir es an Lehrkräfte geben, auch in dem Rahmen so, wie ich es jetzt mit euch gemacht hätte. (..) Und die daraus,
226 aus diesem ganzen Paket, die Notwendigkeit erkennen, dass das wichtig ist, Messunsicherheiten auch schon im Unterricht der
227 Primarstufe zu thematisieren. (..) Oder ob du sagst, da waren jetzt Aspekte bei, (..) die machen für dich nicht so richtig Sinn, dass
228 das hier auftaucht, das ist zu viel, ist zu wenig. Mehr Beispiele, weniger Beispiele in deinem Fall. So, wenn du darüber nochmal
229 ganz kurz nachdenkst, wenn du das so im Ganzen siehst, (.) da nochmal drüber gucken könntest und das begründest, was du
230 jetzt sagst. (..) Also ist es für Lehrkräfte sinnvoll, das so zu machen?
231 S01: Die würden dann nur diese Tabelle bekommen? Oder auch mit den Texten und Beispielen, die ich selbst davor... Also die
232 Tabelle fasst es quasi dann nur nochmal zusammen.
233 S02: Genau, also so vom Konzept ist es gedacht, dass man das auch Dimension für Dimension mit den Lehrkräften sozusagen
234 durchgeht, um alles Wesentliche halt abzudecken.
235 S01: Also mein erster Impuls, als ich jetzt die Tabelle gesehen habe, war erstmal so, okay, mich zurechtzufinden. (....) Aber ich
236 habe gleich gedacht, für diejenigen, die vielleicht ein gutes Verständnis von dem Thema vermeintlich haben, wäre es vielleicht ja
237 auch gut, also aus ökonomischen Gründen, wenn in der Tabelle gleich nochmal ein kleines Beispiel oder so ist. Also es trägt jetzt
238 natürlich nicht zur Übersichtlichkeit unbedingt bei. (....) Aber ich glaube, dann könnte man schneller zu dem Punkt kommen, dass
239 man sagt, ah klar, das ist damit gemeint. Also das ist damit wirklich gemeint. (25 Sekunden Pause) Also ich würde zum Beispiel
240 diese Ermittlungsmethode A und B, das wurde jetzt ja so benannt in einem Beispiel, aber ich würde es dann halt wirklich benennen.
241 Also ich würde dann sagen, (....) Messunsicherheiten bei mehreren Werten oder Messunsicherheiten bei nur einer Messung oder
242 bei nur einem Messergebnis. Also weil so kann ich ja gar nichts damit anfangen. Wenn ich jetzt erstmal mir nur die Tabelle nehme
243 und sage, okay, ich will einfach mal gucken, was weiß ich, was weiß ich nicht, womit kann ich was anfangen. Ich glaube, das
244 würde ich ja zum Beispiel so machen, wenn ich jetzt mich kurz belesen möchte, erstmal nur, dann wäre das für mich viel hilfreicher.
245 Und deswegen auch mit diesen Beispielen, was ich ja vorhin schon meinte, zum Beispiel mit der Endlichkeit der Darstellung, dass
246 man da dann auch ein Beispiel gibt, das man sagt, (....) dass ja die Messinstrumente von vornherein quasi begrenzt sind in dem,
247 was sie darstellen können, dass das damit gemeint ist. Aber vielleicht wusste ich das nur einfach nicht, also konnte ich jetzt nicht
248 automatisch, als ich das gelesen habe, gleich mir ein Beispiel herleiten. Vielleicht könnte das eine andere Person durchaus. Das
249 weiß ich jetzt ja nicht. (..) Umwelteinflüsse könnte man ja auch so was, also könnte man auch schon was dazu nehmen, was
250 genannt war, Feuchtigkeit oder was es so gibt (.) Es gibt Faktor Mensch, Reaktionszeit als Beispiel, und ich glaube bei zwei würde
251 mir zum Beispiel reichen, Messabweichung versus Messunsicherheit, Definition. Also das müsste gar nicht für mich da jetzt so
252 separiert aufgeführt werden. (15 Sekunden Pause) Ja, das ist so dieses Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit. Das
253 habe ich ja vorhin schon gesagt, dass ich damit überhaupt nichts anfangen konnte. Erstmals wirts dann deutlich über den Text,
254 den du dazu gegeben hast, aber so würde es mir jetzt immer noch gehen. Weiß ich nicht, ob man das anders nennen kann, aber
255 wahrscheinlich ist das einfach so, wie es ist. (21 Sekunden Pause) Ich glaube, ich könnte mir vorstellen, was für viele Schüler
256 zum Beispiel auch schon, (.) vielleicht auch für uns, (..) dass man sich auch nochmal bewusst macht, was ist denn jetzt eigentlich
257 überhaupt der Unterschied zwischen Messung und Messergebnis. (.) Also jetzt klar, durch das ganze Lesen und so, (.) das ist
258 klar, was der Unterschied ist. (..) Aber ich glaube, wenn man jetzt nur mal so drüber fliegt, könnte ich mir auch vorstellen, dass
259 das nicht unbedingt immer gleich klar ist. (.)
260 S02: Ja, okay. (....)
261 S01: Ja. (....)
262 S02: Gut. (..) Ja. (....) Hast du alles gesagt?
263 S01: Ich glaube schon. (..)
264 S02: Gut. (..)Dann stoppe ich jetzt hier die Aufnahme.

F. Transkript Interview 4

Transkribiert mit 1 noScribe Vers. 0.5

2 Audiodatei: C:/Users/Marie/OneDrive/Dokumente/Zoom/2024-09-13 20.35.39 Mein Meeting/Interview4.m4a

3 (Start (hh:mm:ss): 00:00:00 | Qualität: precise | Sprache: de | Sprecher:in erkennen: auto | Überlappende Sprache: 1 | Zeitmarken:

4 0 | Pausen markieren: 1)

5 S01: Studierende/r

6 S02: Interviewerin

7 S02: So, es geht los. Dann frage ich dich jetzt als erstes, ob du bereit bist und ob ich dich aufnehmen darf?

8 S01: Ja, darfst du gerne machen.

9 S02: Okay. Und dann würde ich dir gleich zum Anfang erstmal sagen, worum es überhaupt geht, und dir so ein bisschen

10 veranschaulichen, wie es so aufgebaut ist (.) und was deine Aufgaben sind, und dann (.) gehen wir so nach und nach die Texte

11 durch.

12 S01: Mhm.

13 S02: Als erstes diese allgemeinen Angaben, das würde ich jetzt für dich ausfüllen, äh, deine Studienfächer, du bist auch Q-Master,

14 ne?

15 S01: Genau. Deutsch, Mathe, Sachunterricht.

16 S02: Und im Semester? (.)

17 S01: Vier ist das noch. Okay.

18 S02: Und, hast du dich schon mal mit Messunsicherheiten auseinandergesetzt?

19 S01: Ja. Während des Studiums.

20 S02: Mhm. Und die anderen beiden, Fortbildung, in der Schule?

21 S01: Nee, noch nicht.

22 S02: Alles klar. Gut, dann, ähm, steht hier drüber, lieber Studierende, da würde ich dir jetzt einfach einmal kurz erzählen, was drin

23 steht. (.) Das Ziel meiner Arbeit ist (.) diese Texte, die ich hier geschrieben habe, die sind für Lehrkräfte geschrieben und soll

24 denen sozusagen die Notwendigkeit des Themas der Messunsicherheiten, also die Relevanz für den Unterricht der Klasse 5-6

25 nahebringen, dass sie am Ende daraus gerne eine Unterrichtsstunde machen wollen würden. Die Texte sind also nicht für die

26 Kinder, sondern für die Lehrkräfte geschrieben worden. Und eure Aufgabe ist es jetzt, die Texte nach und nach zu lesen und auf

27 Inhalt und Verständlichkeit zu prüfen. Also, ob alles irgendwie Sinn macht, ob irgendwas unklar ist und mir das rückmelden. (.)

28 Und wichtig dabei ist, ich kann keine Verständnisfragen beantworten, weil es genau eben darum geht.

29 S01: Mhm. (.)

30 S02: Die Grundlage ist das Sachstrukturmodell von Hellwig. Hast du von dem schon mal gehört?

31 S01: Zumindest hab ich's nicht präsent.

32 S02: Nee, alles gut. Und dieses Modell (.) wurde für die Sekundarstufe geschrieben und besteht aus vier Dimensionen. Und

33 diese vier Dimensionen habe ich versucht (.) für die Primarstufe (.) anzupassen und nur das Notwendigste drinnen zu lassen.

34 Und das ist immer so aufgebaut (.) also, allererstens gibt's noch eine Einleitung. Und nach der Einleitung gibt's dann sozusagen

35 immer Texte zu Dimension 1 bis 4. Da siehst du am Anfang jeder Dimension eine Tabelle, in der quasi alles, die Konzepte und

36 der Inhalt der Konzepte, aufgeführt ist. Und was ich gemacht hab, ist im Anschluss daran, das in kurzen Texten aufzuschreiben,

37 die einzelnen Konzepte. Und zu jedem Konzept gibt's dann auch ein Beispiel. Und deine Aufgabe ist dann quasi, so zu lesen,

38 macht das Sinn, ist das einleuchtend? Und gleichzeitig überlegen, ist das Beispiel notwendig? (.) Oder meinst du, den Text könnte

39 man auch so verstehen? (.) Ideal wäre es, du würdest selber auch ein Beispiel finden. Und deine Aufgabe ist, dass du mir am

40 Ende von jeder Dimension quasi immer die Konzepte einmal in eigenen Worten zusammenfasst. Du kannst da aber drauf gucken.

41 Also es geht nur darum, zu gucken, was klar ist und was nicht so klar ist. Und dann kannst du nichts falsch machen, denn es geht

42 ja darum zu gucken, ist es verständlich? Was noch wichtig ist. (.) Diese Tabellen haben so graue Flächen. Die sind da drin, weil

43 das ursprüngliche Modell diese Inhalte da auch alle mit drin hatte. Aber für die Primarstufe haben wir es von vornherein

44 ausgeschlossen. Ist zu anspruchsvoll. Er wird also im Text gar nicht weiter erwähnt. (.) Ja, also uns geht es nur um das, was hell

45 ist und, genau. Als erstes würde ich dich bitten, diese Einleitung zu lesen. Und mir dann einfach einmal kurz zurückzumelden, ob

46 das klar ist, was ich gerne von den Lehrkräften wollen würde. (.) Okay, und wenn du fertig bist, du sollst so viel Zeit haben, wie

47 du brauchst, dann meldest du dich bei mir wieder.

48 S01: Okay, dann machen wir das so.

49 S02: Vielen Dank. (2 Minute[n] Pause)

50 S01: Okay, mit dem Text bin ich durch. (.)

51 S02: Sehr gut. Und würdest du sagen, dir ist klar geworden, worum es gehen wird?

52 S01: Ja.

53 S02: Okay. Und hier unten hast du schon das Modell gesehen. (.) Um diese vier Dimensionen geht es uns jetzt quasi. Und die

54 beziehen sich natürlich aufeinander. Und dann machen wir das jetzt so, dass ich dir die Einleitungen der Dimensionen vorlese,

55 dich frage, ob das soweit klar ist und du dann anschließend die Texte zu den jeweiligen Dimensionen liest. Da ist quasi immer die

56 Tabelle einmal in Textform geschrieben. Und zu jedem gibt es dann immer ein Beispiel. (.) Genau, und wenn du das auf Seite 5,

57 das letzte Beispiel zu Dimension 1, wenn du das gelesen hast, meldest du dich wieder. Und gerne, dass du den Text so ein

58 bisschen abgekoppelt vom Beispiel dir anguckst. Weil das ist wichtig, ob die Beispiele vielleicht auch weggelassen werden

59 könnten. (.) Aber eben immer unter dem Gedanken, dass Lehrkräfte den Inhalt verstehen.

60 S01: Okay.

61 S02: Gut, dann lese ich jetzt vor, worum es in Dimension 1 geht. In der ersten Dimension, in der es primär um das Erkennen der

62 grundsätzlichen Existenz von Messunsicherheiten geht, beinhaltet das Sachstrukturmodell nach Hellwig die Konzepte Ursachen

63 der Messunsicherheiten und Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung. Das Ziel dieser gesamten

64 Dimension liegt insbesondere darin, bereits den Schülerinnen und Schülern der Primarstufe zu vermitteln, dass jede gemessene

65 Größe mit einer Unsicherheit behaftet ist, selbst wenn die Messung mit höchstpräzisen Messinstrumenten besonders sorgfältig

66 durchgeführt wurde. (.) Ist das soweit klar?

67 S01: Ja, das klingt sehr einleuchtend. (.) Okay. (2 Minute[n] Pause) Dimension 1 habe ich gelesen. (.) Die Texte verstehe ich

68 gut. Das erste Beispiel verstehe ich auch gut. Das zweite Beispiel, um die Uhrzeit und mit meiner Müdigkeit, ist anspruchsvoller

69 nachzuvollziehen. Da bräuchte ich jetzt mehr Zeit wohl für. (.)

70 S02: Da bist du nicht allein. (.)

71 S01: Das ist beruhigend. (.....)

72 S02: Okay. Kannst du mir das erste trotzdem in eigenen Worten wiedergeben, worum es im Konzept 1, also um die Ursachen der

73 Messunsicherheit, worum es da geht?

74 S01: Die Ursachen der Messunsicherheit beruhen darauf, dass es verschiedene Variablen gibt, wie beispielsweise

75 Umwelteinflüsse oder dass die verwendeten Messgeräte nicht zuverlässig eingestellt sind, was wir eben nicht beeinflussen

76 können. Respektive, dass der die Messgeräte ablesende Mensch auch einen Unsicherheitsfaktor darstellt und es somit niemals

77 eine exakte Messung geben kann. (.) Und das muss man halt berücksichtigen. Wir hatten das letztens bei meiner Tochter in der

78 Schule. Bei den Bundesjugendspielen. Ich war da zum Messen mit an der Weitsprunganlage. Wie ungerecht die Messungen sind.

79 Verschiedene Lehrkräfte haben den Abdruck der Kinder an verschiedenen Stellen im Sand gemessen und auch der Absprung ist

80 ja mit großen Unsicherheiten behaftet. Da gucken die ja nur drauf, wenn das Kind abspringt und legen dann an irgendeinen Punkt

81 das Maßband an, das finde ich schon echt ungerecht. Da müsste man dann im Ergebnis ja eigentlich eine Messunsicherheit

82 berücksichtigen. (..) Und bei Konzept 2, Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung, dass die

83 Messunsicherheit die Streuung oder die Menge der Streuung von den verschiedenen Messwerten, die wir messen, die halt ja

84 eben ungenau sind, darstellt. Und die Messabweichung, die Differenz ist, wenn, da bin ich jetzt nicht sicher (....) Vielleicht habe

85 ich es auch total falsch verstanden. (.) Nein, dass die Messabweichung, dass ich dafür zwei Werte brauche oder gucke, wie weit

86 diese Werte voneinander entfernt sind und wie weit sie voneinander abweichen. (..) Richtig? (..)

87 S02: Ich muss das jetzt erst mal so stehen lassen.

88 S01: Okay, ach so, stimmt. Entschuldige.

89 S02: Alles gut. (..) Ja, und du hast jetzt gesagt, das erste Beispiel für Konzept 1, hättest du das gebraucht oder hat dir der Text

90 alleine gereicht oder fandest du gut, dass das Beispiel dabei war?

91 S01: Also tatsächlich sind ja in dem Text auch schon Beispiele mit drin versteckt und das fand ich anschaulich genug, aber als

92 bildlichere Darstellung dessen, was gemeint ist, ist es gut, aber es ist nicht 100 Pro nötig.

93 S02: Okay, und beim zweiten Konzept? (..)

94 S01: Beim zweiten Konzept hatte ich Probleme, das Beispiel nachzuvollziehen, weil es deutlich mathematischer ist einfach auch,

95 glaube ich, und um die Uhrzeit bin ich nicht mehr so fit im Kopf. Ich verstehe nicht so richtig, wofür das wichtig sein soll. Vielleicht

96 wäre hier noch mal eine deutlichere Erklärung gut. Aber vielleicht geht es auch nur mir jetzt so. Keine Ahnung.

97 S02: Okay, lassen wir erstmal so stehen, vielleicht wird es im Verlauf klarer. Dann kommen wir zur zweiten Dimension. (..) In der

98 zweiten Dimension des Modells geht es um den Einfluss der Messunsicherheiten auf das Messwesen, also wie

99 Messunsicherheiten die Prozesse des Experimentierens beeinflussen. Dafür sind zwei Konzepte wichtig, Ziel der Messung und

100 Ergebnis der Messung. Ziel dieser Dimension ist es, den Kindern zu vermitteln, dass es nicht den einen wahren Messwert geben

101 kann, den sie perfekt nachmessen können, sondern dass das Ergebnis immer eine gewisse Unsicherheit hat und somit ein

102 Unsicherheitsintervall aufspannt (.) So, auch in dem Originalmodell gibt es nicht mehr Konzepte. Also wir haben tatsächlich immer

103 alles aufgeführt von dem Original, aber wie du siehst, wird da schon ein bisschen was weggelassen. (..) Ist klar geworden, worum

104 es hier geht?

105 S01: Ja, finde ich schon. Es geht darum, dass Messunsicherheiten einen Einfluss haben auf das Messwesen, und dass sie also

106 das Experimentieren beeinflussen. (..) Okay, dann lese ich mir jetzt die Konzepte durch. (3 Minute[n] Pause) Okay, also hier geht

107 es dann darum, wie sich das Wissen um die Messunsicherheiten darauf auswirkt, wie Kinder Sachen messen. Also erst mal

108 müssen sie wissen, dass es diese Messunsicherheiten gibt, um dann berücksichtigen zu können, was für eine Messunsicherheit

109 ist für mich relevant oder nicht relevant. Also es war ja jetzt auch schon in der Erklärung dieses ganz anschauliche Beispiel, ob

110 ein Schrank beim Umzug durch die Tür passt, dass man da nicht millimetergenau messen muss, sondern dass eine Abweichung

111 von ein paar Millimetern, vielleicht auch Zentimetern vollkommen ausreichend ist. Also dass sie, wenn Kinder sich das erarbeiten,

112 das Ziel ihrer Messung und die Genauigkeit im Auge haben müssen, während man, was weiß ich, bei Feintechnik wahrscheinlich

113 im Nanometer-Bereich Messunsicherheiten abfangen können muss. (..) Im Unterricht könnte man das vielleicht mit zwei

114 verschiedenen schweren Briefen zeigen. Die einmal auf eine normale Badezimmerwaage legen und vermutlich gar nichts angezeigt

115 bekommen und dann mit einer Briefwaage wiegen und da dann sehen, dass auf den einen Brief eine andere Briefmarke müsste

116 als auf den anderen. (.) Oder so. (..) Das ist das erste Konzept und das zweite, das Ergebnis der Messung, ja ich bin nicht mehr

117 ganz so fit und konzentriert, (..) dass das letztendliche Messergebnis eben immer nur die Zusammenfassung aller vorher

118 erhobenen Werte ist und dass es dazu eine Dokumentation bedarf, die die Kinder herstellen können wollen, damit der

119 Forschungsprozess transparent ist und das Experiment und die Messung replizierbar sind. (....) Genau, du hast in den Texten mit

120 Beispielen gearbeitet, die das gut anschaulich machen, die hilfreich sind. Ohne die wäre es deutlich anspruchsvoller gewesen,

121 das zu verstehen. (.....) Bei dem ersten finde ich das Beispiel aber auch sehr anschaulich, also dass es eben reicht, ein Geodreieck

122 oder ein langes Lineal zu nehmen und man nicht unbedingt ein Lasermessgerät braucht. (....) Genau und das mit dem Protokoll

123 finde ich, wenn man eine Klasse, wenn man eh eine Nawi-Klasse vor Augen hat und wie man Experimente mit denen aufbaut,

124 dann ist das nice to have, aber man würde es auch sehr gut ohne verstehen. (....)

125 S02: Alright, dann machen wir weiter. (..) Dann kommt Dimension 3, die Erfassung von Messunsicherheiten. Die Tabelle ist groß

126 und es geht aber nur um Konzept 1, wie man überhaupt Messunsicherheiten erfassen kann. (.) Los geht's. (.) In der dritten

127 Dimension des Modells geht es um die Erfassung von Messunsicherheiten, sie enthält die mathematischen Methoden, um

128 Messunsicherheiten ermitteln zu können. Die Dimension enthält die Konzepte Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei

129 direkter Messung, Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten und Erweiterte Messunsicherheit. Für

130 die Primarstufe relevant ist nur das erste Konzept, da es erklärt, dass Messunsicherheiten auf verschiedene Weise erhoben

131 werden können. Ziel dieser Dimension ist es, die Messunsicherheiten quantifizieren zu können und damit eine Aussage über die

132 Qualität der Messung machen zu können. (.) Da gibt es zwei Beispiele für die beiden Methoden und ich würde die dich jetzt

133 wieder lesen lassen. Ach so, ist der Inhalt dieser Dimension soweit klar geworden?

134 S01: Puh, (.) Ja. (..) Ich glaube, dass die beiden Konzepte, die nicht wichtig sind, das unnötig verkomplizieren (.) Aber ich verstehe

135 den Aspekt, dass das vollständig sein soll. (..) Naja, also es geht jetzt darum, Messunsicherheiten, wie die jetzt berechnet werden

136 sollen. (.) Okay, dann lese ich jetzt. (4 Minute[n] Pause) Also, hier ist das zweite Beispiel total sinnvoll. Das fand ich schwieriger.

137 Also hier geht es darum zu gucken, wie wir überhaupt an die Messunsicherheiten kommen. Da gibt es die Methode A, wir haben

138 eine Streuung und gucken, wie ist der Abstand zwischen dem Mittelwert bis zu den beiden Extremwerten und nehmen das. (.)

139 Und es gibt die Methode B, wenn man das Experiment nicht mehrmals wiederholen kann, sondern nur einen Messwert hat, um

140 dann abschätzen zu können, wie genau oder wie hoch die Messunsicherheit ist. (..) Und dass man dann eben aus der

141 theoretischen Perspektive überlegt, an welchen Stellen können Messunsicherheiten auftreten und wie groß sind die. Da fand ich

142 aber das Beispiel total hilfreich. Ich fand das am Anfang ein bisschen zu abstrakt in der Erklärung. Und ich fand es dann hilfreich,

143 nochmal zu lesen, es kommt auf die Reaktionszeit an oder auf die Ableseunsicherheiten, die Unwirksamkeiten des Geräts. Weil

144 das auch alles Größen sind, die ich jetzt so nicht im Kopf habe. (..) Dadurch ist es dann einfach ein bisschen abstrakt und das
145 bringt es auf eine konkretere, nachvollziehbarere Ebene. (....)

146 S02: Ok. Kannst du eigene Beispiele nennen?

147 S01: Hm. (20 Sekunden Pause). Super schwierig, weil ich kann nicht mehr richtig denken (..) Naja, Ermittlungsmethode A sind ja
148 (.) mehrere Messungen, woraus man dann den Mittelwert berechnet. (.) Man könnte die Kinder also einfach was ausmessen
149 lassen? Einen Tisch im Klassenraum. Oder die Größe eines Kindes oder so. (.) Und für Ermittlungsmethode B (.) Da gibt's nur
150 eine Messung. Und man muss auf verschiedene Messunsicherheiten zurückgreifen, (.) von Messgeräten zum Beispiel. Oder wie
151 du meinst. (.) Die Reaktionszeit berücksichtigen. Und die addiert, ergeben dann die Messunsicherheit für die eine Messung. (..)
152 Dimension 4 jetzt?

153 S02: Ja, auf jeden Fall. (.) Genau, da geht es jetzt nämlich um die Aussagekraft und auch hier ist viel weggelassen. In der vierten
154 Dimension des Modells geht es darum, wie anhand von Messunsicherheiten Aussagen über das Messergebnis selbst und
155 bezüglich der mit der Messung verbundenen Fragestellung getroffen werden können. Die Dimension beinhaltet die Konzepte
156 Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses, Vergleich von Messwerten und Regression. Für den Primarbereich ist nur
157 das zweite Konzept relevant, da im Rahmen dieses Konzeptes die Schülerinnen und Schüler lernen, einen Vergleich von
158 Messwerten durchführen zu können. (.) Ist das verständlich?

159 S01: Ja. (..) Okay, bis gleich. (3 Minute[n] Pause) In dieser Dimension geht es darum, über den Vergleich von Messwerten
160 herauszufinden, ob verschiedene Messwerte miteinander kompatibel sind und deren Unsicherheitsbereiche. (...) Finde ich auch
161 ohne das Beispiel ganz gut nachvollziehbar, aber es hilft das Ganze nochmal ein bisschen bildlicher vor Augen zu haben. (..) Ich
162 fand in der Erklärung ganz gut unten das mit den Wassertropfen, dass sie da eben viel Zeit haben, verschiedene Daten zu
163 sammeln und die dann miteinander in Beziehung setzen zu können. (..) Das hat das ganz anschaulich gemacht. (....) Genau. (..)
164 und ein eigenes Beispiel (..) hm, ich muss kurz überlegen. (25 Sekunden Pause) also, du führst hier das Beispiel mit dem
165 Klettergerüst auf. (..) Die Messunsicherheit beträgt 4 Meter (.) ist mir gerade gar nicht klar, wo die jetzt herkommen. Gut, die sind
166 wahrscheinlich beliebig, wahrscheinlich einfach eine gewählte Zahl für das Beispiel. (..) Also, ich verstehe den Aspekt, dass du
167 hier auf die Intervalle hinaus willst, die sich überschneiden, aber vielleicht tut es auch eine kleinere Messunsicherheit (.) Sowas,
168 wie 1 Meter reicht doch, oder? Ich kann mir irgendwie schwer so eine Situation vorstellen, naja. (...) Ja, oder man sagt, die Kinder
169 schätzen das Klettergerüst. Oder? Aber du hast ja geschrieben, zwei Kinder haben das Klettergerüst ausgemessen. Man könnte
170 dann die Unsicherheiten fürs Verständnis vielleicht angeben. Wie die zustande kommen. (.) Verstehst du? Das ist ja fiktiv, aber
171 es würde das verständlicher machen, glaube ich.

172 S02: Ja. Okay. Dann muss ich da noch mal drüber nachdenken. (..) Gut. (..) Dann siehst du jetzt auf der letzten Seite nochmal
173 eine Zusammenfassung vom Ganzen. (.) Das ist quasi dieses Modell jetzt nur für die Primarstufe und alles Graue ist raus. Da
174 würde ich dich jetzt einfach nochmal kurz bitten, wenn du dir das jetzt so anguckst, würdest du sagen, alles ist notwendig, um das
175 Thema für Lehrkräfte verständlich zu machen, also darum geht es ja eigentlich, um die Relevanz des Themas, dass die Lehrkräfte
176 das erkennen, weil die würden genau die gleichen Texte kriegen. Auch, so war es ursprünglich geplant, Dimension für Dimension
177 durchgehen und sollen danach eben entscheiden, ja, finde ich notwendig oder ach, brauchen wir ja sowieso nicht. (..) Und wenn
178 du dir die abgespeckte Version jetzt so anguckst, nochmal überlegen. Würdest du, findest du irgendwie, dass es noch zu viel ist
179 oder vielleicht sogar zu wenig Beispiele oder hast ja eigentlich schon gesagt, ein paar Beispiele könnte man bei dir sogar
180 weglassen. (...) Irgendwie, ja, ob dir da noch irgendwas zu einfällt, was du noch sagen willst.

181 S01: Also tatsächlich habe ich ja gerade in Nawi eine fünfte Klasse, wo wir gerade von den Sinnen zum Messen machen,
182 deswegen ist es für mich gerade gar nicht so uninteressant zu lesen. (.) Und ich denke, ich werde mal gucken, wenn ich die
183 Unterrichtszeit plane, an welcher Stelle ich das tatsächlich mit einbringen kann, weil ich das ziemlich wichtig und relevant finde.
184 (....) Ich glaube, wenn ich es jetzt nur anhand der Tabelle und unter dem Aspekt, ich plane jetzt selber meinen Unterricht und
185 stimme den darauf ab, sehe, dann ist es schon nachvollziehbar. Aber es ist halt, glaube ich, relativ viel Arbeit, das so auf dem
186 Schirm zu haben und dann in Aufgaben umzusetzen. (...) Aber wichtig finde ich trotzdem die ganzen Konzepte. (.) Also es wäre
187 wünschenswert, wenn die Kinder das am Ende verstehen würden und dann gut vorbereitet in den Unterricht der Sekundarstufe
188 gehen. (..) Was mir helfen würde, ein Zusammenspiel zwischen den Texten und der Tabelle, immer auch unter dem, dass ich
189 gerade echt müde bin und nicht mehr so konzentriert bin und das Arbeitsgedächtnis ist leer, (..) wäre, wenn quasi an der rechten
190 Seite nochmal eine kurze Spalte wäre bei manchen Sachen, die mir nochmal genau in den Kopf rufen würden, was war jetzt
191 nochmal Messabweichung, was war nochmal Messunsicherheit. Mit so einem ganz kurzen Beispiel, dass man es, wenn man sich
192 die Tabelle anguckt, nochmal ganz schnell in Erinnerung rufen kann, nachdem man die Texte gelesen hat.

193 S02: Also quasi hier bei der Zusammenfassung einfach am Rand nochmal so eine Spalte...

194 S01: Genau, einfach nur, ja. Weil es sind ja tatsächlich Sachen, also Ermittlungsmethode A, Ermittlungsmethode B, müsste man
195 dann nochmal im Text nachsehen und das kostet ja dann auch wieder Zeit. Und das wird wohl nicht mehr Zeit, habe ich den
196 Eindruck. Genau, also wenn du jetzt fragst, was würde vielleicht noch eine Entlastung geben, wenn man Unterricht damit oder
197 danach planen würde.

198 S02: Ja, sehr gut. (...)

199 S01: Genau, das wären so meine Gedanken dazu. (..)

200 S02: Perfekt, dann können wir das genauso stehen lassen. Vielen Dank.

G. Transkript Interview 5

1 Transkribiert mit 1 noScribe Vers. 0.5

2 Audiodatei: C:/Users/Marie/OneDrive/Dokumente/Zoom/2024-09-19 09.37.56 Mein Meeting/audio2086568693.m4a

3 (Start (hh:mm:ss): 00:00:00 | Qualität: precise | Sprache: de | Sprecher:in erkennen: auto | Überlappende Sprache: 1 | Zeitmarken:

4 0 | Pausen markieren: 1)

5 S01: Alles klar. Okay, gut. Dann würde ich dich zuerst fragen, ob du bereit bist, dass ich dich aufnehmen darf...

6 S02: Ja.

7 S01: Gut. Und dann würde ich zunächst... Hast du die schon offen die Texte? (.) Supi. Dann würde ich dich einmal diese

8 allgemeinen Angaben zuerst fragen. Du bist auch Q-Master, richtig?

9 S02: Ja. (.)

10 S01: Und studierst die üblichen drei Fächer, oder?

11 S02: Genau.

12 S01: Ja, okay. Und im Semester? (...)

13 S02: Ach, kommt drauf an. Fachsemester?

14 S01: Ja. (..)

15 S02: Ich glaube, also ich habe ja viel Teilzeit studiert, deswegen wäre ich jetzt wirklich im, also wenn man es teilzeitmäßig rechnet,

16 bin ich im vierten Semester. Also es ist mein fünftes Studiensemester im Master, aber mein viertes Fachsemester.

17 S01: Okay, Supi, das reicht. Und hast du dich schon mal mit Messunsicherheiten im Studium auseinandergesetzt?

18 S02: Ja..

19 S01: Und bei Fortbildungen oder im eigenen Unterricht? (...)

20 S02: Fortbildung nicht, habe ich noch nie gemacht. Im eigenen Unterricht, (..) überlege ich gerade, (.) ich glaube, nein.

21 S01: Okay, gut. (.) Dann würde ich dir jetzt einmal ganz kurz sagen, worum es geht. Nämlich, dass ich Texte geschrieben habe

22 für Lehrkräfte. Die sollen daraus die Notwendigkeit der Thematisierung von Messunsicherheiten erkennen. (.) Und mit euch

23 Lehramtsstudierenden möchte ich diese Texte auf Inhalt und Verständlichkeit validieren. Also ihr sollt quasi prüfen, ob ihr die Texte

24 so versteht und glaubt, dass man das an Lehrkräfte so weitergeben kann. Oder ob ihr glaubt, das ist noch zu viel Inhalt oder, ja,

25 genau, ob es verständlich ist. (..) Die Texte sind geschrieben auf Grundlage eines Modells, das aus vier Dimensionen besteht.

26 Und so ist das jetzt auch aufgebaut. Du liest quasi gleich immer eine Dimension. (..) Darin gibt es verschiedene Konzepte. Und

27 du würdest mir dann im Anschluss immer rückmelden, ob du die verstanden hast oder nicht verstanden hast, indem du mir

28 zusammenfasst, was du gelesen hast. Wichtig ist, dass die Texte für Lehrkräfte geschrieben wurden, nicht für Kinder.

29 S02: Okay.

30 S01: Okay? Und ganz toll wäre, wenn du immer ein eigenes Beispiel findest. Da sind Beispiele am Ende jedes Konzepts, um es

31 verständlicher zu machen. Da wäre es super, dass du immer guckst, hättest du den Text so verstanden oder war das Beispiel gut

32 oder war es verwirrend, irgendwie so, dass du das überlegst. Und ja, wenn du ein eigenes Beispiel für die Dimension finden

33 könntest, wäre das ganz toll. (..) Okay. Und das ist so aufgebaut, dass die Dimension oben immer eine kleine Tabelle hat. Und da

34 sind grau hinterlegte Bereiche, die sind nicht relevant für die Primarstufe. Also dieses Modell wurde ursprünglich für die

35 Sekundarstufe geschrieben und wir haben es jetzt versucht, für die Primarstufe, also Klassenstufe 5, 6 so anzupassen, dass alles

36 Wichtige drin ist, aber alles Unnötige nicht erwähnt werden muss. Also es geht nur um die weißen Bereiche. Und als erstes geht

37 es jetzt gleich los mit einer Einleitung, warum ich das überhaupt wichtig finde, dass man dieses Thema in der Primarstufe schon

38 thematisiert. Und da würde ich dich bitten, dass du das einfach schon einmal durchliest und mir kurz rückmeldest, ob dir die

39 Relevanz und alles, so einleuchten würde. Okay. Und du lässt dir so viel Zeit, wie du brauchst. (.) Achso, ich muss auch noch

40 sagen, ich darf keine Verständnisfragen beantworten. Also wenn du irgendwas nicht verstehst, ist das wichtig für uns. (..) Und

41 melde das auf jeden Fall zurück und sonst, genau, was immer du verstehst, gerne in eigenen Worten zusammenfassen. Ja, und

42 dann würdest du jetzt erst mal nur diese Einleitung lesen, auf Seite 2. (.) Ich lasse dir so viel Zeit, wie du brauchst. (2 Minute[n]

43 Pause)

44 S02: Ja, habe ich gelesen. (.)

45 S01: Sehr gut.

46 S02: Soll ich zusammenfassen?

47 S01: Ja, wäre super. Also einfach nur kurz, ob es klar und was klar war.

48 S02: Also ich finde das erst mal verständlich und auch einleuchtend, dass das ein wichtiges Thema ist. Ihr habt ja da auch schon

49 erwähnt, dass das Vergleichen von Messwerten schon Teil des Berliner Rahmenlehrplans oder Berlin-Brandenburger

50 Rahmenlehrplans ist. (.) Und dass beim Vergleichen von Messwerten Messunsicherheiten eigentlich schon ein wichtiger Punkt

51 sind, weil man Daten halt nur dann wirklich vergleichen kann, wenn einem klar ist, welche Messunsicherheiten bei der

52 Datenerhebung, welche es da gab, um die Qualität von dem Experiment einschätzen zu können. Und dass euch quasi ganz

53 wichtig ist, dass wenn SchülerInnen schon in Kontakt kommen mit Messdaten, dass sie dann im Sinne dieses wissenschaftlichen

54 Arbeitens auch verstehen, (.) wie man diese Daten eigentlich gut einschätzen kann und dass dafür halt diese Messunsicherheiten

55 ganz wichtig sind und eben die Fähigkeit, die einschätzen und berechnen zu können. (.) Und genau, ich glaube, ihr habt das ja

56 auch als Fähigkeit der 21st Century Skills eingeordnet. (..) Und das ist eben fürs wissenschaftliche Arbeiten und Denken ganz

57 elementar.

58 S01: Sehr gut, danke. Und hier unten siehst du dieses Modell, diese vier Dimensionen, von denen ich schon gesprochen habe,

59 ganz kurz aufgeführt. (.) Und die werden jetzt quasi so nach und nach abgearbeitet. (.) Und wenn du dann auf Seite drei guckst,

60 die Dimension eins, da ist die Tabelle. Es geht nur um die weißen Felder. Die anderen sind der Vollständigkeit drin, aber sind nicht

61 relevant für die Primarstufe. (.) Und ich habe jetzt quasi immer einen kurzen Text als Einleitung geschrieben, worum es eigentlich

62 geht. Und danach kommen die Konzepte, um die es dann jeweils geht. In dieser Dimension gibt es zwei Konzepte. Und dahinter

63 sind dann immer die Inhalte der Konzepte in Textform geschrieben. Und ich habe dann immer noch ein Beispiel dazu gemacht.

64 Und genau, dass du das so ein bisschen voneinander getrennt guckst. (.) Ich würde dir jetzt diesen ersten Abschnitt immer einmal

65 kurz vorlesen. (.) In der ersten Dimension, in der es primär um das Erkennen der grundsätzlichen Existenz von

66 Messunsicherheiten geht, beinhaltet das Sachstrukturmodell nach Hellwig die Konzepte Ursachen der Messunsicherheiten und

67 Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung. Das Ziel dieser gesamten Dimension liegt insbesondere darin,

68 bereits den Schülerinnen und Schülern der Primarstufe zu vermitteln, dass jede gemessene Größe mit einer Unsicherheit behaftet

69 ist, selbst wenn die Messung mit höchstpräzisen Messinstrumenten besonders sorgfältig durchgeführt wurde. (.) Ist das soweit

70 klar?

71 S02: Ja. Ich lese jetzt beide Konzepte der Dimension 1, ja?

72 S01: Genau, und dann beides in eigenen Worten wiedergeben. Und wenn du ein eigenes Beispiel findest, wäre das super. (.)

73 Okay, danke. (4 Minute[n] Pause)

74 S02: Ja, habe ich gelesen. (.) Habe ich auch, glaube ich, grundsätzlich verstanden. (.....) Genau, also hier geht es ja darum, im Unterricht oder bei dieser Dimension geht es eben darum, dass SchülerInnen verstehen, dass es Messunsicherheiten gibt. Und dass man mit ihnen Experimente durchführt, wo das für sie deutlich wird, warum es die gibt. Und dass man das dann thematisiert im Unterricht. (...) Tatsächlich das erste Beispiel, das mir in den Sinn kam, als ich die Beschreibung von Konzept 1 gelesen habe, 78 war das Beispiel, das ihr dann genommen habt. (...) Deswegen, ja, ich weiß nicht, ob ich da jetzt noch ein gutes Alternativbeispiel 79 habe. Aber woran ich gerade noch gedacht habe, war, dass natürlich auch so eine Mischung aus Geschichte und Physik, dass 80 man halt auch Messinstrumente, geschichtliche Messinstrumente thematisiert, wie zum Beispiel die Elle oder so was, dass das 81 ja tatsächlich ein variables Maß ist, was völlig vom Menschen abhängt. (.) Aber ansonsten, ich weiß nicht, soll ich das Beispiel 82 jetzt nochmal wiederholen? (..)

83 S01: Ja, auf jeden Fall das Konzept, dass du sagen könntest, was da drin stand.

84 S02: Dass halt Kinder die Zeit stoppen, wenn gelaufen wird. Und dass halt verschiedene Messunsicherheiten auf dem Weg zur 85 Messung liegen, wie zum Beispiel, wenn das Signal gegeben wird zum Loslaufen, dass es dann eine Reaktionszeit gibt. Aber 86 auch beim Abmessen der Strecke, dass es da zu Ungenauigkeiten kommt. (.) Dann die Reaktionszeit auch für die Stoppuhr. (..)

87 Als letztes habt ihr dann nochmal Umwelteinflüsse wie Temperaturen und elektromagnetische Strahlung. Das fand ich jetzt erstmal 88 im Beispiel an sich nicht nachvollziehbar. Also das steht da und spielt bestimmt irgendwie irgendwo auch eine Rolle. (.) Aber wäre 89 mir jetzt nicht klar, wie ich das zum Beispiel im Unterricht thematisieren könnte, dass das für Kinder nachvollziehbar wäre. (..)

90 Genau, dann Konzept 2 fand ich jetzt deutlich abstrakter. Also da war jetzt für mich ein krasser Sprung von, also ich glaube, den 91 ersten Teil, den kann man gut nachvollziehen. (.) Als Lehrkraft, die jetzt vielleicht auch nicht Physik im Studium hatte. (.) Und beim 92 zweiten Teil musste ich mich echt zwingen, nicht auszusteigen. (..) Weil einfach mit sehr vielen Zahlenwerten schon gleich so 93 rumgeschmissen wird. Und ich finde, es ist von der Erklärung sehr abstrakt. Ich habe das jetzt schon so mehr oder weniger, ich 94 habe schon verstanden, was eine Messabweichung ist. (.....) Aber ja, erst, wenn ich mir dann wirklich das Beispiel auch zweimal 95 durchlese und der kurze Erklärtext hat mir Messabweichung nicht verständlich erklärt. Genau, aber weil (.) Referenzwert war, 96 glaube ich, tatsächlich so ein bisschen der Punkt, der für mich so schwammig geblieben ist in der Erklärung zuerst. Also was ist 97 denn ein Referenzwert? Genau, und jetzt habe ich das hier mit der Fallgeschwindigkeit. Das war dann für mich klar, dass es quasi 98 eine, die Referenz gibt, das ist die Fallgeschwindigkeit in Deutschland, (..) auf die man sich mit nach vielen Messungen 99 wahrscheinlich irgendwie geeinigt hat oder ausgerechnet hat. Und wenn ich selber eine Messung mache und die weicht ab von 100 diesem Referenzwert, dann ist halt die Differenz zwischen diesen beiden Werten ist halt meine Messabweichung. (...) Und wenn 101 ich, keine Ahnung, das aber 20 Mal messe, Durchschnittswerte davon errechne, dann kann ich quasi meine Messunsicherheit 102 errechnen, die ich bei meinen eigenen Messungen habe. Genau, das wäre meine Zusammenfassung. (..)

103 S01: Super, gut. (..) Ja, dann gehen wir zur zweiten Dimension, machen es genau so. Es gibt wieder zwei Konzepte. Wieder ist 104 ein bisschen was weggelassen und wir lesen zusammen die Einleitung und du dann die Konzepte. In der zweiten Dimension 105 des Modells geht es um den Einfluss der Messunsicherheiten auf das Messwesen, also wie Messunsicherheiten die Prozesse 106 des Experimentierens beeinflussen. Dafür sind zwei Konzepte wichtig, Ziel der Messung und Ergebnis der Messung. Ziel dieser 107 Dimension ist es, den Kindern zu vermitteln, dass es nicht den einen wahren Messwert geben kann, den sie perfekt nachmessen 108 können, sondern dass das Ergebnis immer eine gewisse Unsicherheit hat und somit ein Unsicherheitsintervall aufspannt. Macht 109 das Sinn für dich soweit?

110 S02: Ja. (2 Minute[n] Pause) Ja, habe ich gelesen, habe ich verstanden. (...) Gut, also bei der zweiten Dimension geht es darum, 111 dass Kinder verstehen, dass es quasi nicht diesen einen wahren Messwert geben kann, sondern dass es immer eine gewisse 112 Messunsicherheit gibt. (..) Und dann geht es einmal darum, Konzept Ziel der Messung, dass den Kindern klar wird, (.) also eben 113 natürlich, dass jedes Messinstrument ein Limit hat und nur eine bestimmte Genauigkeit erreichen kann. Und dass es wichtig ist, 114 je nachdem welches Ziel die Messung hat, eben das entsprechende Messgerät auszuwählen. (..) Also wenn man dann zum 115 Beispiel diesen Klassenraum ausmisst, reicht ein Geodreieck oder reicht vielleicht ein Tafellineal oder als nächstes habt ihr ja das 116 Lasermessgerät, was auf Millimeter genau misst. Was ist da also das, ja, für die Genauigkeit, die ich brauche, mein passendes 117 Gerät? Das Beispiel mit der Tür fand ich auch ganz gut, mit dem Schrank durch die Tür. Da musst du ja wirklich nicht auf Millimeter 118 in der Regel genau messen und da reicht es einfach ja auch, (.) Wahrscheinlich. Wenn man das gleiche Messgerät verwendet. 119 (...) So, dann beim Ergebnis der Messung, das ist das zweite Konzept. (.....) Da, genau, habt ihr dann nochmal geschrieben, dass 120 dann der Mittelwert erhoben wird und dass dann die Abweichung vom Maximalwert, dass das dann halt eben die Messunsicherheit 121 ergibt. (...) Und dass es für die Kinder halt hilfreich ist, da reinzukommen, indem sie ihr Experiment dokumentieren, (.) damit es 122 auch nochmal im weiteren Verlauf nochmal durchgeführt werden kann. Das heißt, sie sollen ihre Forscherfrage herausfinden am 123 Anfang, vermuten, was die Antwort sein könnte, Planung genau dokumentieren, die Durchführung dokumentieren, auswerten und 124 interpretieren und reflektieren. (.) Genau, wie jetzt dann Messwerte aufgenommen werden, da habt ihr jetzt nichts zu geschrieben. 125 (....)

126 S01: Das stimmt. Fallen dir zu eins oder zwei noch ein eigenes Beispiel ein oder nicht? (11 Sekunden Pause)

127 S02: Ja, also bei eins würde mir jetzt zum Beispiel dieses elektronische Fieberthermometer einfallen, mit dem man im Ohr misst. 128 Die sind ja auch relativ ungenau. Was ich gut an denen finde, ist, du kannst sehr einfach irgendwie fünf, sechs, sieben, acht Werte 129 nehmen und so messe ich dann bei meinen Kindern nämlich auch Fieber. Und dann gucke ich, was ist so der Durchschnittswert 130 und dann kann ich einschätzen, ah ja, geht Richtung Fieber oder eher nicht. (..) Das finde ich ganz interessant, weil da wirklich 131 jede Messung eigentlich um 0,2, 0,3 Grad mindestens immer sich unterscheidet. Das hängt sehr davon ab, wie man es reinhält 132 und so. (...) Um so Fieber einschätzen zu können, braucht man jetzt ja nicht eine ganz genaue Temperatur, sondern da reicht ja 133 auch eine Tendenz, zum Beispiel. (..) Genau, beim Beispiel, ihr habt da ja jetzt ein Protokoll einfach reingemacht, woran ich jetzt 134 nochmal gedacht habe, auch in Bezug auf das Fieberthermometer, wäre quasi eine Tabelle, wo man dann wirklich Messwerte 135 eintragen kann. Also wo man auch sagt, es braucht eigentlich zehn Messwerte meinetwegen, (.) um überhaupt einen vernünftigen 136 Wert errechnen zu können.

137 S01: Ja, sehr gut. Okay. Ja, alles gesagt? Gut, dann kommen wir zur Dimension 3 schon. Da ist eine riesige Tabelle und es ist 138 aber fast alles grau. Also es geht tatsächlich nur um das erste Konzept und das ist auch nur aufgeführt. (.) Ok, ich lese vor. In der 139 dritten Dimension des Modells geht es um die Erfassung von Messunsicherheiten, sie enthält die mathematischen Methoden, 140 um Messunsicherheiten ermitteln zu können. Die Dimension enthält die Konzepte Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei 141 direkter Messung, Zusammensetzung der Messunsicherheit aus mehreren Komponenten und Erweiterte Messunsicherheit. Für 142 die Primarstufe relevant ist nur das erste Konzept, da es erklärt, dass Messunsicherheiten auf verschiedene Weise erhoben 143 werden können. Ziel dieser Dimension ist es, die Messunsicherheiten quantifizieren zu können und damit eine Aussage über die

144 Qualität der Messung machen zu können. (...) Und genau, ich würde dich jetzt wieder bitten, es gibt für beide Ermittlungsmethoden
145 ein Beispiel. Genau, wie eben. Ja? (3min Pause)
146 S02: Ja, habe ich gelesen. Habe ich auch verstanden. (.)
147 S01: Sehr gut.
148 S02: So, also es geht wieder um die Erfassung von Messunsicherheiten. Es werden zwei Methoden vorgestellt, A und B.
149 Ermittlungsmethode A ist, dass man verschiedene Messungen gemacht hat und dass man dann einen Mittelwert errechnet, der
150 dann quasi den Ergebniswert darstellt und dass man die Abweichung von diesem Mittelwert, dass man sich dann den höchsten
151 und niedrigsten Wert anguckt und dadurch dann die Messunsicherheit errechnen kann, also die Abweichung von diesem
152 Mittelwert. (...) Und dadurch kann man eine Art Unsicherheitsintervall bestimmen und kann quasi sagen, das ist jetzt in diesem
153 Fall 7,44 Sekunden bis 8,45 Sekunden, dass innerhalb dieses Bereichs mit hoher Wahrscheinlichkeit der echte Wert liegt. (...) So,
154 das wäre das Beispiel. (.) Genau, ich kann hier einfach nochmal auf das Fieberthermometer als Beispiel verweisen. Da wäre das
155 eben das Gleiche. Man würde zehnmal messen, würde einen Mittelwert errechnen, hätte eine höchste und niedrigste Messung
156 und die Temperatur, die wahrscheinlich wirklich ist, wird irgendwo in diesem Unsicherheitsintervall liegen. Beispiel B ist, ich kann
157 nur eine Messung machen und muss mir anhand der Informationen, die mir vorliegen, quasi diesen Unsicherheitsintervall
158 bestimmen und kann das nicht anhand von mehreren Messungen machen. Das wäre jetzt in diesem Fall, auch wenn man diesen
159 Wettlauf nochmal sieht, dass man eben diese menschliche Reaktionszeit hat, Ungenauigkeit des Gerätes, (.) die optische
160 Ungenauigkeit, wann das Kind über die Ziellinie läuft. Und in diesem Beispiel wird dann ein 1,11 Sekunden errechnet als
161 Messunsicherheit und dadurch liegt der Unsicherheitsintervall deutlich größer und liegt bei 6,4 bis 8,6 Sekunden. (...) Also das
162 sind dann diese 1,11 Sekunden oberhalb und unterhalb des gemessenen Wertes. Ja, auch Beispiel Fieberthermometer, ich kann
163 aus irgendeinem Grund nur eine Messung machen. Ich glaube, bei digitalen Geräten ist es so, dass man sagt, eine Einheit, also
164 das heißt ein Grad plus minus, würde man sagen, weil es einfach nur eine digitale Messung ist. (.) Das ist, glaube ich, ungefähr
165 die Regel. (...)
166 S01: Sehr gut. Du bist super schnell. Alles gut zusammengefasst. Dann sind wir schon bei der letzten Dimension, der
167 Aussagekraft. (...) Da geht es dann schlussendlich nur um das zweite, Vergleich von Messwerten. (.) In der vierten Dimension
168 des Modells geht es darum, wie anhand von Messunsicherheiten Aussagen über das Messergebnis selbst und bezüglich der mit
169 der Messung verbundenen Fragestellung getroffen werden können. Die Dimension beinhaltet die Konzepte Verlässlichkeit der
170 Messung und ihres Ergebnisses, Vergleich von Messwerten und Regression. Für den Primärbereich ist nur das zweite Konzept
171 relevant, da im Rahmen dieses Konzeptes die Schülerinnen und Schüler lernen, einen Vergleich von Messwerten durchführen zu
172 können.
173 S02: Ah ja, okay. (2 Minute[n] Pause). Hab ich auch verstanden. (.)
174 S01: Sehr gut. (...)
175 S02: Genau, hier geht es dann um Vergleichen von Messwerten (.) und dass Kinder (.) Messergebnisse in Beziehung zu einem
176 Referenzwert setzen können. Dass sie unterschiedliche Messwerte interpretieren können, dass sie verstehen, dass auch
177 unterschiedliche Messwerte nicht zwangsläufig unverträglich sind. (...) Dass sie aber eben auch erkennen, wann es sich um einen
178 Ausreißer handelt, der eben nicht verträglich wäre. (...) Eine Möglichkeit sich damit auseinanderzusetzen ist anscheinend, sehr
179 große Datensätze oder möglichst große Datensätze zu erheben und damit auch Ausreißer geringere Einflüsse haben. Ihr habt
180 jetzt ein Beispiel gebracht, wo zwei Kinder ein Klettergerüst ausmessen. Ein Kind misst 10, das andere 16 Meter. (.) Ihr habt dann
181 eine Messunsicherheit von vier Metern (.) zugestanden und damit gesagt, die überschneiden sich quasi. Die Ergebnisse der
182 Unsicherheitsintervalle sind groß genug, also sind die beiden Messungen verträglich. (.) Das habe ich so verstanden. Für mich
183 ist tatsächlich jetzt als Frage aufgekommen, woher kommen denn diese vier Meter? Das wäre für mich auch wirklich eine Frage
184 im Unterricht. (...) Ab wann ist das denn ein Ausreißer? Weil ich glaube auch, als wir jetzt vorher quasi das Unsicherheitsintervall
185 berechnet haben, haben wir einfach den höchsten und den niedrigsten Wert ins Verhältnis zum Mittelwert gesetzt. (...) Und damit
186 sind ja, außer ich vertue mich jetzt gerade, irgendwie alle Werte automatisch drin, oder? (.) Wenn ich gleich den höchsten und
187 den niedrigsten Wert nehme. Deswegen wäre für mich tatsächlich so eine Frage, wie komme ich denn zu einem objektiven
188 Unsicherheitsintervall, wodurch klar wird, wann Messwerte Ausreißer sind. (.) Oder sage ich zum Beispiel, ich gucke mir meine
189 Werte an und ich schmeiße sowieso erstmal die ein, zwei höchsten und die ein, zwei niedrigsten raus. (.) Wäre das zum Beispiel
190 eine Erklärung? Wenn ich jetzt, sind wir wieder beim Fieberthermometer, zehn Messungen mache, ich habe eine Messung, die
191 deutlich abweicht von den anderen, sage ich da von vornherein, die berechne ich jetzt, nehme ich jetzt nicht zur Berechnung,
192 keine Ahnung, meines Unsicherheitsintervalls und dann muss die dadurch auch rausfallen. Das war mir jetzt nicht so eindeutig,
193 wie ich das wirklich im Unterricht anbringe. (.)
194 S01: Ja, sehr gut. (...) Da muss ich noch kurz drüber nachdenken. (...) Ein eigenes Beispiel, hattest du ein eigenes Beispiel jetzt
195 gerade genannt? Das Fieberthermometer, du bleibst dir treu.
196 S02: Na nee, ja. (...)
197 S01: Ja, gut. (...) Zusammengefasst hast du es auch. Ich glaube jetzt hast du das alles zusammengefasst. (.) Was mir jetzt gerade
198 so eingefallen ist, du hast immer nicht so richtig zum Ausdruck gebracht, ob die Beispiele abgesondert vom Text, ob man die
199 grundsätzlich weglassen könnte oder ob dir die sehr geholfen haben. Also manchmal hast du es gesagt, ich weiß, bei der
200 Fallbeschleunigung hast du auf jeden Fall gesagt, da war es sehr gut, dass es dabei war, weil es dir was erklärt hat.
201 S02: Ich fand immer gut, dass Beispiele dabei waren. Ich würde nie auf die Beispiele verzichten. Ich finde, das macht das Ganze
202 total nachvollziehbar und anschaulich. Bei der Fallbeschleunigung fand ich das Beispiel sogar fast etwas zu (.) physikalisch. (.)
203 Da kann ich mir vorstellen, dass es einfach Lehrkräfte gibt, die da nicht so im Thema sind. Da könnte man ein niedrigschwelligeres
204 Beispiel nehmen oder vielleicht mit weniger Zahlen. Es ist anstrengend zu lesen, da muss man sich wirklich reinarbeiten und ich
205 glaube, da ist nicht jeder bereit zu. (...) Ansonsten fand ich die Beispiele total nachvollziehbar. (...) Auch beim letzten grundsätzlich
206 völlig nachvollziehbar. Was für mich allerdings nicht klar war, wie ihr auf diese vier Meter plus minus kommt. (.) Das ist ja eigentlich
207 das, was mich in dem Moment noch mal interessieren würde, wenn ich vielleicht auch ein eigenes Beispiel habe. Wie komme ich
208 denn da nochmal drauf? (...)
209 S01: Gut, dann bist du jetzt fast fertig. Dann ist auf der allerletzten Seite noch mal so eine Zusammenfassung des ganzen Modells,
210 was du quasi jetzt alles gelesen hast. Alles Graue ist weggelassen. Es ist nur das, was du gerade gelesen hast. Und wenn du
211 das jetzt noch einmal so anguckst, würdest du sagen, das ist für Lehrkräfte, hast du ja jetzt eigentlich schon ein bisschen, das ist
212 für, man könnte die Texte, wenn man ein bisschen Zahlen weglassen würde, an Lehrkräfte geben. Ist alles abgedeckt, würdest
213 du, hast du auch schon gesagt, grundsätzlich das am Ende noch ein bisschen mehr erklären, wo die herkommen. Aber sonst ist
214 sonst noch irgendwas, was du da zu dieser Tabelle gerne sagen würdest, wenn du dir die noch mal so anguckst? (...)
215 S02: Nee, ich fand das insgesamt alles sehr nachvollziehbar und gut. (...)
216 S01: Irgendwelche Wörter, die nicht angemessen erklärt wurden, fandest du auch alles, hast du ja auch gut zusammengefasst.

217 (...)

218 S02: Im Endeffekt hat sich das alles erklärt, also manchmal gab es vielleicht ein Wort, das erste Mal als Referenzwert erwähnt wurde, aber dann wurde das ziemlich schnell erklärt. (..)

220 S01: Ja, super. Dann hast du es schon geschafft. (...) Dann stoppe ich jetzt die Aufnahme.

H. Vorschlag für das reduzierte Sachstrukturmodell nach Schenke (2023) mit Beispielen zu den einzelnen Konzepten

Dimension 1: Existenz von Messunsicherheiten		
Konzepte	Inhalte	
1. Ursachen der Messunsicherheit	Endlichkeit von Darstellungen (begrenzte Nachkommastellen)	
	Einflussgrößen	Umwelteinflüsse (Temperatur, ...)
		Unvollkommenheit der Messgeräte (nicht richtig geeicht)
Faktor „Mensch“ (Reaktionszeit)		
2. Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung	Definition und Eigenschaften der Messabweichung (Vergleich zu einem Referenzwert)	
	Definition und Eigenschaften der Messunsicherheit (Streuung der Messwerte)	
Dimension 2: Einfluss von Messunsicherheiten auf das Messwesen		
1. Ziel der Messung	Unkenntnis des „wahren“ Wertes (idealisiertes Konstrukt)	
	Anstreben einer angemessenen Messunsicherheit (MU so klein wie möglich und nötig)	Anpassung des Messprozesses (evtl. feineres Messinstrument wählen)
2. Ergebnis der Messung	Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen (Messergebnis +/- MU)	
	Dokumentation von Messergebnissen (Versuchsprotokoll für Nachvollziehbarkeit der Messung)	
Dimension 3: Erfassung von Messunsicherheiten		
1. Erfassung einer Unsicherheitskomponente bei direkter Messung	Ermittlungsmethode A (mehrere Werte werden gemessen)	
	Ermittlungsmethode B (nur ein Wert wird gemessen, MU wird mit Informationen des Messgeräts bestimmt)	
Dimension 4: Aussagekraft von Messunsicherheiten		
2. Vergleich von Messwerten	Vergleich eines Messergebnisses mit einem Referenzwert (aus dem Schulbuch)	Verträglichkeit mit anderen Messergebnissen (stimmen die MU-Intervalle überein?)
	Anomalien bzw. „Ausreißer“ in Messreihen (möglichst großen Datensatz produzieren)	

I. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig verfasst habe und sämtliche Quellen einschließlich Internetquellen, die unverändert oder abgewandelt wiedergegeben wurden, insbesondere Quellen für Texte, Grafiken, Tabellen und Bilder, als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit noch nicht für andere Prüfungen eingereicht habe.

Mir ist bekannt, dass bei Verstößen gegen diese Grundsätze ein Verfahren wegen Täuschungsversuchs bzw. Täuschung gemäß der fachspezifischen Prüfungsordnung und/oder der Allgemeinen Satzung für Studien- und Prüfungsangelegenheiten (ASSP) bzw. der fächerübergreifenden Satzung zur Regelung von Zulassung, Studium und Prüfung der Humboldt-Universität zu Berlin (ZSP-HU) eingeleitet wird.

Berlin, 29.11.2024

_____  _____