

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades Master of Education

Messunsicherheiten im Physikunterricht: Relevanz und Thematisierung aus der Perspektive Berliner Lehrpersonen

eingereicht von: Sonam Hauck

Erstgutachter: Prof. Dr. Burkhard Priemer

Zweitgutachter: Dr. Karel Kok

Eingereicht am Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin am:

5.12.2024

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
2. Theoretischer Hintergrund.....	7
2.1 Theoretische Grundlagen der Messunsicherheit anhand des Sachstrukturmodells.....	7
2.1.1 Definition und Bedeutung der Messunsicherheit.....	7
2.1.2 Das Sachstrukturmodell von Julia Hellwig.....	8
2.2 Messunsicherheit im Physikunterricht: Aktueller Stand der Forschung.....	12
2.2.1 Messunsicherheit als Relevantes Konzept der Forschung.....	12
2.2.2 Messunsicherheit aus Sicht der Lernenden.....	17
2.2.3 Messunsicherheit aus Sicht der Lehrenden.....	19
2.3 Anforderungen und Erwartungen an das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht.....	25
2.4 Messunsicherheiten in curricularen Vorgaben und Unterrichtspraxis.....	27
2.4.1 Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz.....	27
2.4.2 Messunsicherheiten im Rahmenlehrplan der Sekundarstufe I.....	28
2.4.3 Messunsicherheiten im Rahmenlehrplan der Sekundarstufe II.....	28
2.4.4 Vergleich mit dem Sachstrukturmodell von Hellwig.....	29
2.4.5 Integrationsmöglichkeiten im Unterricht.....	30
2.4.6 Zwischenfazit und Fragestellung.....	31
3. Methodik.....	33
3.1 Stichprobe.....	33
3.2 Datenerhebungsmethode.....	34
3.3 Datenauswertung.....	35
4. Darstellung der Ergebnisse.....	39
4.1 Messunsicherheiten im Physikunterricht: Relevanz, Routinen und Umsetzung aus Sicht der Lehrkräfte.....	40
4.1.1 Unterschiede zwischen Sekundarstufe I und II.....	40
4.1.2 Verankerung im Rahmenlehrplan und Kompetenzerwerb.....	41
4.1.3 Relevanz im Zusammenhang mit der Nature of Science und dem Alltag.....	42
4.2 Angewandte Routinen im Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht.....	42
4.3 Diskursanalyse: Commognitive Konflikte im Umgang mit Messunsicherheiten.....	45
5. Diskussion.....	52
5.1 Relevanzeinschätzung und praktische Umsetzung.....	52
5.1.1 Differenzierung nach Sekundarstufe.....	52
5.1.2 Zeitliche und strukturelle Rahmenbedingungen.....	54
5.1.3 Mathematische und konzeptionelle Herausforderungen.....	54
5.2 Unterrichtspraktische Umsetzung und didaktische Ansätze.....	55
5.2.1 Der reaktive Ansatz.....	55
5.2.2 Der präventive Ansatz.....	56
5.3 Diskursanalytische Betrachtung.....	57
5.3.1 Begrifflich-konzeptionelle Konflikte.....	57
5.3.2 Fragmentierung der Messunsicherheitsbetrachtung.....	58
5.3.3 Reproduktion versus Erkenntnisgewinnung: Der Konflikt zwischen schulischer Praxis und wissenschaftspropädeutischem Anspruch.....	59
5.4 Methodische Reflexion.....	60
5.5 Praktische Implikationen und Forschungsausblick.....	61
6. Fazit.....	63

7. Literatur.....	65
-------------------	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beschreibung und Systematisierung der für die Schule relevanten und reduzierten Aspekte des Themas Messunsicherheiten aus: Hellwig et al. 2017.....	9
Abbildung 2: Stadien der Entwicklung des Verständnisses von experimenteller Unsicherheit bei Physikstudierenden, aus: Serbanescu, 2017.....	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgewählte Merkmale, die den kanonischen Diskurs zur Messunsicherheit charakterisieren. (Übersetzt und angepasst nach Sivan et al., 2024, S. 4).....	23
Tabelle 2: Ausgewählte Merkmale, die den prävalenten Diskurs zur Messunsicherheit charakterisieren (Übersetzt und angepasst nach Sivan et al., 2024, S. 6).....	23
Tabelle 3: Beispiel eines prominenten Themas mit dazugehörigen Zitaten.....	36
Tabelle 4: Diskurszuordnung der Aussage einer Lehrkraft mit zugehörigen Diskursmerkmalen.....	37

1. Einleitung

Experimente sind ein wesentlicher Bestandteil des Physikunterrichts und dienen verschiedenen didaktischen Zielen. Sie helfen dabei, Phänomene zu veranschaulichen und Zusammenhänge zu verdeutlichen. Darüber hinaus ermöglichen Experimente, physikalische Gesetze empirisch aus Daten abzuleiten (Müller et al., 2020). Ein kritisches Element dieser Experimente ist die Messunsicherheit, die als Qualitätskriterium für die Übereinstimmung von Experiment und Theorie unerlässlich ist (Kok et al., 2020). Die Behandlung von Messunsicherheiten ist nicht nur für die genaue Interpretation von Messergebnissen wichtig, sondern auch für das Verständnis der „Nature of Science“ (NoS) – das Wesen wissenschaftlicher Arbeit. Die NoS betont die Bedeutung von Unsicherheiten und Fehleranalysen, um die naturwissenschaftliche Arbeitsweise authentisch zu vermitteln (Hellwig, 2013).

Der Rahmenlehrplan für Berlin und Brandenburg spiegelt dies durch spezifische Anforderungen an den Physikunterricht wider. Ziel ist es, Schülerinnen und Schülern ein tiefes Verständnis für naturwissenschaftliche Arbeitsweisen zu vermitteln. Ein zentrales Element der Kompetenzentwicklung ist der Umgang mit physikalischen Größen und Messungen, wobei die Fähigkeit zur kritischen Reflexion von Messunsicherheiten eine Schlüsselrolle spielt. Der Lehrplan legt besonderen Wert auf die Entwicklung methodischer Kompetenzen, wie das Planen und Durchführen von Experimenten sowie das Auswerten und Reflektieren von Ergebnissen, um Schülerinnen und Schüler auf wissenschaftliches Arbeiten vorzubereiten.

Trotz ihrer Bedeutung werden Messunsicherheiten im Schulunterricht oft vernachlässigt, was dazu führt, dass sowohl Schülerinnen und Schüler (Kok, 2022) als auch viele Studienanfänger*innen (Séré et al., 1993) Schwierigkeiten haben, die Variabilität in Datensätzen zu verstehen und zu interpretieren. Julia Hellwig hat dafür ein normatives Sachstrukturmodell für Messunsicherheiten entwickelt, das speziell auf die Bedürfnisse der Sekundarstufe I zugeschnitten ist. Dieses Modell bietet einen strukturierten Rahmen, um Schülerinnen und Schülern die Konzepte und Methoden der Messunsicherheit näherzubringen, wobei es verschiedene Aspekte der Messunsicherheit, einschließlich der Definition und Berechnung von Unsicherheiten, der Interpretation von Messergebnissen und der Anwendung statistischer Methoden zur Analyse von Daten umfasst (Hellwig, 2013).

Durch die Nutzung dieses Modells können Lehrkräfte den Unterricht strukturierter und effektiver gestalten, um die kognitiven und methodischen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler im Umgang mit Messunsicherheiten zu verbessern (Hellwig, 2013). Dennoch zeigen Untersuchungen von Hellwig und Kollegen (2017), dass Lehrkräfte die meisten Inhalte ihres vereinfachten Modells zwar für wichtig hielten und diese in ihren eigenen Unterrichtseinheiten zu Messunsicherheiten verwenden würden, jedoch die meisten Konzepte von den Schülerinnen und Schülern im regulären Physikunterricht nur gelegentlich genutzt würden. Auch gaben die Lehrkräfte an, dass sie in der Praxis selten einen maximalen Wert für die Messunsicherheit vor einer Messung festlegen würden (Hellwig et al., 2017).

Phillip Möhrke (2020) ergänzt diese Erkenntnisse, indem er feststellt, dass die Behandlung von Messunsicherheiten als eigenständige Einheit im Unterricht sehr selten vorkommt. Stattdessen wird das Thema häufig in Form von Einschüben behandelt, die teilweise „nebenbei“ in den Unterricht integriert werden. Nur etwa 10% der befragten Lehrkräfte bewerten eine explizite Behandlung als zutreffend, während 60% der Lehrkräfte Unsicherheiten lediglich abschätzen, ohne explizite Verfahren wie die Bestimmung der maximalen Abweichung zu verwenden (Möhrke, 2020). Dies spiegelt eine deutliche Diskrepanz zwischen der theoretischen Relevanzeinschätzung und der praktischen Umsetzung wider, was auch von Holz und Heinicke (2019b) bestätigt wird.

Aus diesen Tatsachen ergibt sich die Notwendigkeit, die Gründe für diese Diskrepanz weiter zu erforschen. Es ist wichtig herauszufinden, warum die Relevanz von Messunsicherheiten in vergangenen Befragungen zwar als hoch eingeschätzt wird, die tatsächliche Behandlung im Unterricht jedoch nur am Rande erfolgt. Qualitativ-explorative Forschung kann hier einen besseren Einblick in den Schulalltag und die Umsetzung des Themas Messunsicherheiten bieten. Diese Forschungsaufgabe wird zusätzlich durch die Aufforderung von Serbanescu und Harrison (2017) unterstützt, die experimentelle Unsicherheit als Schwellenkonzept in der Physik identifizieren und zu mehr qualitativen und gemischten Methodenstudien zu diesem Thema aufrufen (Pollard et al., 2021).

Auf Grundlage des vorgestellten Forschungsstands zielt diese Masterarbeit darauf ab, durch Experteninterviews mit Physiklehrkräften ein tieferes Verständnis darüber zu gewinnen, welche Aspekte von Messunsicherheiten als relevant betrachtet und umgesetzt werden, um daraus ableiten zu können, warum die theoretisch hoch eingeschätzte Relevanz von Messunsicherheiten im schulischen Kontext nur am Rande umgesetzt wird.

Zunächst wird ein umfassender theoretischer Überblick über die Bedeutung von Messunsicherheiten im Physikunterricht in engem Zusammenhang mit dem Sachstrukturmodell von Julia Hellwig gegeben. Darauf basierend wird ihre Einbindung und Repräsentation im Rahmenlehrplan untersucht, um jene Inhalte von Julia Hellwig zu identifizieren, die im Rahmenlehrplan auftauchen und somit den schulischen Anforderungen entsprechen. Ziel ist es, der folgenden Fragestellung nachzugehen:

Welche Relevanz wird dem Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht von Berliner Lehrpersonen zugeschrieben und wie thematisieren sie dieses?

Zur Beantwortung dieser Frage wird eine qualitative Forschungsstrategie in Form von semistrukturierten Experteninterviews mit Physiklehrkräften angewendet. Diese Methodik ermöglicht es, detaillierte und tiefgehende Einblicke in die individuellen Erfahrungen und Meinungen der Lehrkräfte zu gewinnen. Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig, und es wurde Lehrpersonal an Berliner Gymnasien, integrierten Sekundarschulen und Oberstufenzentren befragt. Die Interviews werden angelehnt an eine qualitative Inhaltsanalyse untersucht, wobei eine methodische Kombination aus induktiver und deduktiver Analyse eingesetzt wird. Einerseits werden deduktiv Kategorien zur Umsetzungsrealität und zu Relevanzaspekten aus der Perspektive der Lehrkräfte herausgearbeitet. Andererseits erfolgt eine induktive Analyse der Aussagen der Lehrpersonen, um die Merkmale der Diskurse zu identifizieren, aus denen heraus sie kommunizieren und das Thema vermitteln. Diese methodische Herangehensweise ermöglicht eine umfassende Bearbeitung der Forschungsfrage und stellt sicher, dass sowohl die konkreten Umsetzungspraktiken und Relevanzeinschätzungen der Lehrkräfte als auch die tieferliegenden diskursiven Strukturen, die ihre Aussagen und Handlungsweisen prägen, systematisch erfasst und analysiert werden.

2. Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Messunsicherheit untersucht. Zunächst erfolgt eine Definition des Begriffs Messunsicherheit, bevor die relevanten Lehrinhalte für den Physikunterricht anhand des Sachstrukturmodells von Julia Hellwig dargestellt werden. Nachfolgend wird der aktuelle Forschungsstand analysiert, um die Bedeutung von Experimenten im Physikunterricht hervorzuheben. Abschließend werden die Vorgaben des Rahmenlehrplans und die schulischen Anforderungen erörtert und mit den Aspekten des Sachstrukturmodells verknüpft.

2.1 Theoretische Grundlagen der Messunsicherheit anhand des Sachstrukturmodells

2.1.1 Definition und Bedeutung der Messunsicherheit

Messunsicherheit bezieht sich auf den Parameter, der das Vertrauen in das Messergebnis quantifiziert. Sie ist ein unvermeidbarer Bestandteil jeder Messung und umfasst sämtliche Unsicherheiten, die während des Messprozesses auftreten können (Hellwig, 2012). Diese Unsicherheiten können aus verschiedenen Quellen stammen, wie z.B. der Messmethode, dem Messinstrument oder den Umgebungsbedingungen. In der wissenschaftlichen Forschung ist die Kenntnis der Messunsicherheit entscheidend, da sie die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messergebnisse beeinflusst.

Die International Organization for Standardization (ISO) definiert Messunsicherheit als „Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße zugeordnet werden und in vertretbarer Weise auf die Messgröße bezogen sind“ (ISO, 1995, zitiert nach Hellwig, 2012, S. 63). Einfacher gesagt ist die Messunsicherheit also ein Maß dafür, wie weit die gemessenen Werte voneinander abweichen und wie gut diese Abweichungen im Zusammenhang mit der eigentlichen Messgröße erklärt werden können. Diese Definition unterstreicht, dass Messunsicherheit ein unvermeidbares Element jeder Messung ist und ein konzeptionelles Verständnis der Ursachen und Auswirkungen von Messunsicherheit notwendig ist, um die Qualität der Messungen zu bewerten.

2.1.2 Das Sachstrukturmodell von Julia Hellwig

Julia Hellwig hat in ihrer Dissertation "Messunsicherheiten verstehen. Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik" (2012) ein umfassendes Modell entwickelt, das die Struktur und Inhalte von Messunsicherheiten im Physikunterricht systematisiert. Dieses Modell zielt darauf ab, Lernenden – besonders jenen der Sekundarstufe I - ein tiefgehendes Verständnis für die Bedeutung und Handhabung von Messunsicherheiten zu vermitteln.

Das Sachstrukturmodell von Hellwig gliedert sich in verschiedene Ebenen und Kategorien, die systematisch aufeinander aufbauen und drei Kernbereiche umfassen:

1. *Grundlagen der Messunsicherheiten*: Hierbei werden die theoretischen Grundlagen von Messunsicherheiten behandelt, einschließlich der Begriffe und Definitionen, die in der Metrologie verwendet werden. Dies umfasst auch die Einführung in statistische Methoden zur Bestimmung von Unsicherheiten, wie zum Beispiel die Berechnung von Standardabweichungen und Konfidenzintervallen (Hellwig, 2013).
2. *Praktische Anwendungen*: Ein wesentlicher Bestandteil des Modells ist die Anwendung theoretischer Konzepte auf praktische Messungen. Dies schließt die Planung und Durchführung von Experimenten ein, bei denen Unsicherheiten bewusst einbezogen und analysiert werden. Durch solche praktischen Übungen sollen die Schülerinnen und Schüler lernen, Unsicherheiten systematisch zu erfassen und in ihre wissenschaftlichen Schlussfolgerungen einzubeziehen (Priemer & Hellwig, 2018).
3. *Reflexion und Interpretation*: Das Modell legt großen Wert auf die Fähigkeit der Lernenden, Messergebnisse kritisch zu reflektieren und zu interpretieren. Dies beinhaltet die Bewertung der Zuverlässigkeit von Messungen, die Identifizierung potenzieller Fehlerquellen und die Diskussion der Auswirkungen von Unsicherheiten auf die Ergebnisse und deren Interpretation (Hellwig, 2013; Priemer & Hellwig, 2018).

Das reduzierte Modell für die Sekundarstufe I ist in Abbildung 1 dargestellt. Es bildet einen angemessenen und von Lehrkräften bestätigten Orientierungsrahmen für die Thematisierung von Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I. Die

Behandlung der dargestellten Inhalte ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, ein fundiertes Verständnis für die Unvermeidbarkeit und die Handhabung von Unsicherheiten in Messungen zu entwickeln. Im Folgenden werden die für den Schulunterricht relevanten und reduzierten Aspekte des Themas Messunsicherheiten basierend auf der Systematisierung von Hellwig (2012) beschrieben.

<p>1 Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten</p>	<p>2 Einfluss von Unsicherheiten auf das Messwesen</p>
<p>1.1 Ursachen der Unsicherheit</p> <p>Selbst wenn mit höchst präzisen Geräten gearbeitet wird, sind mit jeder Messung Unsicherheiten verbunden. Dabei gibt es verschiedene Quellen der Messunsicherheit. Beispiele hierfür sind unberücksichtigte Umwelteinflüsse (Temperatur, Luftdruck, etc.) und die Genauigkeit von Messanzeigen.</p>	<p>2.1 Ziel der Messung</p> <p>Die Berücksichtigung von Messunsicherheiten beeinflusst die Planung und Durchführung einer Messung. So besteht das realistische Ziel eines Experiments nicht darin, eine Referenzgröße unendlich exakt zu reproduzieren, sondern ein möglichst enges Intervall zu erhalten, das die infrage kommenden Werte enthält. Wie eng dieses Intervall in der Praxis tatsächlich sein muss, hängt von der genauen Fragestellung ab.</p>
<p>1.2 Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung</p> <p>Mit der Messunsicherheit ist nicht im Sinne des „Messfehlers“ die (prozentuale) Abweichung von einem Referenzwert gemeint. Die Messunsicherheit ist ein Maß für die Genauigkeit der Messung selbst, unabhängig von einem vermuteten „wahren“ Wert der Messgröße. Bei der Messabweichung wird zwischen der systematischen und zufälligen unterschieden. Letztere ist ein Maß für die Messunsicherheit (siehe Konzept 3.1)</p>	<p>2.2 Ergebnis der Messung</p> <p>Das Ergebnis einer Messung kann erst als vollständig angesehen werden, wenn es auch die Messunsicherheit beinhaltet. Nur so können die Verlässlichkeit der Messung und die Tragweite der gewonnenen Erkenntnisse eingeschätzt werden.</p>
<p>3 Erfassung von Messunsicherheit und Messabweichung</p>	<p>4 Aussagekraft von Messunsicherheiten</p>
<p>3.1 Direkte Messung: Erfassung einer Unsicherheitskomponente</p> <p>Wird eine einzelne Größe direkt gemessen (z. B. durch Stoppen einer Zeit), kann die Unsicherheit entweder basierend auf den Schwankungen des Ergebnisses bei wiederholter Messung (Methode A) oder auf Grundlage anderer Informationen (Methode B) abgeschätzt werden. Im Fall der Anwendung von Methode A entspricht die Unsicherheit der größten auftretenden Abweichung vom Bestwert (vgl. <i>Heinicke</i> in diesem Heft; in unserem Fall ist dies der Mittelwert der Ergebnisse). Bei Einsatz von Methode B wird der größt- und kleinstmögliche Wert abgeschätzt und auf dieser Basis der Bestwert als Mittelwert des Intervalls und die dazugehörige Messunsicherheit bestimmt.</p>	<p>4.1 Verlässlichkeit der Messung und ihres Ergebnisses</p> <p>Die Unsicherheit gibt Aufschluss darüber, wie verlässlich das Messergebnis ist. Somit bestimmt sie z. B. auch, auf welche Stelle ein Ergebnis zu runden ist.</p>
<p>3.2 Indirekte Messung: Fortpflanzung von Messunsicherheiten</p> <p>Wird eine Größe indirekt gemessen, d. h. wird mit gemessenen Größen weitergerechnet, pflanzt sich die Messunsicherheit im Ergebnis fort. In Summen und Differenzen addieren sich die Unsicherheiten. In Produkten und Quotienten addieren sich die relativen Unsicherheiten, d. h. die prozentualen Anteile der Unsicherheiten von den dazugehörigen Bestwerten.</p>	<p>4.2 Vergleich von Messwerten</p> <p>Ein Vergleich zwischen dem Messergebnis und einem anderen Wert (z. B. Literaturwert oder das Ergebnis einer anderen Messung) ist erst möglich, wenn untersucht wird, inwiefern sich die durch die Messunsicherheit vorgegebenen Intervalle überschneiden. Dazu muss die Abweichung der Bestwerte kleiner als die Summe der Unsicherheiten der beiden Größen sein.</p> <p>4.3 Anfertigen einer Ausgleichsgerade</p> <p>Erst durch die Berücksichtigung der Messunsicherheiten kann eindeutig entschieden werden, inwiefern in einem Diagramm eine Ausgleichsgerade gezeichnet werden, d. h. ein linearer Zusammenhang angenommen werden darf. Dazu werden Unsicherheitsflächen um die Datenpunkte gezeichnet, die für jeden Wert einen Bereich festlegen, in dem er laut Messung liegen könnte. Eine Ausgleichsgerade ist nur zulässig, wenn sie sämtliche Unsicherheitsflächen schneidet.</p>

Abbildung 1: Beschreibung und Systematisierung der für die Schule relevanten und reduzierten Aspekte des Themas Messunsicherheiten Hellwig (2012) (nach Hellwig et al. 2017).

Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten

Selbst bei der Verwendung hochpräziser Messinstrumente sind Messungen stets mit Unsicherheiten behaftet. Diese resultieren aus verschiedenen Quellen wie Umwelteinflüssen (Temperatur, Luftdruck) und der Genauigkeit der Messanzeige. Beispielsweise können wetterbedingte Temperaturschwankungen die Messergebnisse erheblich beeinflussen, was im Schulversuch häufig auftritt. Burkhard Priemer (2022) beschreibt, dass Messinstrumente nur begrenzt genau sind und wiederholte Messungen oft schwankende Werte liefern. Diese Schwankungen entstehen durch unterschiedliche Bedingungen bei jeder Messung, wie z.B. die Handhabung des Messgeräts oder Umgebungsbedingungen.

Die Messunsicherheit kann grundsätzlich in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: zufällige und systematische Unsicherheiten. Zufällige Unsicherheiten entstehen durch unvorhersehbare Schwankungen im Messprozess und können durch wiederholte Messungen und statistische Analyse minimiert werden (Priemer, 2022). Diese Art von Unsicherheit resultiert häufig aus unkontrollierbaren Einflüssen wie Umweltbedingungen oder geringfügigen Variationen im Messverfahren. Ein Beispiel für zufällige Unsicherheiten ist die Variation der Messwerte bei der Bestimmung einer physikalischen Größe durch wiederholte Experimente. Systematische Unsicherheiten hingegen resultieren aus festen Fehlerquellen, die das Messergebnis systematisch verfälschen können. Diese können durch Fehler in der Messmethodik, unzureichend kalibrierte Instrumente oder konstante Umweltfaktoren verursacht werden. Systematische Fehler können oft durch sorgfältige Kalibrierung und Standardisierung der Messinstrumente reduziert werden (Priemer, 2022). Ein klassisches Beispiel für systematische Unsicherheiten ist die kontinuierliche Abweichung eines Messgeräts aufgrund einer falschen Kalibrierung.

Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung

Ein weiteres wichtiges Konzept ist die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung. Während die Messabweichung den Unterschied zwischen einem gemessenen Wert und dem Literaturwert beschreibt, bezieht sich die Messunsicherheit auf das Vertrauen, das man in das gemessene Ergebnis hat (Hellwig, 2012). Diese Unterscheidung ist essenziell, da sie den Fokus auf die Zuverlässigkeit und die potenziellen Unsicherheitsquellen einer Messung lenkt, anstatt nur den numerischen Unterschied zu betrachten.

Einfluss von Unsicherheiten auf das Messwesen

Die Berücksichtigung von Messunsicherheiten beeinflusst die Planung und Durchführung einer Messung erheblich. Das Ziel sollte sein, ein möglichst genaues Intervall zu erhalten, das die wahrscheinlichen Werte enthält. Wie dieses Intervall in der Praxis festzulegen ist, hängt von der genauen Fragestellung ab. Hellwig (2012) weist darauf hin, dass ein realistisches Ziel eines Experiments nicht darin besteht, eine Referenzgröße unendlich genau zu reproduzieren, sondern ein brauchbares Intervall zu bestimmen.

Das Ergebnis einer Messung kann nur dann als vollständig angesehen werden, wenn es die Messunsicherheit berücksichtigt. Messunsicherheit ist ein wesentliches Qualitätskriterium in der wissenschaftlichen Forschung. Sie ermöglicht es, die Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messergebnissen zu beurteilen und trägt somit zur Validität wissenschaftlicher Erkenntnisse bei (Hellwig, 2012). Durch die Angabe der Messunsicherheit wird Transparenz geschaffen, wodurch andere Forscher die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Ergebnisse einschätzen und reproduzieren können. Priemer (2022) betont, dass die Angabe der Unsicherheit entscheidend für die Transparenz und die Bewertung von Messergebnissen ist. In wissenschaftlichen Publikationen ist es üblich, die Messunsicherheit neben dem gemessenen Wert anzugeben, um die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Beispielsweise ermöglicht die Angabe der Messunsicherheit bei der Bestimmung physikalischer Konstanten, wie der Lichtgeschwindigkeit oder der Gravitationskonstanten, eine genaue Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Experimente und Studien (Priemer, 2022).

Erfassung von Messunsicherheit

Julia Hellwig stellt konkrete Methoden und Richtlinien für den Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht vor. Bei der direkten Messung wird die Unsicherheit basierend auf Schwankungen der Ergebnisse wiederholter Messungen oder zusätzlichen Informationen abgeschätzt. Hellwig plädiert für die Größtfehlerabschätzung, bei der die größte auftretende Abweichung vom Mittelwert verwendet wird, um die Unsicherheit zu bestimmen. Bei indirekten Messungen hingegen, bei denen mehrere Größen gemessen werden, pflanzen sich die Unsicherheiten im Endergebnis fort. Hierbei kann die folgende Regel angewendet werden: In Summen und Differenzen addieren sich die absoluten Unsicherheiten, während in Produkten und Quotienten die relativen Unsicherheiten summiert werden.

Vor allem für die Sekundarstufe I sind zunächst lineare Zusammenhänge von Bedeutung, später auch quadratische, exponentielle und andere. Das *Anfertigen einer Ausgleichsgerade* wird deswegen im Modell als konkrete Methode festgehalten und ist nur dann zulässig, wenn sämtliche Unsicherheitsflächen geschnitten werden.

Auch ein Vergleich zwischen dem Messergebnis und einem anderen Wert ist nur möglich, wenn die Messunsicherheiten berücksichtigt werden. Dies ist wichtig, um zu prüfen, ob sich die Unsicherheitsbereiche überschneiden und somit die Ergebnisse miteinander verträglich sind.

Die Thematisierung von Messunsicherheiten im Physikunterricht der Sekundarstufe I ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die Natur von Messungen und die Unvermeidbarkeit von Unsicherheiten zu verstehen. Durch die Berücksichtigung von Unsicherheitsquellen, die Unterscheidung zwischen Messunsicherheit und Messabweichung sowie die Methoden zur Erfassung und Fortpflanzung von Unsicherheiten wird ein tiefes Verständnis für die Aussagekraft von Messergebnissen vermittelt. Diese Kenntnisse sind fundamental, um wissenschaftliche Methoden zu verstehen und anzuwenden.

2.2 Messunsicherheit im Physikunterricht: Aktueller Stand der Forschung

Der folgende Abschnitt bietet einen umfassenden Überblick über den Forschungsstand zu Messunsicherheiten im Physikunterricht. Dabei werden zunächst Studien vorgestellt, die das Thema auf konzeptioneller und universitärer Ebene untersuchen, bevor der Fokus auf Forschungsarbeiten gelegt wird, die sich spezifisch mit der schulischen Vermittlung von Messunsicherheiten beschäftigen.

2.2.1 Messunsicherheit als Relevantes Konzept der Forschung

In der wissenschaftlichen Diskussion um Messunsicherheiten im Physikunterricht werden verschiedene Studien untersucht, die das Verständnis und die Integration dieses Konzepts auf universitärem Niveau analysieren. Eine Arbeit von Andy Buffler und Kollegen zeigt auf, dass ein angemessenes Verständnis von Messunsicherheiten eine grundlegende Voraussetzung für die Datenanalyse ist. Buffler et al. (2009, S. 1150) betonen:

"At the introductory tertiary level, an appropriate understanding of scientific measurement depends critically upon an appropriate understanding of the nature of uncertainty in measurement".

Die Studie macht deutlich, dass Studierende im ersten Jahr ihres Physikstudiums, die die Natur und die Bedeutung von Unsicherheiten verstehen, bessere Fähigkeiten in der Analyse und Interpretation wissenschaftlicher Daten entwickeln.

Aufbauend auf den Erkenntnissen von Buffler et al., zeigen Hull und Kollegen, dass konzeptionelle Missverständnisse die Hauptursache für falsche Vorstellungen von Messunsicherheiten bei Lernenden sind. In der Studie wird argumentiert, dass diese Missverständnisse nicht auf einzelne naive Fehlvorstellungen zurückzuführen sind, sondern auf tiefgreifende konzeptionelle Herausforderungen (Hull et al., 2020). Daher sollte das Konzept der Unsicherheiten als natürlicher Bestandteil wissenschaftlicher Untersuchungen gestärkt werden, um ein fundiertes Verständnis bei den Lernenden zu fördern.

Diese Ergebnisse werden durch die Forschung von Serbanescu (2017) ergänzt. Er betont, dass das Verständnis von Messunsicherheiten oft als Schwellenkonzept (Threshold Concept/ TC) betrachtet wird, da es für viele Studierende eine signifikante Veränderung im Denkprozess darstellt. Die Transformation von einem einfachen Verständnis von Fehlern hin zu einem komplexeren Verständnis von Unsicherheiten vollzieht sich in mehreren Stufen, die als "stages of uncertainty" bekannt sind. Diese reichen von völliger Unkenntnis über Unsicherheiten bis hin zur Fähigkeit, diese präzise zu quantifizieren und umfassend zu bewerten (Wilson et al., 2010). Serbanescu vergleicht diese Stadien mit dem "point paradigm" und dem "set paradigm", zwei unterschiedlichen Denkweisen über Messunsicherheiten aus der Forschung zu physikalischer Bildung (Physics Education Research/ PER). Studierende im point paradigm nehmen an, dass jeder Messwert der wahre Wert ist und Abweichungen als Fehler interpretiert werden, was den frühen Stadien des Verständnisses entspricht (Stadien 1 bis 3). Im Gegensatz dazu erkennen Studierende im set paradigm, dass jeder Messwert nur eine Annäherung an den wahren Wert darstellt und alle Messungen zusammen die beste Annäherung liefern, einschließlich eines Unsicherheitsintervalls, was den fortgeschritteneren Stadien des Verständnisses entspricht (Stadien 4 bis 5) (nach Wilson et al., 2010 und Allie et al., 1998; Abbott et al., 2003 und Volkwyn et al., 2008). Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Denkstadien nach Wilson und der Zuordnung zum point bzw. set paradigm.

TC (Wilson et al, 2010)	PER (Allie 1998, Abbott 2003, Volkwyn 2008)
Stage 1: No thought of uncertainty in relation to experimental outcomes	Point paradigm reasoning: - The datum is the true value - A deviation from the result is due to mistakes by the experimenter or environmental factors, including instruments
Stage 2: Uncertainty is seen as mistakes	
Stage 3: Uncertainty is seen as a means of quantifying how wrong you are	
Stage 4: Uncertainty is understood as something that comes from both user and instrument	Set paradigm reasoning: -Each reading is an approximation of the measurand -All readings are used together to build the best approximation of the measurand -Un interval of uncertainty is constructed together with the best approximation of the measurand.
Stage 5: Uncertainty is a comprehensible result that quantifies the variability that can be found in the measurement of the value	

Abbildung 2: Stadien der Entwicklung des Verständnisses von experimenteller Unsicherheit bei Physikstudierenden nach Wilson et al., 2010 im Zusammenhang mit dem point und set paradigm nach Allie et al., 1998; Abbott et al., 2003 und Volkwyn et al., 2008 aus: Serbanescu, 2017.

Als erstes Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass die vorgestellten Studien eine klare Notwendigkeit verdeutlichen, Messunsicherheiten als integralen Bestandteil wissenschaftlicher Ausbildung zu betrachten. Alle diese Studien betonen die zentrale Bedeutung eines fundierten Verständnisses von Unsicherheiten, die als konzeptionelle Eigenschaft von Messdaten im set paradigm betrachtet werden, als essenzielle Grundlage für die Entwicklung wissenschaftlicher Kompetenzen bei Lernenden.

Ergänzend zu diesen Erkenntnissen zeigt Abbot, dass Schwierigkeiten der Studierenden in Bezug auf Messunsicherheiten nicht auf eine einzige Ursache zurückgeführt werden können. Sie weist darauf hin, dass aktuelle Lehrmethoden zwar das Verständnis der Studierenden verbessern, jedoch viele Lernende das einführende Physikpraktikum ohne ein zusammenhängendes Verständnis oder Wertschätzung des Konzepts der Messunsicherheit abschließen (Abbot, 2003).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Séré und Kollegen. Sie zeigen, dass Erstsemesterstudierende oft keine wesentliche Einsicht in das Konzept der Konfidenzintervalle haben und systematische von zufälligen Fehlern nicht unterscheiden können (Séré et al., 1993).

Glomski und Priemer widmen sich diesem Thema in ihrer Forschung, indem sie das Konzept der Messunsicherheiten auf universitärem Niveau systematisch analysieren und strukturieren. Sie entwickeln ein Modell, das verschiedene Dimensionen eines fundierten Umgangs mit Messunsicherheiten integriert. Diese systematische Herangehensweise diente unter anderem als Grundlage für die spätere Anpassung und Reduktion des Sachstrukturmodells für die Sekundarstufe I durch Julia Hellwig, wie in Kapitel 2.1.2 dargestellt. Glomski und Priemer (2010) betonen, dass ein tiefes Verständnis von Messunsicherheiten unerlässlich ist, um den Anforderungen der Bildungsstandards gerecht zu werden und Lernenden die notwendigen Kompetenzen für die Durchführung und Auswertung von Experimenten zu vermitteln. Da die Bildungsstandards und der Rahmenlehrplan die Grundlage für die schulische Umsetzung bilden, werden diese Anforderungen an den Unterricht in Kapitel 2.4 näher beleuchtet.

Auch Lehrende an höheren Bildungseinrichtungen formulieren spezifische Anforderungen an den Umgang mit Messunsicherheiten. Eine Studie von Pollard et al. (2021) beleuchtet die Perspektiven von Lehrkräften in einführenden Physiklaborkursen und zeigt, dass ein fundiertes Verständnis von Messunsicherheiten weit über grundlegende statistische Konzepte wie Mittelwert und Standardabweichung hinausgeht. Zu den zentralen Themen zählen auch fortgeschrittene Konzepte wie die Fehlerfortpflanzung und die systematische Unsicherheit.

Während grundlegende Praktiken wie die Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen weiterhin eine wichtige Rolle spielen, betont die Studie die Relevanz weiterführender Ansätze. Dazu gehören die Nutzung von Software zur Datenanalyse, die Interpretation von Ergebnissen, die Begründung experimenteller Entscheidungen, der Vergleich von Daten sowie die Identifikation und Reflexion von Unsicherheitsquellen. Diese vielseitigen Methoden sind integrale Bestandteile des Experimentellen Modellierungsrahmens (Experimental Modeling Framework, EMF), der eine gestufte Lernstruktur unterstützt und gezielt zur Entwicklung umfassender Kompetenzen in der Physikausbildung beiträgt.

Auch wenn es sich hierbei um das universitäre Niveau handelt, legen auch diese Untersuchungen nahe, dass es notwendig ist, ein umfassendes Verständnis der Messunsicherheit im Rahmen der Schulausbildung zu entwickeln, um eine Basis für die wissenschaftliche Arbeitsweise an Hochschulen zu schaffen.

Schließlich zeigen Hamacher und Heinke (2016), dass viele Studierende auch nach der Teilnahme an traditionellen Praktika fundamentale Missverständnisse über Messunsicherheiten aufweisen. Diese Pilotstudie verwendet innovative Erhebungsinstrumente wie Smartpens und Laptops mit Screen Recorder Software, um die Arbeits- und Lernprozesse der Studierenden während der Erstellung von Versuchsberichten zu Hause umfassend zu dokumentieren. Diese Methoden ermöglichen es, die Datenverarbeitung und den Umgang mit Messunsicherheiten genauer zu analysieren und liefern wertvolle Einblicke in die Lernprozesse der Studierenden außerhalb des traditionellen Praktikumskontextes (Hamacher & Heinke, 2016).

Ein zweites Zwischenfazit zeigt an dieser Stelle, dass die beleuchteten Studien eine weitergehende Untersuchung und Anpassung der Lehrmethoden und Erhebungsinstrumente zur Verbesserung des Verständnisses von Messunsicherheiten unterstreichen. Es wird deutlich, dass ein tiefgreifendes und nachhaltiges Verständnis von Messunsicherheiten nur durch eine Kombination von theoretischem Wissen und praktischen Erfahrungen erreicht werden kann.

Eine weitere Dimension der Forschung zur Vermittlung von Messunsicherheiten im Physikunterricht wird durch die Entwicklung von Erhebungsinstrumenten und Lehrmethoden auf universitärer Ebene beleuchtet.

Dehipawala und Kollegen untersuchen, wie das Konzept der Messunsicherheiten während des Fernunterrichts vermittelt und bewertet werden kann. Die Autoren argumentieren, dass die Umstellung auf Fernunterricht während der Pandemie eine Neubewertung der Lehrmethoden erforderte, insbesondere im experimentellen Bereich der Physik. Es wird betont, dass die Misskonzeption, dass ein Simulationslabor keine Unsicherheiten aufweist, schwer zu beseitigen war (Dehipawala et al., 2023). Diese Untersuchung zeigt aber auch, dass selbst im Fernunterricht effektive Strategien entwickelt werden können, um das Verständnis von Messunsicherheiten zu vermitteln.

Zusätzlich haben Nazifah und Asrizal die Entwicklung von E-Modulen untersucht, die in den Physikunterricht integriert werden sollen, um die „21st century skills“ der Lernenden zu verbessern. Diese E-Module sollen nicht nur physikalisches Wissen vermitteln, sondern auch Fähigkeiten wie kritisches Denken, Kommunikation und Zusammenarbeit fördern. Die Autoren stellen fest: "*STEM-integrated e-modules provide significant results for students' critical thinking skills in science learning*" (Nazifah & Asrizal, 2022).

Diese Studien verdeutlichen die Umsetzung und Notwendigkeit der kontinuierlichen Verbesserung und Anpassung der Lehrmethoden und Bewertungsinstrumente, um das Verständnis von Messunsicherheiten im Physikunterricht zu fördern und die Lernenden optimal auf die Herausforderungen der modernen Wissenschaft vorzubereiten.

2.2.2 Messunsicherheit aus Sicht der Lernenden

Obwohl sich die vorliegende Arbeit auf die Befragung von Lehrkräften konzentriert, ist für ein umfassendes Verständnis des Themas Messunsicherheiten auch die Perspektive der Schülerinnen und Schüler von zentraler Bedeutung. Dieser Blickwinkel hilft, die didaktischen Herausforderungen und Potenziale besser zu verstehen. Es soll im Folgenden ein kurzer Überblick über Studien gegeben werden, die die zentralen Fehlvorstellungen und Hürden der Lernenden im Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht untersucht haben.

Hull et al. (2020) analysieren naive Vorstellungen von Lernenden bezüglich physikalischer Konzepte im Zusammenhang mit Wahrscheinlichkeiten. Die Studie zeigt, dass viele Lernende fälschlicherweise davon ausgehen, Messwiederholungen würden stets identische Werte liefern. Diese Annahme führt zu der problematischen Schlussfolgerung, eine einzelne Messung sei bereits ausreichend. Diese Fehlvorstellung offenbart ein grundlegendes Missverständnis der statistischen Natur von Messungen und der Bedeutung von Unsicherheiten. Séré et al. (1993) argumentieren, dass das Verständnis von Lernenden zu Messunsicherheiten im Physikunterricht stark variiert und eng mit ihren Vorstellungen über die Natur der Wissenschaft (NoS) verbunden ist. Die Mehrheit der Lernenden jener Studie wiederum glaubt, dass die Genauigkeit eines Ergebnisses einfach durch die Anzahl der Messungen verbessert werden kann, ohne die Natur dieser Verbesserung zu verstehen (Séré et al., 1993).

Ein weiteres Beispiel für tief verwurzelte Fehlvorstellungen ist das Verschmelzen von Wahrscheinlichkeit und Unsicherheit, was die korrekte Interpretation der zufälligen Natur von Messungen erschwert (Hull et al., 2020). Hull et al. (2020) argumentieren, dass diese Missverständnisse häufig darauf zurückzuführen sind, dass Lernende Schwierigkeiten haben, zufällige Prozesse mit Vorhersagbarkeit und Naturgesetzen in Einklang zu bringen. Dies führt dazu, dass Naturgesetze und Messdaten häufig als unveränderliche, naturgegebene Entitäten betrachtet werden, anstatt sie als Ergebnisse menschlicher Beobachtungsprozesse zu verstehen.

Die Ergebnisse verdeutlichen erneut, dass unter Lernenden häufig konzeptionelle Fehlvorstellungen existieren, die ein angemessenes Verständnis von Messunsicherheiten erschweren. Lehrkräfte stehen hierbei vor der Herausforderung, solche Missverständnisse gezielt zu erkennen und anzugehen. Hull et al. (2020) betonen, dass es oft effektiver ist, die zugrunde liegenden Ursachen für diese Schwierigkeiten zu adressieren, statt lediglich auf einzelne naive Vorstellungen der Lernenden einzugehen.

Die Untersuchung von Buffler et al. (2009) zeigt darüber hinaus, dass Studierende, die glauben, dass Naturgesetze von Wissenschaftlern entdeckt werden, eher an „wahre“ Werte bei Messungen -also das point paradigm- glauben. Im Gegensatz dazu tendieren Studierende, die wissenschaftliche Theorien als menschliche Konstruktionen betrachten, dazu, die Unsicherheit wissenschaftlicher Beweise zu akzeptieren (Buffler et al., 2009).

Eine interessante Perspektive und einen Ansatzpunkt zum Umgang mit solchen Defiziten zeigen Studien von Petrosino et al. (2003), Metz (2004) und Pollard et al. (2017). Metz (2004) untersuchte das Verständnis von Grundschulkindern hinsichtlich der Unsicherheit in wissenschaftlichen Untersuchungen. Die Kinder zeigten ein erstaunliches Verständnis dafür, wie Unsicherheit durch experimentelle Fehler oder unzureichende Instrumente in den Datenprozess einfließen kann. Sie entwickelten Strategien, um diese Unsicherheiten zu minimieren, was darauf hindeutet, dass bereits junge Lernende ein grundlegendes Verständnis für die komplexe Beziehung zwischen der natürlichen Welt und wissenschaftlichem Wissen entwickeln können (Metz, 2004). Auch Petrosino und Kollegen haben gezeigt, dass viele Kinder ein umfassendes Verständnis dafür entwickeln können, wie Unsicherheiten in wissenschaftliche Untersuchungen einfließen. Die Untersuchung betont, dass bei einer entsprechenden didaktischen Aufbereitung und Unterstützung durch die Lehrkräfte auch jüngere Lernende in der Lage sind, die Bedeutung von Unsicherheiten zu erkennen und in ihre eigenen wissenschaftlichen Untersuchungen zu integrieren.

Ebenso zeigt die Studie von Pollard und Kollegen aus dem Jahr 2017, dass sich das Verständnis über Messunsicherheiten von Studierenden im Rahmen eines Physiklaborkurses an der University of Colorado Boulder vom point paradigm hin zum set paradigm verschiebt. Diese Erkenntnisse verdeutlichen, dass erfolgreiche Ansätze zur Vermittlung von Messunsicherheiten bereits in der Primarstufe beginnen können und auch auf höheren Bildungswegen die Fähigkeit der Studierenden, Messunsicherheiten zu verstehen, verbessert werden kann.

Die zuvor vorgestellten Studien zeigen also auf, dass das Verständnis von Messunsicherheiten nicht nur von der direkten Instruktion abhängt, sondern auch stark von den zugrunde liegenden wissenschaftlichen Überzeugungen der Lernenden beeinflusst wird. Es ist daher wichtig, im Physikunterricht nicht nur die technischen Aspekte der Messung zu lehren, sondern auch die epistemologischen Grundlagen zu adressieren, um ein tieferes Verständnis zu fördern. Solch ein tieferes Verständnis für die Bedeutung von Messunsicherheiten impliziert, dass diese in der Natur der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung eine unabdingbare Größe darstellen, da Naturgesetze der Versuch sind, die in der Natur beobachteten Phänomene zu erklären, in Modellen darzustellen und sie sich zunutze zu machen, wobei die Genauigkeit der Angaben jedoch *immer* durch die Umstände der Messung begrenzt sind.

Zusammenfassend verdeutlichen die Studien, dass Schülerinnen und Schüler oft kein tiefgehendes Verständnis für das Konzept der Messunsicherheiten haben. Um dies zu ändern, sollten Lehrkräfte gezielt Methoden entwickeln, die die statistische Natur von Messungen und die Bedeutung von Unsicherheiten klar vermitteln. Gleichzeitig existieren Ansätze dafür, wie ein solches fundiertes Verständnis gefördert werden kann, das es den Lernenden ermöglicht, wissenschaftliche Untersuchungen korrekt zu interpretieren und durchzuführen.

Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, wie Lehrkräfte die Umsetzung des Themas Messunsicherheiten im Physikunterricht gestalten. Es ist wichtig, dass Lehrende auf die beschriebenen Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler eingehen und geeignete didaktische Strategien entwickeln, um diese zu überwinden. Die Befragung der Lehrkräfte wird Aufschluss darüber geben, inwieweit sie sich dieser Herausforderungen bewusst sind bzw. welchen Einfluss auf die praktische Relevanz des Themas sich für sie daraus ergibt, und welche Maßnahmen sie ergreifen, um ein fundiertes Verständnis von Messunsicherheiten bei ihren Lernenden zu fördern.

2.2.3 Messunsicherheit aus Sicht der Lehrenden

Der aktuelle Forschungsstand zur Wahrnehmung und Vermittlung von Messunsicherheiten aus der Perspektive von Physiklehrkräften steht im Fokus dieses Kapitels. Obwohl Messunsicherheiten eine fundamentale Fachmethode in der Physik darstellen und ein adäquates Verständnis für den Erkenntnisgewinn essentiell ist, zeigt sich in der Praxis oft eine Diskrepanz zwischen theoretischer Relevanz und praktischer Umsetzung.

Im Artikel "*Messunsicherheit - ein ungeliebter Gast im Physikunterricht?*" wird eine Diskrepanz zwischen "*reasoning on action*" und "*reasoning in action*" bei Lehrkräften vermutet (Holz & Heinicke, 2019b). "*Reasoning on action*" bezieht sich auf das theoretische Nachdenken und Planen von Handlungen, während "*reasoning in action*" das tatsächliche Handeln in der spezifischen Unterrichtssituation beschreibt. Diese Unterscheidung ist wichtig, da Lehrkräfte oft unter Druck anders handeln, als sie es in theoretischen Überlegungen vorhaben. Aus diesem Grund soll in der vorliegenden Arbeit die praktische Umsetzung qualitativ erforscht werden, um herauszufinden, wie Lehrkräfte unter realen Bedingungen handeln und welche Anknüpfungspunkte dabei helfen können, sich dem theoretischen Ideal anzunähern.

Die Ergebnisse der Studie "*Der Rest ist dann halt Messfehler*" legen dar, dass es Lehrkräften an Kompetenzen im Umgang mit Messunsicherheiten mangelt (Holz & Heinicke, 2019a). Die Untersuchung zeigt auf, dass angehende Lehrkräfte die Messunsicherheit der aufgenommenen Daten in Ihrem Unterricht vernachlässigen oder unzureichend behandeln, was auch auf ein Defizit im Verständnis und der Anwendung physikalischer Fachmethoden hindeutet.

Im Gegensatz dazu fand die Studie von Ruhrig und Höttecke (2015) heraus, dass Lehrkräfte eine Vielzahl an Strategien für den Umgang mit Messunsicherheiten einsetzen. Aspekte der beruflichen Kompetenz umfassen dabei sowohl fachliches Wissen als auch die Fähigkeit, unsichere Daten im Unterricht sinnvoll zu integrieren. Die Lehrkräfte entwickeln Orientierungsrahmen, die ihnen helfen, in verschiedenen Unterrichtssituationen adäquat zu handeln. Es zeigte sich jedoch auch hier eine Diskrepanz zwischen der theoretischen Bewertung und der praktischen Anwendung von Messunsicherheiten im Unterricht.

Priemer und Hellwig (2018) zeigen in ihrer Untersuchung, dass Lehrkräfte zwar die Bedeutung allgemeiner Konzepte zu Messunsicherheiten anerkennen, jedoch vereinfachte und praxisnahe Ansätze bevorzugen.

„However, when they were given the simplified version of the same concept they strongly agreed to its relevance. So it seems that the importance of the concepts is convincing to the teachers when they are provided with material that show how the content can be adapted to secondary education“
(Priemer & Hellwig, 2018, S. 65).

Dies legt nahe, dass Lehrkräfte die Relevanz von Messunsicherheiten stärker unterstützen, wenn entsprechende Unterrichtsmaterialien didaktisch aufbereitet und spezifisch auf die Anforderungen der schulischen Praxis zugeschnitten sind.

Sowohl Möhrke als auch Priemer und Hellwig evaluierten, dass Lehrkräfte selten einen maximalen Wert für die Messunsicherheit vor einer Messung festlegen. Möhrke fand zudem, dass "eine Behandlung dieses zentralen Themas als eigenständige Einheit sehr selten vorkommt. Die am häufigsten gewählte Form der Behandlung findet in der Form von Einschüben statt, die – teilweise ‚nebenbei‘ – in den Unterricht eingestreut werden" (Möhrke, 2007, S. 878). Rund 60% der befragten Lehrkräfte gaben an, die Unsicherheit in der Sekundarstufe I lediglich abzuschätzen, ohne explizite Methoden wie die Größtfehlerabschätzung (Bestimmung der maximalen Abweichung) anzuwenden. Explizite Verfahren werden nur von etwa einem Viertel der Lehrkräfte angewendet, und nur ca. 12% geben die Ergebnisse durchgängig mit einer Unsicherheit an.

Aus diesen Darstellungen wird deutlich, dass die theoretische Relevanz von Messunsicherheiten zwar anerkannt wird, die praktische Umsetzung im Unterricht jedoch oft nur marginal erfolgt. Es ist notwendig, die Gründe für diese Diskrepanz mit Hilfe qualitativ-explorativer Forschung weiter zu untersuchen. Es gilt herauszufinden, warum die Relevanz von Messunsicherheiten in Befragungen hoch eingeschätzt wird, die tatsächliche Behandlung im Unterricht jedoch nur am Rande erfolgt.

Einen interessanten Ansatz, der das Potential besitzt diese Diskrepanz zu überwinden, bietet eine Studie von Sivan, Perl-Nussbaum und Yerushalmi (2024). Die Autoren untersuchten das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht aus der Perspektive des sogenannten *commognitive* Ansatzes. Der Begriff *commognitive* ist ein Portemanteau aus den Begriffen *communication* und *cognition* (Sfard, 2008). Dieser Ansatz verbindet die Dimensionen von Kommunikation und Denken und beschreibt Lernen als einen Prozess, bei dem die Lernenden sich die spezifische Sprache und die Praktiken einer professionellen Gemeinschaft aneignen (Sivan et al., 2024).

Für Bildungsforscher bietet die *commognitive Theorie* ein Werkzeug zur Analyse des Lernprozesses, da sie das Lernen über beobachtbare Veränderungen im Diskurs der Lernenden operationalisiert. Diskurse bestehen nach Sfard (2008) aus vier miteinander verbundenen Komponenten: *keywords* (Schlüsselwörter), die in einem bestimmten Kontext unterschiedliche Bedeutungen haben können, *visual mediators* (visuelle

Vermittler), wie Symbole oder Diagramme, *narratives* (Narrative), die Beschreibungen und Regeln enthalten, die von der jeweiligen Gemeinschaft anerkannt werden, und *routines* (Routinen), also wiederkehrende Handlungsmuster zur Bearbeitung von Aufgaben. Jeder Diskurs wird durch *Meta-Regeln* gesteuert, die festlegen, welche Schlüsselwörter und Routinen verwendet werden und welche Narrative als gültig gelten (Sivan et al., 2024, S. 2-3).

In ihrer Studie unterscheiden Sivan et al. (2024) zwischen zwei Diskursen, die im Physikunterricht auftreten: dem *canonical discourse* (kanonischen Diskurs) und dem *prevalent discourse* (prävalenten Diskurs). Der kanonische Diskurs entstammt dem set-paradigm und beschreibt Messunsicherheiten als unvermeidliche Bestandteile jeder Messung und erfordert eine systematische Quantifizierung, beispielsweise durch Standardabweichungen oder Spannweiten. Ein Messwert wird dabei nicht als fester Wert, sondern als eine Annäherung an die Messgröße und gleichzeitig eine Spanne von möglichen Werten verstanden, die durch die Unsicherheit beschrieben wird, also die wissenschaftlich etablierte Sichtweise, wie sie zuvor erläutert wurde und deren Übernahme durch die Lehrpersonen angestrebt und gefördert werden sollte.

Der prävalente Diskurs hingegen beschreibt den vorherrschenden Diskurs unter Lehrkräften im schulischen Kontext, in dem Messunsicherheiten oft nur oberflächlich behandelt oder ganz ignoriert werden. Wenn Unsicherheiten thematisiert werden, werden sie häufig als „Fehler“ verstanden, die als Abweichungen von einem vermeintlich „richtigen“ Wert betrachtet werden. Sivan und Kollegen führen als Hauptursache dafür auf, dass der Fokus im Unterricht auf der Bestätigung theoretischer Konzepte liegt. Lehrkräfte tendieren dazu, lediglich den Mittelwert von Messungen zu präsentieren, ohne die Unsicherheiten systematisch zu berücksichtigen. Ausgewählte Merkmale, die jeweils den prävalenten und den kanonischen Diskurs über Messunsicherheit charakterisieren sind in Tabelle 1 und 2 dargestellt.

Tabelle 1: Ausgewählte Merkmale, die den kanonischen Diskurs zur Messunsicherheit charakterisieren. (Übersetzt und angepasst nach Sivan et al., 2024, S. 4).

Diskursmerkmale	Kanonischer Diskurs
Schlüsselwörter	<ul style="list-style-type: none"> • Messgröße • Messwert • Verteilung • Messunsicherheit • Messergebnis
Visuelle	<ul style="list-style-type: none"> • Plus-Minus-Zeichen (\pm) im Messergebnis (z. B. Mittelwert \pm Unsicherheit)

Vermittler	<ul style="list-style-type: none"> • Grafische Darstellung von Messergebnissen, einschließlich Fehlerbalken
Anerkannte Narrative	<p>Metaebene-Narrative / implizite Meta-Regeln:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Messergebnis ist eine Annäherung an die Messgröße • Das Messergebnis wird durch einen Bereich repräsentiert, der die im Messprozess inhärente Messunsicherheit umfasst • Die Messunsicherheit wird durch statistische Analyse der Messwerte bestimmt, die im Experiment gewonnen wurden <p>Beispielhafte Narrative (explizit):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Messergebnis ist $2,0 \pm 0,1$ Sekunden • Der Mittelwert liegt in der Mitte des Unsicherheitsbereichs. • Es kann niemals einen einzigen „wahren“ Messwert geben.
Routinen	<p>Bestimmen des Messergebnisses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Falle mehrerer Messwerte – Berechnung des Mittelwerts und Bestimmung der Unsicherheit durch verschiedene Methoden (z. B. Standardabweichung, Spannweite, etc.) • Im Falle eines einzelnen Messwerts – Quantifizierung der Unsicherheit im Messprozess. Die Skalenauflösung des Instruments stellt eine Untergrenze für die Unsicherheit dar <p>Reduktion der Unsicherheit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verhältnis der Messunsicherheit zum Messergebnis berechnen, um die relative oder prozentuale Unsicherheit zu ermitteln. • Hauptquellen der Unsicherheit identifizieren, z. B. die Skalenauflösung oder Umweltbedingungen • Gegebenenfalls das Experiment oder das physikalische Modell überarbeiten, um die Unsicherheit zu reduzieren • Umfang der Messreihe vergrößern, um die Unsicherheit besser zu quantifizieren und ggf. zu verringern <p>Vergleich des Messergebnisses mit einem anderen Messwert oder einer theoretischen Vorhersage:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Übereinstimmung zwischen den verglichenen Werten wird auf Basis des Grades der Überlappung ihrer Unsicherheitsintervalle bewertet.

Tabelle 2: Ausgewählte Merkmale, die den prävalenten Diskurs zur Messunsicherheit charakterisieren (Übersetzt und angepasst nach Sivan et al., 2024, S. 6).

Diskursmerkmale	Prävalenter Diskurs
Schlüsselwörter	<ul style="list-style-type: none"> • Zufälliger Fehler • Systematischer Fehler • Absoluter Fehler • Relativer Fehler
Visuelle Vermittler	<ul style="list-style-type: none"> • Delta als Symbol für Fehler: δ oder Δ • Zeichnen einer Trendlinie, um zufällige Fehler visuell darzustellen, da die Messungen darüber und darunter variieren
Anerkannte Narrative	<p>Meta-Ebene Narrative / Implizite Meta-Regeln</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Hauptzweck des Experiments ist es, die gelernte Theorie zu beobachten und zu konkretisieren • Es existiert ein optimales experimentelles System, in dem jede Wiederholung dasselbe Messergebnis produziert. • Der Mittelwert ist ein vertrauenswürdiger Wert zur Darstellung des Messergebnisses. <p>Beispiel-Narrative (explizit)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Experiment ist gescheitert, da das erhaltene Ergebnis zu weit vom erwarteten theoretischen Wert entfernt ist. • Es ist nicht nötig, die Messung mehr als 5 Mal zu wiederholen. • Das Messergebnis hat einen relativen Fehler von 8 %.

Routinen	<p>Bestimmung des Messergebnisses:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Fall einer Messreihe - durch Berechnung des Mittelwerts. • Im Fall einer Einzelmessung - die Messung, mit einem Fehler, der der Auflösung der Instrumentenskala entspricht. <p>Fehlerreduktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des zufälligen Fehlers durch Wiederholung des Messprozesses und Berechnung des Mittelwerts. <p>Vergleich des Messergebnisses mit einem anderen Messergebnis oder mit einer theoretischen Vorhersage:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berechnung des relativen Fehlers und Vergleich mit einem Benchmark (in der Regel 5 % oder 10 %), um den Erfolg des Experiments zu bewerten.
-----------------	---

Die Studie von Sivan et al. (2024) zeigt auf, dass es durch die Unvereinbarkeit (Inkommensurabilität) dieser beiden Diskurse zu *commognitive conflicts* kommt. Diese Konflikte entstehen, wenn Lehrkräfte versuchen, den wissenschaftlich fundierten kanonischen Diskurs zu übernehmen, aber weiterhin an den vertrauten Routinen und Begriffen des prävalenten Diskurses festhalten. Sivan et al. (2024) entwickelten Fortbildungsprogramme, die gezielt solche Konflikte erzeugen, um den Lehrkräften die Limitationen ihrer bisherigen Denkweisen aufzuzeigen:

„We designed PD [professional development] tasks intended to lead participants to acknowledge the limitations of their existing discourse on measurement uncertainty as a precursor to internalizing the canonical discourse“ (Sivan et al., 2024, S. 1).

Auch diese Studie betont die Notwendigkeit weiterer qualitativer Forschung in diesem Bereich, um besser zu verstehen, wie Lehrkräfte den Übergang zum kanonischen Diskurs erfolgreich vollziehen können: „*Research is needed to investigate the ways learners come to participate in the canonical discourse on measurement uncertainty*“ (Sivan et al., 2024, S. 10). Dies verdeutlicht den Bedarf an weiterführender Forschung zu den Mechanismen, die Lehrkräfte bei der Übernahme des wissenschaftlich fundierten Diskurses unterstützen.

Angelehnt an den Ansatz von Sivan und Kollegen (2024) soll in dieser Arbeit ebenfalls untersucht werden, inwieweit sich Hinweise auf den prävalenten und den kanonischen Diskurs bzw. Das point- oder setparadigm in den Aussagen der Physiklehrkräfte finden lassen. Im Gegensatz zu den klar abgegrenzten Stadien des Transformationsprozesses vom Point- zum Set-Paradigma nach Wilson et al. (2010) können die verschiedenen Diskursmerkmale der Theorie von Sivan et al. (2024) parallel auftreten, was eine realistischere und differenzierte Abbildung der Unterrichtspraxis ermöglicht. Dabei wird speziell darauf geachtet, ob und wie Lehrkräfte zwischen vereinfachten und

wissenschaftlich fundierten Konzepten der Messunsicherheit unterscheiden, und ob sich potenzielle *commognitive conflicts* in ihrem Umgang mit diesem Thema zeigen.

Eine Betrachtung der Diskurse in denen sich die Lehrkräfte bewegen soll dazu beitragen ein tieferes Verständnis der Unterrichtsrealität zu erhalten. Daneben können mögliche commognitive Konflikte Anknüpfungspunkte sein, die zu wertvollen Lernmomenten führen, weil sie Betreffende zur Anpassung und Erweiterung ihres Verständnisses zwingen. Sie fordern eine Auseinandersetzung und Integration neuer Denkweisen, die zur Vertiefung des Wissens und zur Weiterentwicklung kognitiver Fähigkeiten beitragen können (Sfard, 2008).

2.3 Anforderungen und Erwartungen an das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht

Der Physikunterricht hat das Ziel, Schülerinnen und Schülern nicht nur fachliches Wissen, sondern auch methodische Kompetenzen zu vermitteln. Ein zentrales Element dieser methodischen Kompetenzen ist das Verständnis von Messunsicherheiten, das eng mit der Naturwissenschaft als Prozess ("Nature of Science", NoS) verbunden ist. Messunsicherheiten spielen eine wesentliche Rolle in der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und sind daher ein bedeutender Bestandteil des Physikunterrichts. Dabei beschreibt die NoS die grundlegenden Eigenschaften und Prozesse der Wissenschaft. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist das Verständnis, dass wissenschaftliches Wissen vorläufig und durch den wissenschaftlichen Prozess geprägt ist. Des Weiteren ist zu beachten, dass Messunsicherheiten ein inhärenter Bestandteil dieses Prozesses sind und verdeutlichen, dass alle Messungen und Ergebnisse mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind (Lederman, 2007). Ein Verständnis dessen fördert kritisches Denken und ein realistisches Bild von wissenschaftlichen Erkenntnissen (Manassero-Mas & Vázquez-Alonso, 2022).

Priemer (2022) betont, dass das Bewusstsein für Messunsicherheiten hilft, die Grenzen wissenschaftlicher Methoden zu verstehen und eine realistischere Vorstellung von Wissenschaft zu entwickeln. Dieses Verständnis sei entscheidend für eine fundierte wissenschaftliche Bildung.

Die Rolle von Experimenten in der Kompetenzentwicklung

Experimente sind ein zentrales Element des Physikunterrichts und dienen der Entwicklung experimenteller Kompetenzen. Diese umfassen das Planen und Durchführen von Experimenten, das Auswerten und Reflektieren von Ergebnissen sowie die Entwicklung methodischer Kompetenzen. Auf Grund der Tatsache, dass Experimente vielfältige Lernprozesse initiieren, sind sie besonders wertvoll im Bildungsprozess.

Beim Planen und Durchführen von Experimenten lernen Schülerinnen und Schüler, wie man wissenschaftliche Fragestellungen in praktische Untersuchungen umsetzt. Hierbei ist die Berücksichtigung von Messunsicherheiten unerlässlich. Beispielsweise müssen sie verstehen, wie Unsicherheiten die Wahl der Messinstrumente und die Durchführung der Experimente beeinflussen, um ein Intervall zu bestimmen, das die wahrscheinlichen Werte enthält.

Darauf aufbauend beinhaltet die Auswertung von Experimenten das Erkennen und Quantifizieren von Unsicherheiten in den Messdaten. Dies erfordert eine kritische Analyse der Ergebnisse und die Fähigkeit, Schlussfolgerungen unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten zu ziehen. Nawrath, Maiseyenko und Schecker (2011) zeigen, dass die Fähigkeit, Unsicherheiten zu identifizieren und zu bewerten, entscheidend für die Interpretation von Experimenten ist (Nawrath et al., 2011).

Somit fördert die Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten methodische Kompetenzen wie das präzise Messen, das sorgfältige Dokumentieren und das systematische Analysieren von Daten. Diese Fähigkeiten sind nicht nur im Physikunterricht, sondern in allen naturwissenschaftlichen Fächern von großer Bedeutung (Priemer, 2022).

Des Weiteren verfolgen Experimente im Physikunterricht mehrere didaktische Ziele, die alle durch die Thematisierung von Messunsicherheiten unterstützt werden. Zum einen machen Experimente abstrakte physikalische Konzepte greifbar und verständlich. Besonders hervorzuheben ist, dass das Bewusstsein für Messunsicherheiten hilft, die Beobachtungen realistischer zu interpretieren und die Grenzen der Messgenauigkeit zu verstehen. Dies verhindert Missverständnisse und fördert ein genaueres Verständnis der beobachteten Phänomene (Helwig, 2012).

Zum anderen erkennen Schülerinnen und Schüler durch Experimente die Beziehungen zwischen verschiedenen physikalischen Größen. Die Berücksichtigung von Messunsicherheiten zeigt ihnen, dass diese Beziehungen nicht immer eindeutig und absolut sind, sondern innerhalb gewisser Grenzen variieren können. Dies führt zu einem

tieferen Verständnis der Komplexität physikalischer Zusammenhänge (Nawrath et al., 2011).

Verglichen dazu vermittelt die Thematisierung von Messunsicherheiten wesentliche Aspekte der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise. Experimente lehren Schülerinnen und Schüler, dass Genauigkeit und Präzision in der Wissenschaft relativ und kontextabhängig sind. Dies umfasst das systematische Beobachten, das genaue Messen und das kritische Auswerten von Daten, wobei Messunsicherheiten ein integraler Bestandteil dieser Arbeitsweisen sind (Helwig, 2012).

Folglich ergibt sich, dass die Integration des Themas Messunsicherheiten in den Physikunterricht entscheidend für die Entwicklung eines fundierten wissenschaftlichen Verständnisses bei Schülerinnen und Schülern ist. Es fördert nicht nur das Wissen über physikalische Phänomene, sondern auch die methodischen und experimentellen Kompetenzen, die für wissenschaftliches Arbeiten unerlässlich sind. Durch die Thematisierung von Messunsicherheiten wird der Physikunterricht realistischer und relevanter, indem er die tatsächliche Natur wissenschaftlicher Erkenntnisprozesse widerspiegelt.

Im folgenden Kapitel soll nun darauf eingegangen werden wie der Rahmenlehrplan der Länder Berlin/Brandenburg und die Bildungsstandards das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht integrieren und welche Anforderungen und Bedeutung dem Thema zukommen.

2.4 Messunsicherheiten in curricularen Vorgaben und Unterrichtspraxis

2.4.1 Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Die Beschlüsse der Kultusministerkonferenz zu den „Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss“ von 2004 beinhalteten zunächst keine explizite Behandlung von Messunsicherheiten oder „Messfehlern“. Erst in den Weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA), die zuletzt am 13.06.2024 aktualisiert wurden, wird dem Thema eine größere Bedeutung beigemessen. Im Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ wird nun explizit gefordert, dass die Lernenden im Bereich „E 3: Ergebnisse interpretieren und Erkenntnisprozesse reflektieren“ die Fähigkeit entwickeln sollen, „Messergebnisse unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten zu interpretieren und Möglichkeiten zur Verbesserung des

Messprozesses zu beschreiben" (Kultusministerkonferenz, 2024, S. 10). Diese Entwicklung verdeutlicht die zunehmende Anerkennung der Bedeutung von Messunsicherheiten im physikalischen Unterricht.

2.4.2 Messunsicherheiten im Rahmenlehrplan der Sekundarstufe I

Der Rahmenlehrplan Teil C der Sekundarstufe I für Berlin und Brandenburg betont im Kompetenzbereich „Erkenntnisgewinnung“ die Bedeutung naturwissenschaftlicher Untersuchungen. Schülerinnen und Schüler sollen in der Lage sein, „Experimente mit Kontrolle zu planen und durchzuführen; Untersuchungsergebnisse (auch erwartungswidrige) zu interpretieren; den Untersuchungsplan und die praktische Umsetzung zu beurteilen; [und] Daten, Trends und Beziehungen zu interpretieren, diese zu erklären und weiterführende Schlussfolgerungen abzuleiten“ (SenBfJ, 2017, S. 20). All diese Kompetenzen sind im naturwissenschaftlichen Kontext nur unter der Betrachtung von Messunsicherheiten möglich.

Im Bereich „Elemente der Mathematik anwenden“ wird in den Niveaustufen E-H konkret auf die Behandlung von Unsicherheiten eingegangen. Die Schülerinnen und Schüler sollen „*Messgrößen ermitteln und Fehlerquellen von Messungen angeben; den Einfluss von Messfehlern erläutern; Mittelwerte einer Messreihe berechnen; grobe, zufällige und systematische Fehler unterscheiden*“ (SenBfJ, 2017, S.21).

Ein kritischer Aspekt ist dabei die durchgängige Verwendung des Begriffs „Fehlerquellen“ und „Messfehler“. Diese Terminologie ist problematisch, da der Begriff „Fehler“ impliziert, dass etwas falsch gemacht wurde. Dies kann zu Missverständnissen führen, insbesondere bei Schülerinnen und Schülern, die den Unterschied zwischen Messfehlern und Messunsicherheiten möglicherweise nicht kennen.

2.4.3 Messunsicherheiten im Rahmenlehrplan der Sekundarstufe II

Die Behandlung von Messunsicherheiten erfährt in der gymnasialen Oberstufe eine deutliche Vertiefung und Systematisierung im Vergleich zur Sekundarstufe I. Dies zeigt sich bereits in der Einführungsphase, wo im Themenfeld "Charakteristische Denk- und Arbeitsweisen in der Physik" der "Umgang mit Messunsicherheiten: systematische und zufällige Messabweichungen, absolute und relative Abweichungen, Mittelwert und

Standardabweichung für Messgrößen" (SenBJF, 2021, S. 19) als eigenständiger Inhalt aufgeführt wird.

Bemerkenswert ist der durchgängige Wechsel in der Terminologie von "Messfehlern" zu "Messunsicherheiten", was die konzeptuelle Weiterentwicklung des Themas widerspiegelt.

Der Rahmenlehrplan differenziert dabei deutlich zwischen den Anforderungen im Grund- und Leistungskurs. Während im Grundkurs die grundlegende Berücksichtigung von Messunsicherheiten bei der Interpretation von Messdaten im Vordergrund steht, wird im Leistungskurs "vermehrt auf einen formalen Umgang mit Messunsicherheiten und auf die Reflexion über Vor- und Nachteile oder die Aussagekraft verschiedener Mess- und Auswertungsverfahren Wert gelegt" (SenBJF, 2021, S. 9).

Die praktische Umsetzung erfolgt anhand konkreter experimenteller Aufgaben, bei denen die mathematische Behandlung von Messunsicherheiten integraler Bestandteil ist. Als Beispiele nennt der Rahmenlehrplan die "*Bestimmung der Fallbeschleunigung aus Fallzeiten*" und die "*Bestimmung der Aktivität einer radioaktiven Probe aus wiederholten Zählratenmessungen*" (SenBJF, 2021, S. 19).

Ein wichtiger Aspekt ist die verstärkte Nutzung statistischer Methoden. Die Schülerinnen und Schüler sollen lernen, "*Messunsicherheiten zu berücksichtigen und die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses zu analysieren*" (SenBJF, 2021, S. 28). Diese Kompetenz wird besonders im Leistungskurs durch die mathematisch fundiertere Behandlung vertieft.

Die vertiefte Behandlung von Messunsicherheiten in der Oberstufe trägt damit wesentlich zur wissenschaftspropädeutischen Ausbildung bei und bereitet die Schülerinnen und Schüler auf ein naturwissenschaftliches Studium vor.

2.4.4 Vergleich mit dem Sachstrukturmodell von Hellwig

Die Anforderungen des Rahmenlehrplans spiegeln zentrale Inhalte des Sachstrukturmodells von Julia Hellwig wider. Hellwigs Modell umfasst grundlegende Konzepte wie die Differenzierung zwischen groben, zufälligen und systematischen Fehlern sowie die Notwendigkeit der statistischen Analyse von Messreihen zur Bestimmung von Mittelwerten und Standardabweichungen (Hellwig, 2013).

Allerdings fehlen im Rahmenlehrplan wichtige Aspekte des Sachstrukturmodells. Insbesondere die Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Messungen, Messunsicherheit und Messabweichung sowie die Fortpflanzung der Unsicherheit werden nicht explizit behandelt. Darüber hinaus betont Hellwig die Bedeutung der Reflexion und Interpretation von Messergebnissen, einschließlich der Bewertung der Zuverlässigkeit von Messungen (Hellwig, 2013; Priemer & Hellwig, 2018).

2.4.5 Integrationsmöglichkeiten im Unterricht

Der Rahmenlehrplan bietet vielfältige Anknüpfungspunkte für die Behandlung von Messunsicherheiten, auch über die explizit genannten Bereiche hinaus. Im Kompetenzbereich „Kommunizieren“ sollen Schülerinnen und Schüler lernen, „die Aussagekraft von Darstellungen bewerten und hinterfragen“ (Rahmenlehrplan, 2004, S.22). Diese Kompetenz lässt sich ideal mit der Betrachtung von Messunsicherheiten verknüpfen.

Auch der Bereich „Argumentieren – Interaktion“ bietet Potenzial für die Integration des Themas. Die geforderten Fähigkeiten wie das Begründen von Aussagen mit Daten und das Erkennen von Widersprüchen in Argumentationen können am Beispiel der Interpretation von Messdaten unter Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten entwickelt werden. Wie Priemer (2022, S. 88) argumentiert, sind "Messungen und deren Unsicherheiten wichtiger Ausgangspunkt von wissenschaftlicher Erkenntnis" und ermöglichen erst eine fundierte "Diskussion über die Qualität der Ergebnisse und die daraus gezogenen Folgerungen".

Ein konkretes Beispiel für die praktische Implementation bietet die im Rahmenlehrplan für die Doppeljahrgangsstufe 7/8 vorgesehene experimentelle Bestimmung der Dichte. Hellwig, Schulz und Priemer (2017) beschreiben in ihrem Artikel ein Experiment zur Bestimmung der Dichte einer 1-Cent-Münze, das sich hervorragend eignet, um Schülerinnen und Schülern die Bedeutung von Messunsicherheiten nahezubringen. In diesem Experiment wird anschaulich demonstriert, wie Unsicherheiten bei der Bestimmung von Volumen und Masse die errechnete Dichte beeinflussen und wie Wiederholungsmessungen sowie die Berechnung von Mittelwerten zur Reduktion von Zufallsfehlern beitragen.

Durch solche praxisnahen Experimente können Schülerinnen und Schüler ein tiefes Verständnis für die Rolle von Messunsicherheiten im wissenschaftlichen Prozess entwickeln. Dies fördert nicht nur ihre experimentellen Fähigkeiten, sondern auch eine kritische und reflektierte Herangehensweise an wissenschaftliche Fragestellungen.

2.4.6 Zwischenfazit und Fragestellung

In den Schulbüchern wird Messunsicherheit häufig nicht ausreichend behandelt, was dazu führt, dass Lernende ein unvollständiges Bild von wissenschaftlichen Messungen erhalten. Eine adäquate Vermittlung der Konzepte der Messunsicherheit kann jedoch dazu beitragen, die wissenschaftliche Kompetenz der Schüler zu stärken und ihre Fähigkeit zu verbessern, Messergebnisse kritisch zu hinterfragen und zu interpretieren (Baumann, 2010).

Wie in diesem Theoriekapitel erläutert wurde, weisen sowohl viele Studierende als auch Schülerinnen und Schüler konzeptionelle Missverständnisse auf, die einen adäquaten Umgang mit Messunsicherheiten verhindern (siehe z.B. Buffler et al., 2009; Hull et al., 2020). Dieser ist jedoch notwendig für die Durchdringung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses, da er ein Schwellenkonzept darstellt, der mit signifikanten Veränderung im Denkprozess von einem point zu einem set paradigm einhergeht (Serbanescu, 2017; Pollard et al., 2017) und Bestandteil der „Nature of Science“ ist (Lederman, 2007).

In didaktischer Hinsicht bietet das Konzept der Messunsicherheit einen wertvollen Lerngegenstand und zudem beinhaltet der Rahmenlehrplan die Thematisierung von Messunsicherheiten im Physikunterricht besonders im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. Auch wenn der Rahmenlehrplan ungünstigerweise von „Messfehlern“ spricht und Messunsicherheiten nicht als inhärenten Bestandteil einer jeden Messung thematisiert, berücksichtigt er dennoch die Bedeutung der Messunsicherheit.

Aus diesem Grund und da besonders auf universitärem Niveau die Anforderungen an den Umgang mit Messunsicherheiten über einfache Konzepte hinausgehen, besteht die Notwendigkeit an Oberschulen und Gymnasien ein strukturiertes und konzeptionelles Verständnis von der Existenz und dem Umgang mit Messunsicherheiten zu vermitteln. Die Inhalte von Julia Hellwigs Modell eignen sich durch ihre verschiedenen Ebenen und

Kategorien als eine solche Basis für die Sekundarstufe I, auf die systematisch je nach Bildungsniveau aufgebaut werden kann.

Lehrkräfte sehen eine Notwendigkeit und Relevanz in der Behandlung des Themas Messunsicherheiten, setzen diese in der Praxis jedoch nur nebenbei und selten unter Verwendung expliziter Verfahren um (siehe z.B. Holz & Heinicke, 2019b; Möhrke, 2020; Priemer & Hellwig, 2018). Um diese Diskrepanz zu verstehen sollen in dieser qualitativen Studie Lehrkräfte zu ihren tatsächlich durchgeführten Unterrichtseinheiten zum Thema Messunsicherheiten befragt werden.

Es soll herausgearbeitet werden, welche Inhalte Lehrpersonen für schulisch relevant halten, wie sie das Thema praktisch in ihren Unterricht integrieren und aus welchem Diskurs heraus sie das Thema vermitteln. Ein besseres Verständnis dessen kann Aufschluss über die Herausforderungen und Bedürfnisse der Lehrkräfte bringen und Ansätze zur Verbesserung der Unterrichtspraxis zum Thema Messunsicherheiten im Fach Physik hervorbringen.

3. Methodik

Die vorliegende Studie untersucht, welche Relevanz dem Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht von Berliner Lehrpersonen zugeschrieben wird und wie diese das Thema in ihrem Unterricht behandeln. Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurden qualitative semi-strukturierte Interviews geführt, die es ermöglichen, individuelle Perspektiven, Unterrichtsroutinen und zugrundeliegende Diskurse der Lehrpersonen zu erfassen. Das qualitative Forschungsdesign wurde gewählt, da es durch seine Offenheit und Flexibilität eine tiefgehende Exploration der subjektiven Sichtweisen und Erfahrungen der Lehrpersonen erlaubt (vgl. Flick, 2018; Mayring & Fenzl, 2019). Ziel ist es, fundierte Rückschlüsse auf die Wahrnehmung, Umsetzung und potenzielle Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Thema Messunsicherheiten zu ziehen.

3.1 Stichprobe

Die Stichprobe besteht aus 15 Physiklehrkräften aus Berlin, die unterschiedliche Perspektiven auf das Thema repräsentieren. Sie sind an verschiedenen Schulformen tätig, darunter 8 an Gymnasien, 5 an integrierten Sekundarschulen und 2 an Oberstufenzentren. Die Unterrichtserfahrung der Teilnehmenden variiert zwischen 1,5 und 26 Jahren. Darüber hinaus umfasst die Stichprobe 4 weibliche und 11 männliche Lehrkräfte. Durch diese Auswahl wird eine Vielzahl an Erfahrungen und Sichtweisen berücksichtigt.

11 Teilnehmende wurden im Rahmen einer Fortbildung zu diesem Thema angesprochen, wobei die Interviews durchgeführt wurden, bevor inhaltlicher Input zum Thema Messunsicherheiten erfolgt ist. Dennoch kann man von einem erhöhten Interesse an und Wissen über Messunsicherheiten ausgehen. Um diesen potenziellen Selection Bias auszugleichen, wurden 4 weitere Lehrkräfte unabhängig von der Fortbildung rekrutiert. Die bewusste Diversifizierung der Stichprobe erlaubt es, verschiedene Perspektiven und Diskurse abzubilden, was insbesondere in explorativen qualitativen Studien von zentraler Bedeutung ist (vgl. Flick, 2018).

Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Die Lehrkräfte wurden im Vorfeld über den Zweck der Forschung und die Anonymisierung ihrer Daten informiert. Nach Einwilligung wurden die Interviews aufgezeichnet und wörtlich transkribiert. Die Anonymisierung

erfolgte unmittelbar nach der Transkription, sodass keine personenbezogenen Daten in den Forschungsergebnissen enthalten sind.

3.2 Datenerhebungsmethode

Die Interviews wurden im September und Oktober 2024 über Zoom durchgeführt, digital aufgezeichnet und wörtlich mittels des „whisper large V2 model“ transkribiert, wobei Füllwörter, Wiederholungen sowie grammatikalische und syntaktische Besonderheiten erhalten blieben. Ziel war es, den Originalwortlaut der Lehrpersonen vollständig abzubilden und eine authentische Grundlage für die qualitative Analyse zu schaffen (vgl. Mayring & Fenzl, 2019). Die vollständigen Transkripte befinden sich im Anhang 1.

Semi-strukturierte Interviews wurden als Erhebungsmethode gewählt, da sie sich besonders gut eignen, um persönliche Sichtweisen und Unterrichtsroutinen qualitativ zu erfassen. Die Forschungsfrage erfordert eine differenzierte Erhebung der individuellen Perspektiven der Lehrkräfte, die sich durch standardisierte oder quantitative Methoden nur schwer adäquat erfassen lassen (vgl. Brinkmann, 2014). Die Methodik ermöglicht es, durch einen vorab entwickelten Leitfaden bestimmte Themen systematisch anzusprechen, gleichzeitig aber auch flexibel auf die Antworten der Lehrpersonen einzugehen, um unvorhergesehene Aspekte zu erfassen.

Die im Leitfaden enthaltenen Fragen wurden in Alltagssprache formuliert, um eine möglichst unbefangene und offene Gesprächsatmosphäre zu schaffen. Sie sind darauf ausgerichtet, die Ansichten bezogen auf den individuellen Unterricht der Lehrperson selbst zu erfragen, um sich von der allgemein theoretisch wahrgenommenen Relevanz abzugrenzen, die bereits in verschiedenen Studien evaluiert wurde (vgl. Hellwig et al., 2017; Holz & Heinicke, 2019b; Möhrke, 2020; Priemer & Hellwig, 2018; Ruhrig & Höttecke, 2015).

Der folgende Interviewleitfaden bildet die Grundlage der Gesprächsführung und gibt eine Übersicht über die abgefragten Themen und Fragen:

Interviewleitfaden

Lehrerfahrung und Schulform erfragen (1 Minute, insgesamt: 1 Minute):

- Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule?
- An welcher Schulform unterrichten Sie momentan Physik?

Unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten erfragen (5 Minuten, insgesamt: 6 Minuten):

- Für wie wichtig erachten Sie das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- Wie häufig thematisieren Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht?

Definition des Begriffs Messunsicherheit erfragen (2 Minuten, insgesamt: 8 Minuten):

- Wie definieren Sie den Begriff Messunsicherheit?
- Was verstehen Sie unter dem Begriff Messunsicherheit?

Handlungsroutinen aus dem Unterricht erfragen (5 Minuten, insgesamt: 15 Minuten):

- Beschreiben Sie kurz, wie Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht thematisieren.
- Welche Verfahren und Regeln zur Bestimmung der Messunsicherheiten nutzen Sie im Unterricht?
- Wie nutzen Sie das Ergebnis der Messunsicherheit im weiteren Unterrichtsverlauf?

Mögliche Nachfragen bei kurzen Antworten:

- Sie haben eben [X] gesagt. Können Sie dazu noch etwas mehr erzählen?

Die Fragen des Leitfadens sind so gestaltet, dass sie systematisch verschiedene Dimensionen der Forschungsfrage abdecken: von der Relevanz des Themas über die praktische Umsetzung bis hin zur Diskursanalyse. Die Frage nach der Definition von Messunsicherheiten wurde integriert, um Einblicke in die zugrundeliegenden Diskurse der Lehrpersonen zu erhalten und mögliche Paradigmen in ihren Antworten zu identifizieren. Gleichzeitig bleibt ausreichend Flexibilität, um individuelle Sichtweisen und unvorhergesehene Aspekte in die Analyse einzubeziehen. Die Struktur des Leitfadens spiegelt die Logik der Untersuchung wider, beginnend mit allgemeinen Kontextfragen, über die Relevanzwahrnehmung bis hin zur praktischen Umsetzung und Diskursanalyse. Diese methodische Gestaltung stellt sicher, dass sowohl die inhaltliche Tiefe der Interviews gewährleistet ist als auch eine klare Orientierung für die Analyse vorliegt.

3.3 Datenauswertung

Die Auswertung der Interviews folgte einem kombinierten Ansatz aus induktiver und deduktiver Analyse, um die Forschungsfrage umfassend zu beantworten. Dazu wurden die

Transkripte zunächst in einer Thematischen Analyse induktiv untersucht, um prominente Themen zu den zentralen Fragestellungen – Relevanz des Themas Messunsicherheiten, Häufigkeit der Thematisierung und konkrete Unterrichtspraktiken – herauszuarbeiten. Dies erfolgte durch eine offene Kodierung, bei der die Daten ohne vorgefertigte Kategorien untersucht wurden. Aus dieser Analyse wurden übergeordnete Themen abgeleitet und in einer Tabelle systematisch dargestellt, die zentrale Aspekte mit den dazugehörigen repräsentativen Zitaten der Lehrkräfte zusammenführt. Die vollständige Liste ist im Anhang 2 einzusehen. Ein ausgewähltes Beispiel zur Einschätzung des Themas im Zusammenhang mit der digitalen Messwerterfassung ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Beispiel eines prominenten Themas mit dazugehörigen Zitaten

Thema	Interviewzitat
Relevant für digitale Messwerterfassung	<p>LPA: „Also, ich habe jetzt festgestellt, mit der Einführung der digitalen Messwerterfassung, (...) da wird es (...) mehr zum Tragen kommen.“</p> <p>LPK: „(...) wir müssen uns wirklich angucken, wenn wir mit digitalen Messgeräten arbeiten, dass diese dann halt ganz andere Anzeigen machen (...)“</p>

Neben dieser thematischen Analyse wurde jedes einzelne Interview zusätzlich deduktiv analysiert, indem die Aussagen der Lehrpersonen gezielt auf Diskursmerkmale des kanonischen und prävalenten Diskurses hin untersucht wurden. Die Zuordnung erfolgte auf Basis spezifischer Merkmale wie Schlüsselbegriffe, narrative Muster und Routinen, welche als Orientierung genutzt wurden, um Aussagen der Lehrpersonen systematisch zuzuordnen und die Diskurse zu identifizieren, aus denen sie argumentieren. So konnten Aussagen kategorisiert werden, die etwa Messunsicherheiten als unvermeidbare Schwankungen im Rahmen wissenschaftlicher Messungen (kanonischer Diskurs) oder als Abweichungen vom wahren Wert (prävalenter Diskurs) einordneten. Anhang 3 zeigt die Zuordnung der Aussagen zu den Diskursen und die damit verbundenen Merkmale. Ein repräsentatives Beispiel für eine Diskurszuordnung einer Aussage einer Lehrkraft mit den zugehörigen Diskursmerkmalen ist in Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 4: Diskurszuordnung der Aussage einer Lehrkraft mit zugehörigen Diskursmerkmalen

Aussage der Lehrkraft	Zuordnung zum Diskurs	Diskursmerkmale
LPI: „Messunsicherheiten sind jegliche Faktoren, die ein Messergebnis verfälschen können.“	Prävalenter Diskurs	Vorstellung eines wahren Werts, Unsicherheit als Abweichung vom oder Verfälschung des wahren Werts

Zusätzlich wurde innerhalb der Diskursanalyse induktiv nach möglichen commognitiven Konflikten gesucht, die in Form von Spannungen oder Widersprüchen innerhalb der Aussagen einzelner Lehrpersonen auftraten und darauf hinweisen, dass sich die Lehrkraft zwischen den beiden Diskursen bewegt. Solche Konflikte traten sowohl implizit auf – etwa in Form von Aussagen, die sich gegenseitig ausschließen – als auch explizit, wenn Lehrpersonen selbst ihre Unsicherheiten oder Konflikte zu bestimmten Aspekten artikulierten. Diese Konflikte wurden systematisch analysiert, da sie Hinweise auf Lerngelegenheiten und potenzielle Ansatzpunkte für eine effektivere Vermittlung des Themas Messunsicherheiten bieten.

Durch die Kombination von induktiver und deduktiver Analyse konnte sowohl eine strukturierte Zuordnung der Aussagen zu theoretischen Diskursen als auch die Entdeckung neuer Muster und Phänomene gewährleistet werden. Diese Methodik bietet eine fundierte Grundlage, um die Forschungsfrage detailliert zu beantworten und Aussagen über die Routinen, Perspektiven, Diskurse und commognitiven Konflikte der Lehrpersonen zu treffen. Alle Schritte der Auswertung wurden transparent dokumentiert und sind im Anhang nachvollziehbar.

Insbesondere die Identifikation von commognitiven Konflikten innerhalb der Aussagen einzelner Lehrpersonen, entstand aus der offenen Analyse der Daten und bietet innovative Einblicke in bislang wenig untersuchte Dynamiken.

Die theoretische Grundlage für die Diskursmerkmale wurde konsequent angewandt, um eine einheitliche Analyse sicherzustellen. Die methodische Anlage dieser Arbeit folgt den Gütekriterien qualitativer Sozialforschung (vgl. Flick, 2018) und ermöglicht tiefgehende Einblicke in die Perspektiven von Physiklehrkräften, auch wenn die geringe Stichprobengröße und der Rekrutierungskontext die Übertragbarkeit der Ergebnisse begrenzen und eine statistische Validierung naturgemäß nicht möglich ist. Daher versteht sich diese Studie nicht als repräsentative Gesamtdarstellung sondern als explorative

Untersuchung, die trotz der beschriebenen Limitationen sowohl wissenschaftlich fundierte als auch praxisrelevante Erkenntnisse liefert, die Impulse für weiterführende Forschung bieten, insbesondere zur Untersuchung von Lernprozessen im Kontext commognitiver Konflikte und zur Entwicklung von Fortbildungskonzepten für Lehrkräfte.

4. Darstellung der Ergebnisse

Das vorliegende Kapitel präsentiert die Ergebnisse der Untersuchung zur Forschungsfrage: *„Welche Relevanz wird dem Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht von Berliner Lehrpersonen zugeschrieben und wie thematisieren sie dieses?“* Die Ergebnisse werden entlang der zentralen Aspekte der Forschungsfrage gegliedert und in einem strukturierten Aufbau dargestellt.

Im ersten Abschnitt werden die Einschätzungen der befragten Lehrkräfte zur Relevanz des Themas Messunsicherheiten im Physikunterricht dargestellt. Anschließend werden Routinen und Verfahren beschrieben, die die Lehrkräfte nutzen, um das Konzept der Messunsicherheit in ihren Unterricht zu integrieren. Ergänzend wird die Häufigkeit betrachtet, mit der Lehrpersonen das Thema nach eigenen Angaben im Unterricht thematisieren. Darauf folgt die Darstellung der Antworten auf die Frage, wie Lehrkräfte das Ergebnis der Messunsicherheit im weiteren Verlauf des Unterrichts verwenden. Alle inhaltlichen Kategorien und herausragende Themen werden in diesem Zusammenhang zusammenfassend aufgezeigt und mit Kernaussagen aus den Interviews illustriert, um die Argumentation zu stützen und die Perspektiven der Befragten authentisch wiederzugeben. Zusätzliche relevante Aussagen, die das Thema ergänzend beleuchten, sind im Anhang 2 dokumentiert.

Im zweiten Abschnitt der Datenanalyse wurden die Aussagen der Lehrkräfte systematisch im Hinblick auf die Merkmale der zugrunde liegenden Diskurse untersucht und diesen zugeordnet. Dabei wird analysiert, ob die jeweiligen Aussagen dem prävalenten oder kanonischen Diskurs zuzuordnen sind. Eine ausführliche Übersicht, die die detaillierte Analyse und Zuordnung aller substantiellen Aussagen der Lehrpersonen umfasst, ist im Anhang 3 dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse des zweiten Teils erfolgt durch eine kurze Beschreibung der einzelnen Lehrpersonen und deren Verortung im Diskurs. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei den commognitiven Konflikten, die auftreten können, wenn zwei inkommensurable Diskurse aufeinandertreffen.

Dieses Kapitel ermöglicht somit eine differenzierte Darstellung der Ergebnisse, um die Perspektiven der Berliner Physiklehrkräfte auf das Thema Messunsicherheiten im Unterricht transparent zu machen und die Forschungsfrage im Folgenden fundiert beantworten zu können.

4.1 Messunsicherheiten im Physikunterricht: Relevanz, Routinen und Umsetzung aus Sicht der Lehrkräfte

Die erste inhaltliche Frage des Interviews erfragt die Relevanz des Themas Messunsicherheiten für den Physikunterricht, wobei einige Lehrkräfte das Thema als weniger relevant für den regulären Schulunterricht bewerten, insbesondere in der Sekundarstufe I. Dies wird besonders deutlich in der Aussage von Lehrperson A, die anmerkt, dass sie "ein bisschen den Eindruck habe, so richtig relevant ist es eigentlich in der Schulphysik nicht" (Z. 5-6). Mit dem Thema Messunsicherheiten wird außerdem eine zeitintensive und vertiefende Auseinandersetzung assoziiert, die von einigen Lehrkräften als hinderlich für den Einsatz im Unterricht betrachtet wird. Lehrperson C betont dies mit der Aussage, dass man "wirklich viel Zeit [braucht], um das zu erklären" (Z. 213). Es wird angemerkt, dass eine tiefere Behandlung oft mit Problemen verbunden ist und sich nur schwer in den Unterrichtsalltag integrieren lässt, LPE: „Und da treten immer wieder sehr große Probleme auf. Also, ja, muss ich glaube ich nicht nie ausführen“ (Z. 486-487). Auch wird mit der Behandlung des Themas ein höheres mathematisches Niveau assoziiert, welches teilweise auf Grund der Schulform oder der SchülerInnenschaft nicht angestrebt werden kann. Dies wird deutlich, wenn eine Lehrkraft erklärt, dass eine quantitative Analyse der Messunsicherheiten "die Aufnahmekapazität der allermeisten Schülerinnen und Schüler doch sprengen" (Z. 1715-1716) würde. Eine andere Lehrkraft beschreibt, dass in einer Klasse geschaut werden muss, "inwiefern ich das da integrieren kann" (Z. 1295), da diese "relativ leistungsschwach, vor allem mathematisch" (Z. 1294) sei. Das Thema wird dabei von einigen Lehrkräften "nicht als Chance gesehen sondern als Problem" (Z. 38-40, LPA) und von vielen Lehrkräften nur dann thematisiert, wenn "die Daten ausgewertet werden und es kommt ein Wert raus, der nicht perfekt zur Theorie passt" (Z. 1399-1400, LPM).

4.1.1 Unterschiede zwischen Sekundarstufe I und II

Die Relevanz des Themas Messunsicherheiten wird stark zwischen der Sekundarstufe I und II differenziert. Dies wird besonders deutlich in der Aussage von Lehrperson M, die erklärt, dass eine "richtig quantitative Angabe von Messunsicherheit (...) tatsächlich nur in der Oberstufe und eigentlich auch mit meinem Profil- und Leistungskurs" erfolgt, wo "wirklich konsequent drauf geachtet" wird (Z. 1404-1408). Eine ähnliche Perspektive zeigt sich bei Lehrperson C, die betont, dass das Thema für die Sekundarstufe I "nicht sehr

notwendig" sei, aber für Schülerinnen und Schüler, die sich "später für die Sekundarstufe II entscheiden" relevant werde (Z. 244-247).

Auffallend in diesem Zusammenhang ist auch die kritische Reflexion von Lehrperson G, die auf ein grundlegendes Problem hinweist: Auch wenn das Thema in der Oberstufe systematischer eingeführt wird, beobachtet sie, dass die Lernenden "immer wieder bei der gleichen Ebene" bleiben, da zuvor "nie ganz fundiert ein Konzept eingeführt" wurde (Z. 739-742).

4.1.2 Verankerung im Rahmenlehrplan und Kompetenzerwerb

Die curriculare Verankerung des Themas wird von den Lehrkräften unterschiedlich wahrgenommen. Während Lehrperson J das Thema als "sehr wichtig und rahmplanrelevant" (Z. 1058) einschätzt, weist Lehrperson C kritisch darauf hin, dass "nach dem Rahmenlehrplan (...) etwas mit den Fälle der Unsicherheiten [kommt], aber es wird nur sozusagen irgendwo geschrieben" (Z. 215-218).

Mehrere Lehrkräfte betonen jedoch die Bedeutung des Themas für die physikalische Erkenntnisgewinnung. Lehrperson B formuliert dies besonders prägnant: "Um die Fragestellung zu beantworten zu können, also um das auszuwerten, die Messdaten, muss man ja die Messunsicherheiten mit einbeziehen. Also ohne geht es nicht" (Z. 154-157). Besonders betont wird die Bedeutung "wenn es ums Auswerten von Experimenten geht" (Z. 1369-1370, LPM). Zwei Lehrkräfte (A&K) führen auch an, dass der Umgang mit Messunsicherheiten im Zusammenhang mit „der digitalen Messwerterfassung (...) noch mal mehr zum Tragen kommen“ wird (Z. 95-96, LPA).

Im Gegensatz dazu grenzen sich einige Lehrpersonen bewusst von wissenschaftlichen Praktiken ab und bevorzugen vereinfachte Darstellungen im Unterricht. So wird auf die Verwendung von Fehlerbalken verzichtet - "Nee, mit Fehlerbalken nicht, sondern eher nur diese Streuung" (Z. 1685, LPO) - und eine klare Abgrenzung zur universitären Praxis vorgenommen: "man macht das nicht wie in der Uni, ja mit dem Plus-Minus irgendwas" (Z. 1396-1397, LPN). Eine andere Lehrkraft bezeichnet es als "untypisch" sich "wirklich mit Fehlerbalken oder sonst irgendwas auseinanderzusetzen" (Z. 15-16, LPA). Während eine detaillierte Betrachtung von Messunsicherheiten beispielsweise der Wettbewerbsvorbereitung vorbehalten bleibt, spiegelt sich eine Abkehr von wissenschaftlichen Praktiken im regulären Unterricht wider, denn "es ist ja selten so, dass

man jetzt wirklich an was forscht, wo man sagt, oh, stimmt das jetzt wirklich, passt das? Das ist nicht ganz die Realität des Physikunterrichts oftmals, leider" (Z. 53-57, LPA).

4.1.3 Relevanz im Zusammenhang mit der Nature of Science und dem Alltag

Eine besondere Bedeutung wird dem Thema für das Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen zugeschrieben. Lehrperson I hebt hervor, dass das Thema den "Schülerinnen und Schülern hilft, die Natur der Erkenntnisgewinnung besser zu verstehen und wissenschaftspropädeutisch (...) ein größeres Vertrauen aufbauen zu können" (Z. 985-988). Lehrperson J ergänzt diese Perspektive, indem sie betont, dass dies "der einzige Punkt" sei, wo Schülerinnen und Schüler verstehen, dass die im "Unterricht [gelernten Aussagen] (...) keine Wahrheiten in dem Sinne sind", sondern dass man "nur auf empirischer Basis" arbeite (Z. 1077-1080). Die Lehrkräfte äußern sich zur Frage nach der Relevanz auch zur Bedeutung des Themas im Alltag, wobei die Meinungen ebenfalls auseinander gehen. Lehrkräfte betonen, dass Messunsicherheiten bei der Wahl geeigneter Messgeräte und der Einschätzung deren Genauigkeit eine Rolle spielen können. Lehrperson C (Z. 287-289) merkt jedoch an, dass einige Lernende Physik lediglich besuchen, um formale Anforderungen zu erfüllen. Dies impliziert, dass das Thema für diese Schülerinnen und Schüler keinen direkten Bezug zum Alltag oder praktischen Nutzen hat.

4.2 Angewandte Routinen im Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht

Die Lehrkräfte beschreiben verschiedene Routinen und Konzepte für die Umsetzung des Themas im Unterricht. Die prominenteste Methode ist die qualitative Diskussion der Messunsicherheit, besonders in der Mittelstufe. Dies wird von Lehrperson L klar formuliert: "Ich finde, es reicht, vor allem in der Mittelstufe qualitativ darüber zu sprechen" (Z. 1260-1262). Einen interessanten Ansatz für eine qualitativ orientierte Routine beschreibt Lehrperson M: "wenn eine Erkenntnisgewinnungsstunde ist, aber auch da gibt es viele qualitative Daten, die dann teilweise verarbeitet werden, wie Magnetfeldlinienbilder, die natürlich auch nicht perfekt sind, aber das können die SchülerInnen auch sofort einordnen" (Z. 736-737, LPM).

Für die quantitative Behandlung werden vor allem statistische Auswertungsverfahren wie Mittelwertbestimmungen und Standardabweichungen genannt. Dabei legt Lehrperson E

besonderen Wert darauf, dass "Unsicherheit und Messwert in der gleichen Einheit angegeben werden, also (...) gleiche Anzahl Nachkommastellen", wobei sie bei der systematischen Unsicherheit „auf ein Skalenteil kein halbes“ geht, damit sie die „Nachkommastellen-Geschichte einfach habe“ (Z. 560-563). Im Rahmen statistischer Auswertungsverfahren wird von den Lehrkräften ebenfalls häufig auf mathematische Hürden hingewiesen. Die Berechnung von Standardabweichungen wird unter anderen von Lehrperson D als zu anspruchsvoll eingeschätzt: "Ich habe mit so einer achten, neunten Klasse noch keine Standardabweichung berechnet. Das ist ja mathematisch einfach nicht drin" (Z. 404-405). Im Zusammenhang mit der grafischen Auswertung von Daten „gehört eine Trendlinie dazu“ sowie „die Diskussion, warum darf ich die Messwerte nicht miteinander verbinden, also wir machen keine Zickzacklinien“ (Z. 1234-1235, LPK).

Größtfehlerabschätzung und methodische Herausforderungen

Bei der Wahl der Methoden zeigen sich verschiedene Unterschiede und Unsicherheiten. Während Lehrperson E sich klar für die Betrachtung der "größten Abweichung vom Mittelwert" ohne Standardabweichung entscheidet (Z. 566-567), beschreibt Lehrperson D einen methodischen Konflikt. Sie habe "früher so gelernt, dass man eigentlich Mittelwert-Standard-Abweichung sich anschauen würde", sei aber nun mit neueren Ansätzen konfrontiert, die auf "den größten, kleinsten Wert" schauen, wobei sie damit noch "ein bisschen Probleme" habe (Z. 396-400).

Unterschiedliche Ansätze in der Durchführung und Auswertung

Neben den aufgeführten Methoden kristallisieren sich bei manchen Lehrkräften zwei unterschiedliche Ansätze heraus: Die einen legen den Fokus darauf, die Unsicherheit der Messgeräte bei der Versuchsplanung einzuschätzen, während andere die Unsicherheit vor allem in der nachträglichen Auswertung der Experimente betrachten. Lehrperson J beschreibt den präventiven Ansatz bereits für die Mittelstufe: "was ich schon in Klasse sieben mache, ist, dass sie sich Gedanken vorher machen müssen, welche Messgeräte für welche Messungen geeignet sind (...) bei der Planung des Experiments" (Z. 1102-1104). Im Gegensatz dazu beschreibt Lehrperson G einen eher reflexiven Ansatz, bei dem während des Experiments "Ungereimtheiten, Auffälligkeiten notiert" werden, "um dann im Nachhinein (...) Quellen zu finden für Unsicherheiten" (Z. 754-759).

Häufigkeit des Umgangs mit Messunsicherheiten im Physikunterricht

Die Angaben der Lehrkräfte zur Regelmäßigkeit der Thematisierung von Messunsicherheiten variieren erheblich. Ein Teil der Lehrkräfte berichtet von sehr seltener Behandlung des Themas, wie Lehrperson A, die angibt: "Also, wie gesagt, eher selten (...) vielleicht alle zwei Monate mal" (Z. 59-60). Im starken Kontrast dazu steht die Aussage von Lehrperson J, die berichtet, dass in der Oberstufe das Thema "bei jeder Messung" (Z. 1089-1090) behandelt wird.

Nutzung im weiteren Unterrichtsverlauf

Die weitere Verwendung der Ergebnisse im Unterrichtsverlauf gestaltet sich ebenfalls sehr unterschiedlich. Während einige Lehrkräfte die Ergebnisse kaum weiter nutzen - Lehrperson A stellt klar: "Wie gesagt, eigentlich im Normalfall ja gar nicht" (Z. 94) - beschreiben andere gezielte didaktische Strategien für die Weiterverwendung.

Ein methodisches Konzept zeigt sich bei Lehrperson H, die beschreibt, wie sie "bei den nächsten Messungen (...) nochmal drauf zurückgreif[t]" und mit den Schülerinnen und Schülern die früheren Messungen reflektiert, um dann zu versuchen, "das an der neuen Apparatur besser zu machen". Dabei betont sie den Aspekt der Sensibilisierung vor dem neuen Unterricht (Z. 944-950). Lehrperson J nutzt die Ergebnisse gezielt zur Qualitätssicherung der wissenschaftlichen Schlussfolgerungen, um "am Ende den Bogen rund zu machen, wie weit man (...) mit seiner Messung das empirisch bestätigen kann oder nicht" (Z. 1142-1146).

Thematische Schwerpunkte und Experimente

Auffällig ist, dass die Thematisierung von Messunsicherheiten immer wieder anhand von drei Experimenten genannt wird. Dazu gehört die Bestimmung der Fallbeschleunigung, Dichtebestimmungen oder das Messen von Widerständen, Stromstärke und Spannung in der Elektrizitätslehre. Diese Experimente sind vorherrschend und bieten in dieser Stichprobe die praktische Grundlage, um Messunsicherheiten im Physikunterricht zu thematisieren. Zur Veranschaulichung zufälliger Unsicherheiten dient die Reaktionszeit (LPD&LPO) oder das Körpergewicht (LPH).

4.3 Diskursanalyse: Commognitive Konflikte im Umgang mit Messunsicherheiten

Die deduktive Analyse der Interviews zeigt, dass alle befragten Lehrkräfte sowohl Aussagen treffen, die dem kanonischen Diskurs zuzuordnen sind, als auch solche, die charakteristische Merkmale (wie Schlüsselwörter und zugrunde liegende Narrative) des prävalenten Diskurses aufweisen. Dies führt zu impliziten commognitiven Konflikten, die sich aus der Analyse der widersprüchlichen Aussagen ableiten lassen. In einigen Fällen treten diese Konflikte auch explizit zutage, wenn die Lehrkräfte selbst auf Widersprüche in ihren Aussagen aufmerksam werden und diese thematisieren. Darüber hinaus benennen die Lehrkräfte potenzielle commognitive Konflikte, mit denen die Lernenden im Umgang mit dem Thema konfrontiert sind, und beschreiben teilweise ihre didaktischen Ansätze zum Umgang mit diesen Herausforderungen.

Während der erste Teil der Ergebnisdarstellung einen Überblick über die grundlegenden Einstellungen, Routinen und Praktiken der Lehrkräfte gibt, ermöglicht die folgende diskursanalytische Betrachtung einen tieferen Einblick in die zugrunde liegenden Denk- und Sprachmuster. Diese detaillierte Analyse erlaubt es, Spannungsfelder zwischen wissenschaftlicher und schulischer Praxis sowie zwischen theoretischem Anspruch und unterrichtlicher Realität aufzudecken und nachzuvollziehen.

Lehrperson A

Die Gymnasiallehrkraft positioniert sich in beiden Diskursen, wobei der prävalente überwiegt. Sie hält das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht für nicht so relevant. Ein commognitiver Konflikt zeigt sich in der Diskrepanz zwischen der Erwartung an digitale Messwerterfassung und deren tatsächlichen Ergebnissen. Einerseits definiert die Lehrkraft Messunsicherheiten primär über die Ungenauigkeit der Messgeräte - sie verbindet damit "alles irgendwie (...), was mit fehlerbehafteten Daten zu tun hat. Also ob das jetzt dadurch ist, dass vielleicht im Gerät selbst eben eine Toleranz nur vorhanden ist" (Z. 128-130). Andererseits führt gerade die präzisere digitale Messtechnik zu einer für die Lehrkraft überraschenden Erkenntnis: "da erwartet man eine höhere Genauigkeit, dann ist man erstaunt über eine weniger hohe Genauigkeit" (Z. 119-120). Der Konflikt manifestiert sich in der Diskrepanz zwischen der Erwartung, dass präzisere Messgeräte zu genaueren Ergebnissen führen müssten, und der Beobachtung, dass gerade die sensibleren digitalen Messgeräte die tatsächlich vorhandenen Schwankungen deutlicher abbilden.

Ein weiterer Konflikt zeigt sich darin, dass die Lehrperson Messunsicherheiten für den Schulunterricht als wenig relevant erachtet, jedoch durch Abweichungen der Messergebnisse vom Theoriewert die Aufmerksamkeit im Unterricht unweigerlich auf dieses Thema gelenkt wird. Sie erfährt Erleichterung, wenn die Daten mit der Theorie übereinstimmen. Darauf aufbauend erfährt die Lehrperson einen letzten expliziten Konflikt in ihrer Rolle als Physikerin im Verhältnis zur schulischen Praxis. Sie reflektiert: "auf der anderen Seite finde ich (...) so als Physikerin, wenn mir jemand so eine gerade vorlegt und sagt, das habe ich gemessen, dann glaube ich dem nie. Also (...) die Werte, die können nicht echt sein. Also, ja, vielleicht auch irgendwie das, was echte Werte ausmacht, dass sie immer eine gewisse Ungenauigkeit haben" (Z. 133-137).

Lehrperson B

Die Lehrperson unterrichtet am Gymnasium und vertritt hauptsächlich den kanonischen Diskurs in ihrem Verständnis von Messunsicherheiten. Sie betrachtet Unsicherheiten als inhärenten Bestandteil von Messdaten und als Qualitätsmerkmal für die Aussagekraft von Daten. Diese Haltung wird besonders deutlich in ihrer Aussage: "wir haben ja oft eine Fragestellung für bestimmte Themen, bestimmte Einheiten, denen die Schüler dann experimentell nachgehen. Und um die Fragestellung zu beantworten zu können, also um das auszuwerten, die Messdaten, muss man ja die Messunsicherheiten mit einbeziehen. Also ohne geht es nicht" (Z. 153-157).

Lehrperson C

Die Lehrkraft unterrichtet Physik an einer Gesamtschule und zeigt in ihren Aussagen eine Präsenz beider Diskurse. Ein erster kommunikativer Konflikt zeigt sich bei der Lehrkraft in der Spannung zwischen wissenschaftlichem Anspruch und schulischer Praxis. Physikalisch betrachtet sieht sie Messunsicherheiten als integralen Bestandteil der Modellvalidierung: "Es geht, ja, ich assoziiere das sofort mit dem Modell. Es gibt Theorie und es gibt die Messungen" (Z. 273-274). Gleichzeitig wird eine sprachliche Unsicherheit im Umgang mit der Anpassung von Messwerten an theoretische Annahmen deutlich: "die Messungen doch, das Problem, von der Theorie würde ich so sagen, kann man nicht sofort diese Messungen anpassen" (Z. 274-276).

Ein zweiter kommunikativer Konflikt betrifft die didaktische Umsetzung und deren Auswirkung auf die Lernenden. Die Lehrkraft beschreibt, wie die mathematische Bearbeitung von der konzeptionellen Bedeutung entkoppelt wird: "dann gebe ich einfach

die Formel für die Abweichung [...] und dann müssen sie dann sozusagen den Messfälle mathematisch lösen" (Z. 288-289). Dabei wird die Trennung zwischen Berechnung und Verständnis explizit: "es geht nur darum, richtig Mathematik anzuwenden, eine Zahl bekommen und das ist der Punkt [...] Was diese Zahl bedeuten können, ist für mehrere Schüler, gehe ich davon aus, unklar" (Z. 290-292).

Lehrperson D

Die Lehrperson eines Gymnasiums ist überwiegend im kanonischen Diskurs verortet und geht im Unterricht bewusst mit dem Begriff "Fehler" um, denn sie betont: "also früher hat man ja immer gesagt, das ist ein Messfehler, aber das ist ja kein Messfehler. Das ist ja einfach da. Aber es ist nicht falsch" (Z. 350-351). Damit adressiert sie den commognitiven Konflikt, der im kanonischen Verständnis bei Verwendung des Begriffs ausgelöst wird. Unterdessen hat die Lehrkraft in ihrem Unterricht eine Handlungsroutine etabliert, in der die Messwerte, die höchstwahrscheinlich durch auffällige und gravierende Unzulänglichkeiten im Messprozess verfälscht worden sind, vor der Betrachtung der Unsicherheiten eliminiert werden, um sie von Messunsicherheiten zu differenzieren (Z. 374-378).

Lehrperson E

Die Lehrperson unterrichtet an einem Oberstufenzentrum und einer Fachoberschule und vertritt einen überwiegend kanonischen Diskurs. Sie führt das Konzept der Unsicherheit und deren Quellen in der Oberstufe systematisch ein und greift es immer wieder auf (Z. 495-509). Darüber hinaus betont sie, dass die Lernenden durch den Umgang mit Messunsicherheiten in die Lage versetzt werden, die Qualität der Daten eigenständig zu interpretieren und einzuschätzen. Sie müssen sich nicht ausschließlich auf die Aussagen der Lehrkraft oder des Lehrbuchs verlassen, sondern können selbst, durch die Analyse der Messdaten und ihrer Unsicherheiten, zu eigenen Erkenntnissen gelangen (Z. 480-490). Am Ende des Interviews thematisiert sie noch den commognitiven Konflikt, der durch den Begriff "Fehler" im kanonischen Verständnis hervorgerufen wird und Schwierigkeiten im Umgang mit neuen Bezeichnungen.

Lehrperson F

Die gymnasial Lehrkraft bewegt sich überwiegend im kanonischen Diskurs und vermittelt in ihrem Unterricht ein Verständnis der Messunsicherheit als natürliche Abweichung zwischen Messwerten. Sie betont die Bedeutung des konzeptionellen Verständnisses:

"dass sie den Hintergrund verstehen, also, dass sie verstehen, warum es sein kann, dass die Messwerte von anderen Gruppen unterschiedlich sind und warum sie verstehen, dass es nicht einen Wert gibt, sondern ein Delta von möglichen Ergebnissen" (Z.649-652), thematisiert dies jedoch nach eigenen Aussagen nur sehr oberflächlich.

Lehrperson G

Die Lehrperson unterrichtet an einem Gymnasium und spiegelt in ihren Aussagen eher den prävalenten Diskurs wider. Ein impliziter commognitiver Konflikt zeigt sich in der Diskrepanz zwischen dem angestrebten propädeutischen Konzept und der tatsächlichen Unterrichtspraxis der Lehrkraft. Einerseits betont sie die Bedeutung eines umfassenden Konzepts, die tatsächliche Umsetzung beschränkt sich jedoch auf eine nachträgliche Analyse von Auffälligkeiten (Z. 754-761).

Ein zweiter commognitiver Konflikt wird in den Aussagen zur experimentellen Praxis deutlich. Die Lehrkraft betont einerseits die Bedeutung des häufigen Experimentierens für die wissenschaftliche Ausbildung: "das oberste Kredo gilt ja immer, so viel experimentieren wie möglich [...] wenn es in die wissenschaftliche Richtung geht, so ein propädeutisches Konzept da zu haben" (Z. 728-730). Gleichzeitig beschreibt sie die experimentelle Arbeit im Kontext vorgegebener Erwartungswerte und stellt fest, dass "viele im Physikunterricht auch nicht [klappt], wenn man jetzt so das betrachtet, dass man irgendwo einen Erwartungswert hat" (Z. 719-721). Die Lernenden sollen verstehen, "dass es schon trotzdem Sinn ergibt, was wir lernen, auch wenn jetzt nicht perfekt das Ergebnis reproduzieren können" (Z. 725-726). Der wissenschaftspropädeutische Anspruch steht damit im Widerspruch zur schulischen Praxis, in der Experimente nicht der eigenständigen Erkenntnisgewinnung dienen, sondern der Bestätigung bereits bekannter Werte.

Lehrperson H

Die Lehrkraft einer ISS bewegt sich überwiegend im kanonischen Diskurs und behandelt das Thema Messunsicherheiten inhärent anhand von Messdaten. Ihr ist es ein Anliegen, dass die Lernenden ein Gefühl dafür entwickeln, welche Genauigkeit ein Messgerät bietet und ob es für eine bestimmte Messung geeignet ist. Sie veranschaulicht Messunsicherheiten mit Alltagsbeispielen, um ein intuitives Verständnis für Messgenauigkeit zu fördern, ohne auf mathematische Analysen zurückzugreifen. Die Lehrkraft einer ISS zeigt einen reflektierten Umgang mit dem commognitiven Konflikt, der bei der Interpretation unterschiedlicher Messwerte entsteht. Sie erkennt, dass dieser

Konflikt bei Lernenden auftritt, da diese zunächst "glauben ja immer genau das, was da steht" (Z. 818-819). Um diesen Konflikt aufzulösen, entwickelt sie ein didaktisches Konzept: "dass man sie daher da immer wieder sozusagen mit so einem Konzept darauf trimpt, dass es doch das Gleiche ist, dass sie verstehen, dass es das Gleiche ist" (Z. 856-858).

Ein zweiter commognitiver Konflikt manifestiert sich in der sprachlichen Auseinandersetzung mit verschiedenen Messergebnissen durch Unsicherheit beim Ablesen als die Lehrkraft sich schnell von "falsche" zu "unterschiedliche" Ergebnisse korrigiert: "Weil ich erzeuge natürlich dadurch absichtlich schon falsche Ergebnisse, also unterschiedliche" (Z. 901-902).

Lehrperson I

Die Lehrkraft unterrichtet am Gymnasium, hat ein überwiegend prävalentes Verständnis der Messunsicherheit und beschreibt diese als Faktoren, die zu einem „fälschlichen Ergebnis“ (Z. 1015) führen können. Gleichzeitig findet sie es wichtig, dass die Lernenden ein Verständnis für Messunsicherheiten als Schlüssel zur Erkenntnisgewinnung und wissenschaftlichen Reflexion entwickeln. Sie behandelt das Thema vor allem im Zusammenhang mit der Auswertung von Experimenten, bei der geschaut wird, welche Unsicherheitsquellen Einfluss auf die Messung haben konnten.

Lehrperson J

Die gymnasial Lehrkraft zeigt überwiegend kanonische Diskursmerkmale. Ein commognitiver Konflikt wird erkennbar, als sie über die Begrifflichkeiten des Rahmenlehrplans spricht und Unsicherheiten und Widersprüche in ihrem Verständnis der Begrifflichkeiten offenbart: "im Prinzip die Begriffe, die auch im Rahmenlehrplan stehen, die geklärt werden müssen. Ja, also die, was war es, das Geräteunsicherheit, systematische Unsicherheit steht, glaube ich, sogar drin oder systematischer Fehler" (Z. 1115-1117).

Lehrperson K

Die Lehrkraft eines Oberstufenzentrums stützt sich auf kanonische Narrative und hält Messunsicherheiten im Physikunterricht für das wichtigste Thema im Zusammenhang mit Messdaten und der grundlegenden Frage nach der Definition des „Messens“. Sie nutzt trotzdem den Begriff „Fehler“ im Umgang mit Messunsicherheiten und greift separat

erlernte statistische Konzepte zur Datenverarbeitung in ihrem Unterricht auf, um Messunsicherheiten zu quantifizieren „also sozusagen einen absoluten Fehler dar[zu]legen" (Z. 1229).

Lehrperson L

Die Lehrkraft einer ISS bewegt sich zwischen beiden Diskursen und vertritt das prävalente Narrativ, dass Messungen im Unterricht „fehlerbehaftet“ sind (Z. 1263). Ein impliziter commognitiver Konflikt zeigt sich in ihrer pragmatischen Herangehensweise beim Umgang mit ungenauen Messwerten. Sie löst diesen auf, indem sie den Lernenden transparent kommuniziert: "Dann sage ich halt, der Wert ist halt nicht ganz genau. (...) Aber das ist (...) der Wert, mit dem wir jetzt rechnen" (Z. 1342-1343).

Lehrperson M

Die Lehrperson einer integrierten Sekundarschule vertritt überwiegend kanonische Narrative und nutzt das Konzept der Messunsicherheit, um das Wesen der Physik als empirische Wissenschaft zu vermitteln, in der Ergebnisse aufgrund praktischer Einflüsse variieren können. Damit schafft sie eine Möglichkeit, den Konflikt zu überwinden, der darin besteht, dass Zahlen normalerweise als präzise und unveränderlich wahrgenommen werden, während Messwerte, obwohl sie durch eine Zahl dargestellt werden, dennoch eine inhärente Unpräzision aufweisen. Dies wird deutlich in ihrer Aussage: "Unsicherheit ist natürlich wunderbar, um die Natur der Physik so ein bisschen klar zu machen. Wenn man denn dann Zeit hat (...) kommt eben auch ganz viel darüber hinaus, wie wir die Werte ermittelt haben" (Z. 1460-1465). Ihre Herangehensweise bei der Auswertung von Messdaten wird besonders deutlich: "Wir haben eben eine Auswertung, (...) und es kommen leicht unterschiedliche Werte raus. Dann diskutiere ich mit den Schülern drüber, so bedeutet das jetzt, dass jeder Wert tatsächlich unterschiedlich ist" (Z. 1431-1436).

Lehrperson N

Die ISS Lehrkraft äußert sich überwiegend aus dem prävalenten Diskurs. Ein zentraler Aspekt ihrer Arbeit ist die Auseinandersetzung mit der Genauigkeit von Messwerten und deren angemessener Darstellung. In ihrer Aussage: "wenn ein Ergebnis (...) offensichtlich eine Scheingenauigkeit zeigt (...) eine sehr große Menge Nachkommastellen (...) gibt den Eindruck, dass du wahnsinnig genau gemessen hättest, was gerade nicht der Fall ist" (Z. 1524-1526), geht sie auf den möglichen Konflikt ein, dass Zahlen normalerweise als präzise und unveränderlich wahrgenommen werden, während Messwerte, obwohl sie

durch eine Zahl dargestellt werden, dennoch eine Aussage über die Genauigkeit der Messung beinhalten, welche adäquat wiedergegeben werden muss.

Lehrperson O

Die Gymnasiallehrkraft bewegt sich zwischen beiden Diskursen. Ein impliziter commognitiver Konflikt wird erkennbar in ihrer Auseinandersetzung mit der Begrifflichkeit. Während sie zunächst betont: "ich versuche dann auch immer zu sagen, dass es halt nicht um Fehler geht, sondern wirklich um Unsicherheiten, die ganz normal sind, wenn man experimentiert" (Z. 1628-1630), verwendet sie später selbst den Begriff "Fehler".

Bei der Interpretation grafischer Messdaten, die als Punkte ohne Fehlerbalken im Koordinatensystem dargestellt werden, beobachtet sie, dass Lernende oft noch keine eigenständigen Konzepte oder Ideen entwickeln und eine Interpretation allein auf Grundlage der Punkte nicht intuitiv ist.: „über Auswertung im Diagramm (...) eine Ursprungsgerade, die man ziehen könnte, so, mit viel Interpretation. Und da (...) haben wir (...) die Abweichung, diese[r] Messung, (...) grafisch dargestellt und die müssen wir quasi bei unserer Interpretation mit einbeziehen (...). Auch wenn den Schülerinnen da ganz oft die Idee fehlt, so von selbst“ (Z. 1674-1681).

5. Diskussion

Die vorliegende Studie untersuchte mittels qualitativer Interviews, welche Relevanz Berliner Physiklehrkräfte dem Thema Messunsicherheiten zuschreiben und wie sie dieses in ihrem Unterricht thematisieren. Die Ergebnisse zeichnen ein komplexes Bild der Unterrichtsrealität, das von verschiedenen Spannungsfeldern geprägt ist und wichtige Einblicke in die Herausforderungen bei der Integration dieses fundamentalen Konzepts in den Schulunterricht gewährt.

5.1 Relevanzeinschätzung und praktische Umsetzung

Die befragten Lehrkräfte schätzen die Relevanz des Themas Messunsicherheiten für den Physikunterricht sehr unterschiedlich ein. Das Spektrum reicht dabei von einer eher geringen Einschätzung bis hin zur Bewertung als eines der wichtigsten Themen des Physikunterrichts überhaupt (LPK). Diese heterogene Einschätzung lässt zwar aufgrund der begrenzten Stichprobengröße keine verallgemeinernden Schlüsse zu, zeigt aber eine weniger ausgeprägte Diskrepanz zwischen schulischer Relevanzeinschätzung und praktischer Umsetzung als in früheren Studien beobachtet wurde (vgl. Hellwig et al., 2017; Holz & Heinicke, 2019b; Möhrke, 2020). Es deutet sich eher an, dass die individuell wahrgenommene Relevanz mit der tatsächlichen Umsetzung im Unterricht korreliert.

Eine deutliche Diskrepanz zeigt sich dagegen eher in der Unterscheidung nach Sekundarstufe I und II:

5.1.1 Differenzierung nach Sekundarstufe

Die Analyse offenbart eine deutliche Diskrepanz in der Relevanzeinschätzung zwischen den Sekundarstufen. Während für die Mittelstufe eine eher geringe Relevanz konstatiert wird - "nicht sehr notwendig" (Z. 246, LPC) - wird das Thema für die Oberstufe, insbesondere in Leistungskursen, als zentral eingestuft. Diese starke Differenzierung manifestiert sich sowohl in der wahrgenommenen Bedeutung als auch in der methodischen Herangehensweise. Während in der Sekundarstufe I überwiegend qualitative oder vereinfachte quantitative Zugänge gewählt werden, erfolgt in der Oberstufe eine vertiefte mathematische Behandlung. Diese Stufung wird von den Lehrkräften häufig mit den mathematischen Voraussetzungen der Lernenden begründet. Es zeigen sich dabei keine eindeutigen schulformspezifischen Muster - vielmehr scheinen

individuelle Faktoren wie das Vorwissen der Lernenden und die didaktische Orientierung der Lehrkraft ausschlaggebend für die gewählte Herangehensweise zu sein.

Diese Diskrepanz spiegelt sich auch in den curricularen Vorgaben wider. Während in der Sekundarstufe I der Fokus auf qualitativen Aspekten wie dem "Einfluss von Messfehlern" liegt, erfolgt in der Oberstufe eine konzeptuelle und sprachliche Weiterentwicklung. Die curricularen Vorgaben für die Oberstufe fordern explizit die Behandlung von "systematischen und zufälligen Messabweichungen, absoluten und relativen Abweichungen, Mittelwert und Standardabweichung" (SenBJF, 2021, S. 19). Besonders im Leistungskurs wird ein "formaler Umgang mit Messunsicherheiten" sowie eine "Reflexion über Vor- und Nachteile oder die Aussagekraft verschiedener Mess- und Auswertungsverfahren" (SenBJF, 2021, S. 9) gefordert. Diese curriculare Stufung korrespondiert mit der von den Lehrkräften beschriebenen Praxis, verstärkt jedoch möglicherweise die problematische Trennung zwischen qualitativer und quantitativer Behandlung des Themas.

Eine kritische Reflexion dieser Praxis liefert Lehrperson G, die beobachtet, dass die Lernenden "immer wieder bei der gleichen Ebene" bleiben, da zuvor "nie ganz fundiert ein Konzept eingeführt" wurde. Diese Beobachtung weist auf eine problematische Entwicklung hin: Das Fehlen eines grundlegenden konzeptionellen Verständnisses in der Sekundarstufe I erschwert offenbar den Aufbau eines vertieften mathematisch-quantitativen Verständnisses in der Oberstufe.

Diese Erkenntnis hat wichtige Implikationen für die Unterrichtspraxis: Auch wenn eine umfassende quantitative Behandlung in der Mittelstufe aus Sicht einiger Lehrpersonen nicht notwendig oder zielführend erscheint, sollte dort ein fundiertes qualitatives Verständnis von Messunsicherheiten als inhärentem Bestandteil physikalischer Messungen aufgebaut werden. Ein solches Konzept könnte als Basis für die spätere mathematische Vertiefung in der Oberstufe dienen und damit der von Lehrperson G beschriebenen Niveaustagnation entgegenwirken.

Die Notwendigkeit eines frühen qualitativen Verständnisses wird durch die Erkenntnisse von Hull et al. (2020) gestützt, die aufzeigen, dass konzeptionelle Missverständnisse - wie etwa die Annahme identischer Werte bei Messwiederholungen - ein fundamentales Hindernis für das Verständnis von Messunsicherheiten darstellen. Ein frühzeitiger Fokus auf qualitative Aspekte könnte diesen Fehlvorstellungen gezielt entgegenwirken und damit

eine solide Grundlage für die spätere quantitative Behandlung in der Oberstufe schaffen. Dies erscheint besonders relevant im Hinblick auf die Ergebnisse von Pollard et al. (2017), die zeigen, dass Studierende in höheren Bildungseinrichtungen auf einem grundlegenden Verständnis statistischer Eigenschaften von Messungen aufbauen müssen, um komplexere Konzepte erfassen zu können. Eine systematische Entwicklung vom qualitativen zum quantitativen Verständnis könnte somit den Übergang zur akademischen Ausbildung erleichtern und eine effektivere Progression des Kompetenzerwerbs ermöglichen.

5.1.2 Zeitliche und strukturelle Rahmenbedingungen

Die Interviews zeigen deutlich, dass viele Lehrkräfte den hohen Zeitaufwand als wesentliches Hindernis für eine fundierte Behandlung des Themas wahrnehmen. Dies führt häufig zu einer "nebenbei" erfolgenden Integration, die dem komplexen Konzept nicht gerecht wird. Diese zeitliche Priorisierung zugunsten anderer Unterrichtsinhalte spiegelt die von Möhrke (2020) beschriebene Marginalisierung des Themas wider. Methodisch gut aufgearbeitetes Unterrichtsmaterial könnte Lehrkräfte dabei unterstützen, eine zeiteffizientere Bearbeitung des Themas im Unterricht zu ermöglichen, indem es vorstrukturierte und didaktisch reduzierte Ansätze bietet, die den komplexen Inhalt für die Schulpraxis adaptieren.

5.1.3 Mathematische und konzeptionelle Herausforderungen

Ein weiteres zentrales Hindernis stellt die mathematische Komplexität dar, besonders in der Sekundarstufe I. Die Zurückhaltung bei der Anwendung statistischer Methoden wie der Standardabweichung wird von mehreren Lehrkräften explizit thematisiert. Eine Lehrkraft bringt dies prägnant auf den Punkt: "Ich habe mit so einer achten, neunten Klasse noch keine Standardabweichung berechnet. Das ist ja mathematisch einfach nicht drin." Diese Einschätzung führt zu einer Bevorzugung qualitativer oder vereinfachter quantitativer Ansätze, was im Einklang mit den Beobachtungen von Hellwig et al. (2017) steht.

Das zentrale Problem hierbei ist, dass die Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I häufig noch nicht über die mathematischen Kenntnisse verfügen, um die Standardabweichung vollständig zu durchdringen. Gleichzeitig fehlen vielen Lehrkräften didaktische Strategien, um Messunsicherheiten quantitativ einzuschätzen, ohne auf mathematisch anspruchsvolle Methoden zurückzugreifen.

Eine praktikable Alternative bietet die von Julia Hellwig vorgeschlagene Größtfehlerabschätzung. Diese Methode ist mathematisch weniger komplex, bleibt jedoch wissenschaftlich fundiert und bietet dadurch eine niedrighschwellige Möglichkeit, Schülerinnen und Schülern ein Verständnis für die Grenzen der Genauigkeit zu vermitteln, ohne dass diese zuvor fortgeschrittene mathematische Kenntnisse erwerben müssen.

Darüber hinaus stellt die Thematisierung der angemessenen Angabe von signifikanten Stellen eine weitere didaktische Gelegenheit dar, um das Konzept der Messunsicherheit zu veranschaulichen. Diese Diskussion kann Lernenden helfen, den Unterschied zwischen der Darstellung von Zahlen in der Mathematik und ihrer Interpretation in der Physik zu verstehen. Während in der Mathematik eine Zahl wie 1,43 impliziert, dass unendlich viele Nachkommastellen (1,430000...) vorhanden sind, vermittelt die gleiche Zahl als Messwert in der Physik eine andere Botschaft: Sie zeigt an, dass der Wert nur auf zwei Nachkommastellen genau ist und alle weiteren Stellen unbekannt bleiben. Dies bedeutet, dass in der Physik jede Zahl gleichzeitig eine Aussage über die Messgenauigkeit trägt.

Dieser Unterschied zwischen der mathematischen Absolutheit von Zahlen und der in der Physik unvermeidbaren Unsicherheit stellt eine Möglichkeit dar, Schülerinnen und Schüler an die Grundprinzipien der „Nature of Science“ heranzuführen. Die bewusste Reflexion über die Bedeutung von Zahlen und ihre Unsicherheit kann ein vertieftes Verständnis physikalischer Messungen fördern auch ohne oder mit wenig mathematischen Grundvoraussetzungen.

5.2 Unterrichtspraktische Umsetzung und didaktische Ansätze

Die Analyse der konkreten Unterrichtsrouinen zeigt verschiedene Herangehensweisen, Messunsicherheiten im Physikunterricht zu thematisieren. Bei einigen Lehrkräften lassen sich zwei grundlegende Ansätze identifizieren, die sich nicht nur in ihrem Hauptmerkmal, nämlich dem Zeitpunkt der Betrachtung im Experimentierverlauf, unterscheiden sondern auch in ihrer grundlegenden Haltung, die sich durch die jeweilige Herangehensweise abzeichnet.

5.2.1 Der reaktive Ansatz

Häufig wird ein reaktiver Ansatz praktiziert, bei dem das Thema Messunsicherheit erst bei der Auswertung von Experimenten aufgegriffen wird, meist dann, wenn Abweichungen vom erwarteten Wert auftreten. Diese nachträgliche Reflexion der Versuchsdurchführung,

bei der „Ungereimtheiten“ und „Auffälligkeiten“ (Z. 762, LPG) im Nachhinein als Unsicherheitsquellen identifiziert werden, fördert ein Fehlerverständnis, das suggeriert, Messunsicherheiten träten erst während des Experimentierprozesses auf und seien individuell vom Verlauf des Experiments abhängig. Diese Perspektive prägt das Verständnis der Lernenden dahingehend, dass Unsicherheiten weniger als inhärenter Bestandteil jeder Messung, sondern vielmehr als Ergebnis ihrer eigenen, möglicherweise fehlerhaften, Experimentierhandlungen wahrgenommen werden. Dies spiegelt sich besonders in der Aussage von Lehrperson G wieder, die formuliert: „(...) innerhalb der Auswertung ist ein ganz großer Block die Reflexion, die Ergebnisse, die Einschätzung, die Beurteilung und da kommen dann nämlich Messunsicherheiten ins Spiel, und das ist natürlich sehr individuell dann (...)“ (Z. 736-745). Dem gegenüber steht die präventive Betrachtung der Messunsicherheit.

5.2.2 Der präventive Ansatz

Die Betrachtung der Messunsicherheiten bereits bei der Versuchsplanung entspricht eher dem wissenschaftspropädeutischen Anspruch des kanonischen Diskurses, der Messunsicherheiten als unvermeidbaren Bestandteil jeder Messung versteht. Indem Lernende schon vor Beginn des Experiments Unsicherheiten einplanen und eine Einschätzung der Qualität der Messdaten vornehmen, wird ihnen vermittelt, dass Messunsicherheiten nicht primär auf ihre experimentellen Fertigkeiten oder Fehler zurückzuführen sind, sondern vielmehr auf systemische und zufällige Einflüsse, die jeder Messung innewohnen. Dieser präventive Ansatz hebt hervor, dass die Qualität von Messdaten auch unabhängig von individueller Durchführung stets durch die zugrundeliegende Messmethodik und Instrumentation begrenzt ist.

Eine solche präventive Betrachtung fördert ein fundierteres Verständnis der „Nature of Science“ (NoS), da sie Lernenden ermöglicht, die unvermeidliche Natur von Unsicherheiten und deren Bedeutung für die Interpretation und Bewertung wissenschaftlicher Ergebnisse zu erkennen. Darüber hinaus stärkt sie die Fähigkeit, bereits während der Planung und Durchführung von Experimenten bewusste Entscheidungen zu treffen, die die Messgenauigkeit optimieren, anstatt erst im Nachhinein „Fehler“ zu korrigieren oder zu reflektieren. Dieses Verständnis könnte langfristig dazu beitragen, Lernende zu einer kritischeren und reflektierteren Haltung gegenüber Messdaten und naturwissenschaftlichen Prozessen zu entwickeln.

5.3 Diskursanalytische Betrachtung

Die vertiefte diskursanalytische Betrachtung der Interviews offenbart, dass alle befragten Lehrkräfte Elemente sowohl des kanonischen als auch des prävalenten Diskurses in sich vereinen. Diese Koexistenz verschiedener Diskurse führt zu commognitiven Konflikten, die sich auf mehreren Ebenen manifestieren:

5.3.1 Begrifflich-konzeptionelle Konflikte

Besonders auffällig ist der häufige Wechsel zwischen den Begriffen "Messunsicherheit" und "Messfehler". Die Inkonsistenz im Sprachgebrauch lässt sich häufig auf Gewohnheiten zurückführen, die sich aus der alltäglichen Praxis und den Vorgaben des Rahmenlehrplans ergeben. Der Begriff „Messfehler“ ist tief im schulischen Diskurs verwurzelt und wird von Lehrkräften oft aus Routine verwendet, ohne dabei zwangsläufig einen tatsächlichen Fehler zu meinen. Diese Praxis mag nachvollziehbar sein, da Begriffe wie „absoluter Fehler“ und „relativer Fehler“ explizit in den curricularen Vorgaben aufgeführt sind, führt jedoch bei Schülerinnen und Schülern zu potenzieller Verwirrung. Insbesondere im Kontext des kanonischen Diskurses, der Messunsicherheiten als unvermeidbare Eigenschaft jeder Messung versteht, ist die Verwendung des Begriffs „Fehler“ problematisch, da er impliziert, dass es eine „richtige“ und eine „falsche“ Messung gibt – ein Verständnis, das den Grundprinzipien der Metrologie widerspricht.

Eine einheitliche und konsistente Bezeichnung als „Messunsicherheit“ sollte daher auch durch den Rahmenlehrplan der Sekundarstufe I gestützt werden. Selbst wenn die Unsicherheiten in Schulexperimenten aufgrund von unpräzisen Geräten oder unerfahrenen Experimentierenden höher ausfallen, bleiben sie dennoch wissenschaftlich betrachtet Unsicherheiten im Messprozess.

Gleichzeitig ist es wichtig, anzuerkennen, dass im experimentellen Unterricht tatsächlich Fehler auftreten können, die eine Messung unbrauchbar machen. Lehrperson D hat hierzu eine Routine entwickelt, die zwischen Messfehlern und Unsicherheiten differenziert. Sie sammelt alle Messergebnisse der Lernenden an der Tafel und streicht Werte, die offensichtlich fehlerhaft sind. Diese Praxis zeigt, wie durch klare Differenzierung und Reflexion die Verbindung zwischen dem prävalenten und dem kanonischen Diskurs gestärkt werden kann. In diesem Zusammenhang betont auch die commognitive Theorie, wie wichtig es ist, Sprachkonflikte zu adressieren, um Lernenden den Übergang in den

kanonischen Diskurs zu erleichtern und die inhärenten Unsicherheiten des Messprozesses als Teil der naturwissenschaftlichen Methodik zu begreifen (Sivan et al., 2024).

5.3.2 Fragmentierung der Messunsicherheitsbetrachtung

Die Analyse der Interviews offenbart eine zentrale Problematik im Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht: die getrennte Behandlung qualitativer, quantitativer und grafischer Aspekte der Messunsicherheitsbetrachtung. Diese Fragmentierung kann zu Verständnisschwierigkeiten bei den Lernenden führen und manifestiert sich auf verschiedenen Ebenen.

Ein besonders prägnantes Beispiel für die Konsequenzen dieser getrennten Betrachtung zeigt sich in der Beschreibung von Lehrperson C (Z. 289-295). Sie beobachtet, dass die isolierte mathematische Bearbeitung von der konzeptionellen Bedeutung entkoppelt wird und dass die separate Behandlung mathematischer Berechnungen ohne konzeptuelle Einbettung zu einem oberflächlichen Verständnis führt. Eine mögliche Lösungsstrategie für diese Problematik wird von Lehrpersonen E und F demonstriert. LPEs systematischer Ansatz, bei dem das Konzept der Unsicherheit und deren Quellen in der Oberstufe zunächst grundlegend eingeführt und dann kontinuierlich aufgegriffen wird, ermöglicht eine tiefere Integration der verschiedenen Aspekte. LPK greift separat erlernte mathematische Konzepte auf und verbindet sie mit der Messunsicherheit. Dies befähigt die Lernenden, "die Qualität der Daten eigenständig zu interpretieren und einzuschätzen" (Z. 480-490, LPE).

Die Herausforderungen der fragmentierten Betrachtung werden auch im Kontext der grafischen Darstellung und Interpretation von Messdaten deutlich. Lehrperson O beschreibt die Schwierigkeiten der Lernenden bei der Interpretation von Messpunkten in einem Koordinatensystem ohne Fehlerbalken. Das Ziehen einer "Ursprungsgerade [...]" mit viel Interpretation" verdeutlicht eine gewisse Vagheit bzw. Willkür, der mit einem integrativeren Ansatz mit Verwendung von Fehlerbalken in der grafischen Darstellung entgegengewirkt werden kann. Diese ermöglichen eine anschaulichere Auswertungsmethode, bei der die Ursprungsgerade alle Fehlerbalken schneiden sollte. Diese Darstellungsform verbindet die quantitative Unsicherheitsbetrachtung mit der grafischen Interpretation und bietet den Lernenden ein visuell zugänglicheres Werkzeug zur Datenanalyse. Im Gegensatz zur willkürlichen Anpassung einer Ausgleichsgeraden an

einzelne Messpunkte ermöglicht diese Methode eine systematischere und physikalisch fundiertere Interpretation unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten.

5.3.3 Reproduktion versus Erkenntnisgewinnung: Der Konflikt zwischen schulischer Praxis und wissenschaftspropädeutischem Anspruch

Die Analyse der Interviews offenbart einen fundamentalen Konflikt zwischen der gängigen schulischen Praxis des Experimentierens und dem wissenschaftspropädeutischen Anspruch des Physikunterrichts. Dieser Konflikt manifestiert sich besonders deutlich in der Diskrepanz zwischen der Verwendung von Experimenten zur Reproduktion bekannter theoretischer Werte einerseits und dem Ziel der eigenständigen Erkenntnisgewinnung andererseits.

Besonders prägnant werden diese Widersprüche von Lehrperson A und G deutlich, die einerseits die Bedeutung des häufigen Experimentierens für die wissenschaftliche Ausbildung betonen und andererseits die experimentelle Arbeit im Kontext vorgegebener Erwartungswerte beschreiben und sogar eine fehlende Forschungsperspektive im Physikunterricht anmerken .

Einen konstruktiven Umgang mit diesem Konflikt zeigt Lehrperson J, die Messunsicherheiten gezielt zur Qualitätssicherung der wissenschaftlichen Schlussfolgerungen nutzt. Dieser Ansatz ermöglicht es, die Abweichungen von erwarteten Werten nicht als Defizit, sondern als Ausgangspunkt für wissenschaftliche Reflexion zu nutzen. Die besondere Bedeutung des Themas für das Verständnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen wird von weiteren Lehrpersonen (z.B. I&M) hervorgehoben und betont, dass die Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten den Lernenden hilft, die empirische Natur physikalischer Erkenntnisgewinnung zu verstehen.

Die Analyse legt nahe, dass eine Auflösung dieses Konflikts möglich ist, wenn Messunsicherheiten nicht als störendes Element bei der Reproduktion theoretischer Werte betrachtet werden, sondern als wesentlicher Bestandteil des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses. Ein solcher Ansatz würde die Authentizität wissenschaftlicher Praxis im Schulkontext stärken und könnte dazu beitragen, dass Lernende ein realistischeres Bild von der Natur physikalischer Forschung entwickeln. Dies erfordert jedoch ein Umdenken in der Unterrichtspraxis, weg von der reinen Reproduktion bekannter Ergebnisse hin zu einer echten Auseinandersetzung mit dem Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung.

5.4 Methodische Reflexion

Die gewählte qualitative Herangehensweise mit semi-strukturierten Interviews erwies sich als geeignet, um tiefe Einblicke in die Unterrichtspraxis und das Denken der Lehrkräfte zu gewinnen. Die Kombination aus induktiver und deduktiver Analyse ermöglichte es, sowohl neue Muster zu entdecken als auch theoretisch fundierte Kategorien zu überprüfen.

Die offene Gesprächsführung ermöglichte es den Lehrkräften, ihre Perspektiven und Erfahrungen detailliert darzulegen. Der qualitative Ansatz erwies sich als besonders wertvoll für die Identifikation von *commognitive* Konflikten, die in standardisierten Befragungen möglicherweise verborgen geblieben wären. Die diskursanalytische Perspektive eröffnete zudem neue Einblicke in die zugrundeliegenden Denk- und Sprachmuster der Lehrkräfte. Gleichzeitig könnte die Flexibilität der Interviews dazu geführt haben, dass nicht alle Aspekte der Forschungsfrage bei jeder Lehrperson gleich umfassend behandelt wurden.

Einschränkungen ergeben sich vor allem aus der Stichprobengröße von 15 Lehrkräften, die zwar für eine qualitative Studie angemessen ist, aber keine statistisch repräsentativen Aussagen erlaubt, der regionalen Beschränkung auf Berlin, die möglicherweise spezifische bildungspolitische und strukturelle Kontexte widerspiegelt und der Rekrutierung eines Großteils der Teilnehmenden aus einer Fortbildung zum Thema, was auf ein überdurchschnittliches Interesse an der Thematik hindeutet.

Gleichzeitig ergab sich möglicherweise ein methodisch interessanter Effekt aus der Rekrutierung der Teilnehmenden aus dem Fortbildungskontext. Die Interviewsituation im wissenschaftlichen Kontext könnte bei den Lehrkräften zu einem verstärkten Bemühen um fachlich präzise Ausdrucksweise geführt haben (*Social Desirability Bias/ Observer-Expectancy Effect*), während sie gleichzeitig ihre alltägliche Unterrichtspraxis beschreiben mussten. Diese Spannung zwischen dem Bestreben nach wissenschaftlicher Präzision und der Schilderung praktischer Routinen machte *commognitive* Konflikte deutlicher sichtbar und analytisch zugänglich. Was als methodische Limitation erscheinen könnte, erwies sich somit als möglicherweise förderlich für die Analyse der diskursiven Spannungsfelder zwischen wissenschaftlicher und schulischer Praxis.

5.5 Praktische Implikationen und Forschungsausblick

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass für eine Verbesserung der Unterrichtspraxis mehrere Ansatzpunkte parallel verfolgt werden sollten.

Die curriculare Analyse zeigt, dass das Konzept von "Messfehlern" zwar in den Rahmenlehrplänen verankert ist, jedoch primär unter mathematischen Gesichtspunkten bei der Messwerterfassung behandelt wird. In den Bildungsstandards erscheinen Unsicherheiten im Kontext der Interpretation und Reflexion des Messprozesses. Eine grundlegende curriculare Überarbeitung erscheint notwendig, die neben der begrifflichen Änderung von "Messfehlern" zu "Messunsicherheiten" auch eine umfassendere und präventive Betrachtung implementiert, die eher dem erwünschten kanonischen Diskurs entspricht. Die Entwicklung eines spiralcurricularen Ansatzes, der bereits in der Sekundarstufe I beginnt und schrittweise komplexere Konzepte einführt, erscheint dabei vielversprechend.

Fortbildungskonzepte sollten gezielt die identifizierten commognitiven Konflikte adressieren und praktikable Lösungsansätze entwickeln. Dabei erscheint es wichtig, nicht nur methodische Kompetenzen zu vermitteln, sondern auch die epistemologischen Grundlagen des Umgangs mit Messunsicherheiten zu reflektieren. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass erst eine philosophisch-epistemologische Auseinandersetzung mit dem Wesen von Messungen zu einer konzeptionellen Durchdringung führt, in der Messunsicherheiten als inhärenter Bestandteil des Messprozesses wahrgenommen werden.

Es besteht ein deutlicher Bedarf an didaktisch reduzierten, aber wissenschaftlich korrekten Unterrichtsmaterialien. Diese sollten insbesondere:

- ein ganzheitliches Konzept beinhalten, das den Übergang vom qualitativen zum quantitativen Verständnis unterstützt und beide Ansätze miteinander integriert
- Praktikable Methoden für verschiedene Niveaustufen anbieten
- Die Integration digitaler Messwerterfassung berücksichtigen

Die Studie wirft mehrere Fragen auf, die weiterer Forschung bedürfen:

- Wie können commognitive Konflikte hervorgerufen, adressiert und produktiv für den Lernprozess genutzt werden? Die Untersuchung dieser Konflikte bietet

Ansatzpunkte für die Entwicklung gezielter Interventionen sowohl für Schülerinnen und Schüler als auch für Lehrpersonen.

- Wie kann der Übergang vom prävalenten zum kanonischen Diskurs systematisch unterstützt werden? Die Entwicklung und Evaluation entsprechender Unterrichtskonzepte erscheint in diesem Kontext besonders relevant.
- Welche Rolle spielt die wissenschaftstheoretische Reflexion für die konzeptuelle Durchdringung des Themas sowohl für Lernende als auch für Lehrende und wie kann man diese in den Unterricht integrieren?

Insgesamt zeigt die Studie, dass das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht teilweise einer didaktischen Neuorientierung bedarf. Diese sollte die identifizierten Spannungsfelder nicht als Hindernisse, sondern als Chancen für die Entwicklung eines authentischeren Verständnisses naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen begreifen. Die Herausforderung besteht darin, die wissenschaftliche Komplexität des Themas mit den praktischen Anforderungen und Möglichkeiten des Schulunterrichts in Einklang zu bringen, ohne dabei die konzeptionelle Tiefe zu verlieren.

6. Fazit

Die vorliegende Studie untersuchte mittels qualitativer Interviews, welche Relevanz Berliner Physiklehrkräfte dem Thema Messunsicherheiten zuschreiben und wie sie dieses in ihrem Unterricht thematisieren. Die Ergebnisse zeichnen ein differenziertes Bild, das von verschiedenen Spannungsfeldern geprägt ist.

Die Relevanzeinschätzung der befragten Lehrkräfte variiert erheblich und zeigt eine deutliche Diskrepanz zwischen den Sekundarstufen. Während für die Mittelstufe eine eher geringe Relevanz konstatiert wird, wird das Thema für die Oberstufe als zentral eingestuft. Diese Differenzierung manifestiert sich sowohl in der wahrgenommenen Bedeutung als auch in der methodischen Herangehensweise: In der Sekundarstufe I dominieren qualitative oder vereinfachte quantitative Zugänge, während in der Oberstufe eine vertiefte mathematische Behandlung erfolgt.

Die praktische Umsetzung wird durch verschiedene Faktoren erschwert. Der hohe Zeitaufwand wird als wesentliches Hindernis wahrgenommen, was häufig zu einer "nebenbei" erfolgenden Integration führt. Zudem stellt die mathematische Komplexität, besonders in der Sekundarstufe I, eine bedeutende Herausforderung dar. Die Zurückhaltung bei der Anwendung statistischer Methoden wird von mehreren Lehrkräften explizit thematisiert.

Die diskursanalytische Betrachtung offenbart, dass alle befragten Lehrkräfte Elemente sowohl des kanonischen als auch des prävalenten Diskurses in sich vereinen. Diese Koexistenz verschiedener Diskurse führt zu commognitiven Konflikten, die sich besonders in der begrifflichen Unsicherheit zwischen "Messunsicherheit" und "Messfehler" sowie in der Fragmentierung der Messunsicherheitsbetrachtung manifestieren.

Ein weiterer zentraler Konflikt zeigt sich zwischen der gängigen schulischen Praxis des Experimentierens und dem wissenschaftspropädeutischen Anspruch des Physikunterrichts. Während Experimente häufig der Reproduktion bekannter theoretischer Werte dienen, steht dies im Widerspruch zum Ziel der eigenständigen Erkenntnisgewinnung. Diese Diskrepanz spiegelt sich auch im Umgang mit Messunsicherheiten wider.

Die Studie identifiziert zwei grundlegende didaktische Ansätze: Beim reaktiven Ansatz wird das Thema erst bei der Auswertung von Experimenten aufgegriffen, meist wenn

Abweichungen vom erwarteten Wert auftreten. Der präventive Ansatz hingegen berücksichtigt Messunsicherheiten bereits bei der Versuchsplanung und entspricht eher dem wissenschaftspropädeutischen Anspruch des kanonischen Diskurses.

Die Analyse deutet darauf hin, dass die fragmentierte und oft reaktive Behandlung von Messunsicherheiten zu Verständnisproblemen führen kann. Mehrere Lehrkräfte berichten von Schwierigkeiten beim Aufbau eines vertieften Verständnisses in der Oberstufe, wenn grundlegende Konzepte in der Sekundarstufe I fehlen. Ein systematischerer Ansatz, der Messunsicherheiten von Beginn an als inhärenten Bestandteil physikalischer Messungen behandelt, könnte diese Problematik möglicherweise adressieren. Diese Hypothese müsste jedoch durch weitere Forschung, insbesondere durch Studien zu den Lerneffekten bei Schülerinnen und Schülern, überprüft werden

Die Bedeutung dieser Arbeit liegt in der erstmaligen systematischen Untersuchung der Diskrepanz zwischen theoretischer Relevanz und praktischer Umsetzung von Messunsicherheiten im Physikunterricht unter Einbeziehung der *commognitive* Theorie. Die identifizierten Konflikte und Spannungsfelder bieten wichtige Ansatzpunkte für die Entwicklung von Fortbildungskonzepten und Unterrichtsmaterialien.

Für die weitere Forschung ergeben sich mehrere vielversprechende Perspektiven: Die Untersuchung der Rolle wissenschaftstheoretischer Reflexion für das konzeptuelle Verständnis, die systematische Erforschung des Übergangs vom prävalenten zum kanonischen Diskurs sowie die Entwicklung und Evaluation entsprechender Unterrichtskonzepte. Die zentrale Herausforderung bleibt dabei, die wissenschaftliche Komplexität des Themas mit den praktischen Anforderungen und Möglichkeiten des Schulunterrichts in Einklang zu bringen.

7. Literatur

Abbott, D. S. (2003). *Assessing student understanding of measurement and uncertainty*. North Carolina State University.

Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., & Lubben, F. (1998). First year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *International Journal of Science Education*, 20(4), 447-459.

Baumann, M. (2010). Schulbücher und ihre Schwächen. *Physikunterricht im Wandel*, 45(2), 12-15.

Brinkmann, S. (2014). Unstructured and semi-structured interviewing. *The Oxford handbook of qualitative research*, 2, 277-299.

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

Buffler, A., Lubben, F., & Ibrahim, B. (2009). The Relationship between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1137-1156.

Buffler, A., Allie, S., Lubben, F., & Campbell, B. (2009). The Relationship between Students' Views of the Nature of Science and their Views of the Nature of Scientific Measurement.

Dębowska, E., & Greczyło, T. (2017). Role of Key Competences in Physics Teaching and Learning. In *Key Competences in Physics Teaching and Learning: Selected Contributions from the International Conference GIREP EPEC 2015, Wrocław Poland, 6–10 July 2015* (pp. 3-9). Springer International Publishing.

Dehipawala, S., Schanning, I., Sukmayadi, D., & Tremberger, G. (2023). Teaching and assessment of physics measurement uncertainty in remote delivery during Covid-19 Lockdown. *International Journal of Research in STEM Education*, 5(2), 94-103.

Deutsche Physikalische Gesellschaft. (2023). *Das Lehramtsstudium Physik in Deutschland*.

Flick, U. (2018). *Qualitative Sozialforschung: Eine Einführung*. Rowohlt Verlag.

Glomski, J., & Priemer, B. (2010). *Modellierung eines adäquaten Umgangs mit Messunsicherheiten*. Physik und Didaktik in der Schule und Hochschule, Frühjahrstagung – Hannover.

Habig, S., & Vorst, H. V. (2022). *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik e. V. virtuelle Jahrestagung 2021.

Hamacher, J., & Heinke, H. (2016). *Analyse studentischer Lernprozesse zu Messunsicherheiten im Physikpraktikum*. Frühjahrstagung – Hannover.

Harrison, D., & Serbanescu, R. (2017). Threshold concepts in physics. *Practice and evidence of the scholarship of teaching and learning in higher education*, 12(2), 352-377.

Hellwig, J. (2012). *Messunsicherheiten verstehen: Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik*. Ruhr-Universität Bochum.

- 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), 16-22.
- Holz, C., & Heinicke, S. (2019a). Der Rest ist dann halt Messfehler. Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. Aachen.
- Holz, C., & Heinicke, S. (2019b). Unsicherheit – ein ungeliebter Gast im Physikunterricht? In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018.
- Hull, M. M., Jansky, A., & Hopf, M. (2020). Probability-related naïve ideas across physics topics. *Studies in Science Education*, 57(1), 45–83.
- ISO. (1995). *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*. International Organization for Standardization.
- Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement – guide to the expression of uncertainty in measurement*
- Kok, K. (2022). Certain about uncertainty—What students need to know about measurement uncertainties to compare data sets. [Doctoral Thesis, Humboldt-Universität].
- Kok, K., Boczianowski, F., & Priemer, B. (2020). *Messdaten im Physikunterricht auswerten – wann sind Messunsicherheiten wichtig?* *MNU Journal*, 73(4), 292–295.
- Kultusministerkonferenz. (2024). *Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA)*.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In: *Handbook of research on Science Education*. Pp 831–879. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, USA.
- Manassero-Mas, M.A., Vázquez-Alonso, Á. (2022). An empirical analysis of the relationship between nature of science and critical thinking through science definitions and thinking skills. *SN Social Sciences* 2, 270.
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). *Qualitative Inhaltsanalyse* (pp. 633-648). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Müller, M., Gimbel, K., Zieprecht, K., & Wodzinski, R. (2020). *Nature of Science im Unterricht und in Lehrerfortbildungen*. MNU. Neuss: Klaus Seeberger.
- Möhrke, A. (2020). Messunsicherheiten im Physikunterricht: Untersuchung zum Einsatz und zur Bedeutung im Lehr-Lernprozess. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 876-892.
- Nawrath, D., Maiseyenko, V., & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz—Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften—Physik in der Schule*, 60(6), 42-49.
- Nazifah, N., & Asrizal, A. (2022). Development of STEM integrated physics e-modules to improve 21st century skills of students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(4), 1783-1789.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews in der naturwissenschaftlichen Didaktik. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-132). Springer.
- Petrosino, A. J., Lehrer, R., & Schauble, L. (1998). Structuring Error and Experimental Variation as Distribution in the Fourth Grade. *International Journal of Science Education*, 20(4), 463-487.

- Pollard, B., Hobbs, R., Henderson, R., Caballero, M. D., & Lewandowski, H. J. (2021). Introductory physics lab instructors' perspectives on measurement uncertainty. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010133.
- Pollard, B., Hobbs, R., Stanley, J. T., Dounas-Frazer, D. R., & Lewandowski, H. J. (2017). Impact of an introductory lab on students' understanding of measurement uncertainty. *arXiv preprint arXiv:1707.01979*.
- Priemer, B., & Hellwig, J. (2018). *Learning About Measurement Uncertainties in Secondary Education: A Model of the Subject Matter*. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(1), 45–68.
- Priemer, B. (2022) *Unsicherheiten, aber sicher!* Springer Nature (Hrsg). Berlin: Springer.
- Ruhrig, J., & Höttecke, D. (2015). Components of science teachers' professional competence and their orientational frameworks when dealing with uncertain evidence in science teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 447-465.
- Roos, M., Leutwyler, B. (2011). *Wissenschaftliches Arbeiten im Lehramtsstudium: Recherchieren, schreiben, forschen*. Bern: Huber.
- Schulz, J. (2022). *Entwicklung eines Testinstrumentes zur Erfassung von Kompetenzen im Umgang mit Messunsicherheiten*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie. (2017). Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1–10 in Berlin und Brandenburg: Teil C Physik. Berlin.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie. (2021). Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe: Teil C Physik. Berlin.
- Séré, M.-G., Journeaux, R., & Larcher, C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427-438.
- Serbanescu, R. (2017). Identifying Threshold Concepts in Physics: too many to count!. *Practice and Evidence of the Scholarship of Teaching and Learning in Higher Education*, 12(2), 378-396.
- Sfard, A. (2008). *Thinking as communicating: Human development, the growth of discourses, and mathematizing*. Cambridge University Press.
- Sivan, O., Perl-Nussbaum, D., & Yerushalmi, E. (2024). Physics teachers' professional development on measurement uncertainty: A commognitive approach. *Physical Review Physics Education Research*, 20(2), 020146.
- Wilson, A., Åkerlind, G., Francis, P., Kirkup, L., McKenzie, J., Pearce, D., & Sharma, M. D. (2010). Measurement Uncertainty as a Threshold Concept in Physics. In *Proceedings of the 16th UniServe Science Annual Conference*, 29 September-1 October 2010, pp. 98-103. University of Sydney: Australia

Anhang 1 Transkribierte Interviews

Interview 1 Lehrperson A

I: Dann zur ersten Frage inhaltlicher Natur. Mit welchem persönlichen Ziel haben Sie sich für diese Fortbildung angemeldet?

5 LPA: Ja, um zu dem Thema Messunsicherheiten einfach mehr zu erfahren, weil ich ein bisschen den Eindruck habe, so richtig relevant ist es eigentlich in der Schulphysik nicht. Das letzte Mal habe ich mich damit eigentlich in meinem Studium auseinandergesetzt, glaube ich, und das ist schon ziemlich lange her.

10 Und ja, ich mache jetzt aber seit zwei, drei Jahren ein bisschen mehr so Unterstützung in Bezug auf Wettbewerbsvorbereitung und da spielt es wieder ein bisschen mehr eine Rolle als im normalen Schulunterricht, glaube ich.

Zumindest in meinem Studium kam es jetzt nicht, oder in meinem Referendariat kam es irgendwie gar nicht mehr vor, dass man sich darüber ausgetauscht hat.

15 Ich war vor allen Dingen dann auch ein bisschen überrascht, als es gestern hieß, das steht ja auch im Rahmenlehrplan, wo ich dachte, echt, damit kann man, glaube ich, sehr viele KollegInnen überraschen, weil ich glaube, dass sehr wenige so auf dem Schirm haben. Ich meine, ich sage mal, dass man mal eine Ausgleichskurve zeichnet oder so, ja, aber jetzt irgendwo wirklich sich mit Fehlerbalken oder sonst irgendwas auseinanderzusetzen, das ist untypisch. Genau, also seit 2024 stehen die tatsächlich auch in den Bildungsstandards der Sekundarstufe 1, deswegen war
20 das jetzt umso wichtiger, dass wir die Fortbildung starten.

I: Die nächste ist organisatorischer Natur erstmal. Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule?

LPA: 26.

I: Okay, und an welcher Schulform unterrichten Sie momentan Physik?

25 LPA: Gymnasium.

I: Okay, gut, ja. Das war ja schon mit dem Hinweis versehen. Okay, gut, das war schon Block 1.

LPA: Aber ich habe vorher auch nur am Gymnasium unterrichtet. Ich habe noch an keiner anderen Schulform unterrichtet.

30 I: Gut, dann zum Block 2, der weiter inhaltlicher ist. Für wie wichtig achten Sie dann das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?

35 LPA: Ja, also das zieht sich ja dann schon wieder noch auf das, was ich schon vorher gesagt habe. Ja, es kommt, sage ich mal, oftmals nicht so richtig viel vor. Man experimentiert zwar auch mal im Unterricht, aber da ist es, ich sage mal, so ist es ja oft so, dass man sich jetzt gar nicht so in das Experiment so rein vertieft, kein tieferes Verständnis dass man jetzt sagt, warum ist denn jetzt der Wert eigentlich um so und so viel Prozent daneben? Ist das schlimm, wenn der um so und so viel Prozent daneben ist? Sondern dann ist man irgendwie in der Regel ja oftmals, sage ich, froh, wenn da irgendwas an den Interess rauskommt, was auch rauskommen soll. Wird nicht als Chance gesehen sondern als Problem. Und hat oftmals auch gar nicht, sage ich mal, so lange Zeit, sich dann mit auseinanderzusetzen. Es ist
40 tatsächlich, also jetzt aus meiner Erfahrung zumindest her so, dass ich merke, es ist für, eben dann eher für diese Wettbewerbsvorbereitung, wo es dann wirklich um das Experimentieren geht, was dann auch eine größere Genauigkeit erwartet, wo man auch, wo die Schüler in sich auch länger mit ihrem Experiment
45 auseinandersetzen und dann wirklich gucken wollen, was kommt da raus, warum

- 50 kommt das raus, wie groß ist der Fehler, der da rauskommt, nochmal eine andere Natur. Also als, wie gesagt, als jetzt so in dem normalen 90-Minuten-Block, wo man sagt, okay, ich bin am Ende froh, wenn da irgendwie was steht, was da so an den rauskommen soll. Wenn es nicht ganz stimmt, dann fragt man immer nach, warum das wahrscheinlich so ist, was da möglicherweise nicht ganz geklappt hat. Aber es ist ja selten so, dass man jetzt wirklich an was forscht, wo man sagt, oh, stimmt das jetzt wirklich, passt das? Das ist nicht ganz die Realität des Physikunterrichts oftmals, leider.
- 55 I: Okay, als Anschlussfrage daran, wie häufig thematisieren Sie Messungssicherheiten dann im Physikunterricht?
- LPA: Also, wie gesagt, eher selten. Also tatsächlich, ja, wie oft macht man Experimente? Vielleicht, nochmal so, bei mir sind es ungefähr zweimal die Woche, dass ich irgendwas experimentiere. Das dann wirklich mit Messwerten, über die man sich, also wo man sich über die Genauigkeit unterhält. Naja, vielleicht alle zwei Monate mal. Aber jetzt, dass man tatsächlich jetzt überlegt, wie kann man da eine Fehlerfortpflanzung möglicherweise auch messen. Oder also, wie gesagt, also über dieses Ausgleichsgerade oder Ausgleichskurve legen kommt es bei mir eigentlich selten hinaus.
- 60 I: Okay, das ist ja schon eine typische Handlungsroutine. Können Sie nochmal beschreiben, wie Sie da vorgehen würden thematisch? Also so ganz kurz, wenn Sie Messungssicherheiten jetzt wirklich mal thematisieren, wie würden Sie da vorgehen im Unterricht?
- LPA: Na, ich sage mal so, in der Regel wahrscheinlich erstmal die SchülerInnen fragen, wo sie das Gefühl haben, da könnte was vielleicht nicht ganz als exakter Wert rausgekommen sein oder wie exakt Sie jetzt in Ihrem eigenen Experiment denken, dass Sie die Werte bestimmt haben, wo Sie Fehler überhaupt hinverorten. Und dann bin ich ehrlich gesagt schon glücklich, wenn irgendwie so ein paar Sachen genannt werden, die auch in etwa so eine Abschätzung haben, wo ich sagen würde, das stimmt so ein bisschen mit meiner überein. Also tatsächlich war es gerade heute so, dass SchülerInnen sich ein Gerät, also es war in dem Experimentierkurs, sich ein Gerät halt anschauten, weil sie das verwenden wollen, also ein Messgerät, und dann sagten sie zu mir, ja, also die Temperatur kann es aushalten, aber am Griff nur so und so viel Temperatur, aber die Genauigkeit des Sensors ist ziemlich hoch. Und dann habe ich gedacht, wow, also die haben tatsächlich sich diese Werte scheinbar angeguckt und dann gesagt, also das ist sehr genau, was er hier misst, und waren dann ganz beeindruckt davon. Ich dachte, das hätte ich jetzt gar nicht so erwartet, dass man sich jetzt wirklich, wenn man sich so ein Datenblatt anschaut, dann auch, sage ich mal so unbefragt, so eine Genauigkeit anschaut, die da angegeben wird, die dann meistens mit irgendwie, das weiß ich, 0,1 Prozent oder was auch immer, wo das rauskommt. SuS haben selber Intuition dazu!
- 75 I: Haben Sie denn noch andere Verfahren oder Regeln, mit denen Sie Messunsicherheiten dann bestimmen, also vielleicht sogar quantifizieren, oder wie sieht das aus?
- 80 LPA: Nein.
- I: Genau, und wenn Sie dann ein Ergebnis haben, was eine Messunsicherheit trägt, wie nutzen Sie das Ergebnis dann im weiteren Unterrichtsverlauf?
- 85
- 90

LPA: Wie gesagt, eigentlich im Normalfall ja gar nicht. Also, ich habe jetzt festgestellt, mit der Einführung der digitalen Messwerterfassung, da ist es ja jetzt so, dass man zum Beispiel sagt, okay, da wird es jetzt auch, glaube ich mal, noch mal mehr zum Tragen kommen. Da habe ich jetzt in meiner 10. Klasse, haben wir gerade irgendwie eine beschleunigte Bewegung aufgenommen. Und da ist es ja so, wenn ich jetzt mit so einem digitalen Messwertsensor die Geschwindigkeit irgendwie bestimme, entweder über eine Abstandsmessung oder halt über Videoanalyse, dann bekomme ich ja schon irgendwie sozusagen so Werte raus, die so ein bisschen hin und her schwanken. Dann schwankt möglicherweise die Kugel auch leicht nach links oder rechts und am Ende kommt dann irgendwie so etwas von der, wenn man sich jetzt die Y-Komponente zum Beispiel anguckt, kommt dann ja schon irgendwie was raus, wo man denkt, ach, das sieht aber sehr gut aus von der Lage. Und dann fängt ja aber das Programm dann automatisch an, das weiterzuverarbeiten und die Geschwindigkeit daraus zu berechnen und dann die Beschleunigung daraus zu berechnen. Und dann bekommt man ja teilweise wirklich so totale Zickzack-Linien. Wo man ja, sage ich mal, so eine Fehlerfortpflanzung in Führungszeichen sieht, die man jetzt gar nicht selbst so eingeschätzt hätte. Ich bekomme ja dann plötzlich irgendwie ein G raus, was so ein Fehlerbalken hat. Und vorher hätte ich jetzt irgendwie gesagt, naja, da ist mal ein Pixel zu weit drüben oder ein Pixel zu weit oben oder ein Pixel zu weit unten und die Zeit ist mit jedem Frame eigentlich ziemlich klar definiert. Also das finde ich dann schon erstaunlich. Also wo ich dann schon merke, das wäre jetzt was, wo man dann wirklich, wenn man jetzt an so einer Auswertung mit den Schülern arbeitet, schon nochmal mehr drauf eingehen muss. Weil sie dann halt eben auch sowas sehen, was jetzt im normalen Unterricht, wenn ich da jetzt durch diese Werte meine Ausgleichsparabel durchlegen lasse, naja, dann kriege ich eine ziemlich geringe Abweichung eigentlich von G raus. Aber da merke ich eben jetzt gerade, was so diese sehr feinen Messungen angeht, da erwartet man eine höhere Genauigkeit, dann ist man erstaunt über eine weniger hohe Genauigkeit und da ist dann viel mehr Anlass, glaube ich zumindest, das zu thematisieren. Mhm. Also insofern macht es auch, glaube ich, Sinn, dass es im neuen Rahmenlehrplan mit der neuen Messtechnik auch mit aufgenommen worden ist.

125 I: Die nächste Frage ist ein bisschen allgemeiner. Wie definieren Sie eigentlich den Begriff Messunsicherheit? Was verstehen Sie darunter?

LPA: Naja, letztendlich würde ich damit jetzt alles irgendwie verbinden, was mit fehlerbehafteten Daten zu tun hat. Also ob das jetzt dadurch ist, dass vielleicht im Gerät selbst eben eine Toleranz nur vorhanden ist, mit dessen Genauigkeit das Gerät mit meiner eigenen Ablesegenauigkeit, Ungenauigkeit, mit, ja, also eben solche Genauigkeitssachen. Ja, ich glaube, das wären schon mal so die Hauptfaktoren, die mir so einfallen würden. Also alles, wo man, naja, das ist auch irgendwie schwierig, weil auf der anderen Seite finde ich dann, ehrlich gesagt, auch immer so als Physikerin, wenn mir jemand so eine gerade vorlegt und sagt, das habe ich gemessen, dann glaube ich dem nie. Also weil man dann sagt, also die Werte, die können nicht echt sein. Also, ja, vielleicht auch irgendwie das, was echte Werte ausmacht, dass sie immer eine gewisse Ungenauigkeit haben. Und wir ja

eigentlich versuchen, uns sozusagen da theoretischen Werten anzunähern, dass wir, ja, mehr oder weniger gut schaffen.

140 I: Das war schon Block zwei.

Interview 2 Lehrperson B:

I: Das war schon fast der erste Teil. Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule?

LPB: Seit 13 Jahren.

145 I: Okay, und an welcher Schulform unterrichten Sie momentan?

LPB: Am Gymnasium.

I: Okay, das war schon Block 1. Dann in Block 2. Der war, wie gesagt, unterrichtspraktischer Relevanz von Messunsicherheiten. Und die erste Frage, die ich dazu habe, lautet, für wie wichtig achten Sie das Thema Messunsicherheiten dann für den Physikunterricht?

150 LPB: Für sehr, sehr wichtig.

I: Okay, können Sie das auch noch begründen?

LPB: Ja, und zwar ist mir aufgefallen, dass, also wir haben ja oft eine Fragestellung für bestimmte Themen, bestimmte Einheiten, denen die Schüler dann experimentell nachgehen. Und um die Fragestellung zu beantworten zu können, also um das auszuwerten, die Messdaten, muss man ja die Messunsicherheiten mit einbeziehen. Also ohne geht es nicht. Deshalb, ja, es ist sehr, sehr wichtig.

I: Okay, wie häufig thematisieren Sie Messunsicherheiten momentan im Physikunterricht?

160 LPB: Na, was heißt häufig? Also, Relativ, absolut? Ja, häufiger. Also jetzt nicht jedes Mal, aber also schon fast bei allen Experimenten, die wir durchführen.

I: Okay, dann eine etwas allgemeinere Frage. Wie definieren Sie denn den Begriff Messunsicherheit?

LPB: Okay, also es ist jetzt wahrscheinlich nicht ganz die physikalische Definition, es geht darum, also so umgangssprachlich geht es darum, dass wir eine bestimmte Beschränkung haben aufgrund unserer Messgeräte, wie genau wir eigentlich Messdaten erfassen können. Und im Messen selbst, das unterliegt ja auch statistischen Schwankungen. Ja, und das zusammen bildet die Messunsicherheit.

I: Können Sie mal ein klassisches Beispiel, wie Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht thematisieren, beschreiben? Vielleicht auch eines Beispiels gerne.

LPB: Ja, also ich habe jetzt ganz viel siebte, achte Klasse unterrichtet, deshalb habe ich das, machen wir das da nicht quantitativ, sondern eher qualitativ. Da hatte ich jetzt eine Aufgabe, da ging es darum, dass die, na, schwer, also g , klein g , mir fällt gerade der Begriff nicht ein. Ja, genau, die Erdanziehungskraft oder der Beschleunigungsfaktor. Ja, genau, aber nicht im Rahmen von Beschleunigung, sondern als Faktor für Berechnung der Erdanziehungskraft sollte halt bestimmt werden, also siebte Klasse mit dem Federkraftmesser einfach die Proportionalität bestimmen. Und dann haben wir darüber diskutiert, warum denn da verschiedene Werte ermittelt wurden, ob das jetzt ein echter Unterschied ist oder wodurch dieser Unterschied zustande kommt. Und dann, genau, und dann teilweise, wenn wir Proportionalitäten untersuchen und feststellen, dass die Messwerte nicht genau auf

einer Geraden liegen, woran das liegt, ob jetzt trotzdem eine Proportionalität vorliegt oder nicht.

185 I: Haben Sie da eine Regel oder ein Verfahren, wie Sie dann das sozusagen auch als Kriterium nutzen, um zu entscheiden, das liegt jetzt auf der Geraden oder halt nicht?

190 LPB: Ja, also siebte Klasse, so Pi mal Daumen, wenn ungefähr gleich, nee, also so eine richtige Regel nicht. Also wenn wir eine Gerade durchzeichnen können und die Punkte bewegen sich um diese Gerade herum und es ist ein Trend, also es ergibt sich einfach ein Trend an dieser Geraden, dann ist es wohl eine Proportionalität, aber nicht quantitativ.

I: Nutzen Sie das Ergebnis der Messunsicherheit dann auch im weiteren Verlauf des Unterrichts?

195 LPB: Nee, also siebte, achte Klasse nicht. Nee, in der Oberstufe, also da habe ich es bis jetzt sehr selten gemacht, also zum Beispiel bei der E-durch-M-Bestimmung, wo es dann wirklich darum geht, zu gucken, wie genau haben wir den E-durch-M jetzt bestimmt. Also da dann auch quantitativ, dass wir uns die Messunsicherheiten für die einzelnen Messungen überlegen und dann da Rückschlüsse.

I: Okay, das war auch schon Block zwei. Vielen Dank dafür.

200 **Interview 3 LPC:**

I: Okay, perfekt. Dankeschön. Dann starten wir schon mit der nächsten Frage, die jetzt auch wirklich zur Fortbildung ist. Mit welchem Ziel haben Sie sich denn für diese Fortbildung angemeldet? Mit welchem Ziel?

205 LPC: Natürlich das Thema, mit Fällen sozusagen umzugehen, besonders an der SEC 1, wird teilweise oder überhaupt nicht unterrichtet. Und das Thema ist für mich aktuell, weil später sowieso auch in der SEC 2 Schüler dann haben große Probleme, wie zum Beispiel, wie die Daten dargestellt werden können, welche Ableitung, Ableitungskurve oder Ableitungsgrade ich zeichnen oder die Schüler zeichnen können. Ich habe schon ein paar Mal Probleme gehabt. Und deswegen mein Ziel
210 natürlich, oder etwas auszuprobieren, damit Sie in der SEC 2 vielleicht doch schon dieses Verständnis haben, weil Sie das in der SEC 1 teilweise gehört haben. Oder normalerweise, man beginnt dann den Unterricht, zum Beispiel bei uns in der Einführungsphase. Und dann braucht man wirklich viel Zeit, um das zu erklären. Ich habe schon ein paar Mal Probleme gehabt im Unterricht und deswegen versuche
215 ich irgendwie, das korrigieren und zu retten. Und wir haben leider nicht zu viel Zeit, uns in dieses Thema zu vertiefen, weil wir nach dem Rahmenlehrplan unterrichten, da kommt etwas mit den Fälle der Unsicherheiten, aber es wird nur sozusagen irgendwo geschrieben. Und wir als Lehrkräfte haben dafür keine Zeit. Und deswegen war mein Ziel, dass ich vielleicht doch schon im 8. Jahrgang mit meiner
220 Schule das ausprobieren, damit wir später nur das nochmal wiederholen oder uns erinnern oder uns vertiefen. Ich möchte früher mit diesem Thema beginnen, weil ich die Probleme schon erlebt habe oder hatte.

I: Okay, dann noch eine allgemeinere Frage. Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule?

- 225 LPC: Fünf. Fünf. Fünf und ich habe auch an der Uni auch unterrichtet. Ja, an der Uni habe ich viel unterrichtet, weiß ich nicht. Insgesamt, ich komme eigentlich aus der Wissenschaft, ja, und da musste ich regelmäßig die Studenten begleiten für die Diploma-Arbeit. Und, ja, ich weiß, dass sie auch an der Uni einige Schüler oder einige Schülerinnen Probleme haben, ja, mit diesem Thema, ja.
- 230 Besonders sie nicht Physik studieren, sondern als Nebenfach, ja, da Professionen sind schon, ja, vier Jahre.
- I: Okay, an welcher Schulform unterrichten Sie momentan Physik?
- LPC: Schulform bedeutet, was habe ich dann gesagt?
- I: Gesamtschule, Oberschule, genau.
- 235 LPC: Gesamtschule, Gesamtschule, integrierte Sekundarschule, ja. Gesamtschule.
- I: Okay, gut. Das waren schon die allgemeinen Fragen. Im zweiten Teil wollen wir jetzt zum Thema Messunsicherheiten noch ein paar Fragen stellen. Und die erste lautet, für wie wichtig erachten Sie das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- 240 LPC: Ich vermute, oder aus meiner Sicht, für die Sekundarstufe 1, man schafft mindestens an unserer Schule, weil wir auch noch viele disziplinäre Probleme haben, man schafft dieses Thema überhaupt nicht zu erläutern, überhaupt nicht zu behandeln. In der Sek 2, wenn Sie schon, falls Sie den Grundkurs auswählen und dann mehr mit dem Experiment sich beschäftigen, dann ist das schon sehr wichtig, ja. Das ist meine Perspektive. Für die Sekundarschule 1 vielleicht, für den Physikunterricht unbedingt ist es nicht sehr notwendig, aber falls diese Schüler später für die Sekundarstufe 2 entscheiden, dann für die Perspektive für die Sekundarstufe 2. Das ist meine Meinung, ja. Wie ich schon gesagt habe.
- 245 I: Warum sind Messunsicherheiten dann für Sie relevant?
- 250 LPC: Also, wenn man es jetzt auf Unterrichtsbildern... Zuerst, es geht um das Modell. Welches Modell muss ich dann anwenden? Zum Beispiel, wenn ich ein Experiment durchführe, um ein bestimmtes Modell zu verwenden. Zum Beispiel, was ist nicht für die gleichförmige Bewegung? In welchen Phasen ist es wirklich eine gleichförmige Bewegung? In welchen Phasen ist es beschleunigte oder verzögerte Bewegung? Das ist schon ganz am Anfang der Mechanik, um die Modelle richtig anzuwenden, würde ich so sagen.
- 255 I: Okay, wie häufig thematisieren Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht?
- LPC: In der Sek 1 oder in der Sek 2 sehr oft, bei jeder Gerade, die wir zeichnen. Und in der Sek 2, in der Sek 2 vereinfache ich alle Experimente, wie ich schon gesagt habe. Wir haben viele schwachen Schüler und man schafft auch, das mit den Leistungsschülern überhaupt nicht zu beschreiben oder zu diskutieren. Mein Ziel ist eigentlich, ich werde jetzt in diesem Jahrgang die Schüler so differenzieren, dass in einer Gruppe leistungsstarke und in einer Gruppe leistungsschwachen. Und dann habe ich diese Möglichkeit sozusagen mit leistungsstarken Schülern vielleicht doch, dass wir uns in dieses Thema mehr vertiefen können oder dass ich mehr erklären kann.
- 260 I: Okay, dann eine allgemeinere Frage. Wie definieren Sie denn den Begriff Messunsicherheit?
- LPC: Wie ich das definiere?
- 265 I: Oder was verstehen Sie unter dem Begriff Messunsicherheit?

- 275 LPC: Ich meine, für mich ist das Thema, aber auch als für die Physikerin, ja. Wie groß ist die Abweichung, ja, zum Beispiel von einem Modell, um dieses Modell anzuwenden? Es geht, ja, ich assoziiere das sofort mit dem Modell. Es gibt Theorie und es gibt die Messungen, ja. Und nicht alle Messungen können, nein, die Messungen doch, das Problem, von der Theorie würde ich so sagen, kann man nicht sofort diese Messungen anpassen. Das bedeutet, muss man zuerst die Messungen erarbeiten, um zu verstehen, ob dieses Modell passt oder nicht passt. Und wie groß ist die Abweichung für ein bestimmtes Modell? Die Rahmen für das Modell, ja, so verstehe ich.
- 280 I: Alles gut, das passt. Ich habe noch eine allgemeinere Frage, jetzt wieder zurück zum Unterricht. Wenn Sie das in der Sekundarstufe 2 jetzt thematisieren, können Sie da mal ganz kurz beschreiben, wie Sie Messunsicherheiten dann im Unterricht thematisieren?
- 285 LPC: Bis jetzt, ich habe das immer kurz gemacht. Ich habe einfach die Formel gegeben, am Blick daran, dass wir wirklich, die Schere in den Klassen ist so groß, man versucht das kurz und knack, diese Schüler, die das doch verstanden haben, die das nicht verstehen wollen, muss man auch das auch nicht unterscheiden. Es gibt auch im Grundkurs einige Schüler, die Physik besuchen, weil sie das für den Schulabschluss brauchen. Und natürlich, sie wollen, wenn sie mathematisch das beschreiben können, dann gebe ich einfach die Formel für die Abweichung, ja, und dann müssen sie dann sozusagen den Messfälle mathematisch lösen. Ob sie das inhaltlich richtig verstehen, bin ich nicht sicher, ja. Ich denke, es geht nur darum, richtig Mathematik anzuwenden, eine Zahl bekommen und das ist der Punkt, ja. Was diese Zahl bedeuten können, ist für mehrere Schüler,
- 290
295
I: gehe ich davon aus, unklar ist, ja.
- I: Okay, wenn Sie jetzt sagen, Sie geben denen eine Formel, welche Formel, die Standardabweichung oder was geben Sie?
- 300 LPC: Ja, für die Standardabweichung. Ich gebe ganz normale Formeln, ja. Spannbreite zu definieren, ja, und plus, minus. Ja, diese quadratische Abweichung gebe ich noch nicht, der Standardabweichung. Das bedeutet, Sie können manchmal die Wurzeln noch nicht richtig berechnen, ja, oder, ja.
- I: Das heißt, Sie nehmen dann sozusagen Mittelwert und den größten Wert.
- LPC: Ja, Mittelwert und plus, minus, ja. So einfach Sie berechnen, ja.
- 305 I: Das heißt, also Spannweite ist dann das Kriterium, was die Messunsicherheit definiert.
- LPC: Ja, genau.
- I: Okay. Wie nutzen Sie dann das Ergebnis, wenn Sie dann die Schülerinnen das ausgerechnet haben, wie nutzen Sie dieses Ergebnis der Messunsicherheit und dann im weiteren Verlauf des Unterrichts?
- 310 LPC: Am Ende, das passiert normalerweise am Ende des Unterrichts, ja, und man hat nicht so viel Zeit, das noch mal zu thematisieren, ja. Man, normalerweise, wir berechnen das, stellen fest, ist die Abweichung groß oder nicht, thematisieren nur ein bisschen, thematisieren nur, ob dieses Modell passt oder nicht passt, oder was kannst du sozusagen zu dieser Abweichung führen und das nicht mehr, ja.
- 315 I: Das heißt, also eher auf einer qualitativen Basis?

- LPC: Ja, sehr, sehr qualitativ, ja, genau. Sie begründen, normalerweise, die Schüler begründen so, zum Beispiel, alle Punkte liegen nicht auf einer Gerade oder liegen nicht auf einer Parabel, weil insofern bis dahin kann man näherungsweise, weiß es nicht, dieses Modell anwenden und ab einem bestimmten Wert vielleicht ein anderes Modell anwenden, so, ja, und dann sagen, weil die Abweichung zu groß ist, ja, oder so ungefähr.
- 320
- I: Okay, ähm, wie...

Interview 4 Lehrperson D

- I: Die zweite Frage, die geht jetzt schon eher in Richtung der Fortbildung. Mit welchem persönlichen Ziel haben Sie sich dann für diese Fortbildung angemeldet?
- 325
- LPD: Na, ich finde Messungssicherheiten spannend und wichtig und habe im Unterricht irgendwie wenig Gelegenheiten, darüber zu sprechen. So mal im Leistungskurs geht es, in so einem Experimentierkurs geht es, aber sonst irgendwie fällt es meistens so ein bisschen runter. Also ich erzähle das zwar, aber so richtig wird es, glaube ich, selten verstanden. Und ich hoffe, dass ich hier vielleicht ein Werkzeug an die Hand kriege, wie man das besser macht, wie man das gut einbinden kann vor allem.
- 330
- I: Gut. Dann noch zwei allgemeine Fragen, die auch so auf die allgemeinen Köpfe hinausgehen. Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule?
- 335
- LPD: Seit 2018, inklusive REF.
- I: Genau, seit 2018, also sechs Jahre.
- LPD: Sechs und ein halb.
- I: An welcher Schulform unterrichten Sie momentan Physik?
- LPD: Gymnasium.
- 340
- I: Okay, gut. Das haben wir schon das Allgemeine erledigt. Dann würden wir übergehen zum inhaltlichen Teil. Und da soll es im ersten Punkt mal um die Relevanz von Messunsicherheiten gehen. Und deswegen habe ich eine Frage für Sie, die lautet, für wie wichtig erachten Sie das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- 345
- LPD: Also auf einer Skala formuliert oder frei formuliert?
- I: Gerne beides.
- LPD: Auf einer Skala würde ich sagen von eins bis zehn. Zehn sehr wichtig, würde ich sagen sechs. Und ich finde es wichtig, dass die Schüler und Schülerinnen verstehen, dass es das gibt. Also dass es nicht sozusagen diesen einen wahren Wert gibt, sondern dass man, oder dass es ihn vielleicht gibt, aber dass man den nicht messen kann. Und dass das alles fehlerbehaftet ist und dass man das alles kritisch hinterfragen muss, was man da so misst. Und da spielen die Messunsicherheiten natürlich eine große Rolle. Also dieses Konzept, was dahintersteckt. Und auch, dass es, also früher hat man ja immer gesagt, das ist ein Messfehler, aber das ist ja kein Messfehler. Das ist ja einfach da. Aber es ist nicht falsch.
- 350
- 355
- I: Genau. Wie häufig thematisieren Sie, also haben Sie noch eine Erweiterung oder Ergänzung dazu noch, oder?
- LPD: Nee, wenig.

- 360 I: Okay, gut. Dann, wie häufig thematisieren Sie dann Messunsicherheiten im Physikunterricht?
- LPD: Ja, das hängt natürlich von der Lerngruppe ab. Ich habe jetzt relativ viel Leistungskurs unterrichtet. Da thematisiere ich das, ich sage mal so, bei vielleicht einem Drittel der Experimente, zumindest, dass es die gibt und inwiefern die bei dem jeweiligen Experiment auftreten, wie wir die sehen. In so einem Mittelstufenkurs, also ich sage mal so, achte, neunte Klasse, eher selten. Also wenn es sich anbietet, also wenn so Sachen sind, wo wir irgendwie ganz viele gleichartige Messwerte in der Lerngruppe sammeln können, dann sprechen wir da kurz drüber, aber auch nur, dass das existiert.
- 365
- 370 I: Können Sie mal ganz kurz beschreiben, wie Sie Messunsicherheiten dann zum Beispiel jetzt in der achten Klasse thematisieren? Also das klang jetzt so qualitativ, aber können Sie das nochmal beschreiben, wie Sie da fortgehen, fortführen würden bei dem Thema?
- LPD: Also zum Beispiel, ich sage mal eine Widerstandsmessung, wo Stromstärke und Spannung messen und das dann ausrechnen. Und da macht halt jede Gruppe, also dann habe ich zehn Gruppen in der Klasse, kriegt halt jede Gruppe irgendeinen Wert raus, der theoretisch natürlich bei allen gleich sein sollte. Und dann stellen die aber fest, sind ganz verschieden, dann sammle ich die an der Tafel, dann gucken wir uns die an, streichen vielleicht die Werte raus, wo offensichtlich irgendwas falsch gelaufen ist und stellen dann fest, da stehen sieben, acht Werte, die irgendwie relativ ähnlich sind, aber doch ein bisschen abweichen. Und dann spreche ich darüber, also es hängt, wie gesagt, ein bisschen von der Lerngruppe ab, wie detailliert ich dann drüber spreche. Aber es kann sein, dass ich dann einfach nur sage, das ist ganz normal, das sind Messunsicherheiten. Wir können den wahren Wert gar nicht genau bestimmen, weil unsere Messgeräte Ungenauigkeiten aufweisen oder unsere Messungen Ungenauigkeiten aufweisen. Also sobald wir irgendwann Zeit messen, ist es natürlich klar, jeder hat eine andere Reaktionszeit. Das verstehen die Schüler und Schülerinnen eigentlich auch ganz gut. Und wenn die Lerngruppe ein bisschen fitter ist, dann sprechen wir auch mal darüber, wie groß man so einen Intervall da angeben könnte.
- 375
- 380
- 385
- 390 I: Haben Sie da ein typisches Verfahren? Entschuldigung, haben Sie da für ein typisches Verfahren?
- LPD: Ja, alles gut. Na, wir fangen erstmal an und gucken sozusagen die Spannweite der Daten an, also abzüglich der offensichtlichen Messfehler, also die dann wirklich sozusagen falsche Messungen sind. Und dann sind wir uns im Kollegium etwas uneinig. Ich habe es früher so gelernt, dass man eigentlich Mittelwert-Standard-Abweichung sich anschauen würde. Und jetzt wurde mir schon gesagt, dass da für den Unterricht zumindest andere Modelle bevorzugt werden heutzutage. Also dass man wirklich sozusagen auf den größten, kleinsten Wert guckt. Aber damit habe ich ein bisschen Probleme, tatsächlich.
- 395
- 400 I: Das heißt doch eher Standardabweichung, also Mittelwert-Standard-Abweichung, dann in Ihrem Unterricht oder wie gehen Sie damit um?
- LPD: Ich habe mit so einer achten, neunten Klasse noch keine Standardabweichung berechnet. Das ist ja mathematisch einfach nicht drin. Ich glaube, im Leistungskurs habe ich es mal gemacht. Ist aber schon ein bisschen her. Und dann, wenn ich das
- 405

410 mache, dann thematisiere ich eben das, also ich habe es einmal thematisiert, das
Minimum-Maximum als Spannweite, dass das ja je mehr Messungen man macht,
theoretisch umso größer wird. Aber ich versuche eigentlich sozusagen immer
beizubringen, dass eine Messung ist schön und gut, aber eigentlich müssen wir
Messungen wiederholen, um einen zuverlässigen Wert zu erhalten. Und dann sollte
es ja eigentlich so sein, dass je mehr Messungen man macht, der Wert umso
genauer bestimmt wird. Und da kann man dann, also ohne jetzt auf die Formel
einzugehen, irgendwie sagen, dass da irgendwo ein Durch-N oder Durch-Wurzel-N
415 drinsteht, so eine Standardabweichung. Und deswegen sozusagen dieses Intervall
kleiner wird. Aber das ist dann schon, das ist dann schon, da muss die Lerngruppe
schon auch wirklich gut mitziehen.

I: Nutzen Sie das Ergebnis, oder wie nutzen Sie das Ergebnis von dieser
Messungssicherheit, wenn Sie sie so bestimmen im weiteren Unterrichtsverlauf
noch?

420 LPD: Na, wir versuchen schon ein bisschen abzuschätzen, wie gut unser Experiment ist.
Und wir sagen immer so, also wenn man jetzt zum Beispiel irgendeinen
Literaturwert bestimmen möchte, oder einen Wert, der aus der Literatur bekannt ist,
dass so 10, 15 Prozent Abweichungen okay sind. Damit können wir gut leben. Und
wenn es jetzt mehr ist oder deutlich mehr ist, dann denken wir noch mal nach, ob
425 wir irgendwo irgendwas falsch gemacht haben oder irgendwas nicht berücksichtigt
haben oder vielleicht das Modell, was wir benutzt haben, nicht so valide ist. Aber
also wir rechnen damit nicht weiter oder sowas.

I: Also vorrangig als Vergleichsparameter dann, ne?

430 LPD: Ja genau, um ein bisschen einschätzen zu können, ob das, was wir da gemacht
haben, Sinn macht. Also wenn wir zum Beispiel rauskriegen, dass irgendwie der
Messwert und die Abweichungen in der gleichen Größenordnung sind, dann möchte
ich vermitteln, dass man diesen Messwert dann eben zumindest mit Vorsicht
genießen muss. Selbst wenn die Zahl vielleicht als solche gut aussieht. Also es geht
ein bisschen darum zu vermitteln, dass man halt diesen Wert kritisch sich anschaut.
435 Und dann das Experiment kritisch anschaut.

I: Okay, sehr gut. Dann habe ich noch eine allgemeinere Frage. Wie definieren Sie
denn eigentlich den Begriff Messunsicherheit? Wir haben ja jetzt schon drüber
gesprochen, aber was ist das für Sie?

440 LPD: Was ist das für mich, die Messunsicherheit? Ich habe da jetzt keine
Textbuchdefinition. Unter Messunsicherheit verstehe ich alle Einflüsse, die
sozusagen ein Experiment oder das Ergebnis eines Experiments, das ist jetzt doof
gesprochen, aber beeinflussen, im Sinne von, dass der Messwert in irgendeine
Richtung geschoben wird. Oder es muss nicht unbedingt in eine Richtung
geschoben werden, aber das, wie ich schon sagte, zum Beispiel bei einer
445 Zeitmessung natürlich irgendwie in der Reaktionszeit mit beachtet werden muss,
dass so Messgeräte vielleicht eine Trägheit haben oder irgendeinen Bias in
irgendeine Richtung. Und dass ich damit am Ende eben einen Wert rauskriege, der
von dem wahren Wert oder von dem echten Wert eben abweicht. Und, ja, ich weiß
nicht, habe ich so noch nicht so konkret drüber nachgedacht, wie man das so richtig
450 definiert.

- I: Alles gut, also ich hätte jetzt auch so einen Stehgreif auch nicht so eine Definition, aber darum geht es ja auch einfach zu gucken, hey, was ist eigentlich so das Verständnis denn?
- 455 LPD: Was auf jeden Fall immer mitkommen muss, ist, dass es eben sein muss, dass es da sein muss, dass niemand, also ich weiß nicht, wenn die jetzt irgendein Experiment mit irgendjemandem machen und der sagt, hier, der Wert ist 5, dass sie dann wissen, nee, der Wert ist vielleicht in der Nähe von 5, aber niemand kann mir einen genauen Wert tragen. Das ist das, was ich den Schülern versuche mitzugeben und was ich auch selber irgendwie immer, wie ich das verstehe.
- 460 I: Gut, das wäre schon der zweite Block gewesen. Gut, das wäre schon der Fall.

Interview 5 Lehrperson E

- I: Okay, das waren schon die zwei Fragen bezüglich Ziele und Erwartungen. Die nächste Frage ist, wie viele Jahre unterrichtest du bereits Physik an der Schule?
- 465 LPE: Ich war immer so, ich war zwischendurch, ja auch im Unilab, da war ich nicht in der Schule. Dann habe ich einen Ausflug an die Grundschule gemacht mit Navi, zählt das auch?
- I: Ja.
- 470 LPE: Ja, dann, ich glaube, richtig an die Schule gegangen bin ich 2012 vielleicht. Aber davor hatte ich halt auch schon Reff gemacht, also weiß ich nicht. Hmm.. 15 Jahre vielleicht so.
- I: Gut. An welcher Schulform unterrichtest du momentan Physik?
- LPE: Momentan bin ich am Oberstufenzentrum, also 11, 12, 13 und Fachoberschule.
- 475 I: Mhm, gut. Das war schon der erste Block. Dann zum Zweiten. Da wird es jetzt um die unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten gehen. Und die erste Frage ist, für wie wichtig achtest du das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- LPE: Sehr wichtig. Soll ich auch gleich sagen, warum?
- I: Gerne.
- 480 LPE: Also, man macht ja in Physik glücklicherweise viele Experimente. Das ist ja ein zentraler Teil. Und da misst man Sachen. Und dann kommen andere Sachen raus, als im Physikbuch stehen. Und dann sind die Schüler mindestens irritiert oder enttäuscht. Und denken, sie haben was falsch gemacht. Und dass man damit umgeht und ihnen sagt, dass sie überhaupt nicht falsch gemessen haben. Das finde ich total wichtig auf der einen Seite. Auf der anderen Seite ist es ja auch so, dass sie teilweise Schlüssel aus Daten ziehen. Irgendwie hängt das davon ab oder nicht. Und da treten immer wieder sehr große Probleme auf. Also, ja, muss ich glaube ich nicht nie ausführen. Aber das ist natürlich wichtig, wenn sie das besser können. Dann können sie auch viel besser selbst Schlüsse ziehen. Und müssen nicht dann denken, ja, okay, ich habe jetzt irgendwie rausgekriegt, dass es abhängt. Aber mein
- 485 Physiklehrer sagt nicht, naja, wird schon so sein. Das will man ja vermeiden.
- 490 I: Wie häufig thematisierst du Messunsicherheiten im Physikunterricht?
- LPE: Naja, ich habe mich jetzt dafür stark gemacht, dass wir das quasi in allen Oberstufenklassen, also in den 11. und in den Fachoberschulklassen, am Anfang direkt machen. Also, ich bin auch, ich entwickle auch gerade das schulinterne

495 Curriculum für die Fachoberschulklassen. Und ich habe das jetzt so gelöst, dass ich
quasi zwei Blöcke zum Thema Definition von Messgrößen und wie man eine
Messgenauigkeit bestimmt und wie sich die auf Ergebnisse auswirkt. Das mache
ich in zwei Blöcken und darauf greife ich zurück in den folgenden Messungen zu
500 Bewegungsformen. Wenn wir da irgendwelche Messungen, da tritt es ja auf, du
bestimmst die Erdfallbeschleunigung und dann steht im Buch 9,81 und du hast
irgendwie 11 raus oder so. Und das greife ich dann halt immer wieder auf. Und da
geht es auch immer wieder vor allen Dingen auch um Quellen für
Messungenauigkeit. Also, wie geeignet ist das Messverfahren, das Messgerät?
505 Habe ich irgendwelche anderen Unsicherheitsfaktoren, die da mit reinspielen? Und
wie drückt sich das in meinem Ergebnis aus? Ist alles in Ordnung mit meiner
Messung? Kann ich da zufrieden sein? Oder muss ich an irgendeiner Stelle
nochmal gucken, ob irgendwas schiefgelaufen ist? Das sieht man ja dann, wenn
man die Unsicherheit mit in Betracht zieht. Demzufolge will ich jetzt daraus ablesen,
510 dass das sehr regelmäßig stattfindet, die Thematisierung im Physikunterricht. Ja,
also das gibt immer, wenn wir messen, gibt es so ein Part, wo wir über
Ungenauigkeit sprechen, dann mehr oder weniger. Also es ist eher klein, aber
dadurch, dass man das einmal eingeübt hat, kann man das ja dann immer wieder
aufgreifen.

I: Gut, dann eine allgemeinere Frage zu dem Thema. Wie definierst du denn den
515 Begriff Messunsicherheit?

LPE: Das ist eine grundlegende Eigenschaft von Messungen, die beschreibt das Intervall,
in dem ich meiner Messung vertrauen kann. Oder ich sage immer zu meinen
Schülern, wofür würdet ihr die Hand ins Feuer legen? Ja, dass unser Messwert in
diesem Bereich liegt. Manchmal sagen ja auch, ich habe Elektrotechniker, die
520 sagen dann häufig Toleranzbereich dazu. Aber es ist auf jeden Fall eine zugrunde
liegende Eigenschaft von Messungen, die einerseits durch die Genauigkeit des
Messgerätes, durch Unteignung des Messgerätes und auch des Messverfahrens
einfach entsteht. Man kann nicht unendlich genau messen. Und die Unsicherheit
beschreibt eben, wie genau ich messen kann.

I: Gut, das war jetzt der allgemeinere Teil. Dann wieder zurück zu dem etwas
525 unterrichtsnäheren. Beschreib doch mal kurz, wie du Messunsicherheiten im
Physikunterricht thematisierst. Du hast es ja schon so ein bisschen angeschnitten
vorhin, aber vielleicht kannst du es ja nochmal beschreiben.

LPE: Genau, also ich starte damit, dass ich die Schüler die Länge einer Banane messt
530 lasse. Und ich definiere das nicht genau. Ich sage, es ist die Länge der Banane. Ich
habe verschiedene Messgeräte, also flexible und Bänder und starre Lineale mit
verschiedenen Einteilungen. Und dann, wenn die Banane dann einmal rum ist, die
machen währenddessen noch was anderes, habe ich dann sehr viele verschiedene
Messwerte, weil einige messen von Ende zu Ende, einige rundherum. Also die
535 Außenkrümmung, die Innenkrümmung mit Stiel, ohne Stiel. Ich mache immer X-
Reine, wo auch oben noch so am Stiel so was Abgerissenes dran ist. Also die
Messgröße ist nicht definiert und sie machen lauter unterschiedliche Sachen und
sie haben natürlich teilweise Probleme, wenn sie versuchen, die Krümmung mit
einem Lineal zu messen. Da gibt es auch verschiedene Vorgehensweisen, auf
540 welche Ideen sie dann kommen. Das ist sehr lustig teilweise. Und dann sage ich

dann, ja, wie lang ist denn jetzt die Banane? Und dann kommen wir halt darauf, dass wir erstens die Messgröße definieren müssen. Und selbst wenn wir die definiert haben und dann alle auf die gleiche Weise mit dem gleichen Gerät, die gleich definierte Länge messen, kommen trotzdem unterschiedliche Werte raus.

545 Und dann kommen wir darauf, ich kann nicht sagen, die Banane ist 12,8 Zentimeter lang von Ende zu Ende, sondern ich kann nur sagen, sie ist 12,8 Zentimeter lang plus minus, was weiß ich, 0,5 Zentimeter oder so was. Das heißt, ich muss die Messgröße definieren, ich muss die Ungenauigkeit mit angeben, weil erst dann habe ich überhaupt eine Aussage, mit der ich was anfangen kann. Und spätestens

550 wenn es darum geht, Messwerte zu vergleichen, brauche ich die Unsicherheit. Das ist einfach so. Das erklärt auch gleich die Nötigkeit, Mehrfachmessungen durchzuführen, damit ich eine Streuung sehen kann. Das erklärt auch, dass ich auf dem Messprotokoll eine Skizze einfüge, wo ich einzeichne, was ich gemessen habe, zum Beispiel bei Längen, und dass ich mein Messverfahren beschreibe, weil

555 daran sieht man ja dann auch, wenn ich da irgendwie mit einem kurzen Messgerät eine lange Messung mache und mehrfach anlege, dass ich dann sehe, ach ja, stimmt, da kommt ja auch noch mehr Unsicherheit mit rein, durch die ich muss mehrfach anlegen und so weiter und so fort. Also das ist die Grundlage. Und dabei kommt dann am Ende raus, dass wir den Messwert immer mit Unsicherheit angeben, dass Unsicherheit und Messwert in der gleichen Einheit angegeben werden, also in dieser Plus-Minus-Schreibweise gleiche Einheit und gleiche Anzahl Nachkommastellen. Ich gehe auf ein Skalenteil kein halbes, damit ich diese Nachkommastellen-Geschichte einfach habe. Und ich sage den Schülern auch, es ist eine Abschätzung, also der Messung nur Neuigkeit. Die man vor der allerersten

560 Messung schon treffen kann, aber die man auch an der Streuung der Messwerte sieht. Und ich betrachte nur die größte Abweichung vom Mittelwert, keine Standardabweichung oder sowas. Das wäre für meine spezielle Schülerschaft etwas zu hoch gegriffen, sage ich mal. Genau, und dann geht das halt so weiter. Das hat schon gereicht, wirklich mal.

565

570 I: Alles gut. Weil du es gerade schon angesprochen hast, hast du irgendwelche speziellen Verfahren oder allgemeine Regeln, die zu dieser Bestimmung der Messunsicherheit herangezogen werden im Unterricht?

LPE: Also es gibt erstmal die drei Bestandteile der Messunsicherheit, die man sich vorher überlegen kann. Also erstens, Genauigkeit des Messgerätes. Also mindeste

575 Messungenauigkeit ist ein Skalenteil, das kleinste Skalenteil. Dann das zweite ist die Definition der Messgröße. Wie gut ist die? Also wenn ich da so eine abgeflutzte Banane habe, ist die nicht so besonders gut und bringt auch ein paar Unsicherheiten rein. Wenn ich einen Metallblock mit scharfen Kanten habe, wo ich die Länge messe, muss man da nicht noch einen extra Millimeter reintun oder so.

580 Und das dritte ist das Messverfahren. Also wenn ich versuche, mit einem geraden Ding irgendwie eine Krümmung zu messen oder mehrfach anlege zum Beispiel, dann kommt da auch nochmal Unsicherheit. Oder ich das Ende einer Länge irgendwie anpeilen muss, weil das irgendwie, wenn ich die Körpergröße zum Beispiel messe, lege ich meistens ein Buch drauf und mache einen Strich an. Da

585 kommt dann, würde ich auch noch eine abgeschätzt Unsicherheit dazu tun. Also das sind die drei Bestandteile, die ich immer sage. Genauigkeit des Messgerätes,

- Definition der Messgröße, Messverfahren, die was reinbringen können. Und was ich aber auch immer mit betrachte, ist die Streuung im Sinne der kurzen Abweichung vom Mittelwert. Wenn das nicht zusammenpasst, wenn ich sage, ach, ich kann bestimmt auf drei Millimeter genau messen und dann habe ich eine Abweichung von drei Zentimetern in meinen Messwerten drin, dann muss ich nochmal gucken, was da los ist. Sag ich den Schülern immer.
- 590
- I: Gut, das war ja sehr ausführlich, danke dafür. Wie nutzt du denn das Ergebnis der Messunsicherheit dann im weiteren Unterrichtsverlauf?
- 595 LPE: Also es wird mit aufgeschrieben und insbesondere auch betrachtet, wenn ich zum Beispiel das mit der Fallbeschleunigung, ist immer ein ganz gutes Beispiel, weil da haut echt die Unsicherheit sehr rein, sag ich mal so, ins Endergebnis. Und deswegen nutze ich das als Diskussion, aber teilweise auch, um die Unsicherheit von den Ergebnissen zu bestimmen. Da bin ich jetzt gerade so ein bisschen am Hadern, weil ich normalerweise immer gemacht habe, wenn in der Formel plus minus gerechnet wird, addiert man die absoluten Messunsicherheiten. Das ist ja noch einsehbar, das mache ich immer mit so einem Umfang von irgendeinem Quader, der obere Umfang von einem Quader. Und wenn du das Volumen bestimmst, müsstest du ja die relativen Messunsicherheiten addieren. Und da hatte ich, ich habe jetzt gerade Klassen gehabt, also das habe ich immer gemacht, aber die sind echt, diese Fachoberschulklassen, die kommen teilweise mit sehr unterschiedlichen oder sehr geringen physikalischen Voraussetzungen, sag ich mal. Und da habe ich jetzt gerade das Gefühl gehabt, ich habe die überfordert, überfordert, aber normalerweise haben wir so eine, das ist ja eine sehr einfache Näherung eigentlich, haben wir so eine Art Mini-Fehlerrechnung gemacht, um wirklich die Unsicherheit des Ergebnisses zu bestimmen. Aber ich muss da nochmal in mich gehen, ob ich das noch weiter vereinfachen kann oder wie ich damit umgehe. Das heißt, das ist dann einfach Teil des Endergebnisses, die Messungssicherheit, die du dann mit dem... Genau, die Messungssicherheit der einzelnen Messwerte werden betrachtet, wenn ich einen Vergleichswert mit meinem Ergebnis vergleichen möchte, damit ich weiß, in was für einem Intervall ich da noch eine Passung habe oder nicht. Aber dafür brauche ich ja, wenn ich ein Ergebnis ausgerechnet habe aus einzelnen Messwerten, muss ich ja Fehlerfortpflanzungen machen. Heißt das, wie nennt ihr das eigentlich? Also das heißt ja fruchtbare Fehler bei Burkhard im Buch. Und Fehlerfortpflanzung ist ja ein nettes Wort, aber eigentlich versuchen wir ja Fehler zu vermeiden. Wie habt ihr das gelöst?
- 600
- 605
- 610
- 615
- 620
- I: Unsicherheit fortpflanzen, das ist schon okay auf jeden Fall. Also man kann einfach den terminologischen Begriff Fehler dann rausnehmen und dann passt das schon.
- LPE: Messunsicherheit in Fortpflanzung? Das ist ein sperrisches Wort auf jeden Fall.
- 625 I: Deswegen hat Burkhard da eine schöne sprachliche Brücke geschrieben.
- LPE: Ja, also da, genau, gleich kann man da noch was Besseres finden.
- I: Gut, das war schon Block 2.

Interview 6 Lehrperson F

- 630 I: Okay, das war schon die Erwartungen und Ziele für die Fortbildung. Die zweite allgemeine Sache ist, wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule? Und an welcher Schulform unterrichten Sie momentan Physik?
- LPF: Seit 2020. Am Gymnasium.
- 635 I: Okay, gut. Das war schon der erste Block. Der geht immer sehr schnell. Dann zum Zweiten. Da soll es jetzt um unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten gehen. Und die erste Frage lautet, für wie wichtig achten Sie das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- LPF: Auf einer Skala oder einfach so?
- I: Beides gern.
- 640 LPF: Bis wohin geht die Skala? Also ich finde, es ist auf jeden Fall sehr relevant, dass die SchülerInnen verstehen, dass Gesetzmäßigkeiten gelten, auch wenn ihre Werte teilweise davon abweichen und dass sie auch nachvollziehen können, wie es sein kann, dass elf Gruppen das gleiche Experiment durchführen, andere Messwerte haben und trotzdem zum gleichen physikalischen Ergebnis kommen. Das habe ich tatsächlich ganz oft im Alltag. Der andere hat jetzt aber 4,3 gemessen und wir haben 12,7 gemessen. Wie passt denn das jetzt irgendwie zusammen?
- 645 I: Warum sind jetzt Messunsicherheiten dann so relevant aus Ihrer Perspektive?
- LPF: Aus meiner Perspektive jetzt für die SchülerInnen oder für mich?
- I: Für die SchülerInnen.
- 650 LPF: Ja, also, dass sie den Hintergrund verstehen, also, dass sie verstehen, warum es sein kann, dass die Messwerte von anderen Gruppen unterschiedlich sind und warum sie verstehen, dass es nicht einen Wert gibt, sondern ein Delta von möglichen Ergebnissen.
- I: Okay, wie häufig thematisieren Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht?
- 655 LPF: Wenn ich experimentiere, einmal, also in der Stunde auf jeden Fall. Leider nur sehr oberflächlich.
- I: Okay, dann etwas allgemeiner eine Frage. Wie definieren Sie denn den Begriff Messunsicherheit?
- LPF: Oh, das ist jetzt schwierig. Als Physikerin muss man jetzt ja eigentlich eine fundierte Definition haben. Die habe ich jetzt, also Messunsicherheiten, Oh, das ist schwer. Wie lange habe ich Zeit? Okay, also, ich habe jetzt keine ausgeklügelte Definition, aber Abweichung der Messgröße in einem bestimmten Messbereich aufgrund von der Nutzung verschiedener Messgeräte und ja, deren Skalen oder Größeneinheiten.
- 660 I: Okay. Dann etwas zu den Handlungsrouniten im schulischen Alltag. Können Sie mal kurz beschreiben, wie Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht thematisieren? Jetzt vielleicht am Hand eines Beispiels. Sie hatten ja schon Experimente erwähnt. Können wir ja bei dem Beispiel bleiben?
- LPF: Genau. Also, Schülerexperiment zum Beispiel zur Spannungs- oder Stromstärkemessung einfach in Reihen- und Parallelschaltung. Am Ende der Stunde präsentieren die SchülerInnen dann ihre Ergebnisse digital oder ja, eigentlich immer digital. Digital. Und dann vergleichen wir das, was rauskommen soll und wollen dann aus den Ergebnissen, sage ich mal, eine Gesetzmäßigkeit darstellen und dann gibt es mehrere Gruppen, die das vorstellen und dann stellt man schon fest, okay, die einen haben jetzt eben zum Beispiel 4,3 Volt gemessen,
- 670

675 die nächste Gruppe hat 12,7 Volt gemessen und die nächste hat, weiß ich was, 2,1 Volt gemessen und dann sprechen wir darüber, wie das sein kann und von welchen Parametern das alles abhängt. Aber tatsächlich tiefer steigen wir dann bisher noch nicht ein. Also in der Mittelstufe jetzt, so 7 bis 10.

I: Gibt es denn klassische Verfahren und Regeln zur Bestimmung von Messunsicherheiten? Also vor allem im Hinblick auf Quantifizierung?

680 LPF: Bisher gar nicht. Tatsächlich, weil das nicht offiziell im Lehrplan steht, ist das bei uns bisher so ein bisschen unten durchgefallen, sage ich mal. Dass man das nur so ganz grob, sage ich mal, angegeben hat, ja, wenn wir jetzt mit dem und dem Messgerät messen, müssen wir berücksichtigen, dass es die und die Genauigkeit angibt, aber das nur genannt und nicht irgendwie angegeben rechnerisch.

685 I: Okay, dann hat sich auch die letzte Frage aus dem Blog erübrigt. Wenn es keine quantifizierte Messunsicherheit gibt, dann wird die natürlich auch nicht weiter im Unterrichtsverlauf genutzt. Das wäre dann die letzte Frage gegen den Blog gewesen. Vielen Dank.

690 **Interview 7 Lehrperson G**

I: Wie viele Jahre unterrichtest du bereits Physik an der Schule?

LPG: Fünf.

I: Und an welcher Schulform unterrichtest du momentan?

LPG: Gymnasium.

695 I: Okay, das war schon der erste allgemeine Block. Dann lass uns inhaltlich starten. Und da geht es jetzt um die unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten. Die erste Frage, die ich dazu habe, ist, für wie wichtig erachtest du das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht? Inhaltlich wichtig.

700 LPG: Ich merke, dass ich es noch schwierig finde, dem angemessenen Zeit einzuräumen, weil es ja eben erst kommt, so Rahmenlehrplan, so habt ihr auch erwähnt. Aber nach dem Experimentieren in so Sicherungsphasen und auch überhaupt, was mir dann zu Fragen begegnen, beim Ergebnisse festhalten, merke ich schon, dass es echt sinnvoll ist und sehr wichtig, dass die SchülerInnen da so eine Kompetenz entwickeln, das eigenständig einschätzen zu können. Und im Großen, mir gefällt auch dieser Ansatz, dass man es nicht nur auf so ein mathematisches Rezept runterbricht, sondern auch wirklich allumfassend reflektiert. Weil das sind auch die Dinge, die im Unterricht dann gut funktionieren und auch alle mitholen, wo man dann wirklich konkret, logisch begründen kann. Und deswegen glauben wir, das Ergebnis ist jetzt ein gutes Ergebnis. Oder eben, naja, da kommt jetzt was raus, was sie nicht erwartet haben. Aber da waren das und das. Also solche Dinge. Das hat so Diskussionspotenzial anhand dieser Ungereimtheiten. Man glaubt, viele auch lernen kann durch das Kommunizieren und am Stoff diskutieren. Also ja, wichtig.

710 I: Du hast es schon angeschnitten. Kannst du nochmal herausstreichen, warum Messunsicherheiten jetzt explizit wichtig sind?

715 LPG: Für den Unterricht oder allgemein?

I: Für den Unterricht, ja.

720 LPG: Also erstmal, klappt vieles im Physikunterricht auch nicht, wenn man jetzt so das betrachtet, dass man irgendwo einen Erwartungswert hat und auch wirklich mit schulischen Bedingungen. Allein schon ist es immer sehr oft von vornherein mit großer Unsicherheit behaftet. Und dann kommt noch das Experimentieren dazu von jemandem, der das zum ersten Mal macht. Und das muss man ja auffangen. Sonst gibt es auch wirklich so einen Demotivationsschub mit es klappt ja alles irgendwie nicht und wir liegen ja daneben. Und irgendwie alles doch, ja, das ist, glaube ich, auch wirklich für den Lernprozess, ist in sich inhaltlich auch wichtig, dass man dann das annehmen kann, dass es schon trotzdem Sinn ergibt, was wir lernen, auch wenn jetzt nicht perfekt das Ergebnis reproduzieren können. Ja, und da wir wirklich im Physikunterricht, das oberste Kredo gilt ja immer, so viel experimentieren wie möglich, so viele SchülerInnen das machen lassen. Ja, also das ist, glaube ich, der Grund. Und letztlich auch, wenn es in die wissenschaftliche Richtung geht, so ein propädeutisches Konzept da zu haben, ist ja total sinnvoll, weil das ja auch wirklich, geht ja nicht ohne. Ja, ja.

730 I: Dann, daran anschließend, wie häufig thematisierst du Messunsicherheiten im Physikunterricht?

735 LPG: Ich würde sagen, regelmäßig, aber nicht allzu häufig. Ich versuche gerade, so passende Worte zu finden. und vor allem auch nicht so sehr in der Tiefe. Also ich merke, das ist zwar thematisiert, aber es wird, es kommt nicht viel dabei raus. Man bleibt auf so einer Ebene. Ich glaube, das liegt natürlich vor allem daran, dass ich noch nie ganz fundiert ein Konzept eingeführt habe. So, wir behauen das, ich habe das manchmal so an, immer mal, man führt es an der Oberstufe, habe ich es jetzt eher mal systematisch eingeführt. Aber ich merke, dass es schon in Physik das ist, dass man dann immer wieder bei der gleichen Ebene ist. Das halt erst mal genannt wird, ja, wir konnten nicht genau den Abstand messen, wir konnten die Zeit nicht genau stoppen und man eigentlich nicht tief einsteigt. Also thematisieren schon, aber nicht in der Tiefe, in der Tiefe nicht oft. Wenn überhaupt. Also gibt es auch Jahrgänge, wo es dann, also ich glaube, achte Klasse, da ist E-Lehre bei uns ganz vielen. Ich glaube, da kann auch wirklich sein, dass überhaupt nicht wirklich angesprochen wird.

740 I: Okay. Daran anknüpfend vielleicht gleich als Anschlussfrage oder Aufgabe, kannst du mal ganz kurz beschreiben, wenn dann thematisiert wird, also das Messunsicherheit thematisiert werden, wie du da vorgehen würdest oder wie du vorgehst im Unterricht?

745 LPG: Das Häufigste, was ich mache, ist natürlich dann beim Protokollieren, wenn die Schüler in ihre Ergebnisse wirklich aktiv, schriftlich festhalten sollen, dann ist das ja erst mal so ein ganzes Protokoll zeitlich nicht so richtig machbar meistens und dann nimmt man nur einen Teil vom Protokoll und da lege ich auch immer am meisten Wert auf die Auswertung und innerhalb der Auswertung ist ein ganz großer Block die Reflexion, die Ergebnisse, die Einschätzung, die Beurteilung und da kommen dann nämlich Messunsicherheiten ins Spiel und das ist natürlich sehr individuell dann, da gebe ich vorher schon ganz klar die Ansage, dass man sich da, da kommt halt diese Dokumentation während des Versuchs durchführens ins Spiel, dass man da schon Ungereimtheiten, Auffälligkeiten notiert, um dann im Nachhinein da eventuell auch Quellen zu finden für Unsicherheiten. Das war, glaube ich, so das

häufigste, wie ich es gemacht habe, also parallel zu dem normalen Stoff und das
dann natürlich auch stark thematisieren. Ja, das war so, glaube ich.

I: Hast du spezielle Verfahren oder Regeln, wie du explizit die Messunsicherheiten bestimmst im Unterricht?

LPG: Nee, in der SEC 1 noch nicht, habe ich nicht wirklich gemacht, außer, dass wir, nee, also nicht, nein, in der Oberstufe habe ich mich an dem Gumm orientiert mit zum Beispiel dann die größte Abweichung vom Mittelwert, soll mein Standardabweichung sein und sowas habe ich da eingeführt am Anfang, muss aber zugeben, dass wir da auch, ich habe es nicht durchgezogen jetzt auch, sondern manche geben es mir an dann, die das so aufgenommen haben, manche nicht, ich fordere es zurzeit nicht ein, so, da könnte man auf jeden Fall auch, gerade in der Oberstufe sicher mehr verlangen, aber muss ich zugeben, da bin ich einfach jetzt gerade noch nicht da gewesen, weil einfach alles andere dann die Zeit eingenommen hat, das ist sowieso schon der Stoff. In der SEC habe ich es glaube mal in der 9. hatten wir mal das auch eingeführt, genau, da ging es ganz gut beim Thema Kinematik und ja, da hat man dann, wenn, dann habe ich das als erstes mit, also systematisch von Abweichung und Unsicherheit gesprochen, das waren glaube ich sogar dann Materialien von damals aus der Fortbildung so, was kann man da eigentlich unterscheiden und auch solche Dinge vermeidet es von Fehlern zu sprechen und jeder Messwert ist ein Messwert erstmal und genau, aber dann tiefer gehend war es jetzt nicht, ja, da haben wir so Teile davon genommen, aber jetzt nicht so ein richtig ganzes Konzept war es jetzt nicht, wo man sagen könnte, das hat jetzt in sich so deckt fast alles ab, Okay, wenn wir jetzt nochmal auf so Ergebnisse mit Messunsicherheiten vor allem auf Protokollebene vielleicht schauen, wie wird denn das Ergebnis davon im weiteren Unterrichtsverlauf noch verwendet? Naja, also du hast meistens Ergebnisse, die dann verglichen werden mit der Theorie, jetzt das lang, längerfristig dann benutzt wird, das ist eher unüblich, weil die Themen schon so blockweise, im Idealfall man hat zwar das Oberthema, aber es geht so, geht jetzt weiter, nächsten Block mit was Neuem, so ähnlich geschlossenem, dass es dann wirklich so durchgehend über mehrere Wochen ein Ergebnis und das suchst du, das so projektmäßig, ist jetzt bei mir im Unterricht weniger, das wäre eher, denke ich, bei so Kursen wie Wahlpflichtunterricht, Physik der Fall, gerade bei uns, natürlich bei den Experimentierkursen, die mache ich gerade nicht, also beim klassischen Unterricht, würde ich jetzt sagen, dass das nicht so häufig der Fall ist, dass man das dann, also mal über zwei Blöcke hinweg oder drei wenn man an dem Versuch, jetzt ein größeres Experiment ist, ja, aber so weiterführend eher wenig.

I: Okay, als abschließende Frage zu dem zweiten Block, wie definierst du dann den Begriff Messunsicherheit?

LPG: Ist für mich quasi der Bereich, in dem, also wenn ich es jetzt Schülern erkläre, ich habe ein Ergebnis und Messunsicherheit ist der Bereich, in dem ich sagen kann, da bin ich mit einer gewissen prozeduralen Wahrscheinlichkeit auf dem Wert, den ich wirklich angehe. Das war jetzt relativ kompliziert.

I: Alles gut. Das war auch schon. Block zwei.

LPG: Okay.

Interview 8 Lehrperson H

- 810 I: Mit welchem persönlichen Ziel haben Sie sich dann für diese Fortbildung angemeldet?
- LPH: Persönliches Ziel. Ich bin jetzt Fachbereichsleiter geworden in der Schule und möchte einfach meine Kollegen, sensibilisieren darauf, mit den Schülern über Messunsicherheiten zu sprechen. Das wird bis jetzt bestimmt in vielen Punkten
815 einfach vernachlässigt. Und ich wollte einfach so eine Stunde daraus erzeugen, die die Kollegen dann nutzen können, um mal mit den Schülern über Messunsicherheiten zu reden. Weil man geht mal auf die Waage, dann hat man 85 Kilo und dann zehn Sekunden später hat man 85,5. Und dann ist die Frage, warum ist das? Und die Kinder glauben ja immer genau das, was da steht. Also diese
820 Unsicherheit, dass die Schüler so ein bisschen das Gefühl kriegen, welche Genauigkeit kann ich eigentlich von verschiedenen Geräten erwarten? Also im Alltag. Wir machen ganz viel Alltagsphysik, weil wir sind eine ISS, ich bin nicht auf einem Gymnasium und bei uns geht es eher darum, den Schülern wirklich im Alltag weiterzuhelfen, zu zeigen. Genau.
- 825 I: Eine zweite Anschlussfrage, was Sie jetzt ISS schon gesagt hatten. Wie viele Jahre sind Sie dann bereits schon Physik an der Schule?
- LPH: An der bin ich jetzt erst das zweite Jahr. Aber ich habe sozusagen in der gleichen Schulform, gleiche Schülerform, bin ich jetzt das fünfte Jahr dabei. Nein, sechs Jahre. Sechstes Jahr ist jetzt sechs Jahre. Mein sechstes Jahr.
- 830 I: Okay, dann zurück zu den persönlichen Zielen und Erwartungen. Welche Erwartungen stellen Sie denn an diese Fortbildung?
- LPH: Erwartung? Dass ich mich mit den anderen Kollegen auch ein bisschen austausche, ob sie oder wie sie denn vielleicht auch mit Messunsicherheiten umgehen. Was sie für Erfahrungen haben, wie man an Schülern am besten
835 beibringen kann, was Messunsicherheiten so sind. Zum Beispiel. Also es wäre ein Ziel, mich intensiver mit diesem Thema zu beschäftigen. Also ich zwingen mich jetzt sozusagen mit Ihnen dadurch und hoffe natürlich in dem Austausch einfach, ja, mich zu strukturieren, nenne ich es mal. Genau.
- I: Okay, das war schon der erste allgemeine Block. Sind wir zu schnell? Nein, gar kein
840 Problem. Sehr gut. Das waren auch die einfacheren Fragen. Wir kommen jetzt zu den inhaltlichen Fragen. Und zwar, für wie wichtig achten Sie dann das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- LPH: Na, ja, das ist eine gute Frage. Man müsste es jetzt in Verhältnis setzen zu anderen Dingen. irgendwie, aber ich finde es schon ziemlich wichtig, weil ich der Meinung
845 bin, dass eben dieses, was ich vorhin schon sagte, dass die Kinder das Gefühl bekommen, welche Genauigkeiten kann ich für welche Apparaturen, Messinstrumente eigentlich erwarten? Oder Wiederholgenauigkeiten, was auch immer. Was kann ich eigentlich erwarten? Oder was kann ich als Schüler selber vielleicht dafür tun, dass es immer wieder genau ist? Also worauf muss man
850 achten? Ja.
- I: Das heißt, die Relevanz von Messunsicherheiten drücken sich vor allem dann in dem Alltagsempfinden?

- 855 LPH: Also genau. Also wenn wir mal Versuche machen, dann ist es ganz oft so, dass die Schüler dann immer wieder nachfragen, ja, Herr [REDACTED], bei den anderen kommt 80 raus, bei mir kommt 81 raus, ist ja nicht das gleiche Ergebnis. Aber eigentlich ist es ja das gleiche Ergebnis. Und dass man sie daher da immer wieder sozusagen mit so einem Konzept darauf trimmt, dass es doch das Gleiche ist, dass sie verstehen, dass es das Gleiche ist. Und auch, dass es eben nicht nur im Physikraum so ist, sondern eben auch außerhalb, in ihrer normalen Lebenswelt.
- 860 Also ich finde das gar nicht so, ich finde das wirklich ziemlich wichtig. Deswegen habe ich mich auch angemeldet. Ja.
- I: Wie häufig demonstrieren Sie denn Messunsicherheiten im Physikunterricht?
- 865 LPH: Eigentlich versuche ich es bei jedem Versuch, den ich mache, wo ein Messergebnis rauskommt. Also ich habe ja auch Physik studiert auf Diplom und bin dann im Quereinstieg Lehrer geworden und habe mich jetzt 25 Jahre in der Industrie eben genau mit allen möglichen Messinstrumenten entsprechend damit beschäftigt und habe immer wieder festgestellt, dass es wichtig ist, darüber nachzudenken vorher, welche Genauigkeit kann ich eigentlich erwarten. Ja. Ich kenne auch viele
- 870 Handwerker, bei denen geht es auch immer darum, wenn jemand ein Häuschen baut, welche Messunsicherheit oder welche Genauigkeit muss ich eigentlich an den Tag legen, wenn ich so Steine lege, nach und nach als Maurer, muss es auf einen Millimeter genau sein oder reicht ein Drei Millimeter oder reicht auch ein Zentimeter. Ich glaube, das ist schon wichtig, wenn man bei der Arbeit darüber nachdenkt. Weil sonst muss man hinterher nachbessern und das kostet immer mehr Geld, als man,
- 875 ja.
- I: Der nächste Punkt ein bisschen allgemeiner jetzt vielleicht mal. Wie definieren Sie denn den Begriff Messunsicherheiten?
- 880 LPH: Oh weia, Definition Messunsicherheit. Das ist immer eine gute Frage. Was ist eine Messunsicherheit? Es ist für mich eine Kombination aus, welche Voraussetzungen schaffe ich, um mein Ergebnis zu messen? Wie denke ich vorher darüber nach und dann hinterher, was hat denn die Apparatur, mit der ich das benutze eigentlich für eine Möglichkeit, genau das Ergebnis herauszubringen? Genau. Also das ist für mich so ein Messunsicherheit. Also eigentlich ist es vorher darüber nachdenken für mich, was ich erwarte. Das ist eine Messunsicherheit. So ein Bauchgefühl dafür zu bekommen sozusagen. Ja. Also zum Beispiel, wenn Sie eine Körperwaage nehmen wollen und Sie wollen aber eigentlich backen, dann können Sie keine 200 Gramm damit abwiegen. Und sowas ist, dann ist die Messunsicherheit, es ist ganz klar. Also so ein Bauchgefühl, das ist für mich, ich möchte gerne, dass die Schüler vorher darüber nachdenken. Ja. Wie man an die Sache rangeht.
- 885
- 890 I: Daran anknüpfend eigentlich, können Sie mal ganz kurz beschreiben, wie Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht thematisieren? Sie hatten das Beispiel von der Waage als ein Beispiel mal genannt.
- LPH: Ja.
- 895 I: Konkretere Vorstellungen oder Beschreibungen, wie Sie da vorgehen?
- LPH: Ja, wir haben, wir führen ja den Kraftmesser ein als erstes Messinstrument, womit man sozusagen überhaupt Kräfte misst. Und dann, wenn man dann, wenn man dann, ich kriege gerade mal einen Ruf rein, wenn man dann feststellt, dass der

quasi so ein ganz leichtes Gewicht auch nicht aus, da gibt es ja auch verschiedene.
900 Und manche können einfach, da kann man einfach nicht genau ablesen, genau, wie
viel Gewicht hängt jetzt dran. Und der eine guckt ein bisschen schief, der andere
guckt von oben nach, guckt von unten. Weil ich erzeuge natürlich dadurch
absichtlich schon falsche Ergebnisse, also unterschiedliche. Und dadurch, manche
905 gucken auch nur so ungefähr drauf, von weiter weg. So, das wäre das eine. Was
mache ich noch? Das sind ja jetzt ganz schön spezielle Fragen. Die großen Ferien
waren gerade erst, da muss ich mir wieder überlegen, was ich sonst noch gemacht
habe. Temperaturmessungen zum Beispiel, da ist es ja genauso, mit so einer Skala
am Ablesen. Die Waage habe ich jetzt noch gar nicht eingeführt, das ist eine gute
Frage. Also hauptsächlich probiere ich den Schülern, mit den Schülern zu gucken,
910 dass sie immer wieder auf die gleiche Art und Weise anders messen und mit
herangehen. Also, wenn man so einen Eichstrich hat, dass man eben wirklich auch
von vorne guckt und den quasi durchs Glas hindurch sieht. Und dass man eben
nicht von oben und unten gucken muss. Dass man einfach immer die gleichen
Voraussetzungen schafft. Für sich selbst. Weil man auch ungefähr weiß, was
915 herauskommen muss. Genau.

I: Genau. Ich glaube. Haben Sie bestimmte Verfahren oder Regeln zur Bestimmung
der Messunsicherheiten im Unterricht?

LPH: Also jetzt wirklich quantifizierungstechnisch, jetzt haben wir schon über die Strichen
geredet, deswegen. Ich zeige dann quasi, wir haben überall so eine digitale Kamera
920 und ich zeige dir dann eigentlich, dass eben genau dieser Eichstrich quasi auch
durchs Glas durchgeht, dass man das also quasi schön gerade machen kann und
das dann sinnvoll ist und dann einfach auch eine Wiederholgenauigkeit da ist,
zumindestens für diese kleinen Dinge, die ich dann da mache. Aber eigentlich mehr
mache ich eigentlich momentan noch gar nicht. Ich habe da erste oder siebte
925 Klasse bis jetzt dreimal in Physik. Nee. Können Sie die Frage nochmal
wiederholen?

I: Welche Verfahren und Regeln zur Bestimmung müssen Sie sich einstellen?

LPH: Ach so, genau, Regeln, genau. Nee, ich habe, genau, weil wir eben nur Schüler
haben, ISS. Ich kann halt wirklich, ich kann zwar eine Formel an die Tafel stellen,
930 aber das war es dann. Ich brauche damit gar nicht erst rumrechnen. Die haben mit
Mathematik schon so viele Schwierigkeiten, dass ich gerade an der Stelle gar nicht
wirklich den Schülern, ich kann nur so ein Bauchgefühl weitergeben, dass die
Schüler wissen, okay, das ist ungefähr das und das wird auch immer, wenn immer
wieder das Gleiche rauskommt, dann wird das Ergebnis auch einigermaßen
935 stimmen. Ansonsten habe ich, also ich brauche gar nicht also irgendwelche
Formeln umstellen oder irgendwelche Dinge, das funktioniert nicht. Dazu sind die
zu, haben zu viele Lücken in Mathematik. Genau, also wenn ich Ihnen jetzt sage,
also mit Prozenten können Sie umgehen, doch mit Prozenten machen wir das
manchmal, doch stimmt, Prozente, dass wir sagen, okay, der eine hat jetzt einen
940 Fehler abgelesen von 10 Prozent und der andere von 50 Prozent. Damit können
Sie noch was anfangen, genau. Also, aber das war es schon.

I: Wie nutzen Sie denn das Ergebnis der Messunsicherheit dann im weiteren
Unterrichtsverlauf?

- 945 LPH: Ich benutze es, indem ich sozusagen bei den nächsten Mal Messungen immer nochmal drauf zurückgreife und dann stellt euch mal vor, wir speichern ja alles digital, denkt nochmal drüber nach, wie genau haben wir damals gemessen, dann wird das Bild nochmal an die Tafel gebracht und dann sehen Sie ein nach ja genau das, da muss man genau hingucken. Also, wir wiederholen es nochmal visuell und dann versuchen die Schüler das an der neuen Apparatur wieder besser zu machen.
- 950 Also, wir sensibilisieren sie vor dem neuen Unterricht, bevor sie es nochmal neu machen. Ob es was bringt, ist manchmal die Frage, aber wir probieren es sozusagen wieder aufzurufen.
- I: Und wenn Sie dann ein Ergebnis, also ein Messergebnis plus minus von mir aus auch prozentuale Unsicherheit am Ende bestimmt haben, wie gehen Sie damit um?
- 955 LPH: Eigentlich heißt es immer nur dann am Ende, dass es wichtig ist, dass man zuverlässig, also, dass die Messinstrumente können so genau sein und die Schüler sind einfach zu ungeduldig. Es geht im Endeffekt immer darum, dass man sich vorher Gedanken macht und sagt, okay, ich möchte jetzt was wissen und wie genau möchte ich eigentlich was wissen? Also, ist es jetzt wirklich wichtig für mich, dass
- 960 ich weiß, auf Gramm genau, wie viel ich wiege oder reicht es, wenn es auf 300 Gramm genau ist? Auf das geht es im Endeffekt. Wir benutzen ansonsten die Ergebnisse nicht weiter. Ja.
- I: Okay. Das war schon.
- 965 LPH: Wir haben keine Folgefehler oder irgendwelche Dinge, dass wir sowas nicht machen. Dafür ist sozusagen der Physikunterricht zu einfach. Okay. Okay. Wir haben eine Folge

Interview 9 Lehrperson I

- I: Dann, an welcher Schulreform unterrichten Sie momentan Physik?
- LPI: Im Gymnasium.
- 970 I: Und wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule? Also jetzt nicht der, sondern allgemein an einer Schule?
- LPI: Ja, 1,1,5 Jahre. Knapp über 1,5 Jahre.
- I: Okay, das war schon Block 1. Dann kommen wir schon zum Inhaltlicheren. Und zwar geht es jetzt im ersten Schritt um die unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten. Und da lautet die erste Frage, für wie wichtig erachten Sie das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- 975 LPI: Ja, ich erachte das Thema schon als sehr wichtig in der Physik. Schließlich gilt es nach jeder Messung, sich natürlich strukturiert Gedanken darüber machen zu müssen, ob da Messfehler in der Messung vorgekommen sind. Und da eine innere Struktur zu haben, also sich überhaupt auszukennen, was gibt es für Messfehler?
- 980 Ja, auch das ganze Material, mit dem man arbeitet, das eben dann durchleuchten zu können mit verschiedenen Kategorien. Kategorien, das ist natürlich sehr hilfreich.
- I: Warum sind Messunsicherheiten dann für Sie als Unterrichtsthema relevant?
- 985 LPI: Weil es den Schülerinnen und Schülern hilft, die Natur der Erkenntnisgewinnung besser zu verstehen und wissenschaftspropädeutisch eben auch ein größeres

Vertrauen aufbauen zu können gegenüber dem Prozess, der uns eben gesellschaftlich antreibt, auch der Wissenschaft.

990 I: Die nächste Frage ist, wie häufig thematisieren Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht?

LPI: Also ich habe bisher noch keine ganze Doppelstunde daraus gemacht. Aber innerhalb Stunden oder Reihen, wo ich einen Augenmerk und Fokus auf die Erkenntnisgewinnung setze, versuche ich es schon in Stunden, wo ich den ganzen Blockauswertungen behandle, mit einzubauen. Also bisher jetzt an dieser neuen Schule, wo ich bin am Gymnasium, bin ich noch nicht zu einer Auswertungsstunde gekommen. Da sind wir gerade erst, also wir haben eine Durchführung behandelt und das Experiment durchgeführt. Das würde jetzt erst demnächst kommen. Deswegen wird es auch jetzt tatsächlich gerade sehr gut passen, wenn ich mich da mal ein bisschen von dem Material von Ihnen auch inspirieren lasse. Deswegen habe ich mir jetzt auch so früh so einen Termin gebucht.

1000 I: Nächste Frage ist ein bisschen allgemeiner. Wie definieren Sie den Begriff Messunsicherheit?

LPI: Messunsicherheiten sind jegliche Faktoren, die ein Messergebnis verfälschen können beziehungsweise zu Abweichungen, zu Messabweichungen führen können. Also es gibt da zufällige Messfehler, aber auch Messfehler, die durch das Messgerät selber verursacht werden. Durch die Messmethodik können die auch verursacht werden. Ja, da gibt es diese verschiedenen Kategorien. Da ist es jetzt zu früh am Morgen für, um mich da kurz reinzufuchsen. Sorry.

1010 I: Der nächste Schritt geht eher darum, um die Thematisierung. Sie hatten schon gesagt, dass Sie jetzt erst noch nicht dazu gekommen sind, aber vielleicht hatten Sie ja in den vergangenen anderthalb Jahren die Chance dazu. Beschreiben Sie doch mal kurz, wie Sie Messunsicherheiten im Physikunterricht thematisiert haben bisher. Messunsicherheiten.

LPI: Also es ging dann eher darum, die SchülerInnen über das Material dazu anzuregen, über bestimmte Faktoren nachzudenken, die eben zu einem fälschlichen Ergebnis führen konnten. Das war materialgeleitet und wurde dann in der Sicherung ausgewertet. Aber genau, ich habe Messunsicherheiten noch nicht auf die Art und Weise thematisiert, dass ich so dieses theoretische Fundament dahinter mit den verschiedenen Fachbegriffen bezüglich des Themas thematisiert habe. Ja, aber das wäre in der Schule, wo ich zuvor war, hätte das auch den Rahmen gesprengt, eine ISS in [REDACTED]. Da ging es eher darum, die Versuche durchzuführen, auch ein bisschen Spaß dabei zu haben und da nicht zu sehr in die Tiefe zu gehen, was die Theorie dahinter angeht.

1025 I: Welche Verfahren und Regeln zur Bestimmung von Messunsicherheiten nutzen Sie oder haben Sie vor zu nutzen vielleicht in dem Fall jetzt eher? Es klang jetzt eben so nach, ah ja, okay, ich habe ein Messgerät und das hat anscheinend diese Möglichkeiten der Genauigkeit oder der Ablesegenauigkeit in der Richtung meint die Frage das.

LPI: Welche Verfahren und Regeln? Können Sie das nochmal paraphrasieren?

1030 I: Genau, also wenn Sie jetzt Messunsicherheiten quantifizieren wollen würden, wie würden Sie da vorgehen?

- 1035 LPI: Gut, ich würde wahrscheinlich den SchülerInnen erstmal bewusst machen, was es alles so für Messunsicherheiten geben kann. Diese verschiedenen Kategorien aufmachen und sie dann anzuregen in Bezug zu dem Experiment, was Sie da gerade durchführen, eben diese verschiedenen Kategorien, also die verschiedenen Messfehler zu finden, die dort möglich sind in dem jeweiligen Versuch. Ja, und dann vielleicht auch so deren Größe, deren Einfluss abzuschätzen, bevor man dann versucht, das Ganze vielleicht noch genauer zu quantifizieren.
- 1040 I: Die letzte Frage zu dem Themenblock lautet, wie nutzen Sie das Ergebnis der Messunsicherheit im weiteren Unterrichtsverlauf?
- 1045 LPI: Ja, gut, da gibt es ja sehr vielfältige Möglichkeiten, also ich denke in der Reihe sollte das Thema schon auch über ein paar Blöcke behandelt werden, damit das Wissen sich festigt bei den Schülern, das sollte man nicht einfach nur einmalig thematisieren. Also ja, vielleicht lohnt es sich von einem Ergebnis, wo man Messunsicherheiten festgestellt hat, im Anschluss nochmal eben tiefer in diese Materie einzutauchen, durch bestimmte Unterrichtsszenarien, über die ich mir jetzt noch keine Gedanken gemacht habe.
- I: Okay, gut, das war Block 2.

Interview 10 Lehrperson J

- 1050 I: Dann Lehrerfahrung und Schulform. An welcher Schulform unterrichtest du gerade Physik?
- LPJ: Gymnasium.
- I: Und wie viele Jahre unterrichtest du bereits Musik an der Schule?
- LPJ: Zehn Jahre.
- 1055 I: Okay, gut. Das war schon der erste Block. Geht also fix der erste Teil. Zum zweiten Block. Unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten. Für wie wichtig erachtest du denn das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht?
- LPJ: Sehr wichtig und rahmplanrelevant.
- 1060 I: Okay, warum sind dann Messunsicherheiten für dich relevant für den Unterricht? Also außer die zwei? Jetzt habe ich abgebissen, das war blöd.
- LPJ: Weil es einfach für mich, also die Messung ist das, was den Physikunterricht spezifisch vom anderen Unterricht unterscheidet. So, das machen in der Form, also das experimentelle Arbeiten, das machen vielleicht noch andere in irgendeiner Form. Aber diesen Schwerpunkt auch wirklich auf sowohl qualitative und quantitative Datenerhebung und die Methodik, das ist schon relativ speziell. Das haben die anderen Fächer in diesem Maße nicht. Und das geht zusammen auch mit dem Rahmenplanbezug, Erkenntnisgewinnungskompetenz. Das ist für mich einfach, ja, sonst nicht vollständig, wenn man nicht irgendwie ein Konzept darüber hat, wie genau meine Messung ist und was ich damit aussagen kann. Die Aussagekraft, ja, auch die Verallgemeinerung von Aussagen und so. Also selbst wenn ich bestätige nur von irgendwelchen, also Hypothesen überprüfend arbeite sowohl, aber auch Hypothesen generierend experimentiere, dann brauche ich darüber danach irgendwie eine Erkenntnis darüber, was ich damit jetzt anfangen kann und wie sicher ich mit dessen bin. Ja, insofern ist es eigentlich schon eher aus erkenntnistheoretischer Sicht für mich relevant und wichtig, ja.
- 1075

- I: Wie häufig Thema... Achso, sorry. Entschuldigung.
- 1080 LPJ: Es ist, und es ist der einzige Punkt eigentlich, wo die Schülerinnen und Schüler dann mal auch dazu kommen, dass vielleicht diese Aussagen, also auch die, die sie lernen im Unterricht, halt eben keine Wahrheiten in dem Sinne sind, ja. Sondern, dass wir da eben eigentlich nur auf unserer empirischen Basis arbeiten. Das in jedem Fach, aber wir haben jetzt als Physiker da auch wieder mal die Chance, eben darauf auch deutlich zu machen, dass auch genauso wie eine Quellenangabe in der Geschichte nur eine halbe Wahrheit ist, dass unsere Messung eben auch nicht immer die Wahrheit ist, wie sie im Buch steht, so und das hier. So, Klammer zu.
- 1085 I: Gut. Wie häufig thematisierst du Messunsicherheiten im Physikunterricht?
- LPJ: Absolut, pro Jahr? Ach, keine Ahnung. Das ist schwer.
- I: Gerne, auch relativ.
- 1090 LPJ: Oh ja. Ich würde sagen, zunehmend mit dem Alter häufiger in der Oberstufe dann schon bei jeder Messung eigentlich, dass es irgendwie in irgendeiner Form angesprochen wird, wenn auch nicht immer empirisch auswertend, sondern aber, dass man sich mal nicht drüber Gedanken macht. Oder bei der Planung des Experiments schon mal sich Gedanken macht, welche Messgeräte gewählt werden, wie genau wollen wir das eigentlich wissen und so. Also, wenn das schon dazu zählt, dann zunehmend zur Oberstufe in Richtung bestimmt 70 Prozent, aber wenn ich in der siebten Klasse zum ersten Mal experimentiere, quasi null.
- 1095 I: Jetzt hast du schon qualitativ und quantitativ angesprochen, für zügig Messungen. Kannst du mal ganz kurz beschreiben, wie du Messunsicherheiten im Physikunterricht, also Verfahren zum Beispiel, wie du das thematisieren würdest? Du kannst ja bei dem Beispiel der siebten Klasse jetzt mal bleiben, wenn du sagst, ja, null war, wie würdest du da anfangen?
- 1100 LPJ: Also, was ich schon in Klasse sieben mache, ist, dass sie sich Gedanken vorher machen müssen, welche Messgeräte für welche Messungen geeignet sind. Und wenn ich dann also eins, weiß ich nicht, eine Badetemperatur für ein Kind bestimmen soll, dass dann das Thermometer von minus 20 bis 150 irgendwie nicht so das Geeignete ist. Und so, das sind so die ersten Punkte, wo ich, also weil quasi der Wahl des Messinstruments, bei der Planung des Experiments, wo ich schon mal auch auf die Genauigkeit dessen, was ich da einfach ablesen kann, gehe. Also, ja, wie war die Frage, wie ich das genau mache? Achso, ja, genau. Bei dann fortführen bis in Leistungskurs oder auch in diesem Experimentierkurs, wo wir halt dann so zu den Wettbewerben gehen, da habe ich das schon versucht, so gut es mir gelang, so viel wie möglich einzubauen. Und wenn es ist ein Ausblick in die grafische, also Regression, Größtfehlerabschätzungen oder größte Abschätzungen der Unsicherheit und die, was mache ich immer noch, im Prinzip die Begriffe, die auch im Rahmenlehrplan stehen, die geklärt werden müssen. Ja, also die, was war es, das Geräteunsicherheit, systematische Unsicherheit steht, glaube ich, sogar drin oder systematischer Fehler, eins von beiden steht drin, dass sie zumindest ein Handwerkzeug haben, zu unterscheiden zwischen statistischen Schwankungen und denen, was unsere Messgeräte uns vorgeben. So, und dann komme ich sogar bis
- 1105
- 1110
- 1115
- 1120 zur Angabe von Vertrauensbereichen in der Oberstufe. Also zumindestens über

eine Größtabschätzung, Maximalabschätzung, dass sie da einen Bereich angeben können, in dem sie sich irgendwie bewegen.

- I: Wärt ihr noch irgendwelche anderen Regeln, Verfahren ein, vor allem jetzt, wenn man über Quantifizierung spricht, die du im Unterricht verwendest?
- 1125 LPJ: Nee, andere Regeln und Verfahren zur Quantifizierung nicht, also außer, wenn wir jetzt statistische Auswertungsverfahren natürlich, dann aber nicht wirklich so, dass sie die Verfahren beherrschen, aber sehr wohl die Technik nutzen. Also, ich sage mal, Mittelwertbestimmungen, eine Statistik zu treiben und auch vielleicht Standardabweichungen oder sowas zu bilden. Was wir machen, haben schon auch, wir machen ja im Prinzip auch Hypothesentests in der Oberstufe in Mathe. Ja, das heißt also auch, dort in Richtung zu gehen, wie stark zum Beispiel eine Messung jetzt von einer Linearität abweicht, also R^2 in diese Richtung, das ist aber dann nur Statistik. Ja, das ist jetzt nicht wirklich in dem Sinne so Messunsicherheit, aber auch diese brauche ich ja, um dann letztendlich auch meine Unsicherheit anzugeben.
- 1130
- 1135 Also, das macht man schon manchmal, aber mehr als den Wert auslesen, um zu gucken, wie weit es jetzt irgendwie, wenn ich so eine Linearisierung gemacht habe, zum Beispiel irgendwie von einem exponentiellen Zusammenhang, um zu gucken, wie sehr das Linear ist, mehr macht man da oder mache ich nicht.
- I: Wie nutzt du das Ergebnis der Messunsicherheit dann im weiteren Unterrichtsverlauf?
- 1140
- LPJ: Wenn man experimentell gearbeitet hat, dann nutzen wir das um die Qualität der Schlussfolgerung. Also letztendlich, das ist abhängig von der Fragestellung und wie man an das Experiment rangegangen ist, mit welchem Problem. Und wenn es jetzt im einfachsten Fall irgendeine Überprüfung, Hypothesen überprüfend experimentiert wurde, dann nutzen wir es wirklich nur, um dann am Ende den Bogen rund zu machen, wie weit man da jetzt mit seiner Messung das empirisch bestätigen kann oder nicht.
- 1145
- I: Ja, das war schon. Okay, sehr gut. Das war auch schon Block 2.

Interview 11 Lehrperson K

- 1150 I: Gut, das war schon allgemein. Dann noch allgemeiner. Wie viele Jahre unterrichten Sie bereits Physik an der Schule?
- LPK: Physik ähnlich? 17.
- I: Okay. Und in welcher Schulform unterrichten Sie momentan?
- LPK: Oberstufenzentrum.
- 1155 I: Gut, das war schon der erste allgemeine Block. Dann ins Thema. Darum soll es jetzt um unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten gehen. Und die erste Frage, die ich dazu habe, lautet, für wie wichtig erachten Sie das Thema Messunsicherheiten für den Physikunterricht oder ähnlichen?
- LPK: Das ist das Wichtigste überhaupt. Also das ist das, womit wir auch anfangen. Weil was messen wir? Es gibt ja diesen Ausspruch, wer viel misst, der misst viel Mist. Und das ist sozusagen dann immer der Eingang. Weil das ist natürlich das, was am wichtigsten ist für uns. Dass sie sorgfältig erstmal lernen, was mache ich da eigentlich? Und das geht auch bei uns ins Praktikum. Woher kommt die Relevanz für Sie, für dieses Thema? Wir sind ja eine Berufsschule und wir bilden
- 1160

1165 physikalisch-technische Assistenten aus. Also ich bilde physikalisch-technische Assistenten aus und Mikrotechnologen. Und beides ist sehr physiklastig und messlastig.

I: Okay. Wie häufig werden Messunsicherheiten thematisiert?

LPK: Jedes Praktikum.

1170 I: Okay. Gut. Was ist denn für Sie oder wie definieren Sie denn den Begriff Messunsicherheit?

LPK: Naja, wie genau kann ich mit meinem Messgerät, was ich zur Verfügung habe, überhaupt messen? Das heißt, es geht sozusagen um Präzision in dem Fall? Tatsächlich in der Mikrotechnologie ja, um Präzision, aber auch um ganz einfach wir schätzen nicht, wir messen, was ist eigentlich messen? Und dazu muss man ja wissen, wie sind Messgeräte, ich sag jetzt mal, aufgebaut oder welche Messsicherheit geben sie? Wo findet man sowas? und ja, und leider ist es eben halt so, dass wir nicht mehr jetzt nur noch einen absoluten Fehler gleich angeben können, sondern wir müssen uns wirklich angucken, wenn wir mit digitalen Messgeräten arbeiten, dass diese dann halt ganz andere Anzeigen machen, als die Geräte an sich eigentlich konstruiert sind, dass sie die Genauigkeit gar nicht haben. Und wir bekommen auch immer mehr zum Beispiel Messwerte, wo die Standardabweichung größer ist, als die Messgenauigkeit oder und auch ja, wo man dann sagt, das Gerät ist eigentlich gar nicht mehr geeignet für die Messung. Also in

1175 diese Richtung geht das. Können Sie mal ganz kurz beschreiben, wie die Messunsicherheiten thematisiert werden? Vor allem jetzt im Praktikum dann? Naja, unsere Schüler haben, bevor sie zu mir ins Praktikum bekommen, im sogenannten IT-Unterricht bei uns, was im ersten Lehrjahr ist, ein Jahr lang, dass sie mit ja, Excel Word und mit Statistik umgehen lernen. Also dort wird das sozusagen hinterlegt und wir greifen das eigentlich nur auf, dass wir es anwenden im Unterricht beziehungsweise, dass wir dann nochmal ein vierstündiges Praktikum machen, wo wir mit Ihnen bezüglich der Abschlussprüfung nochmal üben, wie sieht das aus? ich habe so und so viele Daten. Wie kann ich jetzt diese Daten verarbeiten? Wo finde ich jetzt, wie viele signifikante Ziffern muss ich angeben? Was darf ich, was darf ich nicht? Wie berechne ich das? Ist eigentlich dann nur noch Taschenrechner Handhabe, sage ich jetzt mal. Und dann kommt eben halt, wie muss ich das auswerten? Also das ist nochmal so für die Prüfungsvorbereitung dann nochmal ein zusammenfassender Block, aber ansonsten spielt es immer dann eine Rolle, wenn wir ein Mikroskop benutzen, wenn wir Schichtdicken messen, ja, das ist so unsere Hauptthemen. Wir machen hier auch Lithographie im Hause und deswegen gehen wir in die Myrometer-Welt, mehr kann ich leider nicht bieten, die Nano-Welten müssen sie in Betrieb machen und da spielt es eben schon eine Rolle, ob das 1,1 Millimeter sind oder nur ein Millimeter oder ob es eben halt 700 Mikrometer sind oder 700,1 Mikrometer. Das ist dann so die Frage. Also deshalb spielt das dann

1180 ständig eine Rolle und sie bringen auch Daten mit, also aus den Firmen, die wir hier verarbeiten.

I: Okay, haben Sie da klassische Verfahren oder Regeln, wie Sie dann die Messunsicherheit bestimmen, zum Beispiel im Setting?

LPK: Naja, es gibt schon gewisse Regeln, die da lauten, wir nehmen Daten auf, machen

1185 eine statistische Auswertung. In der Zwischenzeit haben wir es gesagt, jedes

1190

1195

1200

1205

1210

Messinstrument, was Sie benutzen, mit dem Sie diese Werte aufnehmen, müssen Sie uns sagen, was für eine Genauigkeit hat das Gerät. Also das ist sozusagen immer zur Beschreibung des Gerätes gehört das dazu. Sie dürfen uns auch keine Mikroskopaufnahmen mehr präsentieren, wo nicht ein Maßstab drin ist und wo nicht genau nachgewiesen wird. Also wie genau ist jetzt dieses Messprogramm, was da hinterlegt ist, weil auch dort ist es so, dass man 7,8678 Mikrometer angibt, was natürlich bei der Vergrößerung überhaupt gar nicht machbar ist. Und dann findet man tatsächlich im Mikroskop oder in diesen Unterlagen auch nichts mehr zur Anzeige der Messgenauigkeit. Es ist eben halt nur ein mathematisches Prozedere, was dahinter steckt, eine Form, ja, und wir haben die eben nicht. Also wir können nicht, wir können dann nicht mehr sagen, ja, wie genau ist es. Und dann sagt man eben, gut, wenn wir im Mikrometer-Bereich messen oder Mikroskopieren bei einer 50-fachen Vergrößerung, dann können wir keine Angaben mehr im Nanometer-Bereich machen. Das legen wir dann wirklich fest, weil uns die Handhabe fehlt. Okay, wie nutzen Sie denn so ein Ergebnis, was Sie denn da haben, wenn Sie einen Datensatz kriegen, den statistisch auswerten und so was, wie wird denn da das Ergebnis der Messunsicherheiten am Ende dann weiterverwendet? Also Sie müssen uns ein Endergebnis oder einen Mittelwert bieten, wenn es dann darum geht mit der Standardabweichung also sozusagen einen absoluten Fehler darlegen, dann gibt es eine zweite Sache, Sie müssen im Diagramm das visualisieren, Balkendiagramm mit entsprechenden Klassen, wenn es sich darum handelt, handelt sich es jetzt um Daten, wo funktionelle Zusammenhänge nachgewiesen werden sollen, dann gehört eine grafische Darstellung erstmal immer dazu, dann gehört eine Trendlinie dazu, dann gibt es schon die Diskussion, warum darf ich die Messwerte nicht miteinander verbinden, also wir machen keine Zickzacklinien wie bei den Wetterfröschen, dann kommt die nächste Sache, kann ich überhaupt einen Trend nachweisen, wie viele Werte habe ich, manchmal ist das auch so, dass sie so sechs, sieben Messwerte mitbringen, die sehen dann eher aus wie ein Sternenhimmel, was mache ich dann mit diesen Werten, dass man eben halt auch den Mut haben muss zu sagen, es kann kein funktioneller mehr gemacht werden, also sie sollen versuchen mit den Messwerten, die sie haben, dann so sauber wie möglich Aussagen zu treffen, so dass alle miteinander glücklich sind und manchmal schlägt da so ein Ingenieur oder so ein Professor dahinter, der möchte dann immer viel mehr und das können wir aber hier nicht bieten, also dazu sind auch unsere Lehrlinge, es sind nur Lehrlinge und der Beruf ist schon so sehr sehr anspruchsvoll. Das ist so die Gratwanderung, die wir machen.

I: Okay, das war schon die letzte Frage zu dem zweiten Block.

Interview 12 Lehrperson L

I: Und jetzt werden wir aufgezeichnet. Okay. Dann würde ich gerne einmal dein Alter und Geschlecht wissen und wie lange du schon berufstätig bist und an welcher Schulform du gerade unterrichtest.

LPL: Also ich bin [REDACTED], ich bin 27 Jahre alt und arbeite jetzt seit zwei Jahren an einer Schule, an einer ISS, Integrierten Sekundarschule, und gebe dort Physikunterricht und Sportunterricht. Genau.

1255 I: Sehr schön. Okay. Und dann kommen wir auch gleich zum ersten Thema, nämlich die unterrichtspraktische Relevanz von Messunsicherheiten. Und da würde ich gerne mal wissen, für wie wichtig erachtest du das Thema Messunsicherheiten im Rahmen der Schule?

1260 LPL: Also ich finde es wichtig, dass es erwähnt wird im Unterricht. Ich finde es aber nicht unbedingt so wichtig, dieses quantitativ durchzuführen. Ich finde, es reicht, vor allem in der Mittelstufe qualitativ darüber zu sprechen. Aber es ist schon wichtig, die SchülerInnen darauf hinzuweisen, dass eben die Messungen, die man durchführt, fehlerbehaftet sind. Ich finde, das ist ganz wichtig, dass das ankommt. Und inwiefern man das jetzt rechnerisch durchführt, das hängt dann, finde ich, auch vom
1265 Niveau ab. Also, ja.Ja. Und? Ob ich jetzt im Gymnasium bin oder an einer Integrierten Sekundarschule zum Beispiel.

I: Okay. Und Sie haben jetzt gesagt, für die Mittelstufe halten Sie es vor allem eher qualitativ relevant. Für, wie wichtig erachten Sie es denn in der Oberstufe dann hingegen?

1270 LPL: In einem Leistungskurs finde ich es sehr wichtig. Vor allem kann man halt auch gut mathematische Kenntnisse in Form von Fehlerrechnungen zum Beispiel integrieren in den Physikunterricht. Und im Leistungskurs ist das eh wichtig. Und da sind die Schülern auch in der Lage dazu. Und da finde ich das absolut wichtig, dass es durchgeführt wird. Im Grundkurs, finde ich, kann man viele Teile weglassen. Also,
1275 im Grundkurs würde ich vielleicht Mittelwerte noch berechnen lassen. Und dann, wir gucken, wie groß der Abstand, was für eine Spannweite wir vielleicht haben. Aber tiefer würde ich im Grundkurs jetzt nicht gehen. Und im Leistungskurs kann man schon Großfehlerabschätzung machen und Regression ziehen. Fehlerbalken einzeichnen. Das kann man im Leistungskurs auf jeden Fall. Oder sollte man auch
1280 machen.

I: Okay. Und wie häufig thematisierst du Messunsicherheiten in deinem Physikunterricht?

LPL: Ich mache das nicht so oft, würde ich sagen. Eher im Rahmen, wenn wir halt Experimente durchführen. Dass ich dann halt in der Mittelstufe darauf hinweise oder
1285 aufmerksam mache, dass wir halt verschiedene Messwerte haben und woran das liegt. Und dann habe ich mit denen oft diskutiert, was für Fehlerquellen wir denn haben. Oft ist es ja der Mensch selber beim Messen und halt die Geräte, die er benutzt. Und zum Beispiel hatten wir das in der Strom- und Spannungsmessung. Da haben wir ja gleiche Widerstände verwendet und hatten trotzdem nicht die exakten
1290 gleichen Werte raus für die einzelnen Stromstärken zum Beispiel. Und darüber haben wir dann qualitativ diskutiert. Wir haben da tatsächlich auch Mittelwerte berechnet. Oberstufe habe ich jetzt erst neu angefangen, eine elfte Klasse. Mit denen nehme ich tatsächlich in zwei Wochen den freien Fall durch. Und da werden wir dann auch über Fehler sprechen. Der ist aber relativ leistungsschwach, vor
1295 allem mathematisch. Da muss ich gucken, inwiefern ich das da integrieren kann.

I: Okay. Und dann würde ich gerne noch einmal dich fragen, was so deine Definition für Messunsicherheiten wäre oder was du darunter verstehst.

LPL: Kannst du es nochmal wiederholen? Der Empfang war gerade schlecht.

I: Ja. Also wie würdest du den Begriff Messunsicherheiten...

1300 LPL: Meine Definition für Messunsicherheiten.

- I: Genau. Wie du es definieren würdest oder was du darunter verstehst.
- 1305 LPL: Für mich sind Messunsicherheiten Gründe, warum wir in Experimenten unterschiedliche Werte erhalten, obwohl wir eigentlich nichts am Experiment ändern, außer vielleicht die Person, die dieses Experiment durchführt oder das Kabel oder eben den Gegenstand. Und es ist wichtig halt, wenn eine Messunsicherheit zeigt, dass Messungen nicht immer perfekt sind und macht auch aufmerksam, dass wir halt bestimmte Fehlerquellen haben. Und ja, das wäre jetzt meine Definition.
- 1310 I: Dann würde ich jetzt noch gerne einmal wissen, wie du Messunsicherheiten thematisierst. Du hast es ja schon so ein bisschen angeschnitten. Und ja, welche Verfahren und Regeln du so zur Bestimmung von Messunsicherheiten nutzt?
- 1315 LPL: Also Verfahren, als Verfahren nutze ich halt Mittelwertberechnung. Ich habe jetzt noch keine irgendwie gaussische Verteilung mit denen gemacht. Das würde ich in der Oberstufe aber auf jeden Fall machen. Ansonsten Spannweiten thematisiere ich, weil das ist für die Schüler immer relativ gut zu sehen, wenn sie sehen, okay, die Werte halten sich zwischen unserem tiefsten Wert und dem höchsten Wert zum Beispiel auf. Und dann betrachten wir den Mittelwert. Das geht dann ja schon in die Richtung von der gaussischen Verteilung und der Standardabweichung. Und dass man es noch nicht so nennt, weil dass man dann quasi darüber redet, okay, in dem Bereich halten sich unsere Werte auf. Und wir sehen vielleicht noch mehr Werte halten sich noch näher am Mittelpunkt auf. So war es in die Richtung. Und dann, wie gesagt, in der Oberstufe da halt eine Fehlereinschätzung machen. Vorher zum Beispiel sagen, okay, ich habe einen Fehler von 1, 2, 3, 4 Prozent. Und vor allem relative und absolute Fehler thematisieren. Das ist ganz wichtig, weil das
- 1320 unterstützt auch das Verständnis der Prozentrechnung. Und das finde ich im Abitur immer dann doch ganz relevant in Bezug auf, weil viele Leute, die gerade Physik haben, haben ja auch dann Mathe oder einen höheren Anspruch in Mathe. Und dann kann man das gut miteinander kombinieren. Und wenn man die Fehler berechnet hat, dann natürlich Fehlerbalken. Und dann kann man, wenn man mehrere Werte halt sogar noch eine Gerade durchziehen und am Ende noch Steigungen berechnen. Das ist eine Regression eben. Genau, das wären die Tools, die ich verwenden würde. Ich würde jetzt keine Fehlerfortpflanzung machen.
- 1325 I: Okay, keine Fehlerfortpflanzung. Dann noch eine kleine Frage dazu. Wie nutzt du dann das Ergebnis der Messunsicherheit im weiteren Unterrichtsverlauf?
- 1330 LPL: Ja, ich schreibe es halt an die Werte ran. Also wenn man jetzt einen prozentualen Fehler eingeschätzt hat, dann zeige ich dir natürlich die Schreibweise mit Plus, Minus und nutze den Wert dann so weiter. Oder was meinst du genau?
- 1335 I: Ja, doch, so das meinte ich. Also es gehört dann quasi zum Endergebnis mit dazu.
- 1340 LPL: Wenn ich es quantitativ eingeführt habe, wenn ich es qualitativ nur diskutiert habe, nicht.
- I: Ah, klar.
- LPL: Dann sage ich halt, der Wert ist halt nicht ganz genau. Nicht ganz genau. Aber das ist jetzt der Wert, mit dem wir jetzt rechnen.
- 1345 I: Okay. Gut. Dann war es das auch schon. Vielen, vielen Dank, dass du dir die Zeit genommen hast. Das war sehr, sehr aufschlussreich. Und dann wünsche ich dir einen schönen Tag.

LPL: Viel Erfolg bei deiner Masterarbeit.

I: Dankeschön. Alrighty. Ciao.

Interview 13 Lehrperson M

1350 I: Ich mache mal kurz das Video dafür.

LPM: Ja. Okay.

I: Okay. Super, dann würde ich einmal gerne wissen, an was für einer Schulform ist du eigentlich okay? Oder willst du lieber gesiezt werden?

LPM: Ja. Das ist okay.

1355 I: Ja, genau. Also an welcher Schulform unterrichtest du und wie viele Jahre unterrichtest du schon?

LPM: Ich unterrichte an einer integrierten Sekundarschule mit Oberstufe und da unterrichte ich jetzt schon eineinhalb Mal wieder fast zwei Jahre an dieser Schule. Ich habe vorher schon mal eineinhalb Jahre an einer Stadtteilschule in Hamburg unterrichtet, aber da das war vor meinem Studium und genau.

1360

I: Okay, also so zwischen zwei und vier Jahren Lehrerschaft.

LPM: Okay. Mein Referendariat ist doch nicht abgeschlossen, das ist vielleicht auch relevant, weiß ich nicht.

1365

I: Ja, es geht um Unterrichtserfahrung, also ich glaube, das ist okay. Und für wie wichtig erachtest du das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht?

LPM: Kommt drauf an. Also kommt drauf an, wie viel freie kognitive Kapazität meine SchülerInnen so haben. Kommt auch ein bisschen drauf an, welche Kompetenz ich fördern möchte. Also wenn es darum geht, dann eben in der Erkenntnisgewinnung zu arbeiten, gerade wenn es ums Auswerten von Experimenten geht, ist das natürlich sehr wichtig. Egal tatsächlich, auf welcher Klassenstufe. Das heißt natürlich nicht, dass man es auf jeder Klassenstufe auf derselbe Art und Weise diskutiert, aber dass das vorkommt, ist auf jeden Fall wichtig. Wenn ich jetzt allerdings den Fokus drauf habe, wie mache ich eine Dokumentation meiner Messwerte, meiner Beobachtung, da achte ich dann vielleicht weniger auf Messunsicherheiten als eher so, was ist so passiert, was vielleicht meine Werte verfälschen könnte. Und wenn es dann eher so um eine Fachwissenskompetenz geht, dann lasse ich es meistens ganz weg, weil es nur verwirrend ist.

1370

1375

I: Okay. Okay. Gut. Und wie häufig thematisierst du es dann ungefähr in deinem Unterricht?

1380

LPM: Das kann ich total schwer sagen. Also, da müsste ich erst mal wissen, wie viel kommt total drauf an, was für ein Thema es ist. Also gerade habe ich jetzt Realität, da mache ich keine Experimente und dann wird das Thema Messunsicherheiten auch nicht thematisiert. Während zum Beispiel in meinem Physikleistungskurs, da thematisiere ich Unsicherheiten bei jeder simplen Rechnung, weil ich da oft selbst bei der kleinsten Rechnung immer drauf geachtet, wie genau kennen wir jetzt diese Werte und so weiter. Und sonst würde ich sagen, halt immer dann, wenn eine Erkenntnisgewinnungsstunde ist, aber auch da gibt es viele qualitative Daten, die dann teilweise verarbeitet werden, wie Magnetfeldlinienbilder, die natürlich auch nicht perfekt sind, aber das können die SchülerInnen auch sofort einordnen. Genau, deswegen gefällt es mir schwer, jetzt eine pauschale Aussage zu treffen.

1390

- A: Okay, also hast du gesagt, wenn es um qualitative Daten geht, dann auch qualitativ so vielleicht Unsicherheiten und wenn du es quantitativ machst, würdest du sagen, dass du die Messunsicherheit dann immer mit angibst, wenn es um quantitativen Wert geht?
- 1395 LPM: Nee, mache ich nicht. Also ich mache das in der Oberstufe, da ist es mir wichtig, dass man, also man macht das nicht wie in der Uni, ja mit dem Plus-Minus irgendwas, sondern meistens sage ich dann, ja, gib nicht zu viele Ziffern an hinten dran, wenn du es nicht weisst, beziehungsweise oft wird es einfach nur in der Auswertung aufgegriffen. Also wenn dann die Daten ausgewertet werden und es kommt ein Wert raus, der nicht perfekt zur Theorie passt, dann kann man auch mit den SchülerInnen drüber reden, was hättet ihr denn erwartet und woran könnte das denn jetzt liegen, an welchen Stellen im Experiment und dann relativ klar, ja, es kann sein, ja, der Wert da hat geschwankt, Wert da rauskam oder wie wir es irgendwie schlecht abgelesen haben oder so richtig quantitativer angeben von Messunsicherheit, das mache ich tatsächlich nur in der Oberstufe und eigentlich auch mit meinem Profil- und Leistungskurs, da wird da wirklich konsequent drauf geachtet, sonst sind die schon beschäftigt genug, überhaupt mit der quantitativen Form der Physik überhaupt zurecht zu kommen.
- 1400
- 1405
- I: Okay, verstehe. Und was würdest du sagen, was verstehst du unter Messunsicherheit oder wie würdest du es definieren, wenn du es definieren müsstest?
- 1410
- LPM: Da gibt es bestimmt gute Antworten, die ich jetzt nicht spontan geben kann. Messunsicherheiten entstehen ein Stück weit, wenn ich versuche, die Welt oder die Natur in ein quantitatives Korsett zu zwingen. Und dafür habe ich dann Messinstrumente zur Verfügung und die Messinstrumente, die werden wir auch immer nur sozusagen ein Modell von der Wirklichkeit geben. Und bei dieser Übersetzung können sozusagen Übersetzungsfehler passieren, je nachdem, was für eine Methode ich nehme, passieren die mehr oder weniger. Man kann philosophisch natürlich darüber streiten, ob es diesen echten wahren Wert da draußen überhaupt gibt oder nicht. Ist für die Physik letztendlich irrelevant. Sie arbeitet mit den Werten, wie sie eben so kommen und können auch im Rahmen der Unsicherheiten dann Vorhersagen machen. Und das reicht auch. Okay, da ist das, habe ich jetzt viel hin und umgeredet. Und ja, das ist letztendlich sind Messen und Sicherheiten, das, was passiert, mit einer Zahl zu belegen und eben dabei umgehen, damit umgehen muss, dass diese Zahl vielleicht nicht immer perfekt oder mehrmals hintereinander auch unterschiedliche ähnliche Zahlen gemessen werden kann.
- 1415
- 1420
- 1425
- I: Okay, okay. Und dann würden wir auch schon zum letzten Block kommen. Wie thematisierst du Messunsicherheiten im Physikunterricht? Also, welche Verfahren nutzt du oder was ist so eine gängige Routine, wie du es thematisierst?
- 1430
- LPM: Gut, eine Sache ist, wir haben eben eine Auswertung, es kommt ein Wert raus und oder wir haben, wir haben eine Auswertung und für jeden Schritt berechne ich was aus, zum Beispiel für jeden Schritt rechne ich den Widerstand aus für ganz viele verschiedene Messungen und es kommen leicht unterschiedliche Werte raus. Dann diskutiere ich mit den Schülern drüber, so bedeutet das jetzt, dass jeder Wert tatsächlich unterschiedlich ist und woran könnte das hier liegen und das ist so ein
- 1435

- 1440 Fall, wo dann die SchülerInnen auch dann versichert drauf kommen, ja, es kann
sein, dass wir vielleicht hier und da ein bisschen ungenau abgelesen haben, also
dass in dieser, diesem Rahmen dessen, was wir ausgerechnet haben, passen
Werte gut zueinander. Eine weitere Möglichkeit ist, dass man eine grafische
Auswertung macht, dass man Messwerte in ein Koordinatensystem einträgt, eine
Ausgleichsgrade legt und es dann wirklich auch als Ausgleichsgrade behandelt.
Und so sehen, okay, nicht alle Punkte müssen direkt drauf liegen, um da einen
Zusammenhang zu erkennen. Dann diskutiere ich Messunsicherheiten auch
1445 teilweise, also gerade im Leistungskurs im Sinne von, wie handelt es sich um eine
Näherung in der Theorie, gerade bei der Gravitation war das Thema, dass die
Gravitation, die Werte, die wir bei der Gravitation erhalten, für uns alle sehr schön
linear aussehen, aber wir letztendlich da auch nur aufgrund unserer
Messgenauigkeiten dieses Gravitationsgesetz so angeben können. Eigentlich sind
1450 da noch relativistische Korrekturen drin, die wir aber nicht sehen können mit
unserer Genauigkeit. Und sonst ist es ganz oft einfach dieses, ja, keine Ahnung, wir
stimmen die Dichte, wann etwas schwimmt. Wir haben Literaturwert, der ist 1,0
Gramm pro Kubikmillimeter und die Schüler kommen rechnerisch sowas raus wie
0,98. gemacht und dann erwarte ich von den Schülern, dass sie angeben können,
1455 ja, eventuell hat die Waage den Wert nicht genau angezeigt und deswegen kommt
jetzt bei unserem Ergebnis auch was leicht unterschiedliches raus. Also größte Teile
der Mittelstufe bewegt sich nicht darüber hinaus, muss man sagen.
- I: Okay, und wie nutzt du denn das Ergebnis, wenn du eine Unsicherheit hast im
weiteren Unterrichtsverlauf?
- 1460 LPM: Unsicherheit ist natürlich wunderbar, um die Natur der Physik so ein bisschen
klar zu machen. Wenn man denn dann Zeit hat, um halt unsere Werte, wie sie sind,
dann machen wir was draus und das ist nicht Mathematik, also da kommt nicht
immer das raus, was man erwartet und wenn man es nur die Schritte richtig
anwendet, dann kommt das richtige Ergebnis raus, sondern kommt eben auch ganz
1465 viel darüber hinaus, wie wir die Werte ermittelt haben und dann kann man
natürlich auch ganz schön darüber diskutieren, wie man das Experiment noch
durchführen könnte, um bessere Werte zu bekommen oder was ich auch mal
gemacht habe bei einem Experiment zum freien Fall in der 11. Klasse, dass die
Schüler verschiedene Methoden zur Auswahl hatten, mit denen sie das Experiment
1470 durchführen konnten, um höher über die Zeit zu bestimmen und wir am Ende
diskutiert haben, welche Methode denn jetzt die präziseste war, um da uns auch ein
bisschen zu überlegen, okay, wie kann ich vorgehen, kann ich so oder so vorgehen,
was ist dann besser, worauf kann ich vielleicht beim nächsten Mal planen, direkt
achten.
- 1475 I: Okay, dann war das schon sehr fruchtvoll, auf jeden Fall. Das waren eigentlich
schon all die Fragen, die ich dazu habe, so ein sehr kurzes Interview. Du hast sehr
schöne Beispiele genannt, sehr viel Inhalte mir gegeben, das hilft mir auf jeden Fall
sehr weiter.
- LPM: Freut mich.
- 1480 I: Und ja, dann wünsche ich dir einfach noch einen schönen Dienstag, schöne Ferien.
Wirklich danke, dass du dir die Zeit genommen hast.
- LPM: Ja, viel Spaß mit deiner Arbeit.

I: Ja, danke. Ich arbeite dran.

LPM: Okay, ciao.

1485 I: Ciao.

Interview 14 Lehrperson N

I: Gut, super, dann zeichnen wir jetzt auf und dann wüsste ich einmal gerne, wie lange du schon unterrichtest und an welcher Schulform?

1490 LPN: Seit 2018, also sechs Jahre, an der ISS [REDACTED]. Ja, und das heißt siebte bis dreizehnte Klasse, üblicherweise eher Oberstufe, aber kann alles sein.

I: Okay, okay, dann weiß ich Bescheid. Und für wie wichtig erachtest du das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht?

1495 LPN: Sagen wir mal so, ich finde es nicht essentiell auf dem Niveau, was wir haben, dass man die perfekten Federbalken oder Fehlerrechnungen macht und Plus-Minus-Angaben macht und was auch immer. Aber ich hatte es für wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler ein Gefühl dafür haben, was für Ergebnisse sie erwarten und das nicht nur, weil man durch drei geteilt hat, so viele Nachkommastellen geschrieben werden wie der Taschenrechner ausgibt, sondern dass man ein grobes Gefühl dafür hat, was für eine Genauigkeit man dabei hat. Und wenn ich jetzt eine Spannung auf eine Nachkommastelle mit einem analogen Gerät messe, wird mein Ergebnis nicht zehn Nachkommastellen haben. Je mehr erwarte ich erstmal nicht bei dem Level, was wir haben.

1500 I: Okay, und wie häufig thematisierst du das so im Unterricht?

1505 LPN: Ich denke, ja, vor allem wenn ich Versuchspunkte bekomme, versuchen wir immer wieder diese Idee von signifikanten Stellen ein bisschen heranzubringen. Das haben wir letztes Jahr bei einem Profilkurs ein bisschen besser thematisiert. Die Jahre davor habe ich das eher so nebenbei gemacht, ohne das direkt anzusprechen, nur wenn es total daneben lag. Aber ja, wie häufig, schwer zu sagen, im ersten, zweiten Semester, wo man viel experimentiert, kommt bestimmt einmal die Woche vor, im dritten, vierten Semester oder in der zehnten Klasse eher seltener, weil man auch weniger Experimente hat.

1510 I: Ja, okay, und was verstehst du unter dem Begriff Messunsicherheiten oder wie würdest du das definieren, wenn du es definieren müsstest?

1515 LPN: Messunsicherheiten definieren, das ist die Sammlung an Quellen, die eine Messung ungenau machen. Und das können zufällige Fehler sein oder systematische Fehler sein. Also zwei wichtige Klassen. Also einerseits das, was an Ungenauigkeit und Streuern der Werte vom Gerät sich ausgibt und andererseits das, was durch systematisch falsches Verfahren sich ergibt.

1520 I: Ja, okay. Und kannst du einmal beschreiben, wie du das im Unterricht thematisierst? Also ein Beispiel nennen oder ja, einfach wie du da so typischerweise vorgehst, wenn du das Thema thematisierst?

1525 LPN: Naja, einerseits versuche ich darüber zu reden, wenn ein Ergebnis kommt, was offensichtlich eine Scheingenauigkeit zeigt. Das heißt, wenn jemand eine Wurzel zieht oder dort dreiteilt oder was auch immer entsteht, immer wieder im Teilchenrechten eine sehr große Menge Nachkommastellen, die werden alle fleißig abgeschrieben. Das ist eine Stelle, wo ich das thematisiere und sage, guck mal, wir

- haben gerade die Länge vom Tisch auf drei Meter geschätzt. Wir haben das nicht mal gemessen. Und jetzt hast du mir als Ergebnis für die Fläche 9,58978.56 gegeben. Das gibt den Eindruck, dass du wahnsinnig genau gemessen hättest, was gerade nicht der Fall ist. Und das wäre ein Beispiel, wo man das nebenbei thematisiert. Aber wie gesagt, in der 11. Klasse letztes Mal hatten wir zum ersten Mal probiert, richtig eine Doppel- oder zwei Doppelstunden zu diesem Thema zu machen, um abzuschätzen, wie viele signifikanten Stellen man angibt und überhaupt, was signifikanten Stellen sind. Also wenn ich 0,0000005 sage, bedeutet nicht, dass ich sechs, sieben Nachkommastellen habe, weil die ersten alle Nullen sind. Also richtig diese Idee von signifikanten Stellen vermitteln. Aber das war, glaube ich, das erste Mal in sechs Jahren, wo wir wirklich das Thema angegangen sind, statt das nebenbei anzusprechen, wenn ein Ergebnis besonders auffällig war.
- I: Okay.
- 1540 LPN: Und der seltenere Fall ist, wo jemand sehr stark rundet. Aber dadurch, dass fast alle mit Taschenrechner arbeiten, habe ich selten erlebt, dass jemand zu wenige Nachkommastellen oder zu wenige signifikanten Stellen mitnimmt. Der häufigere Fall ist eben, dass jemand einfach alles mitschreibt, was dasteht. Ja. Ja, und dann ist nicht so das Verständnis da, also, ja, wie genau der Bereich eigentlich ist, in dem man misst. Ja, und ähnlich ist auch abzuschätzen, finde ich, was für Ergebnisse ich erwarte. Das, glaube ich, finde ich deutlich besser, wenn ich gerade die Entfernung Erde-Sonne berechnet habe und ich bekomme sechs Millimeter. Ist komisch. Und wenn ich 10 oder 85 bekomme, egal in welcher Einheit auch. Und bei vielen Kursen habe ich es jetzt raus, dass sie in einer Arbeit mir wenigstens in den Sitz schreiben, wenn sie merken, dass ein Wert nicht passt. Ich habe immer gesagt, wenn sie merken, dass ein Ergebnis völlig unrealistisch ist, aber sie haben nicht mehr die Zeit, den Fehler zu finden, sondern sie wenigstens schreiben, dass sie den Fehler vermuten. Weil zu wissen, dass man falsch liegt, ist immerhin besser, als zu vermuten, richtig zu liegen, aber falsch zu liegen. Weil es bedeutet, dass man vielleicht mit mehr Zeit oder Hilfe oder was auch immer einen Fehler finden sollte. Während wenn man der festen Überzeugung ist, dass der und unsere sechs Millimeter entfernt sind, dann ist es nicht so toll. Ja.
- I: Okay, und hast du bestimmte Verfahren oder Regeln, die du anwendest, um den Schülern das Prinzip deutlich zu machen?
- 1560 LPN: Nein, glaube ich nicht. Also sie wissen, wenn sie einen auffällig komischen Ergebnis finden, müssen sie das schreiben und dann bekommen sie einen Punkt dazu für die Erkenntnis, dass es offensichtlich nicht richtig passt. Okay, und nutzt du das Ergebnis der Messunsicherheit? Also machst du es manchmal auch quantitativ, dass du einen Bereich hast, in dem du dem Wert vertraust und ob du das Ergebnis dann weiter davon nutzt? Also du meinst richtig mit Fehlerbeikern oder mit einer Angabe, mit Plus, Minus und Größe des Fehlers?
- I: Ja, so in die Richtung.
- LPN: Nein, das haben wir hier, also ich kann mich nicht daran erinnern, dass du genau gemacht hast, aber glaube ich nicht.
- 1570 I: Okay, also wird es dann eher so qualitativ diskutiert?
- LPN: Ja, also es gibt am Ende von einem Protokoll eine Fehlerbesprechung und in einigen Fällen erwartet man auch, und das wird auch in einigen Abaufgaben

- anzugeben, wie groß der Fehler zum Beispiel im Prozent geschätzt wird. Aber richtig, so wie auch auf Unniveau, wie man in einem Universitätspraktikum machen würde, mit richtiger gauschen Fehlerrechnung oder so, machen wir nicht.
- 1575 I: Okay, also würdest du dann die, die du aufs Abitur vorbereitest, da gibst du dann das manchmal auch in Prozent an oder hast du es noch nicht so im Unterricht?
- LPN: In seltenen Fällen. Ich habe jetzt, also wir haben jetzt ein neues Rahmenlehrplan und entsprechend neue Arten von Klausuren. Und ich habe gesehen, dass in 1580 diesen neuen Klausuren das Thema mindestens Prozentangaben für Fehler öfter vorkommt, als in den Vorlagen, die ich von den letzten Jahrzehnten hatte. Ja, genau. In den alten Klausuren habe ich das, glaube ich, noch nie gesehen, dass man richtig die Quantitative im Fehler abschätzen muss. Jetzt zum Beispiel hatte ich eine, wo man einen Interferometer hat, was für Ultraschallwellen umgebaut wird 1585 statt für Licht. Und da gab es zum Beispiel eine Aufgabe, wo richtig gefragt wird, quantitativen Fehler abzuschätzen im Prozent.
- I: Okay.
- LPN: Und dann zu bewerten, wie gut sie dieses Gerät für andere Anwendungen ist. Allgemein, diese neuen Aufgaben haben häufig die Anforderung zu bewerten, ob 1590 das Gerät, was man gerade berechnet und diskutiert hat, für eine bestimmte Anwendung relevant ist oder nicht relevant, geeignet ist. Und einer der Punkte, den man öfter diskutieren muss, ist eben die Genauigkeit. Und da wird auch gefordert, zu berechnen, wie genau das ist und nicht einfach, wie mal dann auch zu schätzen.
- I: Aber das hast du bis jetzt im Unterricht noch nicht so viel gemacht?
- 1595 LPN: Nee, weil das habe ich erst gerade neu gesehen. Das ist ja, also die jetzige 13. Klasse wird zum ersten Mal in Abi mit diesen neuen Aufgaben machen. Und wir haben auch keine Erfahrung damit. Es gibt nur einige Musteraufgaben, die online stehen von der KMK. Und ich versuche jetzt nach und nach herauszufinden, welche Schwerpunkte sie da haben. Und einer der Punkte, was mir aufgefallen ist, ist eben 1600 diese Diskussion. Es wurde ein Gerät in einer Aufgabe besprochen. Und am Ende muss man bewerten, wofür dieses Gerät geeignet ist. Und entsprechend eventuell kommt das vor.
- I: Ja, okay, das macht auch Sinn. Ja, das ist halt gerade, ist das halt in den neuen Bildungsstandards und alles mit drin. Deswegen ist diese Arbeitsgruppe, mit der ich 1605 an der Uni arbeite, auch so spitzt da drauf. Und deswegen mache ich das auch zu dem Thema, weil es jetzt eben viel mehr kommt. Und deswegen war das jetzt nur so zur Evaluation, wie das schon so umgesetzt wird zur Zeit im Unterricht. Und dann hast du mir auf jeden Fall schon einen guten Einblick gegeben und sehr weitergeholfen. Das wäre es dann auch schon gewesen.
- 1610 LPN: Okay, sehr gerne. Dann viel Erfolg.
- I: Ja, danke schön.

Interview 15 Lehrperson O

- I: Dann zeichnen wir jetzt auf. Super. Und dann würde ich gerne einmal allgemein einfach wissen, wie lange du schon unterrichtest und an welcher Schulform.

1615 LPO: Genau, ich unterrichte an einem Gymnasium seit 2015 als ausgebildete Lehrkraft sozusagen. Referendariat war von 2013, also jetzt schon über zehn Jahre, bin ich da tätig.

I: Okay. Und für wie wichtig erachtest du das Thema Messunsicherheiten im Physikunterricht?

1620 LPO: Ich erachte es grundsätzlich sehr als wichtig oder auch sehr wichtig. Ich denke aber, dass es in der Praxis leider ganz oft so ein bisschen hinten runterfällt. Deswegen finde ich das eigentlich auch sehr schön, dass das Thema einer Masterarbeit ist.

I: Ja, und wie häufig thematisierst du das persönlich in deinem Unterricht?

1625 LPO: Na, es ist schon so bei Experimenten, vor allem auch bei Schüler- und Schülerinnen Experimenten dort, ist es dann schon so, dass wir danach schon immer darüber auch sprechen, okay, wo sind denn jetzt hier Unsicherheiten entstanden? Und ich versuche dann auch immer zu sagen, dass es halt nicht um Fehler geht, sondern wirklich um Unsicherheiten, die ganz normal sind, wenn man experimentiert. Und das ist eigentlich schon von der siebten Klasse an. Aber das ist tatsächlich eher meistens eher nur so qualitativer Natur. Und erst in der Oberstufe ist dann so ein bisschen, dass man vielleicht mal eine relative Abweichung macht oder so. Also, aber alles ist meistens eher immer qualitativ. Das ist eigentlich ein bisschen schade.

1635 I: Okay. Und wie würdest du Messunsicherheit definieren oder was verstehst du darunter?

LPO: So im ganz allgemeinen oder jetzt im physikalischen Kontext?

I: Ruhig eher im physikalischen Kontext, aber kannst du auch allgemein anfangen?

1640 LPO: Na, Messunsicherheit, da würde ich jetzt alles reinzählen, was jetzt auch bei den Schülerinnen-Experimenten dort passiert und quasi vom wahren Wert abweicht. Ja. Oder zu einer Abweichung vom wahren Wert führt. Und da kann halt alles mit reinspielen, egal ob das jetzt irgendwelche Unsicherheiten sind, weil das im Experimentator oder drin liegt oder eben halt irgendwie an dem Messgerät oder so. Also, das versuchen wir schon oder das versuche ich schon im Unterricht ab und zu mit einzubinden, dass es da zwei verschiedene Arten gibt, wie Unsicherheiten entstehen können.

1645 I: Okay. Und wie thematisierst du das im Unterricht? Also, kannst du einmal beschreiben, anhand von einem Beispiel oder so, wie die Herangehensweise ist, wenn du das im Unterricht thematisierst?

1650 LPO: Ein Beispiel könnte sein, dass wir so über Genauigkeiten sprechen, also wie genau wir eigentlich einen Wert angeben können. Und da ist immer so ein, ich habe so ein, es gibt diese Meterlineale in der Schule und die haben ja so eine Skalierung, ich glaube, das sind immer so 10 Zentimeter und so Zentimeterabschnitte, so kleine Abschnitte. Und die gibt es ja auch in kleinen, die Kinder haben. Und da kann man ja auf den halben Millimeter sozusagen genau messen. Also, man kann sich entscheiden, okay, liegt der Wert jetzt irgendwie auf der Eins, auf der Zwei oder irgendwie dazwischen. Aber mehr als dazwischen kann man nicht sagen. Also, kann man sozusagen auf einen halben Millimeter genau irgendwie was angeben. Und bei diesem großen Linear können wir jetzt ja nur so auf einen halben Zentimeter genau was angeben. Also, das wäre zum Beispiel eine Situation, die ich

1660

ganz, oder die ich schon öfter mal irgendwie gebracht habe und die ich mich dazu erinnere, dass man halt wirklich schaut, okay, was gibt uns eigentlich so ein Messgerät eigentlich vor, an Genauigkeit oder an Ungenauigkeit, was wir gesagt haben.

1665 I: Okay. Ja. Hast du sonst noch Verfahren oder Regeln? Also, du hast jetzt schon so einen halben Skalenteil angesprochen. Noch irgendwelche Verfahren oder Regeln, wie du das den Schülern beibringst?

1670 LPO: Dann, ein weiteres Beispiel wäre so Zeit bei der Zeitmessung vielleicht Reaktionszeit, dass man die mit reinnimmt, wenn man jetzt also einen Wert sozusagen oder eine Gültigkeit annimmt. Und da beispielsweise einfach weiß, okay, ich habe halt eine Reaktionszeit beim Starten und beim Stoppen und das muss ich jetzt schon, wenn ich jetzt eine Aussage über das Ergebnis treffe, irgendwie mit einbeziehen. Und vielleicht quantitativer Natur in der, ich glaube, in der achten Klasse oder in der neunten, da sprechen wir auch über Auswertung im Diagramm zum Beispiel und über so eine Ursprungsgerade, die man ziehen könnte, so, mit viel Interpretation. Und da ist dann schon auch, dass wir sagen, okay, haben wir irgendwie wirklich die Abweichung, diese Messung, die sich halt wirklich quasi grafisch dargestellt und die müssen wir quasi bei unserer Interpretation mit einbeziehen, wie genau und warum genau diese Messung ist. Und dann kann man schon sagen, dass das ein proportionaler Zusammenhang ist. Ja. Auch wenn den Schülern da ganz oft die Idee fehlt, so von selbst.

1680 I: Okay. Und grafisch meinst du jetzt, dass man einfach sieht, dass die Messwerte über und unter der Gerade streuen? Oder arbeitest du auch mit Fehlalbalken oder so?

1685 LPO: Nee, mit Fehlalbalken nicht, sondern eher nur diese Streuung. Aber das ist ja sozusagen, ich finde da, wenn man mal drüber nachdenkt, da steckt ja sehr, sehr viel drin, eigentlich. Also, weil man da ja wirklich diese Abweichung sehen kann. Und wenn man weiß, man macht jetzt beispielsweise jedes Mal eine halbe Sekunde einen Fehler oder eine Viertelsekunde beim Stoppen und dann kann man das halt viel besser einsortieren und kann man auch irgendwie nachvollziehen, warum man dort jetzt also irgendwie doch eine Gerade reinlegen kann, obwohl das gar nicht so aussieht eigentlich, wenn man sich nur die Punkte anguckt.

1690 I: Ja, voll. Und wenn du es quantitativ gemacht hast, wie nutzt du dann das Ergebnis der Messunsicherheit im weiteren Unterrichtsverlauf?

1695 LPO: Was meinst du?

I: Also, wenn du quantitativ gesagt hast, die Reaktionszeit beträgt so und so viel, hast du dann auch im Ergebnis quasi eine Unsicherheit?

LPO: Nee.

1700 I: Nee. Also, das machst du dann an den Werten direkt und sagst dann nicht mit, also, oder das Ergebnis ist dann so und so viel plus minus so und so viel oder so.

LPO: Eher nicht. Also, es ist so eine qualitative Beschreibung, manchmal auch quantitativ, aber du hast jetzt nicht das Ergebnis der Unsicherheit, was du dann irgendwie weiter nutzt oder so. Ja, auch Fehlerfortpflanzung oder so. Eigentlich auch nur qualitativ. Also, vielleicht auch in diesem Beispiel der Zeitmessung, das ist ja nicht der einzige Fehler, aber ich glaube, wir haben ja immer so ein, oder ich mache ganz gerne so ein Fahrradexperiment, wo die dann irgendwie so eine gleichbleibende

1705

1710 Geschwindigkeit fahren müssen und das dann aufnehmen müssen und stoppen
müssen an jeder Stelle und so weiter. Und dann sieht man ja quasi den
Wegzeitverlauf. Und ich glaube, daraus haben wir dann auch mal versucht, die
Geschwindigkeit zu berechnen. Und das wird dann irgendwie ganz komisch, weil
1715 man dann auf gar keinen Fall irgendwie so eine Gerade rausbekommt, dann im TV-
Diagramm oder irgendwas. Und da habe ich zumindest mal angesprochen, dass
man, wenn man jetzt hier mit diesem Fehler weiter rechnet, dass der sich
fortpflanzt. Aber da was genau, also, das würde, glaube ich, auch zumindest an
1715 unserer Schule die Aufnahmekapazität der allermeisten Schülerinnen und Schüler
doch sprengen.

I: Ja. Okay, dann waren das schon alle meine Fragen.

Anhang 2

Relevanzeinschätzung

Thema	Interviewzitat
nicht so relevant für den regulären Schulunterricht	<p>LPA: „(...) weil ich ein bisschen den Eindruck habe, so richtig relevant ist es eigentlich in der Schulphysik nicht.“ (Z.5-6)</p> <p>LPD: „In so einem Mittelstufenkurs (...) sprechen wir da kurz drüber, aber auch nur, dass das existiert.“ (Z.365-367)</p> <p>LPG: „Das halt erst mal genannt wird (...) und man eigentlich nicht tief einsteigt. Also thematisieren schon, aber nicht in der Tiefe, in der Tiefe nicht oft. Wenn überhaupt.“ (Z.741-744)</p> <p>LPL: „Ich finde es wichtig, dass es erwähnt wird im Unterricht (...)“ (Z.1260)</p>
<p>vertiefende und zeitintensive Auseinandersetzung</p> <p>relevant für weiterführende, vertiefende oder außer-curriculare Bildungsangebote</p> <p>Umgang mit Messunsicherheiten wird mit hohem Leistungsniveau assoziiert</p>	<p>LPC: „Und dann braucht man wirklich viel Zeit, um das zu erklären“ (Z. 213)</p> <p>LPC: „(...) mit leistungsstarken Schülern dieses Thema mehr vertiefen können (...)“ (Z. 263-264)</p> <p>LPE: „Und da treten immer wieder sehr große Probleme auf. Also, ja, muss ich glaube ich nicht nie ausführen.“ (Z.485-486)</p> <p>LPG: „Ich merke, dass ich es noch schwierig finde, dem angemessenen Zeit einzuräumen (...)“ (Z.700-701)</p> <p>LPJ: „Bei dann fortführen bis in Leistungskurs oder auch in diesem Experimentierkurs, wo wir halt dann so zu den Wettbewerben gehen, da habe ich das schon versucht, so gut es mir gelang, so viel wie möglich einzubauen.“ (Z.1110-1114)</p> <p>LPA: „(...) in Bezug auf Wettbewerbsvorbereitung und da spielt es wieder ein bisschen mehr eine Rolle als im normalen Schulunterricht, glaube ich.“ (Z. 9-10)</p> <p>LPL: „Und inwiefern man das jetzt rechnerisch durchführt, das hängt dann, finde ich, auch vom Niveau ab.(...) Und? Ob ich jetzt im Gymnasium bin oder an einer Integrierten Sekundarschule zum Beispiel.“ (1260-1266)</p> <p>LPL: „Der [Oberstufenkurs] ist aber relativ leistungsschwach, vor allem mathematisch. Da muss ich gucken, inwiefern ich das da integrieren kann.“ (z. 1292-1294)</p>
Relevanz im Kontext des Rahmenlehrplans und der Bildungsstandards	<p>LPA: „Genau, also seit 2024 stehen die tatsächlich auch in den Bildungsstandards der Sekundarstufe 1 (...)“ (Z. Zeilen 18-20)</p> <p>LPC: „(...) weil wir nach dem Rahmenlehrplan unterrichten, da kommt etwas mit den Fälle der Unsicherheiten, aber es wird nur sozusagen irgendwo geschrieben.“ (Z. 215-218)</p> <p>LPJ: „Sehr wichtig und rahmplanrelevant.“ (Z.1058)</p> <p>LPJ: (...) „im Prinzip die Begriffe, die auch im Rahmenlehrplan stehen (...)“ (Z.1115-1116)</p>
fehlende curriculare Priorisierung	<p>LPC: „Und wir haben leider nicht zu viel Zeit, uns in dieses Thema zu vertiefen, weil wir nach dem Rahmenlehrplan unterrichten, da kommt etwas mit den Fälle der Unsicherheiten, aber es wird nur sozusagen irgendwo geschrieben.“ (Z. 215-218)</p>
Relevant für digitale	<p>LPA: „Also, ich habe jetzt festgestellt, mit der Einführung der</p>

Messwerterfassung	<p>digitalen Messwerterfassung, (...) da wird es (...) mehr zum Tragen kommen.“ (Z. 95-97)</p> <p>LPK: „(...) wir müssen uns wirklich angucken, wenn wir mit digitalen Messgeräten arbeiten, dass diese dann halt ganz andere Anzeigen machen (...)“ (Z.1177-1178)</p>
Relevanz wird unterschieden in Sekundarstufe I eher geringere Bedeutung und Sekundarstufe II hohe Bedeutung	<p>LPC: „Für die Sekundarschule 1 vielleicht, für den Physikunterricht unbedingt ist es nicht sehr notwendig, aber falls diese Schüler später für die Sekundarstufe 2 entscheiden, dann für die Perspektive für die Sekundarstufe 2.“ (Z. 244-247)</p> <p>LPD: „Ja, das hängt natürlich von der Lerngruppe ab. Ich habe jetzt relativ viel Leistungskurs unterrichtet. Da thematisiere ich das (...). In so einem Mittelstufenkurs, also ich sage mal so, achte, neunte Klasse, eher selten.“ (Z. 362-366)</p> <p>LPM: „Also ich mache das in der Oberstufe, da ist es mir wichtig (...)“ (Z. 1396)</p> <p>LPM: „(...) oder so richtig quantitativer angeben von Messunsicherheit, das mache ich tatsächlich nur in der Oberstufe und eigentlich auch mit meinem Profil- und Leistungskurs, da wird da wirklich konsequent drauf geachtet, sonst sind die schon beschäftigt genug, überhaupt mit der quantitativen Form der Physik überhaupt zurecht zu kommen.“ (Z. 1404-1408)</p> <p>LPF: „(...) und dann sprechen wir darüber, wie das sein kann und von welchen Parametern das alles abhängt. Aber tatsächlich tiefer steigen wir dann bisher noch nicht ein. Also in der Mittelstufe jetzt, so 7 bis 10.“ (Z. 674-677)</p> <p>LPL: „Ich finde es wichtig, dass es erwähnt wird im Unterricht. Ich finde es aber nicht unbedingt so wichtig, dieses quantitativ durchzuführen. (...) In der Mittelstufe qualitativ darüber zu sprechen. (...)“ (Z.1260-1262)</p> <p>LPL: „Und dann, wie gesagt, in der Oberstufe da halt eine Fehlereinschätzung machen.“ (Z. 1324)</p>
Wichtigkeit der Kompetenz im Umgang mit Messunsicherheiten	<p>LPB: „Und um die Fragestellung zu beantworten zu können, also um das auszuwerten, die Messdaten, muss man ja die Messunsicherheiten mit einbeziehen. Also ohne geht es nicht. Deshalb, ja, es ist sehr, sehr wichtig.“ (Z. 154-157)</p> <p>LPG: „(...) nach dem Experimentieren (...) merke ich schon, dass es echt sinnvoll ist und sehr wichtig, dass die SchülerInnen da so eine Kompetenz entwickeln, das eigenständig einschätzen zu können.“ (Z. 703-705)</p> <p>LPG: „Oder eben, naja, da kommt jetzt was raus, was sie nicht erwartet haben. (...) Das hat so Diskussionspotenzial anhand dieser Ungereimtheiten.“ (Z. 710-711)</p>
Zentraler Bestandteil des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung	<p>LPE: "Auf der anderen Seite ist es ja auch so, dass sie teilweise Schlüsse aus Daten ziehen. Irgendwie hängt das davon ab oder nicht." (Z. 484-485)</p> <p>LPE: „Aber das ist natürlich wichtig, wenn sie das besser können. Dann können sie auch viel besser selbst Schlüsse ziehen.“ (Z. 487-488)</p> <p>LPI: „Messunsicherheit ist relevant, Weil es den Schülerinnen und Schülern hilft, die Natur der Erkenntnisgewinnung besser zu verstehen (...)“ (Z. 984-985)</p> <p>LPJ: „Und wenn es jetzt im einfachsten Fall irgendeine</p>

	<p>Überprüfung, Hypothesen überprüfend experimentiert wurde, dann nutzen wir es wirklich nur, um dann am Ende den Bogen rund zu machen, wie weit man da jetzt mit seiner Messung das empirisch bestätigen kann oder nicht." (Z. 1142-1146)</p> <p>LPJ: „Und das geht zusammen auch mit dem Rahmenplanbezug, Erkenntnisgewinnungskompetenz.“ (Z. 1067-1068)</p> <p>LPM: „„Also wenn es darum geht, dann eben in der Erkenntnisgewinnung zu arbeiten, gerade wenn es ums Auswerten von Experimenten geht, ist das natürlich sehr wichtig.“ (Z. 1369-1371)</p> <p>LPJ: „(...) immer dann, wenn eine Erkenntnisgewinnungsstunde ist (...)“ (Z. 736-737)</p>
Bestandteil des Kompetenzbereichs Kommunizieren/Bewerten	<p>LPG: „Das hat so Diskussionspotenzial anhand dieser Ungereimtheiten. Man glaubt, viele auch lernen kann durch das Kommunizieren und am Stoff diskutieren. Also ja, wichtig.“ (Z. 710-713)</p> <p>LPM: „Wenn man denn dann Zeit hat (...) kommt eben auch ganz viel darüber hinaus, wie wir die Werte ermittelt haben und dann kann man natürlich auch ganz schön darüber diskutieren, wie man das Experiment noch durchführen könnte, um bessere Werte zu bekommen“ (Z. 1462-1466)</p>
Zentraler Bestandteil der Vermittlung der NoS	<p>LPG: „Und letztlich auch, wenn es in die wissenschaftliche Richtung geht, so ein propädeutisches Konzept da zu haben, ist ja total sinnvoll, weil das ja auch wirklich, geht ja nicht ohne.“ (Z. 729-731)</p> <p>LPI: „Weil es den Schülerinnen und Schülern hilft, die Natur der Erkenntnisgewinnung besser zu verstehen und wissenschaftspropädeutisch eben auch ein größeres Vertrauen aufbauen zu können gegenüber dem Prozess, der uns eben gesellschaftlich antreibt, auch der Wissenschaft.“ (Z. 984-988)</p> <p>LPJ: „ (...) es ist der einzige Punkt eigentlich, wo die Schülerinnen und Schüler (...) dazu kommen, dass (...) Aussagen, also auch die, die sie lernen im Unterricht, halt eben keine Wahrheiten in dem Sinne sind (...). Sondern, dass wir da (...) nur auf unserer empirischen Basis arbeiten (...) dass unsere Messung eben auch nicht immer die Wahrheit ist, wie sie im Buch steht (...)“ (Z. 1079-1085)</p> <p>LPM: „Unsicherheit ist natürlich wunderbar, um die Natur der Physik so ein bisschen klar zu machen.“ (Z. 1460-1461)</p>
Relevanz im Alltag	<p>LPH: „Und auch, dass es eben nicht nur im Physikraum so ist, sondern eben auch außerhalb, in ihrer normalen Lebenswelt. Also ich finde das gar nicht so, ich finde das wirklich ziemlich wichtig.“ (Z. 859-861)</p> <p>LPC: „Es gibt auch im Grundkurs einige Schüler, die Physik besuchen, weil sie das für den Schulabschluss brauchen.“ (Z. 289-290)</p>

Thematisierung im Unterricht

Thema	Interviewzitat
Qualitative Analyse der Unsicherheiten	<p>LPB: „siebte, achte Klasse (...) machen wir das (...) nicht quantitativ, sondern eher qualitativ.“ (Z. 171-172)</p> <p>LPB: „(...) es ergibt sich einfach ein Trend an dieser Geraden, dann ist es wohl eine Proportionalität, aber nicht quantitativ.“ (Z. 189-190)</p> <p>LPC: „Ja, sehr, sehr qualitativ (...)“ (Z. 317)</p> <p>LPD: „In so einem Mittelstufenkurs (...) sprechen wir da kurz drüber, aber auch nur, dass das existiert.“ (Z. 365-367)</p> <p>LPF: „Dass man das nur so ganz grob (...) angegeben hat (...) wenn wir (...) mit dem (...) Messgerät messen, müssen wir berücksichtigen, dass es die und die Genauigkeit angibt, aber das nur genannt und nicht irgendwie angegeben rechnerisch.“ (Z. 682-684)</p> <p>LPL: „Ich finde, es reicht, vor allem in der Mittelstufe qualitativ darüber zu sprechen.“ (Z. 1260-1262)</p> <p>LPL: „Und darüber haben wir dann qualitativ diskutiert.“ (Z. 1290-1291)</p>
Größtfehler-abschätzung	<p>LPJ: „Und wenn es ist ein Ausblick in die (...), Größtfehlerabschätzungen (...), dass sie zumindest ein Handwerkzeug haben, zu unterscheiden zwischen statistischen Schwankungen und denen, was unsere Messgeräte uns vorgeben (...), zumindestens über eine Größtabschätzung, Maximalabschätzung, dass sie da einen Bereich angeben können, in dem sie sich irgendwie bewegen.“ (Z. 1120-1124)</p> <p>LPE: „Und ich betrachte nur die größte Abweichung vom Mittelwert, keine Standardabweichung oder sowas“ (Z. 565-566)</p> <p>LPD: „Ich habe es früher so gelernt, dass man eigentlich Mittelwert-Standard-Abweichung sich anschauen würde. Und jetzt wurde mir schon gesagt, dass da für den Unterricht zumindest andere Modelle bevorzugt werden heutzutage. Also dass man wirklich sozusagen auf den größten, kleinsten Wert guckt. Aber damit habe ich ein bisschen Probleme, tatsächlich.“ (Z. 394-399)</p>
Abgrenzung zu universitären Routinen	<p>LPM: „Also ich mache das in der Oberstufe, da ist es mir wichtig, dass man, also man macht das nicht wie in der Uni, ja mit dem Plus-Minus irgendwas (...)“ (Z. 1396-1397)</p>
Diskussion im Vorhinein	<p>LPJ: „Oder bei der Planung des Experiments schon mal sich Gedanken macht, welche Messgeräte gewählt werden, wie genau wollen wir das eigentlich wissen und so.“ (Z. 1091-1092)</p> <p>LPJ: „Also, was ich schon in Klasse sieben mache, ist, dass sie sich Gedanken vorher machen müssen, welche Messgeräte für welche Messungen geeignet sind. (...) bei der Planung des Experiments (...)“ (Z. 1102-1104)</p> <p>LPH: „Also das ist für mich so ein Messunsicherheit. Also eigentlich ist es vorher darüber nachdenken für mich, was ich erwarte.“ (Z. 882-883)</p> <p>LPH: „(...) ich möchte gerne, dass die Schüler vorher darüber nachdenken. Ja. Wie man an die Sache rangeht.“ (Z. 888-889)</p> <p>LPH: „Es geht im Endeffekt immer darum, dass man sich vorher Gedanken macht und sagt, okay, ich möchte jetzt was wissen und wie genau möchte ich eigentlich was wissen?“ (Z. 955-957)</p>
Diskussion im Nachhinein	<p>LPG: „Und deswegen glauben wir, das Ergebnis ist jetzt ein gutes Ergebnis. Oder eben, naja, da kommt jetzt was raus, was sie nicht erwartet haben. Aber da waren das und das. Also solche Dinge. Das hat so Diskussionspotenzial anhand dieser Ungereimtheiten.“ (Z. 710-713)</p>

	<p>LPG: „Das ist natürlich sehr individuell dann, da gebe ich vorher schon ganz klar die Ansage, dass man sich da, da kommt halt diese Dokumentation während des Versuchs durchführens ins Spiel, dass man da schon Ungereimtheiten, Auffälligkeiten notiert, um dann im Nachhinein da eventuell auch Quellen zu finden für Unsicherheiten.“ (Z. 754-759)</p> <p>LPI: „Also ja, vielleicht lohnt es sich von einem Ergebnis, wo man Messunsicherheiten festgestellt hat, im Anschluss nochmal eben tiefer in diese Materie einzutauchen“ (Z. 1044-1045)</p> <p>LPM: „(...) beziehungsweise oft wird es einfach nur in der Auswertung aufgegriffen. Also wenn dann die Daten ausgewertet werden und es kommt ein Wert raus, der nicht perfekt zur Theorie passt, dann kann man auch mit den SchülerInnen drüber reden (...)“ (Z. 1399-1402)</p>
Separater Teil zur Betrachtung der Messunsicherheit	<p>LPM: „(...) gib nicht zu viele Ziffern an hinten dran, wenn du es nicht weisst, beziehungsweise oft wird es einfach nur in der Auswertung aufgegriffen.“ (Z. 1396-1398)</p> <p>LPN: „Es gibt am Ende von einem Protokoll eine Fehlerbesprechung (...)“ (Z. 1571-1572)</p>
Typische Themen E-Lehre:	<p>Fallbeschleunigung: LPB: „Ja, genau, die Erdbeschleunigung oder der Beschleunigungsfaktor (...) sollte (...) bestimmt werden (...) siebte Klasse mit dem Federkraftmesser (...) die Proportionalität bestimmen.“ (Z. 172-177)</p> <p>LPE: „Das mache ich in zwei Blöcken und darauf greife ich zurück in den folgenden Messungen zu Bewegungsformen. (...) du bestimmst die Erdbeschleunigung und dann steht im Buch 9,81 und du hast irgendwie 11 raus oder so. Und das greife ich dann halt immer wieder auf.“ (Z. 498-502)</p> <p>LPE: „(...) wenn ich zum Beispiel das mit der Fallbeschleunigung, ist immer ein ganz gutes Beispiel, weil da haut echt die Unsicherheit sehr rein, sag ich mal so, ins Endergebnis. Und deswegen nutze ich das als Diskussion, aber teilweise auch, um die Unsicherheit von den Ergebnissen zu bestimmen.“ (Z. 595-598)</p> <p>LPM: „Dann diskutiere ich Messunsicherheiten auch teilweise, also gerade im Leistungskurs (...) bei der Gravitation (...) nur aufgrund unserer Messgenauigkeiten dieses Gravitationsgesetz so angeben können.“ (Z. 1445-1447)</p> <p>Dichtebestimmung: LPM: „(...) wir stimmen die Dichte, wann etwas schwimmt. Wir haben Literaturwert, der ist 1,0 Gramm pro Kubikmillimeter und die Schüler kommen rechnerisch sowas raus wie 0,98.“ (Z. 1452-1453)</p> <p>E-Lehre (Stromstärke, -spannung und Widerstand): LPD: „Also zum Beispiel, ich sage mal eine Widerstandsmessung, wo Stromstärke und Spannung messen und das dann ausrechnen. (...) dann (...) kriegt halt jede Gruppe irgendeinen Wert raus, der theoretisch natürlich bei allen gleich sein sollte.“ (Z. 374-376)</p> <p>LPF: „Also, Schülerexperiment zum Beispiel zur Spannungs- oder Stromstärkemessung einfach in Reihen- und Parallelschaltung. Am Ende der Stunde präsentieren die SchülerInnen dann ihre [unterschiedlichen] Ergebnisse (...) und dann sprechen wir darüber, wie das sein kann und von welchen Parametern das alles abhängt.“ (Z. 667-672)</p> <p>LPL: „Und zum Beispiel hatten wir das in der Strom- und Spannungsmessung. Da haben wir ja gleiche Widerstände verwendet und hatten trotzdem nicht die exakten gleichen Werte raus für die einzelnen Stromstärken zum Beispiel.“ (Z. 1288-1290)</p>

	<p>LPM: „(...) zum Beispiel für jeden Schritt rechne ich den Widerstand aus für ganz viele verschiedene Messungen und es kommen leicht unterschiedliche Werte raus. Dann diskutiere ich mit den Schülern drüber, so bedeutet das jetzt, dass jeder Wert tatsächlich unterschiedlich ist und woran könnte das hier liegen (...)“ (Z. 1432-1435)</p>
Statistische Routinen	<p>LPJ: „(...) Regeln und Verfahren zur Quantifizierung nicht (...) außer (...) statistische Auswertungsverfahren (...) (Z. 1126-1129) Mittelwertbestimmungen, eine Statistik zu treiben und auch vielleicht Standardabweichungen oder sowas zu bilden.“ LPK: „Also Sie müssen uns ein Endergebnis oder einen Mittelwert bieten, wenn es dann darum geht mit der Standardabweichung also sozusagen einen absoluten Fehler darlegen (...)“ (Z. 1228-1229) LPL: „Also, im Grundkurs würde ich vielleicht Mittelwerte noch berechnen lassen. Und dann, wir gucken, wie groß der Abstand, was für eine Spannweite wir vielleicht haben.“ (Z. 1274-1275)</p>
Trendlinie/ Ausgleichskurve	<p>LPA: „Oder also, wie gesagt, also über dieses Ausgleichsgerade oder Ausgleichskurve legen kommt es bei mir eigentlich selten hinaus.“ (Z. 66-67) LPA: „(...) wenn ich da jetzt durch diese Werte meine Ausgleichsparabel durchlegen lasse, naja, dann kriege ich eine ziemlich geringe Abweichung eigentlich von G raus.“ (Z. 117-119) LPB: „Und dann, genau, und dann teilweise, wenn wir Proportionalitäten untersuchen und feststellen, dass die Messwerte nicht genau auf einer Geraden liegen, woran das liegt, ob jetzt trotzdem eine Proportionalität vorliegt oder nicht.“ (Z. 180-182) LPB: „Also wenn wir eine Gerade durchzeichnen können und die Punkte bewegen sich um diese Gerade herum und es ist ein Trend, also es ergibt sich einfach ein Trend an dieser Geraden, dann ist es wohl eine Proportionalität, aber nicht quantitativ.“ (Z. 188-190) LPC: „Sie begründen, normalerweise, die Schüler begründen so, zum Beispiel, alle Punkte liegen nicht auf einer Gerade oder liegen nicht auf einer Parabel, weil insofern bis dahin kann man näherungsweise, weiß es nicht, dieses Modell anwenden“ (Z. 317-320) LPM: „Eine weitere Möglichkeit ist, dass man eine grafische Auswertung macht, dass man Messwerte in ein Koordinatensystem einträgt, eine Ausgleichsgrade legt und es dann wirklich auch als Ausgleichsgrade behandelt“ (Z. 1441-1443) LPL: „Und dann kann man, wenn man mehrere Werte halt sogar noch eine Gerade durchziehen und am Ende noch Steigungen berechnen. Das ist eine Regression eben. Genau, das wären die Tools, die ich verwenden würde.“ (Z. 1328-1330) LPO: „Und vielleicht quantitativer Natur (...) in der achten Klasse oder in der neunten, da sprechen wir auch über Auswertung im Diagramm zum Beispiel und über so eine Ursprungsgerade, die man ziehen könnte, so, mit viel Interpretation.“ (Z. 1673-1675)</p>
Nachkommastellen	<p>LPE: „Also das ist die Grundlage (...), dass Unsicherheit und Messwert in der gleichen Einheit angegeben werden, also (...) gleiche Anzahl Nachkommastellen.“ (Z. 560-561) LPN: „Und wenn ich jetzt eine Spannung auf eine Nachkommastelle mit einem analogen Gerät messe, wird mein Ergebnis nicht zehn Nachkommastellen haben.“ (Z. 1499-1500) LPN: „(...) eine sehr große Menge Nachkommastellen, die werden alle fleißig abgeschrieben. Das ist eine Stelle, wo ich das thematisiere (...)“ (Z. 1524-1526)</p>

	LPN: „(...) in der 11. Klasse (...) hatten wir zum ersten Mal probiert, richtig eine Doppel- oder zwei Doppelstunden zu diesem Thema zu machen, um abzuschätzen, wie viele signifikanten Stellen man angibt und überhaupt, was signifikanten Stellen sind.“ (Z. 1533-1536)
Skalenteil	LPE: „Ich gehe auf ein Skalenteil kein halbes, damit ich diese Nachkommastellen-Geschichte einfach habe.“ (Z. 562) LPE: „Also es gibt erstmal die drei Bestandteile der Messunsicherheit, die man sich vorher überlegen kann. Also erstens, Genauigkeit des Messgerätes. Also mindeste Messungengenauigkeit ist ein Skalenteil, das kleinste Skalenteil.“ (Z. 573-575)

Häufigkeit des Umhangs mit Messunsicherheiten im Physikunterricht:

Thema	Interviewzitat
Regelmäßigkeit	LPA: „Also, wie gesagt, eher selten.(...) vielleicht alle zwei Monate mal.“ (Z. 59-60) LPC: „(...) man schafft dieses Thema überhaupt nicht zu erläutern, überhaupt nicht zu behandeln.“ (Z. 241-242) LPD: „Da [im Leistungskurs] thematisiere ich das, ich sage mal so, bei vielleicht einem Drittel der Experimente, zumindest, dass es die gibt und inwiefern die bei dem jeweiligen Experiment auftreten, wie wir die sehen. In so einem Mittelstufenkurs, also ich sage mal so, achte, neunte Klasse, eher selten.“ (Z. 362-366) LPE: „Demzufolge will ich jetzt daraus ablesen, dass das sehr regelmäßig stattfindet, die Thematisierung im Physikunterricht. Ja, also das gibt immer, wenn wir messen, gibt es so ein Part, wo wir über Ungenauigkeit sprechen (...)“ (Z. 508-511) LPE: „Und dabei kommt dann am Ende raus, dass wir den Messwert immer mit Unsicherheit angeben(...)“ (Z. 559-560) LPG: „Ich würde sagen, regelmäßig, aber nicht allzu häufig.“ (Z. 735) LPJ: „(...) in der Oberstufe dann schon bei jeder Messung eigentlich (...)“ (Z. 1089-1090)

Verwenden des Ergebnisses der Messunsicherheit im weiteren Unterrichtsverlauf

Kategoriebeschreibung	Interviewzitat
Verwendung im weiteren Verlauf garnicht vs als Qualitätsmerkmal der Messung	LPA: „Wie gesagt, eigentlich im Normalfall ja gar nicht.“ (Z. 94) LPE: „Das Ergebnis wird im weiteren Unterrichtsverlauf mit aufgeschrieben und insbesondere auch betrachtet, wenn ich zum Beispiel das mit der Fallbeschleunigung, ist immer ein ganz gutes Beispiel, weil da haut echt die Unsicherheit sehr rein.“ (Z. 595-597) LPD: „Na, wir versuchen schon ein bisschen abzuschätzen, wie gut unser Experiment ist.“ (Z. 420) LPH: „Ich benutze es, indem ich bei den nächsten (...) Messungen (...) nochmal drauf zurückgreife (...) wie genau haben wir damals gemessen (...), wir wiederholen es nochmal visuell und dann versuchen die Schüler, das an der neuen Apparatur besser zu machen (...). Wir sensibilisieren sie vor dem neuen Unterricht (...) wir probieren es wieder aufzurufen.“ (Z. 944-950) LPJ: „Wenn man experimentell gearbeitet hat, dann nutzen wir das um die Qualität der Schlussfolgerung. Also letztendlich (...), um (...) am Ende den Bogen rund zu machen, wie weit man (...) mit seiner Messung das empirisch bestätigen kann oder nicht.“ (Z. 1142-1146)

Anhang 3 Zuordnung der Zitate der Lehrpersonen zu den Diskursen

Interview 1 LPA 26 Jahre, Gymnasium:

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
„... weil ich ein bisschen den Eindruck habe, so richtig relevant ist es eigentlich in der Schulphysik nicht ...“	Prävalenter Diskurs	Sprache deutet auf geringe Wertschätzung hin („nicht relevant“), zeigt mangelnde Einbindung von Unsicherheiten im Unterricht.
„...das letzte Mal habe ich mich damit eigentlich in meinem Studium auseinandergesetzt, glaube ich, und das ist schon ziemlich lange her.“ I“(...) n Bezug auf Wettbewerbsvorbereitung und da spielt es wieder ein bisschen mehr eine Rolle als im normalen Schulunterricht, glaube ich.“ in meinem Studium kam es jetzt nicht, oder in meinem Referendariat kam es irgendwie gar nicht mehr vor, dass man sich darüber ausgetauscht hat.	Prävalenter Diskurs	Messunsicherheiten werden im Schulkontext als wenig relevant betrachtet. Relevanzkontext: weiterführende, vertiefende Bildung Wettbewerbe Keine Vorbereitung im Referendariat auf Vermittlung oder schulische Relevanz des Themas
„... das steht ja auch im Rahmenlehrplan, wo ich dachte, echt, damit kann man, glaube ich, sehr viele KollegInnen überraschen ...“	Prävalenter Diskurs	Überraschung, dass Messunsicherheiten im Lehrplan sind, zeigt, dass dies als weniger integriertes Thema im Unterricht gesehen wird.
das ist so ein Thema, mit dem ich mich auseinandersetzen möchte mehr		Interesse und Relevanz seit Bildungsstandards 2024 (nur bei Fortbildungsteilnehmern)
„Man experimentiert zwar auch mal im Unterricht, aber da ist es ... oft so, dass man sich jetzt gar nicht so in das Experiment so rein vertieft.“	Prävalenter Diskurs	Thematisierung von Unsicherheiten wird mit <i>vertiefender Auseinandersetzung</i> assoziiert
„...warum ist denn jetzt der Wert eigentlich um so und so viel Prozent daneben? Ist das schlimm, wenn der um so und so viel Prozent daneben ist?“	Commognitive Conflict	Abweichung vom Literaturwert und Ursache dafür wird hinterfragt und evtl. auch erwartet aber
„...ich bin am Ende froh, wenn da irgendwie was steht, was da so an den rauskommen soll.“	Prävalenter Diskurs	Konzentration auf erwartetes Ergebnis statt Unsicherheitsbewertung -> experimentelle Aktivitäten im Physikunterricht dienen hauptsächlich der Beobachtung und Konkretisierung der erlernten Theorie
„Wird nicht als Chance gesehen sondern als Problem.“	Prävalenter Diskurs	Abweichungen vom Literaturwert werden als Problem gesehen->

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>„Dass man mal eine Ausgleichskurve zeichnet oder so ... aber jetzt wirklich sich mit Fehlerbalken oder sonst irgendwas auseinanderzusetzen, das ist untypisch.“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>fördert Fehlerverständnis Keine oder kaum visuelle Darstellung von Messunsicherheiten in Form von Fehlerbalken <i>Handlungsroutine: Ausgleichskurve</i></p>
<p>Genau, also seit 2024 stehen die tatsächlich auch in den Bildungsstandards der Sekundarstufe 1, deswegen war das jetzt umso wichtiger, dass wir die Fortbildung starten.</p>		<p>Relevanzkontext: Bildungsstandards</p>
<p>„Für die Wettbewerbsvorbereitung, wo es dann wirklich um das Experimentieren geht, was dann auch eine größere Genauigkeit erwartet ...“</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Unterschiedliche Relevanz der Messgenauigkeit je nach Kontext; in Wettbewerben mehr Fokus auf Unsicherheiten. Mehr Fokus auf MU bei mehr Messgenauigkeit</p>
<p>„...wo die Schüler in sich auch länger mit ihrem Experiment auseinandersetzen und dann wirklich gucken wollen, was kommt da raus, warum kommt das raus, wie groß ist der Fehler, der da rauskommt, nochmal eine andere Natur. Also als, wie gesagt, als jetzt so in dem normalen 90-Minuten-Block, wo man sagt, okay, ich bin am Ende froh, wenn da irgendwie was steht, was da so an den rauskommen soll.</p>	<p>Kanonischer Diskurs prävalenter Diskurs</p>	<p>Natur der Erkenntnisgewinnung in größerem Zeitrahmen und in Wettbewerbsvorbereitung klar dargestellt Gegenüberstellung mit „normale[m] 90-Minuten Block“ aka Schulunterrichtsstunde, die Demonstration der erlernten Theorie dienen soll</p>
<p>Wenn es nicht ganz stimmt, dann fragt man immer nach, warum das wahrscheinlich so ist, was da möglicherweise nicht ganz geklappt hat. Aber es ist ja selten so, dass man jetzt wirklich an was forscht, wo man sagt, oh, stimmt das jetzt wirklich, passt das? Das ist nicht ganz die Realität des Physikunterrichts oftmals, leider.</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Wenn Ergebnis „nicht ganz stimmt“ also vom Literaturwert abweicht und die Unsicherheit nicht betrachtet wird, dann ist die Schlussfolgerung, dass etwas „möglicherweise nicht ganz geklappt hat“ → Vorstellung eines Fehlers und nicht MU als inhärentem Bestandteil von Messwerten/-daten „selten so, dass man jetzt wirklich an was forscht“ keinen Anspruch an Erkenntnisgewinnungs-Kompetenz - „nicht ganz die Realität des Physikunterrichts oftmals, leider.“ Bedauern</p>
<p>Also, wie gesagt, eher selten. Also tatsächlich, ja, wie oft macht man Experimente? Vielleicht, nochmal so, bei mir sind es ungefähr zweimal die Woche, dass ich irgendwas</p>	<p>Prävalenter Diskurs kanonischer Diskurs</p>	<p>Häufigkeit: eher selten, alle zwei Monate keine Handlungsroutine: Fehlerfortpflanzung (aber bekannt)</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>experimentiere. Das dann wirklich mit Messwerten, über die man sich, also wo man sich über die Genauigkeit unterhält. Naja, vielleicht alle zwei Monate mal. Aber jetzt, dass man tatsächlich jetzt überlegt, wie kann man da eine Fehlerfortpflanzung möglicherweise auch messen. Oder also, wie gesagt, also über dieses Ausgleichsgerade oder Ausgleichskurve legen kommt es bei mir eigentlich selten hinaus.</p>		<p>Handlungsroutine: Ausgleichsgerade oder Ausgleichskurve legen</p>
<p>„...die SchülerInnen fragen, wo sie das Gefühl haben, da könnte was vielleicht nicht ganz als exakter Wert rausgekommen sein oder wie exakt Sie jetzt in Ihrem eigenen Experiment denken, dass Sie die Werte bestimmt haben, wo Sie Fehler überhaupt hin verorten. Und dann bin ich ehrlich gesagt schon glücklich, wenn irgendwie so ein paar Sachen genannt werden... etwa so eine Abschätzung“ „...SchülerInnen sich ... ein Messgerät, und dann sagten sie zu mir, ja, ...aber die Genauigkeit des Sensors ist ziemlich hoch.“ Und dann habe ich gedacht, wow, also die haben tatsächlich sich diese Werte scheinbar angeguckt und dann gesagt, also das ist sehr genau, was er hier misst“ „...wenn man sich so ein Datenblatt anschaut ... so ungefragt, so eine Genauigkeit anschaut, die da angegeben wird, die dann meistens mit irgendwie, das weiß ich, 0,1 Prozent oder was auch immer, wo das rauskommt.“</p>	<p>Prävalenter Diskurs kanonischer Diskurs</p>	<p>Ziel einer Messung ist ein „exakter Wert“ eine Abweichung ist auf einen Fehler zurück zu führen „schon glücklich“ bei einfachen Vermutungen oder Annäherungen—→ niederschwellig, beschränkt darauf, dass SuS ein Gefühl für mögliche Fehlerquellen entwickeln SuS erkennen und interpretieren korrekt Angaben zur Genauigkeit (wie „0,1 %“), zeigt Datenkompetenz und Wissen über Messgenauigkeit, das die Lehrkraft positiv überrascht. genauere, datenbasierte Bewertung der Messunsicherheiten als erreichbares Ziel des Physikunterrichts SuS haben eigenständig genaueren, datenbasierten Zugang zu Messunsicherheiten gefunden, der über das rein qualitative Verständnis hinausgeht</p>
<p>„I: Haben Sie denn noch andere Verfahren oder Regeln, mit denen Sie Messunsicherheiten dann bestimmen, also vielleicht sogar quantifizieren, oder wie sieht das aus? A: Nein. I: Genau, und wenn Sie dann ein Ergebnis haben, was eine Messunsicherheit trägt, wie nutzen Sie</p>	<p>Prävalenter Diskurs</p>	<p>Keine Handlungsroutine zur Quantifizierung von Messunsicherheiten</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>das Ergebnis dann im weiteren Unterrichtsverlauf? A: Wie gesagt, eigentlich im Normalfall ja gar nicht.“</p>	Commognitiv er Konflikt	<p>Bei genaueren Messdaten sind trotzdem Schwankungen zu sehen, die mit einem anderen Konzept (nämlich Messunsicherheit anstelle von Messfehlern) erklärt werden müssen digitale Messwerterfassung zeigt in Fehlerfortpflanzung, dass Schuldaten große Messunsicherheiten und Schwankungen aufweisen → in Darstellungsform Fehlerbalken</p>
<p>„ich habe jetzt festgestellt, mit der Einführung der digitalen Messwerterfassung, ...da wird es jetzt auch, glaube ich mal, noch mal mehr zum Tragen kommen.“</p>	Commognitiv er Konflikt	
<p>„...mit so einem digitalen Messwertsensor die Geschwindigkeit .. bestimme, entweder über eine Abstandsmessung oder halt über Videoanalyse, dann bekomme ich ... Werte raus, die so ein bisschen hin und her schwanken.“</p>	Commognitiv er Konflikt	
<p>„Und dann fängt ja aber das Programm dann automatisch an, das weiterzuverarbeiten und die Geschwindigkeit daraus zu berechnen und dann die Beschleunigung daraus zu berechnen. Und dann bekommt man ja teilweise wirklich so totale Zickzack-Linien. Wo man ja, sage ich mal, so eine Fehlerfortpflanzung in Führungszeichen sieht, die man jetzt gar nicht selbst so eingeschätzt hätte. Ich bekomme ja dann plötzlich irgendwie ein G raus, was so ein Fehlerbalken hat.“</p>	Commognitiv er Konflikt	
<p>„...das wäre jetzt was, wo man dann wirklich, wenn man jetzt an so einer Auswertung mit den Schülern arbeitet, schon nochmal mehr drauf eingehen muss. Weil sie dann halt eben auch sowas sehen, was jetzt im normalen Unterricht, wenn ich da jetzt durch diese Werte meine Ausgleichsparabel durchlegen lasse, naja, dann kriege ich eine ziemlich geringe Abweichung eigentlich von G raus.</p>	Commognitiv er Konflikt	
<p>Aber da merke ich eben jetzt gerade, was so diese sehr feinen Messungen angeht, da erwartet man eine höhere Genauigkeit, dann ist man erstaunt über eine weniger hohe Genauigkeit und da ist dann viel mehr Anlass, glaube ich zumindest, das zu thematisieren.</p>	Commognitiv e conflict	<p>Bei genaueren Messdaten sind trotzdem Schwankungen zu sehen, die mit einem anderen Konzept (nämlich Messunsicherheit anstelle von Messfehlern) erklärt werden müssen</p>
<p>Naja, letztendlich würde ich damit jetzt</p>	Commognitiv	2 Konzepte zur Unsicherheit, die

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
alles irgendwie verbinden, was mit fehlerbehafteten Daten zu tun hat. Also ob das jetzt dadurch ist, dass vielleicht im Gerät selbst eben eine Toleranz nur vorhanden ist, mit dessen Genauigkeit das Gerät mit meiner eigenen Ablesegenauigkeit, Ungenauigkeit, mit, ja, also eben solche Genauigkeitssachen. Ja, ich glaube, das wären schon mal so die Hauptfaktoren, die mir so einfallen würden.	e conflict kanonisch: „Genauigkeit“ prävalent: Fehler	im Vordergrund stehen: Messgenauigkeit und „Fehler“
als Physikerin, wenn mir jemand so eine gerade vorlegt und sagt, das habe ich gemessen, dann glaube ich dem nie. Also weil man dann sagt, also die Werte, die können nicht echt sein. Also, ja, vielleicht auch irgendwie das, was echte Werte ausmacht, dass sie immer eine gewisse Ungenauigkeit haben. Und wir ja eigentlich versuchen, uns sozusagen da theoretischen Werten anzunähern, dass wir, ja, mehr oder weniger gut schaffen.	Kanonisch prävalent	„perfekte Werte“ sind unrealistisch „echte Werte“ haben Unsicherheit als Bestandteil inbegriffen -> Reproduktion der erlernten Theorie, keine Erkenntnisgewinnung im autopoietischen /immanenten Sinne

Interview 2 W, 13 Jahre, Gymnasium

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
„Um die Fragestellung zu beantworten zu können ... muss man ja die Messunsicherheiten mit einbeziehen. Also ohne geht es nicht. Deshalb, ja, es ist sehr, sehr wichtig.“	Kanonischer Diskurs	Verständnis der Messunsicherheit als essenziellen Bestandteil der Datenauswertung.
„... also so umgangssprachlich geht es darum, dass wir eine bestimmte Beschränkung haben aufgrund unserer Messgeräte ...“	Kanonischer Diskurs	Beschreibung von Messunsicherheit als Einschränkung durch Geräte und Verfahren Handlungsroutine qualitative Auswertung Messgerät
„Ich habe jetzt eine Aufgabe ... zur Erdanziehungskraft ... und dann haben wir darüber diskutiert, warum denn da verschiedene Werte ermittelt wurden ...“	Kanonischer Diskurs	Thematisierung der Ursachen unterschiedlicher Messergebnisse als Teil des Unterrichts.
Und im Messen selbst, das unterliegt ja auch statistischen Schwankungen nicht quantitativ, sondern eher qualitativ.	Kanonischer Diskurs	Messungen unterliegen statistischen Schwankungen Handlungsroutine qualitative Auswertung

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
ob das jetzt ein echter Unterschied ist	Kanonischer Diskurs	Übereinstimmung im Rahmen der Messunsicherheiten, Ergebnis als Spanne
Proportionalität vorliegt oder nicht	Kanonischer Diskurs	Tendenz ermitteln statt Reproduktion von theoretischem Wert
„Siebte Klasse, so Pi mal Daumen ...“ „eine richtige Regel nicht...siebte, achte Klasse nicht“	Prävalenter Diskurs	Kein systematisches Verfahren zur Unsicherheitsbestimmung in der Mittelstufe. Handlungsroutine qualitative Auswertung Abschätzung
„In der Oberstufe ... da dann auch quantitativ, dass wir uns die Messungssicherheiten für die einzelnen Messungen überlegen ...“	Kanonischer Diskurs	Quantitative Thematisierung von Unsicherheiten in höheren Klassenstufen.

Interview 3 LPC 5 Jahre, Gesamtschule.:

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
wie die Daten dargestellt werden können, welche Ableitung, Ableitungskurve oder Ableitungsgrade ich zeichnen oder die Schule zeichnen können. nach dem Rahmenlehrplan... irgendwo geschrieben. dass ich vielleicht doch schon im 8. Jahrgang mit meiner Schule das ausprobieren, damit wir später nur das nochmal wiederholen oder uns erinnern oder uns vertiefen. man schafft dieses Thema überhaupt nicht zu erläutern, überhaupt nicht zu behandeln. In der Sek 2, dann ist das schon sehr wichtig, ja.		Handlungsroutine Ableitungskurve oder Ableitungsgrade Rahmenlehrplan „irgendwo“ geringe Relevanzwahrnehmung Sekundarstufe 1 Häufigkeit: sehr selten/ Garnicht Sekundarstufe 1 Relevanz sehr wichtig Sek 2
„... in der Sek 2 sehr oft, bei jeder Gerade, die wir zeichnen.“	Kanonischer Diskurs	Häufige Thematisierung in der Oberstufe; Bezug zur Unsicherheit beim Erstellen von Diagrammen.
„wenn ich ein Experiment durchführe, um ein bestimmtes Modell zu verwenden“	Prävalenter Diskurs	Point paradigm,: Beobachtung und Konkretisierung der erlernten Theorie
„In welchen Phasen ist es wirklich eine gleichförmige Bewegung? In	Kanonischer Diskurs	Set paradigm: Tendenz ermitteln statt Reproduktion

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
welchen Phasen ist es beschleunigte oder verzögerte Bewegung?“		von theoretischem Wert, Erkenntnisgewinnung, Modelleignung prüfen
viele schwache Schüler		Höheres Niveau mit MU assoziiert Wahrgenommene Schwächen der SuS
„Und dann braucht man wirklich viel Zeit, um das zu erklären“ „mit leistungsstarken Schülern dieses Thema mehr vertiefen können“		Höheres Niveau und Zeitaufwand mit MU assoziiert und vertiefte Auseinandersetzung nötig
„Wie groß ist die Abweichung, ja, zum Beispiel von einem Modell, um dieses Modell anzuwenden? ... Es gibt Theorie und es gibt die Messungen, ja. Und nicht alle Messungen können, ... das Problem, von der Theorie würde ich so sagen, kann man nicht sofort diese Messungen anpassen. Das bedeutet, muss man zuerst die Messungen erarbeiten, um zu verstehen, ob dieses Modell passt oder nicht passt. Und wie groß ist die Abweichung für ein bestimmtes Modell? Die Rahmen für das Modell, ja, so verstehe ich.	kanonischer Diskurs	Messunsicherheiten als integraler Bestandteile der wissenschaftlichen Methodik dienen dazu Grenzen und Anwendungsbereiche eines Modells zu validieren→ methodisches Werkzeug zur Bewertung eines Modells Validierungsprozess: Unsicherheiten dienen wissenschaftlicher Aussagekraft Messdaten nicht einfach an theoretische Annahmen anpassen Prozess des Messens zeigt die Aussagekraft des Modells und bestimmt, wie gut es zur Erklärung eines Phänomens taugt. eigenständige, kritische Betrachtung beider Elemente
	commognitive conflict	Sprachliche Unsicherheit und Anpassungsdenken: Spannung zwischen der wissenschaftlich orientierten Haltung und dem üblichen schulischen Vorgehen, bei dem Messwerte häufig so interpretiert werden, dass sie möglichst die Theorie bestätigen ohne sich zu tief auf die Quantifizierung von Messunsicherheiten einzulassen
immer kurz gemacht	Kanonisch und Prävalent	Immer→ inhärenter Bestandteil kurz→ kein tiefgehendes konzeptuelles Verständnis
„Es gibt auch im Grundkurs einige Schüler, die Physik besuchen, weil sie das für den Schulabschluss brauchen“	Prävalenter Diskurs	Nicht relevant für Alltag?

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>„dann gebe ich einfach die Formel für die Abweichung, ja, und dann müssen sie dann sozusagen den Messfälle mathematisch lösen. Ob sie das inhaltlich richtig verstehen, bin ich nicht sicher, ja. Ich denke, es geht nur darum, richtig Mathematik anzuwenden, eine Zahl bekommen und das ist der Punkt, ja. Was diese Zahl bedeuten können, ist für mehrere Schüler, gehe ich davon aus, unklar ist, ja.“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Mathematische Berechnung fast unabhängig von konzeptionellem Verständnis</p> <p>mathematische Handlungsroutine</p> <p>zusammenhangslos von Konzeptverständnis</p> <p>es wird davon ausgegangen, dass kein Konzeptverständnis vorhanden ist (Wahrgenommene Relevanz) – mathematische Relevanz</p>
<p>„Spannbreite zu definieren, ja, und plus, minus.“</p> <p>„I: Ja, Mittelwert und plus, minus, ja. So einfach Sie berechnen, ja. I: Das heißt, also Spannweite ist dann das Kriterium, was die Messunsicherheit definiert. A: Ja, genau.“</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Spannbreite des Ergebnisses, Verwendung des Symbols/Ausdrucksweise plusminus</p> <p>Mathematische Berechnung fast unabhängig von konzeptionellem Verständnis</p>
<p>„Ja, diese quadratische Abweichung gebe ich noch nicht, der Standardabweichung. Das bedeutet, Sie können manchmal die Wurzeln noch nicht richtig berechnen“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Geringes mathematisches Niveau der Schüler führt zu vereinfachten Methoden zur Unsicherheitsbestimmung.</p>
<p>„...wir berechnen das, stellen fest, ist die Abweichung groß oder nicht, thematisieren nur ein bisschen,“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Oberflächliche, qualitative Diskussion der Abweichungen</p> <p>Konzentration auf das grobe Verständnis anstelle systematischer Quantifizierung und Analyse</p>
<p>„was kannst du sozusagen zu dieser Abweichung führen“</p> <p>„Ja, sehr, sehr qualitativ“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Qualitativ</p> <p>Handlungsroutine, darüber sprechen um Größe der Differenz zu besprechen</p> <p>Beobachtung und Konkretisierung der erlernten Theorie</p>
<p>weil insofern bis dahin kann man näherungsweise, weiß es nicht, dieses Modell anwenden bestimmten Wert vielleicht ein anderes Modell anwenden, so, ja, und dann sagen, weil die Abweichung zu groß ist, ja, oder so ungefähr.</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Messunsicherheiten als integraler Bestandteile der wissenschaftlichen Methodik dienen dazu Grenzen und Anwendungsbereiche eines Modells zu validieren→ methodisches Werkzeug zur Bewertung eines Modells</p>

Interview 4 LPD 6 Jahre, Gymnasium

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
„Ich finde Messungssicherheiten spannend und wichtig und habe im Unterricht irgendwie wenig Gelegenheiten, darüber zu sprechen.“	Prävalenter Diskurs	Mangel an Gelegenheiten zur Vertiefung von Messunsicherheiten im Unterricht Relevant aus (Eigen)Interesse
„Auf einer Skala würde ich sagen von eins bis zehn. Zehn sehr wichtig, würde ich sagen sechs. Und ich finde es wichtig, dass die Schüler und Schülerinnen verstehen, dass es das gibt.“	Kanonischer Diskurs	Relevant 6/10 Verständnis der Messunsicherheit als inhärenter Bestandteil, der kritisch reflektiert werden muss.
„... also dass es nicht sozusagen diesen einen wahren Wert gibt ... und dass das alles fehlerbehaftet ist und dass man das alles kritisch hinterfragen muss, was man da so misst.“	Kanonischer Diskurs	Anerkennung der Unsicherheit als notwendige Annäherung an den „wahren Wert“, den es evtl nicht gibt Verständnis der Messunsicherheit als inhärenter Bestandteil, der kritisch reflektiert werden muss → Kritisches Denken
„Also dieses Konzept, was dahintersteckt. Und auch, dass es, also früher hat man ja immer gesagt, das ist ein Messfehler, aber das ist ja kein Messfehler. Das ist ja einfach da. Aber es ist nicht falsch.“	Kanonischer Diskurs	Verständnis der Notwendigkeit einer Veränderung der konzeptionellen Wahrnehmung von Messunsicherheit als inhärenten Bestandteil und nicht als „Fehler“
relativ viel Leistungskurs unterrichtet. Da thematisiere ich das, ich sage mal so, bei vielleicht einem Drittel der Experimente, In so einem Mittelstufenkurs, also ich sage mal so, achte, neunte Klasse, eher selten. wenn es sich anbietet	prävalent	Häufigkeit: bei einem Drittel der Experimente Sek2 Häufigkeit: eher selten Häufigkeit: wenn es sich anbietet
ganz viele gleichartige Messwerte in der Lerngruppe sammeln können, dann sprechen wir da kurz drüber, aber auch nur, dass das existiert.	Prävalent und kanonisch	Qualitative Auswertung der Grundsätzlichen Existenz von Messfehlern (JH) Konzept: Vergleichbarkeit der Daten
„...streichen vielleicht die Werte raus, wo offensichtlich irgendwas falsch gelaufen ist“ „... also abzüglich der offensichtlichen	Kanonischer Diskurs	Unterscheidung zwischen echten „Fehlern“, die passieren können und

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
Messfehler, also die dann wirklich sozusagen falsche Messungen“		Unsicherheiten
„ das ist ganz normal, das sind Messunsicherheiten. Wir können den wahren Wert gar nicht genau bestimmen, weil unsere Messgeräte Ungenauigkeiten aufweisen oder unsere Messungen Ungenauigkeiten aufweisen. Also sobald wir irgendwann Zeit messen, ist es natürlich klar, jeder hat eine andere Reaktionszeit. Das verstehen die Schüler und Schülerinnen eigentlich auch ganz gut.	Kanonischer Diskurs	Anerkennung der Unsicherheit als notwendige Annäherung an den „wahren Wert“ Immanent Messgerät systematische und zufällige Fehlerabschätzungen Intervallverständnis und Quantifizierung
Und wenn die Lerngruppe ein bisschen fitter ist, dann sprechen wir auch mal darüber, wie groß man so einen Intervall da angeben könnte.“		
„gucken sozusagen die Spannweite der Daten an“		
„Ich habe es früher so gelernt, dass man eigentlich Mittelwert-Standard-Abweichung sich anschauen würde. Und jetzt wurde mir schon gesagt, dass da für den Unterricht zumindest andere Modelle bevorzugt werden heutzutage. Also dass man wirklich sozusagen auf den größten, kleinsten Wert guckt. Aber damit habe ich ein bisschen Probleme, tatsächlich.“	Kanonischer Diskurs	Handlungsroutine Spannweite der Daten anschauen Handlungsroutine Standardabweichung Größtfehlerabschätzung noch nicht als Handlungsroutine etabliert
„Ich habe mit so einer achten, neunten Klasse noch keine Standardabweichung berechnet. Das ist ja mathematisch einfach nicht drin.“	Prävalenter Diskurs	Geringes mathematisches Niveau der Schüler führt zu vereinfachten Methoden zur Unsicherheitsbestimmung.
„Wenn ich das mache, dann thematisiere ich eben das, also ich habe es einmal thematisiert, das Minimum-Maximum als Spannweite, dass das ja je mehr Messungen man macht, theoretisch umso größer wird. Aber ich versuche eigentlich sozusagen immer beizubringen, dass eine Messung ist schön und gut, aber eigentlich müssen wir Messungen wiederholen, um einen zuverlässigen Wert zu erhalten.“	Kanonischer Diskurs	Spannweite als Größtfehlerabschätzung Messwiederholungen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit erhöhte Anzahl an Messungen führt zu präziseren Ergebnissen „eigentlich immer“ → sehr häufig → inbegriffen in Messungen Präzision steigt mit zunehmenden Messungen Handlungsroutine Standardabweichung Unsicherheitsintervall verringert sich.
"Und da kann man dann, also ohne jetzt auf die Formel einzugehen, irgendwie sagen, dass da irgendwo ein Durch-N oder Durch-Wurzel-N drinsteht, so eine Standardabweichung."		
"Und deswegen sozusagen dieses Intervall kleiner wird."		
"Aber das ist dann schon, das ist dann schon,	Prävalenter	Hinweis auf den

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
da muss die Lerngruppe schon auch wirklich gut mitziehen."	Diskurs	Schwierigkeitsgrad und die Anforderungen an die Lerngruppe lässt vermuten, dass tiefergehendes wissenschaftliches Konzept meist nicht erreicht wird
"Na, wir versuchen schon ein bisschen abzuschätzen, wie gut unser Experiment ist." "Um ein bisschen einschätzen zu können, ob das, was wir da gemacht haben, Sinn macht."	Prävalenter Diskurs	allgemeine qualitative Bewertung der Ergebnisse und deren Plausibilität
"Und wir sagen immer so, also wenn man jetzt zum Beispiel irgendeinen Literaturwert bestimmen möchte, oder einen Wert, der aus der Literatur bekannt ist, dass so 10, 15 Prozent Abweichungen okay sind. Damit können wir gut leben."	Prävalenter Diskurs	Berechnung des relativen Fehlers und Vergleich mit einem Benchmark (in der Regel 5 % oder 10 %), um den Erfolg des Experiments zu bewerten.
"Und wenn es jetzt mehr ist oder deutlich mehr ist, dann denken wir noch mal nach, ob wir irgendwo irgendwas falsch gemacht haben oder irgendwas nicht berücksichtigt haben oder vielleicht das Modell, was wir benutzt haben, nicht so valide ist."	Kanonischer Diskurs	kritisches Überprüfen des Modells und möglicher Einflussfaktoren Messunsicherheit als Qualitätsmerkmal der Daten
"Aber also wir rechnen damit nicht weiter oder sowas."	Prävalenter Diskurs	Verzicht auf systematische Berechnungen nur qualitative Bewertung
"Also wenn wir zum Beispiel rauskriegen, dass irgendwie der Messwert und die Abweichungen in der gleichen Größenordnung sind, dann möchte ich vermitteln, dass man diesen Messwert dann eben zumindest mit Vorsicht genießen muss."	Kanonischer Diskurs	kritischer Umgang mit Messwerten Beachtung der Größenordnung der Abweichung im Verhältnis zum Messwert Unsicherheit als Beurteilungsfaktor
"Also es geht ein bisschen darum zu vermitteln, dass man halt diesen Wert kritisch sich anschaut. Und dann das Experiment kritisch anschaut."	Kanonischer Diskurs	pädagogische Orientierung hin zur wissenschaftlichen Praxis
"Unter Messunsicherheit verstehe ich alle Einflüsse, die sozusagen ein Experiment oder das Ergebnis eines Experiments, das ist jetzt doof gesprochen, aber beeinflussen, im Sinne von, dass der Messwert in irgendeine Richtung geschoben wird."	Prävalenter Diskurs	Präsentiert eher Vorstellung, bei der Fehler als Abweichungen vom „richtigen“ Wert verstanden werden
"Oder es muss nicht unbedingt in eine Richtung geschoben werden, aber das, wie ich schon sagte, zum Beispiel bei einer Zeitmessung natürlich irgendwie in der Reaktionszeit mit beachtet werden muss, dass	kanonischer Diskurs	Messunsicherheiten nicht nur zufällig oder als Korrekturwert, sondern durch Eigenschaften des Messgeräts Unsicherheiten

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
so Messgeräte vielleicht eine Trägheit haben oder irgendeinen Bias in irgendeine Richtung."		als inhärente Merkmale des Messprozesses
"Und dass ich damit am Ende eben einen Wert rauskriege, der von dem wahren Wert oder von dem echten Wert eben abweicht."	Prävalenter Diskurs, Übergang kanonischer Diskurs	Vorstellung eines „wahren Wertes“ aber Messungen immer Bandbreite von möglichen Werten
"Was auf jeden Fall immer mitkommen muss, ist, dass es eben sein muss, dass es da sein muss, dass niemand, also ich weiß nicht, wenn die jetzt irgendein Experiment mit irgendjemandem machen und der sagt, hier, der Wert ist 5, dass sie dann wissen, nee, der Wert ist vielleicht in der Nähe von 5, aber niemand kann mir einen genauen Wert tragen."	Kanonischer Diskurs	kein absolut „genauer“ Wert existiert, sondern nur Annäherungen Messungen immer mit Unsicherheiten behaftet können „wahren“ Wert nicht darstellen
"Das ist das, was ich den Schülern versuche mitzugeben und was ich auch selber irgendwie immer, wie ich das verstehe."	Kanonischer Diskurs	Konzept von Messunsicherheiten als Teil des Messprozesses

Interview 5 LPE 15 Jahre, Oberstufenzentrum, Fachoberschule

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
„Man macht ja in Physik glücklicherweise viele Experimente ... da misst man Sachen. Und dann kommen andere Sachen raus, als im Physikbuch stehen. Und dann sind die Schüler mindestens irritiert oder enttäuscht. Und denken, sie haben was falsch gemacht.“	Kanonischer Diskurs	Anerkennung der Abweichung als natürliche Messunsicherheit im Gegensatz zu „Fehler“
„Dass man damit umgeht und ihnen sagt, dass sie überhaupt nicht falsch gemessen haben. Das finde ich total wichtig“	Kanonischer Diskurs	Bedeutung der Thematisierung von Messunsicherheiten in Abgrenzung zu Fehlern hat hohe Relevanz
"Auf der anderen Seite ist es ja auch so, dass sie teilweise Schlüsse aus Daten ziehen. Irgendwie hängt das davon ab oder nicht." "Aber das ist natürlich wichtig, wenn sie das besser können. Dann können sie auch viel besser selbst Schlüsse ziehen."	Kanonischer Diskurs	Messunsicherheit als Maß für Qualität der Messung kritisches Denken und Interpretation von Messdaten in Verbindung mit Unsicherheiten und Erkenntnisgewinnung
"Und da treten immer wieder sehr große Probleme auf. Also, ja, muss ich glaube ich nicht nie ausführen."	Prävalenter Diskurs	Schwierigkeiten der SuS mit Abweichungen „nicht nie ausführen“ hoher Schwierigkeitsgrad und

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Und müssen nicht dann denken, ja, okay, ich habe jetzt irgendwie rausgekriegt, dass es abhängt. Aber mein Physiklehrer sagt nicht, naja, wird schon so sein. Das will man ja vermeiden."	kanonischer Diskurs	Zeitaufwand mit MU assoziiert SuS sollen nicht nur „glauben“, was LK sagt, sondern durch den Umgang mit Messunsicherheiten selbst zur Erkenntnis gelangen
„quasi in allen Oberstufenklassen, also in den 11. und in den Fachoberschulklassen, am Anfang direkt machen. Also, ich bin auch, ich entwickle auch gerade das schulinterne Curriculum für die Fachoberschulklassen.“		Hohe Relevanz für Oberstufe und da auch direkt am Anfang, da es grundlegend ist, aber nicht in Sek 1?
„Ich habe das jetzt so gelöst, dass ich quasi zwei Blöcke zum Thema Definition von Messgrößen und wie man eine Messgenauigkeit bestimmt ...“	Kanonischer Diskurs	Systematische Thematisierung der Messunsicherheit, Definition und Genauigkeit
„Und das greife ich dann halt immer wieder auf...vor allen Dingen auch ... Quellen für Messungenauigkeit. Also, wie geeignet ist das Messverfahren, das Messgerät? Habe ich irgendwelche anderen Unsicherheitsfaktoren, die da mit reinspielen? Und wie drückt sich das in meinem Ergebnis aus? Ist alles in Ordnung mit meiner Messung? Kann ich da zufrieden sein? Oder muss ich an irgendeiner Stelle nochmal gucken, ob irgendwas schiefgelaufen ist? Das sieht man ja dann, wenn man die Unsicherheit mit in Betracht zieht. Demzufolge will ich jetzt daraus ablesen, dass das sehr regelmäßig stattfindet, die Thematisierung im Physikunterricht. Ja, also das gibt immer, wenn wir messen, gibt es so ein Part, wo wir über Ungenauigkeit sprechen, dann mehr oder weniger. Also es ist eher klein, aber dadurch, dass man das einmal eingeübt hat, kann man das ja dann immer wieder aufgreifen.“	Kanonischer Diskurs	Messunsicherheit als unvermeidbarer Bestandteil von Messdaten und Gütekriterium der Messung auf deren Basis Schlüsse und Entscheidungen getroffen werden systematische Betrachtung der Unsicherheitsquellen kritische Reflexion Häufigkeit: sehr regelmäßig Handlungsroutine: immer wieder aufgreifen
„Das ist eine grundlegende Eigenschaft von Messungen, die beschreibt das Intervall, in dem ich meiner Messung vertrauen kann. Oder ich sage immer zu meinen Schülern, wofür würdet ihr die Hand ins Feuer legen? ... Aber es ist auf jeden Fall eine zugrunde liegende Eigenschaft von Messungen, die einerseits durch die Genauigkeit des Messgerätes, durch Eignung des Messgerätes und auch des Messverfahrens einfach entsteht. Man kann nicht unendlich genau messen. Und die	Kanonischer Diskurs	Messunsicherheit als <i>Eigenschaft</i> von Messdaten und Gütekriterium der Messung auf deren Basis Schlüsse und Entscheidungen getroffen werden

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>Unsicherheit beschreibt eben, wie genau ich messen kann.“</p> <p>Genau, also ich starte damit, dass ich die Schüler die Länge einer Banane messen lasse. ... Ich habe verschiedene Messgeräte... [u]nd dann...habe ich dann sehr viele verschiedene Messwerte... Da gibt es auch verschiedene Vorgehensweisen...dann, ja, wie lang ist denn jetzt die Banane? Und dann kommen wir halt darauf, dass wir erstens die Messgröße definieren müssen. Und selbst wenn ... kommen trotzdem unterschiedliche Werte raus. Und dann kommen wir darauf, ich kann nicht sagen, die Banane ist 12,8 Zentimeter lang von Ende zu Ende, sondern ich kann nur sagen, sie ist 12,8 Zentimeter lang plus minus, was weiß ich, 0,5 Zentimeter oder so was. Das heißt, ich muss die Messgröße definieren, ich muss die Ungenauigkeit mit angeben, weil erst dann habe ich überhaupt eine Aussage, mit der ich was anfangen kann. Und spätestens wenn es darum geht, Messwerte zu vergleichen, brauche ich die Unsicherheit. Das ist einfach so. Das erklärt auch gleich die Nötigkeit, Mehrfach-messungen durchzuführen, damit ich eine Streuung sehen kann. Das erklärt auch, dass ich auf dem Messprotokoll eine Skizze einfüge... und dass ich mein Messverfahren beschreibe... Also das ist die Grundlage. Und dabei kommt dann am Ende raus, dass wir den Messwert immer mit Unsicherheit angeben, dass Unsicherheit und Messwert in der gleichen Einheit angegeben werden, also in dieser Plus-Minus-Schreibweise gleiche Einheit und gleiche Anzahl Nachkommastellen. Ich gehe auf ein Skalenteil kein halbes, damit ich diese Nachkommastellen-Geschichte einfach habe....Und ich betrachte nur die größte Abweichung vom Mittelwert, keine Standardabweichung oder sowas.</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Systematische Einführung in das Konzept der Messunsicherheit mit Methodenbeschreibung</p> <p>Definition der Messgröße</p> <p>Einflüsse auf die Messunsicherheit:</p> <p>Messgerät, statistische Schwankungen, Mehrfachmessungen</p> <p>Messunsicherheit muss im Ergebnis mit angegeben werden</p> <p>Vergleich von Messergebnissen nur in Zusammenhang mit Unsicherheit möglich, Gütekriterium für Messung</p> <p>Handlungsroutine: Messprotokoll, Skizzen, Messwerte mit Unsicherheitsintervall</p> <p>Plus-Minus-Schreibweise gleiche Einheit und gleiche Anzahl Nachkommastellen</p> <p>Handlungsroutine: ein Skalenteil kein halbes Vereinfachung der „Nachkommastellen-Geschichte“ größte Abweichung vom Mittelwert Größtfehlerabschätzung</p>
„Da geht es auch immer wieder vor allem um Quellen für Messungenauigkeit.“	Kanonischer Diskurs	Betonung der Identifikation von Unsicherheitsquellen
„Das erklärt auch gleich die Nötigkeit, Mehrfachmessungen durchzuführen, damit ich eine Streuung sehen kann.“	Kanonischer Diskurs	Wert auf statistische Methoden wie Mehrfachmessungen und Streuung
"Also es gibt erstmal die drei Bestandteile der Messunsicherheit, die man sich vorher	Kanonischer Diskurs	Systematische Beschreibung der

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
überlegen kann. Also erstens, Genauigkeit des Messgerätes. (...) Das zweite ist die Definition der Messgröße. (...) Und das dritte ist das Messverfahren."	Kanonischer Diskurs	Komponenten der Messunsicherheit (Messgerät, Messgröße, Messverfahren) Messunsicherheiten als inhärente Bestandteile des Messprozesses und analytisch erfasst Betrachtung der Streuung Hinterfragen bei auffälligen Abweichungen -> wissenschaftliche
"Und was ich aber auch immer mit betrachte, ist die Streuung im Sinne der kurzen Abweichung vom Mittelwert. Wenn das nicht zusammenpasst, (...) dann muss ich nochmal gucken, was da los ist."	Kanonischer Diskurs	Herangehensweise, kritische Reflexion von Messunsicherheiten Verständnis von Messwerten als Bereiche anstelle von festen Werten Messunsicherheit als fester Bestandteil des
"Das Ergebnis wird im weiteren Unterrichtsverlauf mit aufgeschrieben und insbesondere auch betrachtet, wenn ich zum Beispiel das mit der Fallbeschleunigung, ist immer ein ganz gutes Beispiel, weil da haut echt die Unsicherheit sehr rein."	kanonischer Diskurs	Ergebnisses dargestellt und bewusst in Unterricht eingebunden Unsicherheiten als Teil der wissenschaftlichen Praxis jedoch ohne explizite Quantifizierung Anpassung der Inhalte an Vorkenntnisse der SuS vereinfachte Fehlerrechnung Messunsicherheit vereinfacht dargestellt, um sie zugänglicher zu machen
"Ich habe jetzt gerade das Gefühl gehabt, ich habe die überfordert, (...) das ist ja eine sehr einfache Näherung eigentlich, haben wir so eine Art Mini-Fehlerrechnung gemacht, um wirklich die Unsicherheit des Ergebnisses zu bestimmen."	Prävalenter Diskurs	Messunsicherheiten werden genutzt, um einen Bereich zu definieren, in dem die Ergebnisse als „passend“ gelten Messwerte nicht als absolute Größen
"Genau, die Messungssicherheit der einzelnen Messwerte werden betrachtet, wenn ich einen Vergleichswert mit meinem Ergebnis vergleichen möchte, damit ich weiß, in was für einem Intervall ich da noch eine Passung habe oder nicht."	Kanonischer Diskurs	Messunsicherheiten werden genutzt, um einen Bereich zu definieren, in dem die Ergebnisse als „passend“ gelten Messwerte nicht als absolute Größen
"Fehlerfortpflanzung ist ja ein nettes Wort, aber eigentlich versuchen wir ja Fehler zu vermeiden. (...) Man kann einfach den terminologischen Begriff Fehler dann rausnehmen und dann passt das schon."	kanonischer Diskurs	Bemühen, Begriffe aus dem kanonischen Diskurs (Fehlerfortpflanzung) zu nutzen, hinterfragt Begrifflichkeit „Fehler“, um den SuS die Vorstellung von Messunsicherheiten

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Messunsicherheit in Fortpflanzung? Das ist ein sperriges Wort auf jeden Fall."	Prävalenter Diskurs	ohne negative Konnotation zu vermitteln Ablehnung der Terminologie „Messunsicherheit in Fortpflanzung“ pragmatische Haltung Begriffe zu verwenden, die für die SuS einfacher zu verstehen sind vereinfachte Erklärungen

Interview 6 LPF 4 Jahre, Gymnasium

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Also ich finde, es ist auf jeden Fall sehr relevant, dass die SchülerInnen verstehen, dass Gesetzmäßigkeiten gelten, auch wenn ihre Werte teilweise davon abweichen (...)"	Kanonischer Diskurs	Betonung der Konstanz physikalischer Gesetzmäßigkeiten trotz Abweichungen in Messwerten.
„... dass sie auch nachvollziehen können, wie es sein kann, dass elf Gruppen das gleiche Experiment durchführen, andere Messwerte haben und trotzdem zum gleichen physikalischen Ergebnis kommen.“	Kanonischer Diskurs	Verständnis der Messunsicherheit als natürliche Abweichung zwischen Messwerten
„... dass es nicht einen Wert gibt, sondern ein Delta von möglichen Ergebnissen.“	Kanonischer Diskurs	Vermittlung des Konzepts eines Bereichs (Delta) für die Ergebnisse
"Ich thematisiere das, wenn ich experimentiere, einmal, also in der Stunde auf jeden Fall. Leider nur sehr oberflächlich."	Prävalenter Diskurs	oberflächliche Thematisierung tiefere Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten fehlt oft
"Als Physikerin muss man jetzt ja eigentlich eine fundierte Definition haben."	Kanonischer Diskurs	Selbstreflexion über Notwendigkeit einer fundierten Definition Bewusstsein für wissenschaftliche Genauigkeit
"Ich habe jetzt keine ausgeklügelte Definition, aber Abweichung der Messgröße in einem bestimmten Messbereich aufgrund von der Nutzung verschiedener Messgeräte und ja, deren Skalen oder Größeneinheiten."	kanonischer Diskurs	Definition von Unsicherheit bezogen auf technische Unsicherheitsquellen (Messgeräte, Skalen)
"Und dann vergleichen wir das, was rauskommen soll und wollen dann aus den	Prävalenter Diskurs	Ziel ist die Darstellung einer Gesetzmäßigkeit,

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
Ergebnissen, sage ich mal, eine Gesetzmäßigkeit darstellen (...)"		Vergleichbarkeit mit theoretischen Werten wird thematisiert, ohne Angabe zur MU
"(...) und dann gibt es mehrere Gruppen, die [Unterschiedliches messen] und dann sprechen wir darüber, wie das sein kann und von welchen Parametern das alles abhängt."	kanonischer Diskurs	Thematisierung der Varianz in Messwerten und Diskussion möglicher Einflussfaktoren auf das Ergebnis, jedoch bleibt die Analyse qualitativ.
"Aber tatsächlich tiefer steigen wir dann bisher noch nicht ein. Also in der Mittelstufe jetzt, so 7 bis 10."	Prävalenter Diskurs	Begrenzung der Thematisierung von Unsicherheiten auf oberflächliche Diskussionen; tiefere Auseinandersetzung und Quantifizierung bleiben aus Relevanzkontext Sek 1
„I: Gibt es denn klassische Verfahren und Regeln zur Bestimmung von Mess- und Sicherheiten? Also vor allem im Hinblick auf Quantifizierung? A: Bisher gar nicht. Tatsächlich, weil das nicht offiziell im Lehrplan steht, ist das bei uns bisher so ein bisschen unten durchgefallen, sage ich mal. Dass man das nur so ganz grob, sage ich mal, angegeben hat, ja, wenn wir jetzt mit dem und dem Messgerät messen, müssen wir berücksichtigen, dass es die und die Genauigkeit angibt, aber das nur genannt und nicht irgendwie angegeben rechnerisch.“	Prävalenter Diskurs	Keine Quantifizierung, Überwiegend qualitative Beschreibung von Unsicherheitseinflüssen (Messgerät) Relevanzkontext Lehrplan

Interview 7 LPG 5 Jahre, Gymnasium

(Reflexion im Nachhinein zu „Auffälligkeiten und Ungenauigkeiten im Experimentierprozess)

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Ich merke, dass ich es noch schwierig finde, dem angemessenen Zeit einzuräumen, weil es ja eben erst kommt, so Rahmenlehrplan, so habt ihr auch erwähnt."	Prävalenter Diskurs	Begrenzte Einbindung von Messunsicherheiten aufgrund fehlender curricularer Priorisierung
"Aber nach dem Experimentieren in so Sicherungsphasen und auch überhaupt, was mir dann zu Fragen begegnen, beim Ergebnisse festhalten, merke ich schon,	kanonischer Diskurs	Bewusstsein für die Relevanz der SuS-kompetenz im „eigenständigen“ Umgang mit Messunsicherheiten und

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>dass es echt sinnvoll ist und sehr wichtig, dass die SchülerInnen da so eine Kompetenz entwickeln, das eigenständig einschätzen zu können."</p>	kanonischer Diskurs	reflektierten Einschätzung „ was mir dann zu Fragen begegnen“
<p>"Und im Großen, mir gefällt auch dieser Ansatz, dass man es nicht nur auf so ein mathematisches Rezept runterbricht, sondern auch wirklich allumfassend reflektiert."</p>	kanonischer Diskurs	über reine mathematische Analyse hinausgehen und ganzheitliche Reflexion fördern
<p>"Weil das sind auch die Dinge, die im Unterricht dann gut funktionieren und auch alle mitholen, wo man dann wirklich konkret, logisch begründen kann. Und deswegen glauben wir, das Ergebnis ist jetzt ein gutes Ergebnis. Oder eben, naja, da kommt jetzt was raus, was sie nicht erwartet haben. Aber da waren das und das."</p>	Prävalenter Diskurs	Schwerpunkt auf qualitativer Diskussion von Ergebnissen im Vergleich mit erwartetem Wert und äußerlichen Einflüssen auf die Messungen
<p>"Das hat so Diskussionspotenzial anhand dieser Ungereimtheiten. Man glaubt, viele auch lernen kann durch das Kommunizieren und am Stoff diskutieren. Also ja, wichtig."</p>	kanonischer Diskurs	Diskussionsbasierter Ansatz, der auf Verständnis und Kommunikation setzt Diskussion im Nachhinein wegen „Ungereimtheiten“ keine Routine MU vorher einzuschätzen
<p>"Also erstmal, klappt vieles im Physikunterricht auch nicht, wenn man jetzt so das betrachtet, dass man irgendwo einen Erwartungswert hat und auch wirklich mit schulischen Bedingungen. Allein schon ist es immer sehr oft von vornherein mit großer Unsicherheit behaftet. Und dann kommt noch das Experimentieren dazu von jemandem, der das zum ersten Mal macht. Und das muss man ja auffangen. Sonst gibt es auch wirklich so einen Demotivationsschub mit es klappt ja alles irgendwie nicht und wir liegen ja daneben."</p>	Prävalenter Diskurs	Vorstellung eines wahren Werts oder zumindest disbelieve in Möglichkeit in der Schule überhaupt zu „messen“ Vorstellung dass menschlicher „Fehler“/Einfluss in der Schule sehr groß ist → offensichtlich vor skalenteil? SuS nicht das Gefühl geben, dass es an ihnen liegt Ziel ist es Erwarteten Wert zu treffen und nicht Erkenntnisse aus dem Experimentierprozess zu ziehen
<p>"Und irgendwie alles doch, ja, das ist, glaube ich, auch wirklich für den Lernprozess, ist in sich inhaltlich auch wichtig, dass man dann das annehmen kann, dass es schon trotzdem Sinn ergibt, was wir lernen, auch wenn jetzt nicht perfekt das Ergebnis reproduzieren können."</p>	Prävalenter Diskurs	Beobachtung, Konkretisierung / Reproduktion der erlernten Theorie, keine Erkenntnisgewinnung im autopoietischen /immanenten Sinne
<p>"Ja, und da wir wirklich im</p>		Experimentieren als sehr

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
Physikunterricht, das oberste Kredo gilt ja immer, so viel experimentieren wie möglich, so viele SchülerInnen das machen lassen. Ja, also das ist, glaube ich, der Grund."		wichtiger Teil des Physikunterrichts
"Und letztlich auch, wenn es in die wissenschaftliche Richtung geht, so ein probedeutendes Konzept da zu haben, ist ja total sinnvoll, weil das ja auch wirklich, geht ja nicht ohne."	kanonischer Diskurs	Entwicklung eines propädeutischen Konzepts, als unvermeidbare Grundlage für wissenschaftliche Kontexte
„Ich würde sagen, regelmäßig, aber nicht allzu häufig[...] und vor allem auch nicht so sehr in der Tiefe.“.	Prävalenter Diskurs	Oberflächliche Thematisierung von Messunsicherheiten Fehlende Tiefe bei der Vermittlung
"Ich glaube, das liegt natürlich vor allem daran, dass ich noch nie ganz fundiert ein Konzept eingeführt habe."	Prävalenter Diskurs	Bewusstsein für die fehlende systematische Einführung eines fundierten Konzepts
"Man führt es an der Oberstufe, habe ich es jetzt eher mal systematisch eingeführt. Aber ich merke, dass es schon in Physik das ist, dass man dann immer wieder bei der gleichen Ebene ist."	kanonischer Diskurs	Relevanzkonzept: Oberstufe systematischere Einführung man fällt auf Grundlage aus Sek 1 zurück
"Das halt erst mal genannt wird, ja, wir konnten nicht genau den Abstand messen, wir konnten die Zeit nicht genau stoppen und man eigentlich nicht tief einsteigt. Also thematisieren schon, aber nicht in der Tiefe, in der Tiefe nicht oft. Wenn überhaupt."	Prävalenter Diskurs	oberflächliche Ebene Messunsicherheiten vor allem qualitative und „Fehlerbasis“ ohne Quantifizierung
"Also gibt es auch Jahrgänge, wo es dann, also ich glaube, achte Klasse, da ist E-Lehre bei uns ganz vielen. Ich glaube, da kann auch wirklich sein, dass überhaupt nicht wirklich angesprochen wird."	Prävalenter Diskurs	Messunsicherheiten werden in bestimmten Jahrgängen nicht thematisiert
"Das Häufigste, was ich mache, ist natürlich dann beim Protokollieren... da lege ich auch immer am meisten Wert auf die Auswertung und innerhalb der Auswertung ist ein ganz großer Block die Reflexion, die Ergebnisse, die Einschätzung, die Beurteilung und da kommen dann nämlich Messunsicherheiten ins Spiel."	Übergang zum kanonischen Diskurs	Relevant bei der Einschätzung der Ergebnisse Thematisierung eher qualitativ und ohne Quantifizierung Betrachtung im Nachhinein
"Das ist natürlich sehr individuell dann, da gebe ich vorher schon ganz klar die Ansage, dass man sich da, da kommt halt diese Dokumentation während des	Prävalenter Diskurs	Betonung auf individuelle Dokumentation von Auffälligkeiten während des Versuchs, ohne technische oder

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>Versuchs durchführens ins Spiel, dass man da schon Ungereimtheiten, Auffälligkeiten notiert, um dann im Nachhinein da eventuell auch Quellen zu finden für Unsicherheiten."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>statistische Aspekte der Unsicherheit zu betrachten fördert „Fehlerverständnis“ bzw. Fokussiert Unsicherheitsquelle Mensch Diskussion im Nachhinein wegen „Auffälligkeiten“ keine Routine MU vorher einzuschätzen</p>
<p>"Das war, glaube ich, so das häufigste, wie ich es gemacht habe, also parallel zu dem normalen Stoff und das dann natürlich auch stark thematisieren. Ja, das war so, glaube ich."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>erfolgt als paralleler Bestandteil des Unterrichts</p>
<p>"Nee, in der SEC 1 noch nicht [keine speziellen Verfahren oder Regeln], habe ich nicht wirklich gemacht, außer, dass wir, nee, also nicht, nein, in der Oberstufe habe ich mich an dem Gumm orientiert mit zum Beispiel dann die größte Abweichung vom Mittelwert, soll mein Standardabweichung sein und sowas habe ich da eingeführt am Anfang, muss aber zugeben,[...] ich habe es nicht durchgezogen [...] da könnte man auf jeden Fall auch, gerade in der Oberstufe sicher mehr verlangen, aber muss ich zugeben, da bin ich einfach jetzt gerade noch nicht da gewesen, weil einfach alles andere dann die Zeit eingenommen hat, das ist sowieso schon der Stoff."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Verfahren zur Bestimmung von Messunsicherheiten in der Sekundarstufe I fehlen. Ansätze zur Einführung in der Oberstufe (größte Abweichung als Standardabweichung) vorhanden Messunsicherheiten als separates Thema oder Teil der Auswertung, Reflexion (Verbesserung des experimentellen Ablaufs), nicht teil von Messdaten und Messergebnis Zeitmangel als Grund für fehlende Vertiefung in den Diskurs (separates „zusätzliches“ Thema → Widerspiegelung im RLP checken)</p>
<p>"Naja, also du hast meistens Ergebnisse, die dann verglichen werden mit der Theorie, jetzt das lang, längerfristig dann benutzt wird, das ist eher unüblich, weil die Themen schon so blockweise, im Idealfall man hat zwar das Oberthema, aber es geht so, geht jetzt weiter, nächsten Block mit was Neuem, so ähnlich geschlossenem, dass es dann wirklich so durchgehend über mehrere Wochen ein Ergebnis und das suchst du, das so projektmäßig, ist jetzt bei mir im Unterricht weniger, das wäre eher, denke ich, bei so Kursen wie Wahlpflichtunterricht, Physik der Fall,</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Erkenntnisgewinnungsprozess und „richtiges Forschen“ eher projektmäßig/ Wahlpflichtunterricht und nicht im normalen Unterricht dort Vergleich mit theoretischen Werten keine langfristige Nutzung von Ergebnissen über mehrere Unterrichtsblöcke hinweg Messunsicherheiten nicht als integraler Bestandteil des Unterrichts</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
gerade bei uns, natürlich bei den Experimentierkursen, die mache ich gerade nicht, also beim klassischen Unterricht, würde ich jetzt sagen, dass das nicht so häufig der Fall ist, dass man das dann, also mal über zwei Blöcke hinweg oder drei wenn man an dem Versuch, jetzt ein größeres Experiment ist, ja, aber so weiterführend eher wenig."	Übergang zum kanonischen Diskurs	Verständnis von Messunsicherheiten als Bereich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zeigt Ansätze des kanonischen Diskurses ohne konkrete methodische Verfahren und Vorstellung eines „wahren Wertes“

Interview 8 LPH 6 Jahre, ISS

(vorherige, Alltagsbezogene Einschätzung der erwarteten Genauigkeit)

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Na, ja, das ist eine gute Frage. Man müsste es jetzt in Verhältnis setzen zu anderen Dingen. irgendwie, aber ich finde es schon ziemlich wichtig"	Prävalenter Diskurs	In Verhältnis relativiert die Aussage über Wichtigkeit schon ziemlich wichtig Schwerpunkt auf alltagsbezogenem
"Weil man geht mal auf die Waage, dann hat man 85 Kilo und dann zehn Sekunden später hat man 85,5. Und dann ist die Frage, warum ist das? Und die Kinder glauben ja immer genau das, was da steht. Also diese Unsicherheit, dass die Schüler so ein bisschen das Gefühl kriegen, welche Genauigkeit kann ich eigentlich von verschiedenen Geräten erwarten?"	Prävalenter Diskurs	Veranschaulicht Unsicherheiten anhand von Alltagsbeispielen Förderung eines Gefühls für Messgenauigkeit ohne mathematische Analyse Fokus auf praktischem Verständnis statt formaler Erfassung von Messunsicherheiten
„Dass die Schüler das Gefühl kriegen, welche Genauigkeit kann ich eigentlich von verschiedenen Geräten erwarten?“	Kanonischer Diskurs	Bewusstsein für die Genauigkeit und Verlässlichkeit von Messinstrumenten
"Wir machen ganz viel Alltagsphysik, weil wir sind eine ISS (...) und bei uns geht es eher darum, den Schülern wirklich im Alltag weiterzuhelfen (...). Oder Wiederholungsgenauigkeiten, was auch immer. Was kann ich eigentlich erwarten?"	Prävalenter Diskurs	Anwendung im Alltag betont Unterschwellige Erziehung zur Abschätzung von Genauigkeiten ohne formale Quantifizierung Wiederholungsgenauigkeit spielt auf Statistische Schwankungen

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>"Also wenn wir mal Versuche machen, dann ist es ganz oft so, dass die Schüler dann immer wieder nachfragen (...) ist ja nicht das gleiche Ergebnis. Aber eigentlich ist es ja das gleiche Ergebnis. Und dass man sie daher da immer wieder sozusagen mit so einem Konzept darauf trimpt, dass es doch das Gleiche ist (...)."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>an? Ermutigt Schüler, kleine Abweichungen als akzeptabel zu betrachten „Eigentlich das gleiche Ergebnis“ → Studie verinnerlichtes Konzept der Messunsicherheit</p>
<p>„Und auch, dass es eben nicht nur im Physikraum so ist, sondern eben auch außerhalb, in ihrer normalen Lebenswelt“</p>	kanonischer Diskurs	<p>Bezug zu NoS und Messunsicherheiten im Alltag und der Wissenschaft</p>
<p>"Eigentlich versuche ich es bei jedem Versuch, den ich mache, wo ein Messergebnis rauskommt. (...) habe mich jetzt 25 Jahre in der Industrie eben genau mit allen möglichen Messinstrumenten entsprechend damit beschäftigt (...) welche Genauigkeit kann ich eigentlich erwarten."</p>	kanonischer Diskurs	<p>Inhärenter Bestandteil eines Messergebnisses Genauigkeitsüberlegungen fehlende systematische Vermittlung an SuS Vorabüberlegung der erwarteten Genauigkeit</p>
<p>„...wenn jemand ein Häuschen baut, welche Messunsicherheit oder welche Genauigkeit muss ich eigentlich an den Tag legen, wenn ich so Steine lege, nach und nach als Maurer, muss es auf einen Millimeter genau sein oder reicht ein Drei Millimeter oder reicht auch ein Zentimeter. Ich glaube, das ist schon wichtig, wenn man bei der Arbeit darüber nachdenkt. Weil sonst muss man hinterher nachbessern und das kostet immer mehr Geld“</p>		<p>Alltagsbeispiel und Relevanz für eine „Fehlerfortpflanzung“ Abschätzung im Vorhinein welche Genauigkeit für Projekt relevant ist</p>
<p>"Oh weia, Definition Messunsicherheit. (...) Es ist für mich eine Kombination aus, welche Voraussetzungen schaffe ich, um mein Ergebnis zu messen? (...) was hat denn die Apparatur, mit der ich das benutze eigentlich für eine Möglichkeit, genau das Ergebnis herauszubringen? (...) Also eigentlich ist es vorher darüber nachdenken (...). Das ist eine Messunsicherheit. So ein Bauchgefühl dafür zu bekommen (...)."</p>	Übergang zum kanonischen Diskurs	<p>"Bauchgefühl" als Ziel eines verinnerlichten Verständnis von Messunsicherheit Fehlen einer präzisen Herangehensweise Bedingungen und Geräte als technische Faktoren der Unsicherheit (Einfluss der Skalengenauigkeit)</p>
<p>"Ja. Also zum Beispiel, wenn Sie eine Körperwaage nehmen wollen (...) und Sie wollen aber eigentlich backen, dann können Sie keine 200 Gramm damit abwiegen. (...) Ich möchte gerne, dass die</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Alltagsbeispiel, praktische Anwendung von Messunsicherheiten Kein Bezug zu formalen statistischen Methoden</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
Schüler vorher darüber nachdenken. (...)"		SuS sollen lernen, Messunsicherheiten in Alltagssituationen abzuschätzen
"(...) wir führen ja den Kraftmesser ein als erstes Messinstrument, womit man sozusagen überhaupt Kräfte misst. (...) der eine guckt ein bisschen schief, der andere guckt von oben nach, guckt von unten. (...) erzeugt absichtlich schon falsche Ergebnisse, also unterschiedliche."		Betonung auf Variabilität im Ablesen und Erzeugung von Diskussionspunkten Kein Hinweis auf quantitative Analyse
"Temperaturmessungen zum Beispiel, da ist es ja genauso, mit so einer Skala am Ablesen."		sprachlicher Konflikt falsche Ergebnisse vs. Unterschiedliche Ergebnisse
"Also hauptsächlich probiere ich (...) mit den Schülern zu gucken, dass sie immer wieder auf die gleiche Art und Weise anders messen und mit herangehen. (...) Dass man einfach immer die gleichen Voraussetzungen schafft."	Prävalenter Diskurs	Fokus auf Einfluss von Beobachtungsfehlern Wiederholungsmessung zum Erreichen einer „Wiederholungsgenauigkeit“, nicht zur statistischen Fehlerbetrachtung Förderung des Verständnisses von Wiederholbarkeit und Genauigkeit zur Unsicherheitsminimierung ohne Unsicherheitsquantifizierung
„Also jetzt wirklich quantifizierungstechnisch, (...) ich zeige dir dann eigentlich, dass eben [durch diesen] Eichstrich quasi (...) einfach auch eine Wiederholungsgenauigkeit da ist, zumindestens für diese kleinen Dinge, die ich dann da mache. Aber eigentlich mehr mache ich eigentlich momentan noch gar nicht."		
"Nee, ich habe, genau, weil wir eben nur Schüler haben, ISS. (...) Ich brauche damit gar nicht erst rumrechnen. Die haben mit Mathematik schon so viele Schwierigkeiten (...). Ich kann nur so ein Bauchgefühl weitergeben, (...) das Ergebnis auch einigermaßen stimmen. (...) Mit Prozenten machen wir das manchmal (...)."	Prävalenter Diskurs	Verzicht auf mathematische Beschreibung von MU zugunsten eines intuitiven Verständnisses Erwähnung von Prozentangaben als Handlungsroutine für quantitative Auseinandersetzung auf einfachem Niveau
„Ich benutze es, indem ich sozusagen bei den nächsten Mal Messungen immer nochmal drauf zurückgreife (...) denkt nochmal drüber nach, wie genau haben wir damals gemessen, (...) dann sehen Sie ein nach ja genau das, da muss man genau hingucken. (...) sensibilisieren sie vor dem neuen Unterricht (...)."	Kanonischer Diskurs	Rückgriff auf vergangene Ergebnisse und Konsolidierung von Unsicherheitskonzepten
"Es geht im Endeffekt immer darum, dass man sich vorher Gedanken macht und sagt, okay, ich möchte jetzt was wissen	Prävalenter Diskurs	Förderung eines praktischen Verständnisses von Genauigkeit und Relevanz der

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
und wie genau möchte ich eigentlich was wissen? (...) Ist es jetzt wirklich wichtig für mich, dass ich weiß, auf Gramm genau, wie viel ich wiege oder reicht es, wenn es auf 300 Gramm genau ist?"		Messgenauigkeit, ohne tiefere mathematische Analysen SuS sollen lernen, eine intuitive Einschätzung der Genauigkeit zu entwickeln
"Wir haben keine Folgefehler oder irgendwelche Dinge, dass wir sowas nicht machen. Dafür ist sozusagen der Physikunterricht zu einfach."	Prävalenter Diskurs	Verzicht auf vertiefte Fehleranalyse und komplexe Folgeuntersuchungen

Interview 9 LPI 1,5 Jahre, Gymnasium

Findet Thema sehr wichtig und möchte systematische Analyse und Strukturierung des Themas, bewegt sich aber eher im prävalenten Diskurs (Faktoren, die Messung verfälschen können)

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Ja, ich erachte das Thema schon als sehr wichtig in der Physik. (...) Und da eine innere Struktur zu haben, also sich überhaupt auszukennen, was gibt es für Messfehler? Ja, auch das ganze Material, mit dem man arbeitet, das eben dann durchleuchten zu können mit verschiedenen Kategorien."	Prävalenter und Kanonischer Diskurs	Verwendung des Keywords „Messfehler“ systematische Analyse, Kategorisierung und Strukturierung unterschiedlicher Messfehler
"Messunsicherheit ist relevant, Weil es den Schülerinnen und Schülern hilft, die Natur der Erkenntnisgewinnung besser zu verstehen und wissenschaftspropädeutisch eben auch ein größeres Vertrauen aufbauen zu können gegenüber dem Prozess, der uns eben gesellschaftlich antreibt, auch der Wissenschaft"	Kanonischer Diskurs	Verständnis von Messunsicherheit als Schlüssel zur Erkenntnisgewinnung und wissenschaftlichen Reflexion Erziehung zu mündigem Teil der Gesellschaft
"Aber innerhalb Stunden oder Reihen, wo ich einen Augenmerk und Fokus auf die Erkenntnisgewinnung setze, versuche ich es schon in Stunden, wo ich den ganzen Blockauswertungen behandle, mit einzubauen."	Übergang zum kanonischen Diskurs	Thematisierung erfolgt mit Kompetenzziel Erkenntnisgewinnung punktuell in Zusammenhang mit Auswertungsstunden
"Messunsicherheiten sind jegliche Faktoren, die ein Messergebnis verfälschen können (...)."	Prävalenter Diskurs	Vorstellung eines wahren Werts und MU als Abweichung oder Verfälschung des wahren Werts
"Also es ging dann eher darum, die SchülerInnen über das Material dazu	Prävalenter Diskurs	Behandlung erfolgt im Zusammenhang mit

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
anzuregen, über bestimmte Faktoren nachzudenken, die eben zu einem fälschlichen Ergebnis führen konnten. (...) wurde dann in der Sicherung ausgewertet."		Auswertung Einfache Anregung zur Reflexion und Diskussion über Messfehler Messunsicherheit wird als Erklärung für „falsches Ergebnis“ genutzt Experimente dienen Reproduktion der erlernten Theorie
"Gut, ich würde wahrscheinlich den SchülerInnen erstmal bewusst machen, was es alles so für Messunsicherheiten geben kann. Diese verschiedenen Kategorien aufmachen (...)."	Kanonischer Diskurs	Geplante Einführung in die Vielfalt der Messunsicherheiten und deren Kategorisierung, was das Verständnis für die Breite des Themas fördert. Absicht Thema über mehrere Unterrichtsblöcke zu behandeln zur Wiederholung und Festigung
"Das Ergebnis der Messunsicherheit im weiteren Unterrichtsverlauf, Ja, gut, da gibt es ja sehr vielfältige Möglichkeiten, (...) über ein paar Blöcke behandelt werden, damit das Wissen sich festigt bei den Schülern (...)."	Prävalenter Diskurs	eher allgemeinen Erwähnung ohne Quantifizierung und Einschätzung der Qualität oder Vergleichbarkeit der Messergebnisse Diskussion im Nachhinein
„Also ja, vielleicht lohnt es sich von einem Ergebnis, wo man Messunsicherheiten festgestellt hat, (...) tiefer in diese Materie einzutauchen (...).“		„lohnt sich“ wegen Feststellung von großen Messunsicherheiten (fördert Fehlerverständnis) keine Routine MU vorher einzuschätzen

Interview 10 LPJ 10 Jahre, Gymnasium

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
„Sehr wichtig und rahmplanrelevant.“	Kanonischer Diskurs	Anerkennung der Relevanz von Messunsicherheiten im RLP
"Messunsicherheiten sind für mich sehr wichtig und rahmenlehrplanrelevant. (...) das experimentelle Arbeiten, das machen vielleicht noch andere in irgendeiner Form. Aber diesen Schwerpunkt auch wirklich auf sowohl qualitative und quantitative Datenerhebung und die Methodik, das ist schon relativ speziell."	Kanonischer Diskurs	Betont die Relevanz von Messunsicherheiten für Erkenntnisgewinnung Qualitative und quantitative Datenerhebung als zentrale Elemente

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>"Das geht zusammen auch mit dem Rahmenplanbezug, Erkenntnisgewinnungskompetenz. (...) wenn man nicht irgendwie ein Konzept darüber hat, wie genau meine Messung ist und was ich damit aussagen kann. Die Aussagekraft, ja, auch die Verallgemeinerung von Aussagen (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Verknüpft Messunsicherheiten mit Anforderungen des Rahmenplans und Erkenntnisgewinnungskompetenz Aussagekraft der Daten an Messunsicherheit gebunden</p>
<p>"Dann brauche ich darüber danach irgendwie eine Erkenntnis darüber, was ich damit jetzt anfangen kann und wie sicher ich mit dessen bin."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Bewertung von Messdaten zur Einschätzung der Verlässlichkeit</p>
<p>"Es ist (...) der einzige Punkt eigentlich, wo die Schülerinnen und Schüler dann mal auch dazu kommen, dass vielleicht diese Aussagen (...) keine Wahrheiten in dem Sinne sind (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>erkenntnistheoretische Perspektive Ergebnisse sind keine absoluten Wahrheiten NoS und Unsicherheit von Ergebnissen</p>
<p>"Das in jedem Fach, aber wir haben jetzt als Physiker da auch wieder mal die Chance, eben darauf auch deutlich zu machen, dass (...) unsere Messung eben auch nicht immer die Wahrheit ist, wie sie im Buch steht (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Stärkt die Position, dass Messungen und ihre Unsicherheiten den SuS die Natur der empirischen Wissenschaft verdeutlichen zeigt, dass physikalische Erkenntnisse auf empirischen Messungen basieren, die inhärente Unsicherheit haben</p>
<p>"Ich würde sagen, zunehmend mit dem Alter häufiger in der Oberstufe dann schon bei jeder Messung eigentlich, dass es irgendwie in irgendeiner Form angesprochen wird (...) Oder bei der Planung des Experiments schon mal sich Gedanken macht, welche Messgeräte gewählt werden, wie genau wollen wir das eigentlich wissen und so."</p>	Übergang kanonischer Diskurs	<p>Relevanzkontext Oberstufe Häufigkeit: „bei jeder Messung eigentlich“ Messunsicherheiten werden eher qualitativ betrachtet tiefere empirische Betrachtung fehlt Abschätzung im Vorhinein welche Genauigkeit für geplante Messung relevant ist wissenschaftliche Herangehensweise</p>
<p>"Also, was ich schon in Klasse sieben mache, ist, dass sie sich Gedanken vorher machen müssen, welche Messgeräte für welche Messungen geeignet sind (...)."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Implizite Abschätzung der Messunsicherheit im Vorhinein für Auswahl der Messgeräte und deren Genauigkeit</p>
<p>"Bei dann fortführen bis in Leistungskurs oder auch in diesem Experimentierkurs, wo wir halt dann so zu den Wettbewerben gehen, da habe ich das schon versucht, so gut es mir gelang, so viel wie</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Relevanzkontext: Oberstufe Thematik wird vertieft und es werden quantitative Methoden wie Regression und Größtfehlerabschätzungen eingebaut Relevanzkontext: weiterführende, vertiefende Bildung Wettbewerbe</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>möglich einzubauen. Und wenn es ist ein Ausblick in die grafische, also Regression, Größtfehlerabschätzungen (...)." "Und die, was mache ich immer noch, im Prinzip die Begriffe, die auch im Rahmenlehrplan stehen, die geklärt werden müssen. (...) systematische Unsicherheit steht, glaube ich, sogar drin oder systematischer Fehler (...)." "So, und dann komme ich sogar bis zur Angabe von Vertrauensbereichen in der Oberstufe. Also zumindestens über eine Größtabschätzung, Maximalabschätzung, dass sie da einen Bereich angeben können, in dem sie sich irgendwie bewegen." "Nee, (...) außer, (...) statistische Auswertungsverfahren natürlich, dann aber nicht wirklich so, dass sie die Verfahren beherrschen, aber sehr wohl die Technik nutzen. Also, ich sage mal, Mittelwertbestimmungen, eine Statistik zu treiben (...)." "Ja, das heißt also auch, dort in Richtung zu gehen, wie stark zum Beispiel eine Messung jetzt von einer Linearität abweicht, also R^2 in diese Richtung, das ist aber dann nur Statistik. Ja, das ist jetzt nicht wirklich in dem Sinne so Messunsicherheit (...)." "Wenn man experimentell gearbeitet hat, dann nutzen wir das Ergebnis der Messunsicherheit um die Qualität der Schlussfolgerung. (...)" "Und wenn es jetzt im einfachsten Fall irgendeine Überprüfung, Hypothesen überprüfend experimentiert wurde, dann nutzen wir es wirklich nur, um dann am Ende den Bogen rund zu machen, wie weit man da jetzt mit seiner Messung das empirisch bestätigen kann oder nicht."</p>	Kanonischer Diskurs	Begriffe und Konzepte des Rahmenlehrplans grobe, zufällige und Systematische Fehler unterscheiden (RLP, 2004, S.21)
	Kanonischer Diskurs	Anwendung und Angabe von Vertrauensbereichen, Handlungsroutine: Größt(fehler)abschätzung
	Prävalenter Diskurs	Handlungsroutine: Fokus auf grundlegende statistische Verfahren wie Mittelwert und Standardabweichung ohne tiefere methodische Anwendung
	Prävalenter Diskurs	Anwendung statistischer Methoden wie R^2 zur Beurteilung der Daten, jedoch ohne vollständige Einbindung in ein umfassendes Konzept der Messunsicherheit
	kanonischer Diskurs	Messunsicherheit zur Bewertung der Experimentqualität, jedoch eher als ergänzende Reflexion und nicht als zentraler methodischer Bestandteil
	kanonischer Diskurs	Messergebnis mit Messunsicherheit wird zum empirischen Vergleich mit behandelte Theorie genutzt Messunsicherheit als Maß zur Einschätzung der Qualität der Daten Hypothesenprüfung statt Reproduktion von theoretischem Wert, Erkenntnisgewinnung,

Interview 11 LPK 17 Jahre, Oberstufenzentrum

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>"Das ist das Wichtigste überhaupt. Also das ist das, womit wir auch anfangen. (...) Dass sie sorgfältig erstmal lernen, was mache ich da eigentlich? (...) Und das geht auch bei uns ins Praktikum."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Betonung der grundlegenden Bedeutung von Messunsicherheiten inhärenter Bestandteil systematische Einführung in die Grundlagen der Messunsicherheit und Präzision im praktischen Unterricht</p>
<p>"Wie genau kann ich mit meinem Messgerät, was ich zur Verfügung habe, überhaupt messen? Das heißt, es geht um Präzision (...). Tatsächlich in der Mikrotechnologie ja, um Präzision, aber auch um ganz einfach wir schätzen nicht, wir messen, was ist eigentlich messen?"</p>	Kanonischer Diskurs	<p>grundlegende Frage nach der Definition des „Messens“ und der Fähigkeit von Messgeräten, präzise und zuverlässig zu messen</p>
<p>"Wir bekommen auch immer mehr zum Beispiel Messwerte, wo die Standardabweichung größer ist als die Messgenauigkeit (...), wo man dann sagt, das Gerät ist eigentlich gar nicht mehr geeignet für die Messung. Also in diese Richtung geht das."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Grenzen von Messgeräten bei hohen Unsicherheiten und die Eignung von Geräten für bestimmte Messungen Messgeräte im Schulkontext weisen hohe Ungenauigkeiten auf Umgang mit Messunsicherheit verlangt Einschätzungsvermögen für Statistische Schwankungen und Messgenauigkeit</p>
<p>"Schüler haben, bevor sie zu mir ins Praktikum kommen, (...) ein Jahr lang, dass sie mit Excel, Word und mit Statistik umgehen lernen. Dort wird das sozusagen hinterlegt und wir greifen das eigentlich nur auf, dass wir es anwenden im Unterricht."</p>	Übergang Kanonischer Diskurs	<p>Handlungsroutine: statistische Konzepte und Datenverarbeitung als Basis zur Messwertanalyse statistische Konzepte zur Quantifizierung von Messunsicherheiten</p>
<p>"Wie kann ich jetzt diese Daten verarbeiten? Wo finde ich jetzt, wie viele signifikante Ziffern muss ich angeben? Was darf ich, was darf ich nicht? Wie berechne ich das? (...) Dann kommt eben halt, wie muss ich das auswerten (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Datenverarbeitung und statistische Auswertung Unsicherheitsgrenzen und korrekte Zahlendarstellung</p>
<p>"Es spielt immer dann eine Rolle, wenn wir ein Mikroskop benutzen, wenn wir Schichtdicken messen (...). Wir machen hier auch Lithographie im Hause (...). Da spielt es eben schon eine Rolle (...), also deshalb spielt das dann ständig eine Rolle."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Bedeutung von Messungen in spezifischen, praktischen Anwendungen (z.B. Mikroskopie und Lithographie).</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Sie bringen auch Daten mit, also aus den Firmen, die wir hier verarbeiten (...). Das ist dann eigentlich so die Grundlage für unsere praktische Arbeit hier."	Prävalenter Diskurs	Anwendung von Messunsicherheiten auf praxisnahe Problemstellungen mit realen Daten Verwendung von Berufsdaten zur Übung praxisrelevanter Szenarien.
" Naja, wie genau kann ich mit meinem Messgerät, was ich zur Verfügung habe, überhaupt messen? (...) Dazu muss man ja wissen, wie sind Messgeräte (...) aufgebaut oder welche Messsicherheit geben sie?"	Kanonischer Diskurs	technischer Kontext Präzision und Grenzen der Messgeräte inhärent im Messprozess
"Und leider ist es eben halt so, dass wir (...) uns wirklich angucken müssen, wenn wir mit digitalen Messgeräten arbeiten, dass diese dann halt ganz andere Anzeigen machen, als die Geräte an sich eigentlich konstruiert sind (...)."	Prävalenter Diskurs	Hinweis auf praktische Herausforderungen bei der Anwendung digitaler Geräte und deren Diskrepanz zur Theorie Relevant in der digitalen Messwerterfassung (vgl. I1)
"Es gibt schon gewisse Regeln, die da lauten, wir nehmen Daten auf, machen eine statistische Auswertung. (...) Jedes Messinstrument, was Sie benutzen, (...) müssen Sie uns sagen, was für eine Genauigkeit hat das Gerät. Also das ist sozusagen immer zur Beschreibung des Gerätes gehört das dazu."	Kanonischer Diskurs	Statistische Analyse der Messwerte Präzise Beschreibung der verwendeten Instrumente und deren Genauigkeit als Teil des Messprozesses
"Sie dürfen uns auch keine Mikroskopaufnahmen mehr präsentieren, wo nicht ein Maßstab drin ist und wo nicht genau nachgewiesen wird, wie genau ist jetzt dieses Messprogramm (...)." „(...)bei einer 50-Fachen Vergrößerung, dann können wir keine Angaben mehr im Nanometer-Bereich machen.	Kanonischer Diskurs	Wichtigkeit der Überprüfbarkeit und Rückverfolgbarkeit der Messprogramme wissenschaftlicher Standard und Routinen Aussagekraft der Daten abhängig von Toleranzbereich des Messgeräts
"Sie müssen uns ein Endergebnis oder einen Mittelwert bieten, wenn es dann darum geht, mit der Standardabweichung also sozusagen einen absoluten Fehler darlegen (...)."	Prävalenter Diskurs	„absoluter Fehler“ Wortwahl aus prävalentem Diskurs
"Dann gehört eine grafische Darstellung (...) dazu, dann gehört	Prävalenter Diskurs	Handlungsroutine: Einhaltung von Standards bei der Darstellung von Ergebnissen, insbesondere durch Mittelwerte und Standardabweichungen Visueller Vermittler: Trendlinie zufällige Fehler visuell darstellen,

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
eine Trendlinie dazu, dann gibt es schon die Diskussion, warum darf ich die Messwerte nicht miteinander verbinden (...), keine Zickzacklinien wie bei den Wetterfröschen (...)."	kanonischer Diskurs	da die Messungen darüber und darunter variieren
"Manchmal ist das auch so, dass sie so sechs, sieben Messwerte mitbringen, die sehen dann eher aus wie ein Sternenhimmel (...), dass man eben halt auch den Mut haben muss zu sagen, es kann kein funktioneller Zusammenhang mehr gemacht werden (...)."		realistische Einschätzung der Datenlage und kritischer Umgang mit Datenauswertung keine falschen oder überzogenen Schlüsse zu ziehen Messunsicherheit als Qualitätsmerkmal von Daten → nicht aussagekräftig wenn MU zu hoch
"Sie sollen versuchen mit den Messwerten, die sie haben, dann so sauber wie möglich Aussagen zu treffen, so dass alle miteinander glücklich sind (...)."		Aussagen aus Experimenten können nur so weit getroffen werden, wie es die Messunsicherheiten zulassen

Interview 12 LPL 2 Jahre, ISS

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Ich finde es wichtig, dass es erwähnt wird im Unterricht. Ich finde es aber nicht unbedingt so wichtig, dieses quantitativ durchzuführen. (...) In der Mittelstufe qualitativ darüber zu sprechen. (...) Dass eben die Messungen, die man durchführt, fehlerbehaftet sind (...)."	Prävalenter Diskurs	- Fokus auf Einführung der Messunsicherheiten als Konzept in Sek 1 „fehlerbehaftet“ deutet auf Verständnis eines „wahren Werts“ hin qualitative Diskussion von Unsicherheiten in den Daten
"Im Grundkurs, finde ich, kann man viele Teile weglassen. (...) Im Grundkurs würde ich vielleicht Mittelwerte noch berechnen lassen. (...) Im Leistungskurs kann man schon Großfehlerabschätzung machen und Regression ziehen. Fehlerbalken einzeichnen."	Prävalenter Diskurs	Handlungsroutine: Mittelwerte im Grundkurs der Sek 2 Regressionsanalysen und Fehlerbalken (kanonisch) nur im Leistungskurs
„Und dann habe ich mit denen oft diskutiert, was für Fehlerquellen wir denn haben. Oft ist es ja der Mensch selber beim Messen und halt die Geräte, die er benutzt. Und zum Beispiel hatten wir das in der Strom- und Spannungsmessung. Da haben wir ja gleiche Widerstände verwendet und hatten trotzdem nicht die exakten gleichen Werte raus für die einzelnen Stromstärken zum Beispiel."	Prävalenter Diskurs	Handlungsroutine: qualitative Fehleranalyse „Fehlerquellen“ Mensch und Gerät verhindern, dass jede Wiederholung dasselbe Messergebnis produziert Thematisierung zufälliger und systematischer Fehler, die durch variierende externe Einflüsse und Bedienung

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>Und darüber haben wir dann qualitativ diskutiert. Wir haben da tatsächlich auch Mittelwerte berechnet. Oberstufe habe ich jetzt erst neu angefangen, eine elfte Klasse. Mit denen nehme ich tatsächlich in zwei Wochen den freien Fall durch. Und da werden wir dann auch über Fehler sprechen. Der ist aber relativ leistungsschwach, vor allem mathematisch. Da muss ich gucken, inwiefern ich das da integrieren kann.“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>entstehen Mittelwert ist vertrauenswürdiger Wert zur Darstellung des Messergebnisses</p> <p>Thematisierung von Unsicherheiten wird mit höherem (mathematischen) Niveau assoziiert</p>
<p>"Für mich sind Messunsicherheiten Gründe, warum wir in Experimenten unterschiedliche Werte erhalten, obwohl wir eigentlich nichts am Experiment ändern (...). (...) wichtig halt, wenn eine Messunsicherheit zeigt, dass Messungen nicht immer perfekt sind (...)."</p>	Übergang Kanonischer Diskurs	<p>Messunsicherheiten als unvermeidbare Fehlerquellen, die in Experimenten auftreten „perfekte“ Messung wird durch unvermeidbare Fehler beeinträchtigt</p> <p>Spannweite und Mittelwert zur Beschreibung der Verteilung von Messwerten Bezug zur Meta-Regel, dass das Messergebnis eine Annäherung darstellt</p>
<p>"Ansonsten Spannweiten thematisiere ich, weil das ist für die Schüler immer relativ gut zu sehen, wenn sie sehen, okay, die Werte halten sich zwischen unserem tiefsten Wert und dem höchsten Wert (...) betrachten wir den Mittelwert (...)."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>relative und absolute Fehler als Schlüsselkonzepte zur Erklärung von Messfehlern</p>
<p>"Vorher zum Beispiel sagen, okay, ich habe einen Fehler von 1, 2, 3, 4 Prozent. Und vor allem relative und absolute Fehler thematisieren. Das ist ganz wichtig (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Einführung der Schreibweise „±“ zur Angabe der Unsicherheit im Messergebnis (Visueller Vermittler)</p>
<p>"Wenn man jetzt einen prozentualen Fehler eingeschätzt hat, dann zeige ich dir natürlich die Schreibweise mit Plus, Minus und nutze den Wert dann so weiter."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Visueller Vermittler: Fehlerbalken Regressionsmethoden und grafische Darstellung zur Messwertanalyse Trendlinie (die Fehlerbalken schneidet!?) und statistische Werkzeuge Verständnis für statistische Analyse in Oberstufe</p>
<p>"Und wenn man die Fehler berechnet hat, dann natürlich Fehlerbalken. Und dann kann man, wenn man mehrere Werte hat, (...) sogar noch eine Gerade durchziehen und am Ende noch Steigungen berechnen. Das ist eine Regression (...)."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Betonung der pragmatischen Verwendung des errechneten Werts im Unterricht Glaube an einen genaueren</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)**Zuordnung
zum Diskurs****Merkmale/Keywords**

Wert
konsequente Verwendung des
Messwerts

Interview 13 LPM 3 Jahre, ISS**Aussage der Lehrkraft (Zitat)****Zuordnung
zum Diskurs****Merkmale/Keywords**

„Also kommt drauf an, wie viel freie kognitive Kapazität meine SchülerInnen so haben. Kommt auch ein bisschen drauf an, welche Kompetenz ich fördern möchte.(...) Wenn ich jetzt allerdings den Fokus drauf habe, wie mache ich eine Dokumentation meiner Messwerte, meiner Beobachtung, da achte ich dann vielleicht weniger auf Messunsicherheiten als eher so, was ist so passiert, was vielleicht meine Werte verfälschen könnte. Und wenn es (...) um eine Fachwissens-kompetenz geht, dann lasse ich es meistens ganz weg, weil es nur verwirrend ist.“

Prävalenter
Diskurs

Anpassung der Inhalte an kognitive Belastbarkeit der SuS und Kompetenzziel
Höheres Niveau mit MU assoziiert
Messunsicherheit nicht inhärent mit Messdaten
qualitative „Fehler“analyse im Umgang mit Fachwissen
wird es weg gelassen (fair I guess)
flexibler Umgang

„Also wenn es darum geht, dann eben in der Erkenntnisgewinnung zu arbeiten, gerade wenn es ums Auswerten von Experimenten geht, ist das natürlich sehr wichtig. Egal tatsächlich, auf welcher Klassenstufe (...) dass das vorkommt, ist auf jeden Fall wichtig.“

Kanonischer
Diskurs

Relevanzkontext:
Erkenntnisgewinnungs-Kompetenz
Auswertung von Experimenten „sehr wichtig“ „egal auf welcher Klassenstufe“ betont grundlegende Bedeutung von Messunsicherheiten inhärenter Bestandteil bei qualitativen Daten auch qualitative Auswertung der MU

„ (...) immer dann, wenn eine Erkenntnisgewinnungsstunde ist, aber auch da gibt es viele qualitative Daten, die dann teilweise verarbeitet werden, wie Magnetfeldlinienbilder, die natürlich auch nicht perfekt sind, aber das können die SchülerInnen auch sofort einordnen“

Kanonischer
Diskurs

Muund Genauigkeit inhärenter Bestandteil bei quantitativen Messwerten
systematischer Ansatz
Unsicherheiten explizit thematisieren, um Präzision der Messwerte zu reflektieren
Einführung der Schreibweise „±“ zur Angabe der Unsicherheit im Messergebnis
(Visueller Vermittler) nur in

"Während zum Beispiel in meinem Physikleistungskurs, da thematisiere ich Unsicherheiten bei jeder simplen Rechnung (...) wie genau kennen wir jetzt diese Werte (...)."

„(...) oder so richtig quantitativer angeben von Messunsicherheit, das mache ich tatsächlich nur in der Oberstufe und eigentlich auch mit meinem Profil- und Leistungskurs, da wird da wirklich konsequent drauf

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>geachtet“</p> <p>„ (...) man macht das nicht wie in der Uni, ja mit dem Plus-Minus irgendwas (...) gib nicht zu viele Ziffern an hinten dran, wenn du es nicht weisst, beziehungsweise oft wird es einfach nur in der Auswertung aufgegriffen. Also wenn dann die Daten ausgewertet werden und es kommt ein Wert raus, der nicht perfekt zur Theorie passt, dann kann man (...) drüber reden, was hättet ihr denn erwartet und woran könnte das denn jetzt liegen (...) sonst sind die schon beschäftigt genug, überhaupt mit der quantitativen Form der Physik überhaupt zurecht zu kommen.“</p>	Prävalenter Diskurs	<p>Oberstufe, Profil- und Leistungskurs</p> <p>Keine Einführung visueller Vermittler „±“ Fokus auf qualitative Besprechung der Messunsicherheiten separate Behandlung in der Auswertung, nicht einbegriffen in Messdaten von Anfang an Anpassung der Inhalte an kognitive Belastbarkeit der SuS</p>
<p>„Messunsicherheiten entstehen (...), wenn ich versuche, die Welt oder die Natur in ein quantitatives Korsett zu zwingen. (...) Messinstrumente, die (...) nur (...) ein Modell von der Wirklichkeit geben. (...) Man kann (...) darüber streiten, ob es diesen echten wahren Wert da draußen überhaupt gibt oder nicht.(...) die Physik (...) arbeitet mit den Werten (...) und können (...) im Rahmen der Unsicherheiten dann Vorhersagen machen. (...) diese Zahl [ist] vielleicht nicht immer perfekt oder mehrmals hintereinander auch unterschiedliche ähnliche Zahlen gemessen werden kann.“</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung philosophisch dargestellt Begrenztheit von Messinstrumenten unvermeidbare Unsicherheiten, die durch Messmethoden entstehen Meta-Aspekt, dass Messungen Annäherungen und Modelle der Realität sind Anerkennung der Unsicherheit als notwendige Annäherung an den „wahren Wert“, den es vllt nicht gibt Messunsicherheit als Qualitätsmerkmal von Daten in deren Rahmen Aussagen getroffen werden können Anerkennung statistischer Schwankungen im Messprozess</p>
<p>Besser gekürzt: "Messunsicherheiten entstehen ein Stück weit, wenn ich versuche, die Welt oder die Natur in ein quantitatives Korsett zu zwingen. (...) Die Messinstrumente (...) werden immer nur ein Modell von der Wirklichkeit geben. (...) bei dieser Übersetzung können sozusagen Übersetzungsfehler passieren (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Anerkenntnis der Begrenztheit von Messinstrumenten und der unvermeidbaren Unsicherheiten, die durch Messmethoden entstehen. Verweist auf den Meta-Aspekt, dass Messungen Annäherungen und Modelle der Realität sind und Übersetzungsfehler unvermeidbar sind.</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
<p>"Wir haben eben eine Auswertung, (...) ich den Widerstand aus für ganz viele verschiedene Messungen und es kommen leicht unterschiedliche Werte raus. Dann diskutiere ich mit den Schülern drüber, so bedeutet das jetzt, dass jeder Wert tatsächlich unterschiedlich ist (...) ja, es kann sein, dass wir vielleicht hier und da ein bisschen ungenau abgelesen haben (...) Eine weitere Möglichkeit ist, dass man(...) Messwerte in ein Koordinatensystem einträgt, eine Ausgleichsgrade legt und (...) so sehen, okay, nicht alle Punkte müssen direkt drauf liegen"</p>	Prävalenter Diskurs	<p>qualitative Auseinandersetzung mit Messfehlern und Ursachen von Abweichungen SuS lernen, Abweichungen als potenzielle Fehlerquelle oder systematische Unsicherheit wahrzunehmen Zeichnen einer Trendlinie, um zufällige Fehler visuell darzustellen, da die Messungen darüber und darunter variieren</p>
<p>"Dann diskutiere ich Messunsicherheiten auch teilweise, also gerade im Leistungskurs im Sinne von, wie handelt es sich um eine Näherung in der Theorie (...) Eigentlich sind da noch relativistische Korrekturen drin, die wir aber nicht sehen können (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Förderung des Verständnisses, dass Messungen Annäherungen an eine theoretische Messgröße sind Näherungen und theoretische Einschränkungen als Teil des wissenschaftlichen Diskurses im Leistungskurs</p>
<p>"Wir stimmen die Dichte, wann etwas schwimmt. (...) Wir haben Literaturwert, der ist 1,0 Gramm pro Kubikmillimeter und die Schüler kommen rechnerisch sowas raus wie 0,98. (...) dann erwarte ich von den Schülern, dass sie angeben können, ja, eventuell hat die Waage den Wert nicht genau angezeigt (...). Also größte Teile der Mittelstufe bewegt sich nicht darüber hinaus, muss man sagen."</p>	Prävalenter Diskurs	<p>gelernte Theorie beobachten und konkretisieren Höheres Niveau mit MU assoziiert qualitative Auswertung Messgerät</p>
<p>"Unsicherheit ist natürlich wunderbar, um die Natur der Physik so ein bisschen klar zu machen. (...) das ist nicht Mathematik, also da kommt nicht immer das raus, was man erwartet (...), sondern kommt eben auch ganz viel darüber hinaus, wie wir die Werte ermittelt haben (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Konzept MU wird genutzt, um Wesen der Physik als empirische Wissenschaft zu vermitteln, in der Ergebnisse aufgrund praktischer Einflüsse variieren können</p>
<p>"Und dann kann man natürlich auch ganz schön darüber diskutieren, wie man das Experiment noch durchführen könnte, um bessere Werte zu bekommen (...)."</p>	Kanonischer Diskurs	<p>kritische Reflexion Überlegungen zur Anpassung des Experiments um Unsicherheit zu reduzieren</p>
<p>"Experiment zum freien Fall (...) die Schüler verschiedene Methoden zur</p>	Kanonischer Diskurs	<p>Methoden hinsichtlich ihrer Präzision vergleichen und auf</p>

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
Auswahl hatten (...) und wir am Ende diskutiert haben, welche Methode denn jetzt die präziseste war (...)."		dieser Grundlage Entscheidungen für zukünftige Messungen treffen kleine Messunsicherheit (Präzision) als Qualitätsmerkmal von Daten

Interview 14 LPN 6 Jahre, ISS

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Ich finde es nicht essentiell auf dem Niveau, was wir haben, dass man die perfekten Fehlerbalken oder Fehlerrechnungen macht (...) dass die Schülerinnen und Schüler ein Gefühl dafür haben, was für Ergebnisse sie erwarten und (...) was für eine Genauigkeit man dabei hat (...)."	Prävalenter Diskurs	"Gefühl" als Ziel eines verinnerlichten Verständnis von Messunsicherheit realistische Erwartungshaltung Intuition für angemessene Genauigkeiten, ohne detaillierte Fehleranalysen Ablehnung von visuellem Vermittler Fehlerbalken
"Versuchen wir immer wieder diese Idee von signifikanten Stellen ein bisschen heranzubringen. (...) Ohne das direkt anzusprechen, nur wenn es total daneben lag."	Prävalenter Diskurs	Widerspiegelung Präzision der Messung in signifikanten Nachkommastellen Diskussion im Nachhinein wegen „wenn es total daneben lag“ fördert Fehlerverständnis Messunsicherheiten als separates Thema, nicht Teil von Messdaten und Messergebnis keine Routine MU vorher einzuschätzen
"Wenn ein Ergebnis kommt, was offensichtlich eine Scheingenauigkeit zeigt (...) das gibt den Eindruck, dass du wahnsinnig genau gemessen hättest, was gerade nicht der Fall ist. (...) Beispiel, wo man das nebenbei thematisiert (...)."	Prävalenter Diskurs	Handlungsroutine: angemessenen Grad der Genauigkeit und gegen eine übermäßige Nachkommastellenangabe Verständnisprobleme bei SuS in Bezug auf die Bedeutung der Genauigkeit realistische Einschätzung der Messgenauigkeit entwickeln
"Der häufigere Fall ist eben, dass jemand einfach alles mitschreibt, was dasteht. (...) nicht so das Verständnis da, also, ja, wie genau der Bereich eigentlich ist, in dem man misst."		
"Messunsicherheiten definieren, das ist die Sammlung an Quellen, die eine Messung ungenau machen. Und das können zufällige Fehler sein oder systematische Fehler (...)"	Prävalenter Diskurs	Messunsicherheiten als Kombination aus zufälligen und systematischen Fehlern MU als Abweichung oder Verfälschung des wahren Werts

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Wir haben das Thema richtig eine Doppel- oder zwei Doppelstunden zu diesem Thema gemacht, um abzuschätzen, wie viele signifikanten Stellen man angibt und überhaupt, was signifikanten Stellen sind."	Übergang Kanonischer Diskurs	Messunsicherheiten als separates Thema, nicht Teil von Messdaten und Messergebnis Systematische Einführung in die Idee der signifikanten Stellen und deren Bedeutung für Messgenauigkeit Entwicklung eines formalen Verständnisses für signifikante Stellen im Rahmen des präzisen wissenschaftlichen Arbeitens
"Wenn sie merken, dass ein Ergebnis völlig unrealistisch ist, (...) schreiben, dass sie den Fehler vermuten. (...) Zu wissen, dass man falsch liegt, ist immerhin besser, als zu vermuten, richtig zu liegen, aber falsch zu liegen."	Prävalenter Diskurs	Förderung von Selbstreflexion und kritischer Einschätzung der Ergebnisse eigene Unsicherheiten erkennen und ansprechen
"Es gibt am Ende von einem Protokoll eine Fehlerbesprechung und (...) erwartet man auch, (...) wie groß der Fehler zum Beispiel im Prozent geschätzt wird."	Prävalenter Diskurs	Keyword: Fehler Qualitative Fehlerdiskussion und Schätzung relativer Fehler in Prozent Messunsicherheiten als separater Teil der Auswertung
"Jetzt zum Beispiel hatte ich eine, wo man einen Interferometer hat (...) Und da gab es zum Beispiel eine Aufgabe, wo richtig gefragt wird, quantitativen Fehler abzuschätzen im Prozent."	Kanonischer Diskurs	LK spricht über neue Aufgabentypen mit quantitativer Fehlerabschätzungen in Form von prozentualen Angaben Bewusstsein aber noch keine Handlungsrountinen dazu

Interview 15 LPO 10 Jahre, Gymnasium

prävalent, Abweichung vom wahren Wert aber systematische Thematisierung von zufälligen und systematischen Fehlern
immer Teil der Diskussion (Gymnasium) aber immer qualitativ

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
"Ich erachte es grundsätzlich sehr als wichtig (...) dass wir danach schon immer darüber auch sprechen, okay, wo sind denn jetzt hier Unsicherheiten entstanden? (...) nicht um Fehler geht, sondern wirklich um Unsicherheiten, die ganz normal sind, wenn man experimentiert."	Prävalenter Diskurs	Differenzierung zwischen „Fehlern“ und „Unsicherheiten“ als natürlicher Teil des Messprozesses Unsicherheiten als Teil des Experimentierens
"Messunsicherheit, da würde ich jetzt alles reinzählen, was jetzt auch bei den Schülerinnen-Experimenten dort	Prävalenter Diskurs	Messunsicherheiten als Abweichung vom wahren Wert Unterscheidung zwischen

Aussage der Lehrkraft (Zitat)	Zuordnung zum Diskurs	Merkmale/Keywords
passiert und quasi vom wahren Wert abweicht. (...) Abweichung vom wahren Wert führt (...). Zwei verschiedene Arten (...) wie Unsicherheiten entstehen können."		zufälligen und systematischen Fehlern, die durch Messgeräte oder Bedienung verursacht werden
"Ein Beispiel könnte sein, dass wir so über Genauigkeiten sprechen (...) bei diesem großen Lineal können wir jetzt ja nur so auf einen halben Zentimeter genau was angeben. (...) Messgerät (...) an Genauigkeit oder an Ungenauigkeit, was wir gesagt haben."	Kanonischer Diskurs	Thematisierung der Genauigkeit und Begrenzungen von Messgeräten anhand konkreter Beispiele Bezug auf Messgenauigkeit und die Skalierung des Messgeräts zur Quantifizierung von Messunsicherheiten
"Ein weiteres Beispiel wäre (...) Zeitmessung, (...) Reaktionszeit beim Starten und beim Stoppen (...) das muss ich jetzt schon, wenn ich jetzt eine Aussage über das Ergebnis treffe, irgendwie mit einbeziehen."	kanonischer Diskurs	Betrachtung praktischer Fehlerquellen wie Reaktionszeit Beispiel für menschliche Unsicherheit als Teil der Messung Unsicherheit als immanenter Bestandteil der Messung, die bei Betrachtung des Ergebnisses „mit einbezogen werden muss“
"Nee, mit Fehlerbalken nicht, sondern eher nur diese Streuung. (...) wenn man weiß, man macht jetzt beispielsweise jedes Mal eine halbe Sekunde einen Fehler (...) kann man auch irgendwie nachvollziehen, warum man dort jetzt also irgendwie doch eine Gerade reinlegen kann (...)."	Prävalenter Diskurs	Streuung als visueller Hinweis auf Abweichungen - ohne Fehlerbalken intuitives Verständnisses für Abweichungen und den Einfluss konstanter Fehler
"Vielleicht auch in diesem Beispiel der Zeitmessung (...) so ein Fahrradexperiment (...) gleichbleibende Geschwindigkeit fahren (...) Wegzeitverlauf (...) auf gar keinen Fall irgendwie so eine Gerade rausbekommt (...). angesprochen, dass (...) Fehler sich fortpflanzt."	Übergang kanonischer Diskurs	Thematisierung der Fehlerfortpflanzung bei der Auswertung von Messungen -> kumulative Auswirkungen von Unsicherheit Vermittlung eines grundlegenden Verständnisses, wie sich Fehler durch Berechnungen potenzieren können auf qualitativer Basis
"Aber da was genau, also, das würde, glaube ich, auch zumindest an unserer Schule die Aufnahmekapazität der allermeisten Schülerinnen und Schüler doch sprengen."	Prävalenter Diskurs	Praktischer Fokus auf das Niveau der SuS, um die Vermittlung im Alltag angemessen und verständlich zu gestalten

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und noch nicht für andere Prüfungen eingereicht habe. Sämtliche Quellen einschließlich Internetquellen, die unverändert oder abgewandelt wiedergegeben werden, insbesondere Quellen für Texte, Grafiken, Tabellen, Bilder sowie die Nutzung von Künstlicher Intelligenz für die Erstellung von Texten und Abbildungen, sind als solche kenntlich gemacht. Mir ist bekannt, dass bei Verstößen gegen diese Grundsätze ein Verfahren wegen Täuschungsversuchs bzw. Täuschung eingeleitet wird.

Berlin, ^{4.12.2024}



.....