

Diagnostik experimenteller Vorgehensweisen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität

Leonard Büsch, Christina Guntermann, Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

Buesch@physik.rwth-aachen.de, Christina.Guntermann@rwth-aachen.de, Heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Der in Bildungsstandards und Kernlehrplänen ausgewiesene Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ist wesentlich geprägt vom Experimentieren als wichtiger Methode naturwissenschaftlichen Arbeitens. Allerdings sind experimentelle Kompetenzen aktuell nicht vollständig abprüfbar, wobei speziell die Durchführung der Experimente nur mangelhaft erfasst wird. Um diese Diskrepanz abzubauen, wurden typische Versuchsverläufe in einem Experiment zur Radioaktivität im Physikpraktikum der RWTH Aachen im Wintersemester 2016/17 (N = 317) dokumentiert, wofür zwei Messinstrumente zum Einsatz kamen: Einerseits erlaubt die Protokollierung der Versuche mit Smartpens eine zeitökonomische Identifizierung und Erfassung prozessrelevanter Abläufe und Situationen. Andererseits wurde ein objektfokussiertes Messinstrument basierend auf dem Mikrocontroller Arduino entwickelt, das die prozeduralen Objektdaten im Experiment sammelt, die eine Rekonstruktion der experimentellen Abläufe ermöglichen. Die Kombination der beiden Messinstrumente verspricht einen tiefen Einblick in Vorgehensweisen einzelner Probandenteams beim Experimentieren. Gleichzeitig sind die Methoden mit limitiertem Auswerteaufwand verbunden, sodass auch größere Probandenzahlen untersucht werden können. Dies eröffnet einen Zugang zu einem breiten Spektrum experimenteller Strategien, die miteinander verglichen werden können. In diesem Beitrag stehen vor allem die Daten des objektfokussierten Messinstrumentes sowie erste Analyseansätze im Fokus.

1. Einleitung

Experimente und der Umgang damit sind zentrale Aspekte in der Physik. Daher ist es aus fachdidaktischer Sicht nur konsequent, die Kompetenzen im Bereich des Experimentierens als Methode naturwissenschaftlichen Arbeitens und deren Entwicklung in den Fokus fachdidaktischer Forschungsarbeiten zu stellen. Beim Experimentieren wird grundsätzlich zwischen drei Phasen unterschieden: Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente [1]. Diese Phasen lassen sich zwar unterscheiden, sind jedoch nicht strikt in dieser Reihenfolge abzuarbeiten, sondern beeinflussen sich wechselseitig [2]. Der Erwerb weitergehender experimenteller Kompetenzen insbesondere in der Phase der Durchführung ist ohne den Umgang mit Realexperimenten schwer vorstellbar. Aus diesem Grund erscheint es wichtig, auch Erhebungen zur experimentellen Kompetenz an geeigneten Realexperimenten vorzunehmen. Die Erfassung des Umgangs mit einem Experiment wird als *performance assessment* bezeichnet und wurde bereits in mehreren Studien beforscht [1 bis 9]. Die Methoden zur Erfassung sind vielfältig und bergen verschiedene Vor- und Nachteile, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

Durch *direkte Beobachtung* [3] kann der Umgang mit dem Experiment erfasst und analysiert werden. Dies bedeutet jedoch einen hohen Aufwand bei der Erfassung und der Auswertung der Daten. *Videostudien* [4] vereinfachten die Erfassung der Daten, konnten jedoch wegen des hohen Auswerteaufwands ebenfalls

nicht großflächig eingesetzt werden. Shavelson & Baxter ergänzten die direkten Beobachtungen um *Laborberichte* [5], die sie von Probanden während des Umgangs mit dem Experiment anfertigen ließen. Dadurch fließt zusätzlich das Endprodukt in die Bewertung ein, während der Prozess der Durchführung in den Laborberichten selbst in der Regel nicht näher betrachtet wird. Eine Weiterentwicklung stellen daher zeitlich bzw. phasenweise *vorstrukturierte Protokolle* [6] dar, die den Fokus auf die Aufzeichnungen während des Experimentierprozesses legen. Durch *Smartpen-Protokolle* [7] lässt sich dies auch mit den Probandenhandlungen vereinigen: Einerseits wird der Aufschrieb der Probanden zeitlich differenzierbar aufgenommen, andererseits wird aber auch eine Tonspur aufgezeichnet, die Gespräche von Probandenpaaren mitschneidet. Gleichzeitig werden (im Gegensatz zu Videostudien) nur sehr wenig zusätzliche Daten über den Umgang mit dem Experiment hinaus erhoben. Das birgt Vor- und Nachteile zugleich, da diese Daten essentielle Informationen über die experimentelle Kompetenz enthalten können, gleichzeitig aber auch der Auswerteaufwand deutlich geringer ist, was größere Probandenzahlen erlaubt. Eine Kombination vorstrukturierter Protokollformate mit dem Einsatz von Smartpens eröffnet interessante Möglichkeiten, den Informationsgehalt der Daten so entstehender *Smartpen-Verlaufsprotokolle* [8] auf die konkrete Untersuchungsfrage hin maßzuschneidern.

Eine relativ neue Herangehensweise an die Erfassung am Realexperiment stellt die *objektorientierte Datenerfassung* [9 & 10] dar. Hierbei stehen nicht mehr die Probanden im Fokus, sondern die Messparameter am Experiment selbst, die mit hoher Zeitauflösung aufgenommen werden können.

Der vorliegenden Arbeit liegen Daten zugrunde, die einerseits probandenfokussiert mit Smartpen-Protokollen und andererseits objektfokussiert mit dem Mikrocontroller Arduino und geeigneten Sensoren am Versuchsaufbau aufgezeichnet wurden. Dadurch konnten sowohl die Dokumentation des Experiments als auch die wesentlichen Messparameter aufgezeichnet werden. Dies gewährleistet eine detaillierte Erfassung des experimentellen Suchraums [11], lässt es aber gleichzeitig zu, auch größere Probandenzahlen zu untersuchen.

2. Experimenteller Suchraum

Die Erkundung von Strategien bei der Versuchsdurchführung geht mit der Untersuchung der Variation der verschiedenen Messparameter durch die Probanden einher. Dazu wird der experimentelle Suchraum im Sinne des Modells *Scientific Discovery as Dual Search* (kurz: SDDS-Modell) von Klahr [11] untersucht. Der experimentelle Suchraum wird dabei durch die Möglichkeiten aufgespannt, ein ausgewähltes Experiment durchzuführen. Bei der Untersuchung der gewählten Messparameter im Versuchsverlauf stehen in unseren Studien drei wichtige Aspekte im Mittelpunkt (Abb. 1), anhand derer die Qualität des Experimentierens bewertet werden kann:

- I. Durch Einsatz der *Variablenkontrollstrategie* (Abb. 1 links) wird sichergestellt, dass während des Experimentierens immer nur eine Variable gleichzeitig verändert wird, während die restlichen konstant gehalten werden. Dieses grundlegende Experimentierverhalten erlaubt es dem Experimentator, mögliche Zusammenhänge zwischen dem variablen Messparameter und dem Messergebnis herauszufinden.
- II. Eine systematische *Variation der Messparameter* (Abb. 1 Mitte) gibt Rückschlüsse auf die Konzeption und Planung des Experiments.

- III. Die *Bewertung der Sinnhaftigkeit* (Abb. 1 rechts) der eingestellten Messparameter (insbesondere auch der gewählten Kombinationen von Messparametern) lässt einen Rückschluss darauf zu, ob der Experimentator sich über sein Handeln bewusst ist und die experimentellen Zusammenhänge verstanden hat.

In der vorliegenden Arbeit wurden daher die von den Probanden im experimentellen Verlauf gewählten Messparameter für einen ausgewählten Versuch analysiert. Dabei handelt es sich um einen Praktikumsversuch an der RWTH Aachen zum Thema Radioaktivität.

3. Versuch zur Radioaktivität

In der vorliegenden Arbeit wird der Experimentierprozess anhand eines Versuchs zur Radioaktivität beschrieben und analysiert. Der Versuch wird im Rahmen des „Messtechnischen Labors“, eines physikalischen Praktikums für Bachelor-Studierende des Maschinenbaus im dritten Semester, angeboten. Im Wintersemester 2016/17 wurde dieser Versuch von 317 Studierenden in Gruppen zu je maximal 16 Personen durchlaufen. Die Gruppen wurden während der Versuchszeit von 135 Minuten durch zwei Betreuer unterstützt, wobei die Studierenden in der Regel zu zweit an einem Experimentieraufbau arbeiteten.

Zu Beginn des Versuchs zur Radioaktivität wird eine Vorbesprechung (ca. 30 Minuten) abgehalten, auf die sich die Studierenden inhaltlich vorbereiten sollen. Im Anschluss daran werden vorgegebene Messaufgaben vor Ort bearbeitet und die gewonnenen Ergebnisse werden ebenfalls vor Ort ausgewertet. Die Studierenden sollen dafür zunächst ein Geiger-Müller-Zählrohr in verschiedene Abstände zur radioaktiven Quelle (β^- -Strahler) bringen und daraus die quadratische Abstandsabhängigkeit der Zählrate verifizieren. Über eine graphische Auswertung soll aus diesen Ergebnissen die Aktivität des Präparates ermittelt werden. Im zweiten Aufgabenteil wird die Absorption von Strahlung durch verschiedene Materialien bestimmt. Dazu sind auf fünf Schienen Absorberplättchen verschiedener Dicke aus Aluminium und Kupfer platziert, die jeweils so verschoben werden

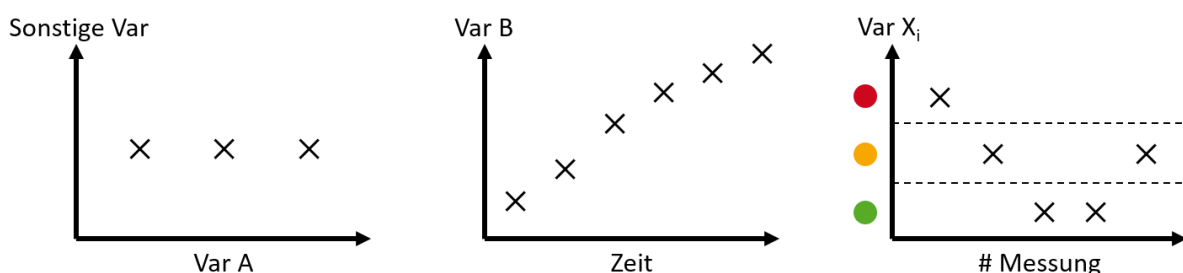


Abb. 1: Schematische Darstellung wichtiger Kriterien zur Bewertung experimenteller Vorgehensweis. *Links:* Umsetzung der Variablenkontrollstrategie. Während eine Variable variiert wird, sollten die anderen konstant gehalten werden. *Mitte:* Beobachtung systematischer Variationen der Messparameter im zeitlichen Verlauf. *Rechts:* (Ampel-)Bewertung der Sinnhaftigkeit der eingestellten Messparameter-Tupel.

können, dass auf jeder Schiene entweder das Plättchen aus Aluminium oder das aus Kupfer oder keins von beiden im Strahlengang steht. Durch Variation der Absorberplättchen zwischen Quelle und Detektor soll die exponentielle Abhängigkeit der Absorption von der durchstrahlten Dicke eines Materials untersucht werden. Durch graphische Auswertung und eine weitergehende Berechnung können die beiden Absorptionskoeffizienten von Aluminium und Kupfer bestimmt werden. Die vom Geiger-Müller-Zählrohr erfassten radioaktiven Ereignisse werden in beiden Versuchsteilen auf einer Messkonsole angezeigt. Hierüber lässt sich die Dauer eines Messvorgangs regulieren, welche einen bedeutenden Einfluss auf die Genauigkeit der Messung hat [12].

Die einzustellenden Messparameter sind in diesem Experiment daher begrenzt auf drei Komponenten: den *Abstand* zwischen Geiger-Müller-Zählrohr und radioaktivem Präparat (50 mm bis 350 mm), das *Absorbermaterial* und seine *Dicke* im Strahlengang (Aluminium: 0 bis 6,6 mm; Kupfer: 0 bis 1,5 mm) sowie die *Messdauer* eines Messvorgangs (10 s, 60 s, 100 s oder manuell frei einstellbar).

4. Methoden zur Datenaufnahme

Die Datenerfassung wurde durch zwei unterschiedliche Messinstrumente realisiert:

Einerseits konnte mit dem Smartpen die Dokumentation während des Versuches durch die Studierenden aufgenommen werden. Aus diesem Datenmaterial kann unter anderem erhoben werden, wann die Studierenden Datenpunkte aufnehmen, diese Daten für die weitere Auswertung umrechnen und die Zeichnungen für die graphische Auswertung anfertigen. Zudem können mittels der aufgenommenen Tonspur die Gespräche zwischen den Probanden angehört werden, sodass Handlungsmotive zugänglich werden. Andererseits wurden die prozeduralen Objektdaten mittels des Mikrocontrollers Arduino und geeigneter Sensoren aufgenommen. Hierzu wurden in jedem Versuchsaufbau verschiedene Sensoren verbaut und mit dem Mikrocontroller verbunden, um die wesentlichen Messparameter zu erfassen. Damit können die eingestellten Messparameter mit sehr hoher zeitlicher Auflösung ausgelesen werden.

Konkret misst ein am Geiger-Müller-Zählrohr befestigter Ultraschallsensor den Abstand zwischen Zählrohr und Präparat mit einer Genauigkeit von 5 mm (bei Abständen zwischen 50 mm und 350 mm). Ein System aus Lichtschranken erfasst die Position der Absorberplättchen und gibt ein Signal darüber aus, welches Plättchen (Material und Dicke) sich zu einem bestimmten Zeitpunkt im Strahlengang befindet. Ein Spannungssensor liest zudem die Aktivität einer LED an der Zählkonsole aus, die genau dann leuchtet, wenn gerade ein Messvorgang mit dem Geiger-Müller-Zählrohr stattfindet.

Mithilfe dieser Daten kann der experimentelle Suchraum detailliert erfasst werden. Dies erlaubt es, die

2	2	2	2	2	300	0
---	---	---	---	---	-----	---

Abb. 2: Beispielhafte Zeile mit Informationen für eine Sekunde im Versuchsverlauf, wie sie mit dem Mikrocontroller Arduino und geeigneten Sensoren aufgenommen werden.

Nutzung der Variablenkontrollstrategie, den Einsatz systematischer Variationen der Messparameter durch die Probanden sowie die Sinnhaftigkeit der gewählten Messparameter im Versuchsverlauf zu untersuchen. In diesem Beitrag werden weitestgehend die prozeduralen Objektdaten, die mit dem Arduino erfasst wurden, diskutiert. Auswertungen der Smartpen-Protokolle sind u.a. in Ref. [10] zu finden.

5. Messdaten

Der Mikrocontroller Arduino wird mit Informationen aus den oben genannten Sensoren gespeist und speichert sie als .csv-Datei auf einer SD-Karte. Von dort können die Informationen auf einen Computer geladen und dort mit Programmen wie *Excel* oder *R* (teil)automatisiert weiterbearbeitet werden. Zu jeder Sekunde sind dazu sieben Informationen gespeichert, die beispielhaft in Abb. 2 zu sehen sind.

Die ersten fünf Spalten enthalten die Informationen zu den fünf Absorberschienen. Eine „0“ bedeutet, dass sich kein Absorbermaterial dieser Schiene im Strahlengang befindet. Eine „1“ bzw. „2“ bedeutet, dass sich auf dieser Schiene jeweils das Plättchen aus Kupfer bzw. Aluminium im Strahlengang befindet. Aus diesen Informationen lässt sich zu jeder Sekunde bestimmen, welche Gesamtdicke der einzelnen Absorbermaterialien im Strahlengang eingesetzt ist. Die sechste Spalte gibt den Abstand vom Geiger-Müller-Zählrohr zum Präparat in Millimeter an. Die letzte Spalte zeigt an, ob zu diesem Zeitpunkt eine Messung stattfindet („1“) oder nicht („0“). Der Versuch dauert in der Regel zwischen zwei und zweieinhalb Stunden, sodass die Datei etwa 7200 – 9000 solcher Zeilen wie in Abb. 2 enthält. Daraus lassen sich mit dem Computerprogramm *R* Darstellungen des Versuchsverlaufs wie in Abb. 3 generieren. Darin abgebildet sind folgende Messparameter des Experiments:

In BLAU eingezeichnet ist der Abstand zwischen Geiger-Müller-Zählrohr und radioaktivem Präparat. Die zugehörige Skala ist am linken Rand der Abbildung zu sehen.

In GRAU zu sehen ist die eingestellte Absorberdicke des Materials Aluminium, in KUPFERFARBEN analog dazu die Dicke des Materials Kupfer. Die zugehörige Skala ist am rechten Rand der Abbildung zu sehen.

Die Versuchszeit in Sekunden ist auf der x-Achse des Diagramms abzulesen.

Zur weiteren Beschreibung der Abbildung sind zudem schwarze gestrichelte Hilfslinien im Diagramm eingezeichnet, die es in sechs Abschnitte einteilen.

Die Information, ob eine Messung stattfindet oder nicht ist in Abb. 3 noch nicht eingeblendet, da die Zeitskala dafür zu groß ist. In Einzelbetrachtungen

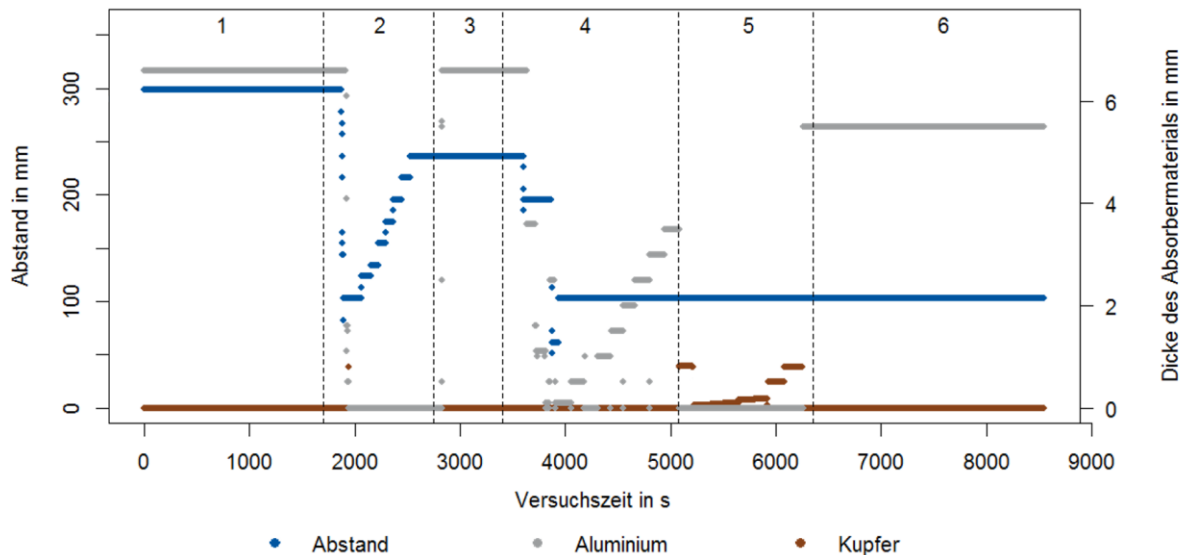


Abb. 3: Versuchsverlauf über die gesamte Versuchszeit mit eingezeichneten Abständen und Dicken der Absorptionsmaterialien. Die gestrichelten Linien teilen den Versuchsverlauf in sechs Abschnitte, die im Text ausführlicher diskutiert werden.

verschiedener Versuchsteile (Abb. 4 & 5) wird im Folgenden auch dieser Messparameter berücksichtigt.

6. Auswertung der Messdaten

Die Erkundung der Strategien bei der Versuchsdurchführung geht mit der Suche nach einer systematischen Variation der verschiedenen Messparameter durch die Probanden einher. Solche systematischen Vorgehensweisen werden zunächst bei den einzelnen Teams analysiert. Auf Basis der dabei erzielten Beobachtungen wird dann später auf der übergeordneten Ebene aller Gruppen untersucht, ob Strategien bei der Versuchsdurchführung in der gesamten Kohorte sichtbar werden.

Die Auswertung der Daten erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden einzelne Datensätze auf der Individualebene beschrieben. Damit sind Studierendenteams à zwei Probanden gemeint. Darauf aufbauend werden verschiedene Kategorien für die Wahl der Messparameter generiert, anhand derer die individuellen Teams auf der Gruppenebene miteinander verglichen werden können. Dabei wird auch die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Kategorien quantifiziert.

6.1. Individualebene

Für die Beschreibung auf Individualebene wird zunächst noch einmal Abb. 3 herangezogen. Darin werden im Folgenden die sechs gekennzeichneten Abschnitte getrennt voneinander betrachtet.

Im ersten Abschnitt wird keiner der Messparameter verändert. Dies lässt darauf schließen, dass zu dieser Zeit die Vorbereitungen des Versuchs liefen. Im Abschnitt zwei sind häufige Variationen des Abstandes erkennbar, während im dritten Abschnitt erneut keine Veränderung der Messparameter zu sehen ist. Aus der Erfahrung heraus ist zu vermuten (und kann anhand der Smartpen-Daten bestätigt werden), dass im Ab-

schnitt 2 die Durchführung der Messungen zur Abstandsabhängigkeit der Strahlungsintensität stattfand und sich darauf im dritten Abschnitt eine Auswertephase dieses Versuchsteils anschloss. Im vierten Abschnitt wird zunächst der Abstand verändert, bis er bis zum Ende konstant auf einem Wert bleibt. Zudem finden mehrere Variationen der Dicke der eingesetzten Aluminiumplättchen statt. Dies lässt darauf schließen, dass es sich um die Messungen zur Untersuchung der Absorption von Aluminium handelt. Ebenso verhält es sich mit dem fünften Abschnitt mit Kupfer. Hier wird ausschließlich die Dicke der eingesetzten Kupferplättchen variiert, während die restlichen Messparameter konstant gehalten werden. Im sechsten und letzten Abschnitt der Grafik wird zu Beginn Aluminium in den Strahlengang geschoben. Daraufhin wird keine weitere Variation der Messparameter vorgenommen. Dies lässt auf eine Auswertephase des Aufgabenteils zur Absorption schließen. Ebenfalls ist es möglich, dass das betroffene Studierendenteam während dieser Zeit auch den Versuch abgeschlossen und beendet hat. Das individuelle Versuchsende der Teams lässt sich durch die Arduino-Daten nicht bestimmen (den Smartpen-Daten lässt sich diese Information jedoch entnehmen).

Neben der Darstellung des gesamten Versuchszeitraums lassen sich nun auch die einzelnen Teile des Versuches genauer betrachten. Dazu wird beispielsweise der zweite Abschnitt aus Abb. 3 auf der Zeitskala detaillierter betrachtet. In Abb. 4 ist ein sogenannter Messverlauf der Abstandsmessung zu sehen. Neben der Einstellung des Abstandes zwischen Geiger-Müller-Zählrohr und radioaktivem Präparat ist nun auch der Parameter der Messdauer in das Diagramm mit eingezeichnet. In ROT sind solche Abstände markiert, bei denen eine Messung durchgeführt wurde. Anhand dieser Markierung lassen sich

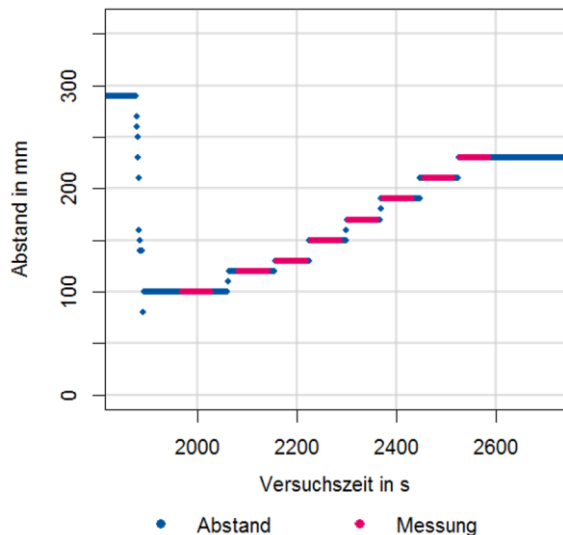


Abb. 4: Messverlauf der Abstandsmessung. Als rote Balken erkennbar sind hier neben den Abstandseinstellungen auch die einzelnen Messvorgänge.

einzelne Messvorgänge definieren die weitere Informationen enthalten. Durch die Länge der roten Balken lässt sich die Dauer der einzelnen Messvorgänge ermitteln. Des Weiteren lässt sich auch die Anzahl der Messvorgänge beziffern. Insgesamt dauert der Messprozess in diesem Versuchsteil knapp über 600 Sekunden und beinhaltet acht Messungen, die im dargestellten Beispiel jeweils 60s dauern.

Mit den Informationen, wie sie Abb. 3 exemplarisch zeigt, und den zusätzlichen Informationen über die Zeiträume, in denen Messvorgänge stattgefunden haben, lässt sich eine Aussage über die Nutzung der Variablenkontrollstrategie durch die Probanden treffen. Dabei ergab sich, dass die Variablenkontrollstrategie von fast allen Teams bei der Aufnahme ihrer Messdaten vollständig eingehalten wurde. Das heißt, dass jeweils in den einzelnen Versuchsteilen immer nur entweder der Abstand oder die Dicke der eingesetzten Absorber eines Materials variiert wurden.

Der Fokus weiterer Analysen lag daher auf der Beobachtung möglicher Systematiken in der Wahl der Messparameter sowie der Bewertung der Sinnhaftigkeit dieser Messparameter. Auf den ersten Punkt wird nachfolgend genauer eingegangen.

Mit der Darstellung in Abb. 4 lässt sich sehr deutlich eine systematische Variation des Messparameters Abstand im Messverlauf feststellen. So ist zu sehen, dass dieses Team die erste Messung bei einem Abstand zwischen Zählrohr und radioaktivem Präparat von 100 mm beginnt und dann in Schritten von 10 mm bis 30 mm den Abstand monoton steigend verändert. Nach ähnlichen systematischen Variationen des Abstandes wurde auch bei anderen Teams gesucht. Davon ausgehend konnte ein Kategoriensystem entwickelt und eingeführt werden. In Abb. 5 sind reale Einstellungen verschiedener Teams zu sehen. Die eingezeichneten Pfeile stellen dabei Tendenzen der Varia-

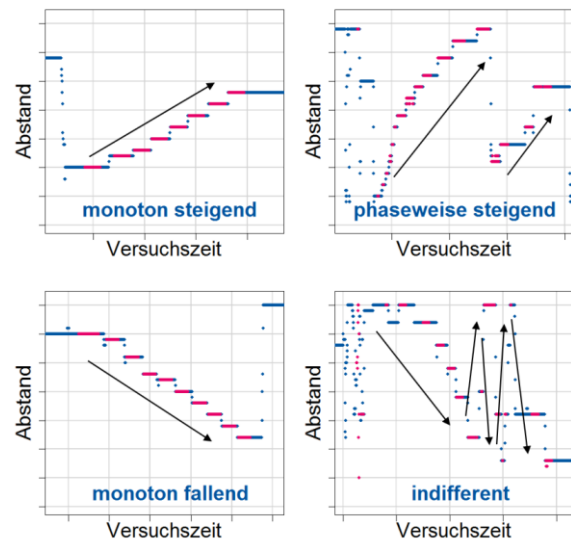


Abb. 5: Beispiele verschiedener Messverläufe. Die Benennung der verschiedenen Kategorien findet sich jeweils im dazugehörigen Graphen.

tion des Abstandes dar, welche zu einem Kategoriensystem erweitert werden konnten, dessen Kategorien im Folgenden vorgestellt und kurz erklärt werden sollen:

Ein Messverlauf wird *monoton steigend* genannt, wenn die variierten Messparameter im Verlauf der Messung sukzessive größer werden oder gleichbleiben. Eine analoge Definition gilt für *monoton fallende* Messverläufe (vgl. Abb. 5).

Ein Messverlauf wird *phasenweise steigend* genannt, wenn entweder in verschiedenen Sequenzen des Messverlaufs ausschließlich steigende Tendenzen zu sehen sind (vgl. Abb. 5) oder wenn einer monoton steigenden Systematik in der Messparameterwahl nur einzelne (maximal 2) Ausreißer widersprechen. Analog hierzu wird ein *phasenweise fallender* Messverlauf definiert.

Als *indifferent* werden solche Messverläufe bezeichnet, die den anderen vier Kategorien nicht zugeordnet werden können. Dies ist damit zu erklären, dass die Einstellungen der Messparameter im Versuchsablauf wechselnd steigende und fallende Tendenzen aufweisen.

Auf Grundlage dieser Kategorisierung lassen sich nun die Messverläufe der einzelnen Teams den Kategorien zuordnen und auf Gruppenebene miteinander vergleichen.

6.2. Gruppenebene

Auf Grundlage eines Manuals in Ref. [13] wurden die Datensätze in die Kategorien einsortiert. Ein Inter-rating bestätigte die Eindeutigkeit des Kategoriensystems. Bei zehn von insgesamt 51 Datensätzen wurden die Messverläufe von zwei unabhängigen Ratern kategorisiert. Die Übereinstimmung lag dabei bei 100%.

Aus der Zuordnung zu den Kategorien ergab sich eine Verteilung der Messverläufe gemäß dem Diagramm

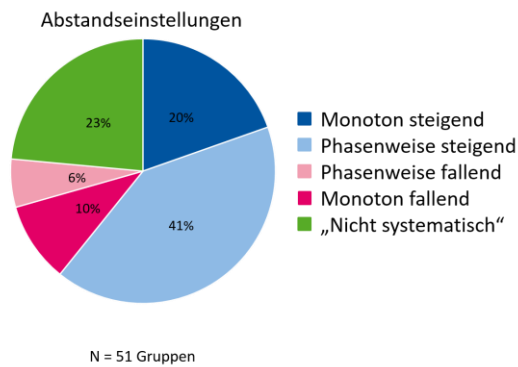


Abb. 6: Diagramm zur Einteilung der Versuchsverläufe in die Kategorien der Variation der Messparameter.

in Abb. 6. Mit 23% der Fälle, die der Kategorie der indifferenten Messverläufe zugeordnet werden, lassen sich mehr als drei Viertel der Datensätze den oben genannten vier Kategorien zuweisen, die auf eine zumindest phasenweise systematische Veränderung des Messparameters Abstand hindeuten. Rund 16% der Teams weisen einen phasenweise oder monoton fallenden Verlauf dieses Messparameters auf, während eine große Mehrheit von 61% eine phasenweise oder monoton steigende Systematik bei der Wahl des Abstands verfolgte. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund erwähnenswert, dass die Abstandseinstellung zu Beginn des Versuches immer auf 300 mm (bei einem maximalen Wertebereich von 50 mm bis 350 mm) eingestellt war. Somit haben diese Teams aktiv diese Grundeinstellung verändert und stattdessen bei niedrigen Abständen begonnen.

30% aller Teams wählten monoton steigende bzw. fallende Abstände im Verlauf ihrer Abstandsmessung.

7. Fazit

Mithilfe der objektfokussierten Daten ist es möglich, den experimentellen Suchraum detailliert zu erfassen. Auf Individualebene lassen sich die Messverläufe betrachten und daraus Rückschlüsse über die Tätigkeiten der Studierenden ziehen. Die Daten lassen es zu, die Messabfolge in Abschnitte einzuteilen, die den einzelnen Versuchsteilen zuzuordnen sind. Diese Zuordnungen lassen sich durch die Smartpen-Protokolle bestätigen. Innerhalb der einzelnen Abschnitte ist es möglich, vorhandene systematische Variationen der Wahl der Messparameter zu erkennen. Die Messverläufe lassen sich darauf aufbauend kategorisieren, sodass die Studierendenteams damit auch auf Gruppenebene miteinander verglichen werden können.

8. Ausblick

Neben der Analyse des zweiten Abschnitts (Abstandsmessung) ist es ebenso möglich, die Messverläufe der Versuchsteile zur Absorption von Strahlung (Abschnitte 4 & 5 in Abb. 3) in analoger Weise zu untersuchen. Auf Individualebene lässt sich darauf aufbauend betrachten, inwieweit sich Systematiken zwischen den einzelnen Versuchsteilen wiederholen

oder unterscheiden. Diese Analyse lässt sich auf Gruppenebene auch durch sogenannte Sankey-Diagramme realisieren [9].

In einem weiteren Schritt kann mithilfe der Arduino-Daten auch die Sinnhaftigkeit der eingestellten Messparameter analysiert werden. Dabei spielt im Wesentlichen die Dauer einzelner Messvorgänge eine wichtige Rolle (vgl. Abb. 4). Diese ist entscheidend, um die Anzahl der aufgenommenen Ereignisse im Geiger-Müller-Zählrohr zu beeinflussen. Je mehr Ereignisse aufgenommen werden, desto geringer fällt die relative Messunsicherheit einer Messung aus und die Daten werden belastbarer [12]. Gleichzeitig ist jedoch die gesamte Versuchszeit durch den Praktikumsablauf begrenzt, sodass einzelne Messungen auch nicht zu lange dauern sollten. Anhand dieser Rahmenbedingungen lassen sich die Kombinationen der Einstellungen aus Messdauer und Abstand bzw. Absorberdicke bewerten.

Mittels der Smartpen-Daten ist es einerseits möglich, die Einteilungen in die einzelnen Abschnitte zu validieren. Hierzu lässt sich über die Schriftspur erkennen, wann welche Versuchsteile bearbeitet werden. Andererseits gibt die Tonspur einen Einblick in die Gespräche zwischen den Teams und erlaubt dadurch einen Rückschluss auf die Handlungsmotive und mögliche Strategien, welche durch die Studierenden verfolgt wurden.

Die Kombination aus Smartpen-Protokollen und objektfokussierter Erfassung macht es somit möglich, ein umfassendes Bild der Handlungen der Studierenden zu erstellen und dieses im Hinblick auf den experimentellen Suchraum zu analysieren. Die Möglichkeiten der teilautomatisierten Bearbeitung der aus der objektfokussierten Erhebung gewonnenen Daten und der sehr zielführenden Auswertung der Smartpen-Daten lassen es zu, auch größere Probandenzahlen zu untersuchen. Dies eröffnet einen vielversprechenden Zugang zur Untersuchung eines breiten Spektrums experimenteller Strategien für verschiedene Probandengruppen sowohl auf der Individualebene als auch auf der Ebene der gesamten Kohorte.

Die individuelle Betrachtung solcher Datensätze und insbesondere der Einbezug der Tonspur der Smartpen-Daten kann dabei tiefe Einblicke in die experimentellen Prozesse einschließlich der Handlungsmotive der Probanden liefern.

In Ergänzung zu solchen Studien kann auch die angedachte vollständig automatisierte Auswertung der objektfokussierten Arduino-Daten im Hinblick auf die Sinnhaftigkeit der eingestellten Messparameter es zukünftig erlauben, den Lernern noch während des Experimentierprozesses z.B. über interaktive Versuchsanleitungen Feedback über ihr Experimentierverhalten zu geben. Dies eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Vermittlung experimenteller Fertigkeiten am echten Realexperiment.

9. Literatur

- [1] Walpuski, M. (2006): Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physik- und Chemielernen (Bd. 49). Berlin: Logos Verlag.
- [2] Schreiber, N. (2012): Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physikalernen (Bd. 139). Berlin: Logos Verlag.
- [3] Lock, R. (1989): Assessment of Practical Skills Part 1. The Relationship between Component Skills. *Research in Science & Technological Education*, 7(2), 221-233.
- [4] Neumann, K. (2004): Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physikalernen (Bd. 38). Berlin: Logos Verlag.
- [5] Shavelson, R. J., Baxter, G. P. & Pine, J. (1991). Performance Assessment in Science. *Applied Measurement in Education*, 4(4), 347–362.
- [6] Emden, M. (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlichen-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I. (H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth, Hrsg.) Studien zum Physik- und Chemielernen (Bd. 118). Berlin: Logos Verlag.
- [7] Fraß, S., Lammertz, I. Magdans, U. & Heinke, H. (2014). Erhebung von Daten für IBE mit Smartpens. In S. Bernholt (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in München 2013. Münster: Lit.
- [8] Fraß, S., Weyers, C., Heinke, H. (2014): Können IBE experimentelle Fertigkeiten vermitteln? Entwicklung eines prozessorientierten Analyseinstrumentes. In: PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Frankfurt.
- [9] Fraß, S., Heinke, H. (2016): Auf der Suche nach Strategien bei der Manipulation von Experimenten. In C. Maurer (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016. Münster: Lit.
- [10] Büsch, L., Schöneberg, M., Heinke, H. (2016): Einblick in Prozesse im Realexperiment: Chancen für Forschung und Lehre. In C. Maurer (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016. Münster: Lit.
- [11] Klahr, D. (2000). *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery Processes*. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press.
- [12] Eichler, H. J., Kronfeldt, H.-D., Sahn, J. (2001): *Das neue Physikalische Praktikum*. Berlin: Springer.
- [13] Guntermann, C. (2017): *Analyse von experimentellen Prozessen am Beispiel eines Versuchs zur Radioaktivität*. Masterarbeit, RWTH Aachen University, unveröffentlicht.