

Stochastik anschaulich erfahrbar im Physikpraktikum

Marie-Christine Sommerer*, Sara Pfeifer*, Michael Plomer*, Jürgen Giersch*

*LMU München, Physikalische Praktika, Edmund-Rumpler-Straße 9, 80939 München
juergen.giersch@physik.uni-muenchen.de

Kurzfassung

Die Studierenden der Fakultät Physik an der LMU München absolvieren im ersten Semester ein physikalisches Grundpraktikum, in dem Versuche aus der Mechanik durchgeführt werden. Der Versuch „Statistische Verteilungen“ ist eine Ausnahme, er soll anhand von experimentell gewonnenen Messdaten die Notwendigkeit von Kenntnissen aus der Stochastik aufzeigen.

Im Vorbereitungsskript werden neben elementaren Begriffen, verschiedene Verteilungen und der zentrale Grenzwertsatz behandelt. Zu Beginn generieren die Studierenden mit dem Galton-Brett eine Binomialverteilung. Im Folgenden dient die natürliche Radioaktivität zur Aufnahme einer Poissonverteilung, um darauf aufbauend den zentralen Grenzwertsatz zu veranschaulichen. Zur Visualisierung und Auswertung der Messreihen dient das Softwareprogramm MATLAB.

Eine anschließende Evaluation ergab, dass das entwickelte Versuchskonzept trotz seines bereichsübergreifenden Umfangs von den Studierenden sehr positiv aufgenommen wird.

1. Ausgangslage

Die Studierenden des Bachelorstudiengangs Physik und Lehramt an Gymnasien absolvieren im Anschluss an die erste Experimentalphysikvorlesung (Mechanik) ein physikalisches Grundpraktikum. Der Schwerpunkt der durchzuführenden Versuche liegt in diesem Praktikum deshalb auf dem Gebiet der Mechanik. Der Versuch „Statistische Verteilungen“ stellt hierbei eine inhaltliche Besonderheit dar, denn die Anwendungen aus der Mechanik werden nur am Rande demonstriert.

Zusammenhänge aus der Statistik sind in der Physik wichtig, da diese zum einen von elementarer Bedeutung in der Erkenntnisgewinnung der Experimentalphysik sind und zum anderen sind sie selbst Gegenstand modernerer physikalischer Theorien, wie der Quantenmechanik. Um die Verknüpfung von Statistik und Physik zu veranschaulichen erscheint das Physikpraktikum als besonders geeignet.

2. Lernziele

Der neu konzeptionierte Versuch „Statistische Verteilungen“ soll einen Bezug zwischen mathematisch abstrakten Begriffen der Stochastik und anschaulichen Anwendungen in der Experimentalphysik herstellen.

Als praktischer Zugang eignet sich neben einem Galton-Brett die natürliche Radioaktivität. Den Studierenden muss deshalb neben den Grundbegriffen der Stochastik auch die Grundlagen der natürlichen Radioaktivität vermittelt werden. Da

allerdings im ersten Semester noch keine Kern- und Teilchenphysik gelehrt wird, knüpft der Versuch hier lediglich in der Regel an bereits vorhandenes Schulwissen an.

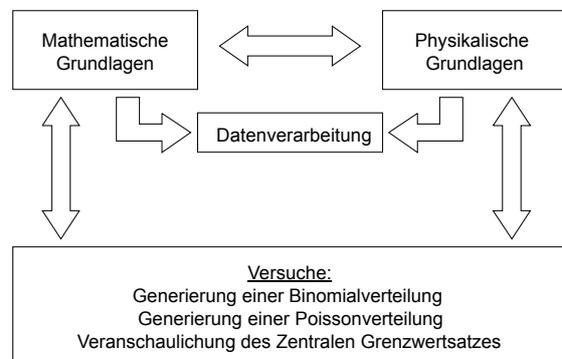


Abb. 1: Schematische Struktur zur Verknüpfung der Teilgebiete.

Die beschriebenen Lernziele und die damit verbundenen Wissensgebiete (Physik, Mathematik, Datenverarbeitung) führen zu einer großen Anzahl an Begriffen, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten, die im Rahmen eines Grundpraktikumsversuches vermittelt werden sollen (Abb. 1).

3. Rahmenbedingungen des Praktikums

Dieser Teil des physikalischen Grundpraktikums besteht aus sechs Versuchen. In der Regel werden diese Versuche in Gruppen von durchschnittlich zwölf Studierenden durchgeführt.

Den Studierenden wird vor der Durchführung des Versuches das Vorbereitungsskript im Internet zur Verfügung gestellt. Die Skripten zu jedem Versuch wurden speziell für das Physikpraktikum an der Ludwig-Maximilians-Universität München verfasst.

Zur Vorbereitung erarbeiten die Studierenden außerhalb des Praktikums anhand einer beigelegten Stichwortliste vier kurze Vorträge (jeweils etwa 5 Minuten), die zu Beginn des Versuches von zufällig ausgewählten Teilnehmern vorgetragen werden müssen. Diese Vorträge werden bewertet und stellen eine Zulassungsvoraussetzung zur Teilnahme an der Versuchsdurchführung dar.

Der Aufbau, die Messreihen und Beobachtungen zu den einzelnen Teilversuchen werden in einem Laborheft wissenschaftlich protokolliert. Die Auswertung erfolgt außerhalb des Praktikums und muss zur abschließenden Bewertung abgegeben werden.

4. Umsetzung

Im Folgenden wird der Aufbau des Skripts, sowie die Durchführung der Teilversuche vorgestellt.

4.1. Aufbau des Vorbereitungsskripts

Das Kapitel zu den theoretischen Grundlagen wird in mathematische und physikalische Grundlagen unterteilt. Ferner werden erweiterte Lerninhalte zur Verfügung gestellt.

Mathematische Grundlagen

In den mathematischen Grundlagen werden zu Beginn fundamentale Begriffe, wie absolute und relative Häufigkeit, Stichprobe und Wahrscheinlichkeiten anhand von einfachen Beispielen (Münzwurf) eingeführt. Des Weiteren werden die diskrete und kontinuierliche Gleichverteilung, die Binomialverteilung, die Poissonverteilung und die Normalverteilung vorgestellt [1]. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass als hinführende Beispiele versuchsnahe Situationen verwendet werden. So wird zum Beispiel die Binomialverteilung mit Hilfe des Galton-Bretts vorgestellt. Diese Vorgehensweise soll den Studierenden den Transfer zwischen den theoretischen Grundlagen und den zu bearbeitenden Versuchen erleichtern. Im Anschluss an die verschiedenen Verteilungen wird der zentrale Grenzwertsatz eingeführt, wobei hier kein

mathematischer Beweis vollzogen wird, sondern den Studierenden nur die Kernaussage erklärt werden soll. Für interessierte Studierende wird weiterführende Literatur angegeben [2]. Zum Abschluss der mathematischen Grundlagen wird die Schätzung beschrieben, die ein unerlässliches Werkzeug in der Physik darstellt. Dieses Werkzeug soll den Studierenden in diesem Versuch demonstriert werden.

Physikalische Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen beinhalten in erster Linie Teilgebiete der Physik, die den Studierenden nach dem ersten Semester aufgrund des Physikunterrichts in der Schule bekannt sind. Der Schwerpunkt liegt auf der natürlichen Radioaktivität; es werden die α -, β - und γ -Strahlung grob auf Schulniveau beschrieben. Auch der Nachweis der natürlichen Radioaktivität durch eine Diffusion-Nebelkammer und dem Szintillationsdetektor wird aufgezeigt und deren Funktionsweise beschrieben [3]. Es werden den Studierenden sämtliche Informationen, die für das Verständnis des Versuches relevant sind, zur Verfügung gestellt.

Erweiterte Lerninhalte (auf freiwilliger Basis)

Im Vorbereitungsskript werden den Studierenden einige zusätzliche Unterkapitel zur Verfügung gestellt, die allerdings nicht zur Bearbeitung des Versuches und für die verpflichtende Vorbereitung notwendig sind. So wird unter anderem die Binomialverteilung in der Thermodynamik, die Gammafunktion zur Interpolation der Poissonverteilung und die Brownsche Bewegung als Beispiel für die Normalverteilung in den mathematischen Grundlagen vorgestellt [4]. Die Aktivität von Baustoffen und Nahrungsmittel sowie das Zerfallsgesetz sollen das Interesse der Studierenden in den physikalischen Grundlagen durch Alltagsbezug anregen.

Vorbereitung auf die Datenanalyse-Software

Der Hauptteil der Versuchsdurchführung besteht in der Analyse der Messreihen mit Hilfe der Software MATLAB. Zu diesem Programm wird den Studierenden ein Selbstlernskript angeboten, das die wesentlichen Arbeitsschritte näher erläutert und Ausblick auf andere Anwendungsbereiche gibt [5].

4.2. Versuchsdurchführung

Insgesamt bearbeiten die Studierenden im Versuch drei Teilversuche. Im ersten Versuch generieren die Studierenden eine Binomialverteilung mit dem Galton-Brett (Abb. 2).

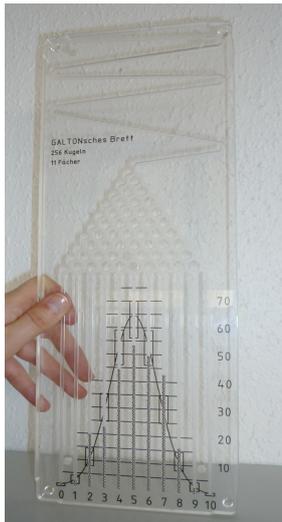


Abb. 2: Galton-Brett [6].

Jedes Team nimmt Messreihen mit einer kleinen Stichprobe (etwa 40 Kugeln), einer mittleren (256 Kugeln) und einer großen Stichprobe auf. Die große Stichprobe umfasst 2560 Kugeln. Dazu notiert jedes Team die Ergebnisse ihrer mittleren Stichprobe auf der Tafel. Somit arbeitet die gesamte Gruppe für die große Stichprobe zusammen und analysiert anschließend dieselben Messergebnisse. Die Veranschaulichung der kleinen Stichprobe erfolgt durch ein manuelles Auftragen eines Histogramms auf Millimeterpapier. Die Studierenden müssen dabei die im Vorbereitungsskript beschriebenen Formeln für den Mittelwert und die Standardabweichung auf diese Stichprobe anwenden. Danach wird der Mittelwert der großen und der mittleren Stichprobe mit MATLAB berechnet und die Messreihen visualisiert. In Abb. 3 wird ein mögliches Endresultat dargestellt. Durch den Vergleich der mittleren und der großen Stichproben wird das Gesetz der großen Zahlen erfahrbar gemacht.

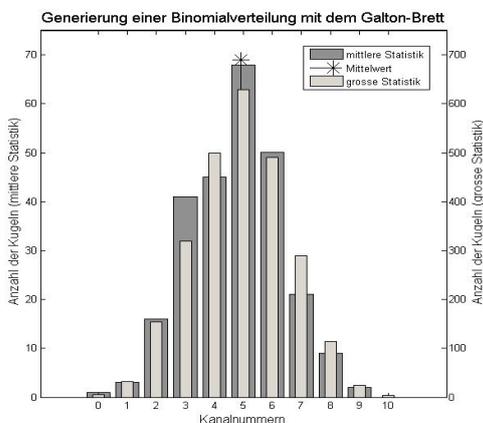


Abb. 3: Visualisierung der mittleren und großen Stichprobe.

Im zweiten Teilversuch wird ein Szintillationsdetektor verwendet, um einen Teil der in der natürlichen Radioaktivität vorkommenden Gammastrahlung zu registrieren (Abb. 4). Mit Hilfe einer dafür eigens entwickelten Hard- und Software werden die detektierten Ereignisse am Computer in Energieintervalle eingeteilt. Die aufgenommenen Histogramme können in das Programm MATLAB importiert und weiterverarbeitet werden. Die Studierenden erhalten ein für die Poissonverteilung charakteristisches Diagramm.



Abb. 4: Versuchsaufbau zur Analyse der natürlichen Radioaktivität. Rechts: Szintillationsdetektor als Gammadetektor. Links: Oszilloskop zur Visualisierung der Spannungsimpulse des Detektors.

Der dritte Teilversuch beschäftigt sich mit der Visualisierung des zentralen Grenzwertsatzes. Dazu wurden zwei Varianten erprobt. In der ersten Variante wird die Messzeit n -fach verlängert. Die im vorigen Versuch generierte poissonverteilte Zufallsvariable wird quasi n -fach aufsummiert. Die graphische Auswertung in Abb. 5 zeigt, dass die „neue“ Poissonverteilung nahezu mit der Normalverteilung übereinstimmt.

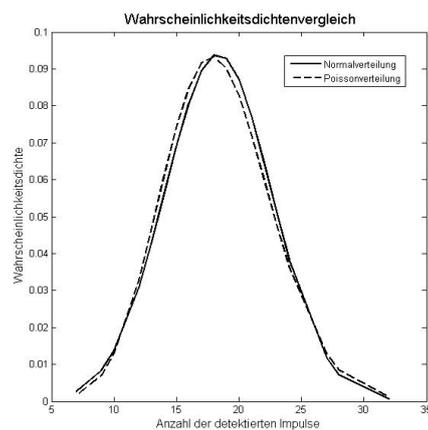


Abb. 5: Visualisierung des zentralen Grenzwertsatzes anhand der Datenanalyse nach Variante 1.

In der zweiten Variante wird die Anzahl der Energiekanäle in dem Softwareprogramm zur Messung der detektierten Impulse n -fach vergrößert. Die Verteilung der Impulse über das n -mal breitere

Energieintervall, kann als Summe von n (unbekannten) Verteilungen aufgefasst werden. Eine graphische Auswertung zeigt auch hier, dass man nahezu eine Gauß-Glocke erhält.

5. Evaluation

Am Ende des Praktikumstages wurden die Studierenden zum Versuch „Statistische Verteilungen“ schriftlich befragt. Dabei wurde unter anderem die Einschätzung der Studierenden zu Umfang und Schwierigkeitsgrad erhoben.

Die Auswertung der Fragebögen ergab, dass die Studierenden die erste Variante zur Veranschaulichung des zentralen Grenzwertsatzes als verständlicher einstufen, da hier ein direkter graphischer Vergleich der Poisson- und Normalverteilung ersichtlich ist.

Eine Überforderung der Studierenden aufgrund der Komplexität konnte nicht nachgewiesen werden. Trotz der Vielzahl an Lerninhalten empfand der Großteil der Studierenden die Inhalte dieses Versuches als gut verständlich und nicht zu umfangreich. Innerhalb des Freitextfeldes der Befragungsbögen wurde dieser Versuch sogar mehrfach „als der beste“ (im Vergleich zu den anderen fünf Versuchen) bezeichnet.

Darüber hinaus gaben etwa 90 % der Studierenden an, mit den ergänzenden, freiwilligen Lerninhalten gearbeitet zu haben.

6. Fazit und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, den Studierenden die Grundlagen der Stochastik anhand von physikalisch anschaulichen Beispielen innerhalb eines Praktikumsversuches nahe zu bringen.

Neben der technischen Realisierung war die Vermittlung der Vielzahl von Lerninhalten sowie deren Komplexität eine Herausforderung. Die

begleitende Evaluation sowie das Feedback der Betreuenden belegen, dass dieses neu entwickelte Versuchskonzept erfolgreich in das Grundpraktikum für Physiker integriert werden konnte.

Um den relativ hohen Betreuungsaufwand innerhalb dieses Versuches entgegen zu wirken, werden derzeit als mediale Unterstützung der Betreuenden kurze Lernvideos entwickelt und erprobt. Deren Einsatz ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

7. Literatur

- [1] H.-O. Georgii, *Stochastik–Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik*, 3.Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, 2007.
- [2] E. Blobel, E. Lohrman, *Statistische und numerische Methode der Datenanalyse*, 1.Auflage, Teubner Studienbücher, Stuttgart - Leipzig, 1998.
- [3] W. Demtröder, *Experimentalphysik 4 – Kern-, Teilchen- und Astrophysik*, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- [4] T. Fließbach, *Statistische Physik – Lehrbuch zur theoretischen Physik IV*, 4. Auflage, Elsevier-Spektrum Akademischer Verlag, München, 2007.
- [5] Pfeifer et al., *Rechnergestützte Datenauswertung als Lernziel im Physikpraktikum*, in: Nordmeier et al. (Hrsg.), *Didaktik der Physik – Hannover 2010*, Berlin: Lehmanns Media, 2009.
- [6] Universität Greifswald, *GALTONsches Brett(256 Kugeln, 11 Fächer)*, Institut für Physik, KUPoSCh, 2003.