

Konzepte Studierender zur Unsicherheit von Messdaten**Philipp Möhrke*, Barbara Pampel⁺, Bernd-Uwe Runge***

*Universität Konstanz, FB Physik, 78457 Konstanz,

⁺ Universität Konstanz, FB Informatik und Informationswissenschaft, 78457 Konstanzphilipp.moehrke@uni-konstanz.de, barbara.pampel@uni-konstanz.de, bernd-uwe.runge@uni-konstanz.de**Kurzfassung**

Der Umgang mit Messunsicherheiten ist in den experimentellen Naturwissenschaften von zentraler Bedeutung, da erst sie ein Ergebnis bewert- und vergleichbar machen. Der Umgang mit Messdaten und ihren Unsicherheiten ist daher zentraler Gegenstand der Ausbildung in den physikalischen Praktika. Nichtsdestotrotz zeigen Studien gravierende Fehlvorstellungen in diesem Bereich, die auch auf voruniversitäre Präkonzepte der Studierenden zurückgehen. Selbst bei der Auswertung von Dissertationen im Fach Physik können einige dieser Fehlvorstellungen noch gefunden werden. Um das Lernen der Studierenden genauer beobachten und Fehlkonzepte diagnostizieren zu können, wurden im Laufe des ersten Studiensemesters die mentalen Modelle Studierender mittels Concept-Maps abgebildet. Der Vergleich ihrer inhaltlichen Struktur mit Concept-Maps von Experten, unter anderem auf der Basis verschiedener graphentheoretischer Maße, ermöglicht die Bewertung der inhaltlichen Güte dieser Concept-Maps. So konnten im Längsschnitt Lernfortschritte, aber auch persistente Fehlkonzepte diagnostiziert werden.

1. Einleitung

Jede Messung ist mit Störungen, kleinen Abweichungen oder Unregelmäßigkeiten behaftet, so dass man bei wiederholter Messung eine ganze Sammlung unterschiedlicher Ergebnisse erhält. Die Angabe von Messergebnissen oder Referenzwerten als reiner Zahlenwert ohne eine Unsicherheit, also ohne ein zugeordnetes Intervall, in dem die Messergebnisse mit einer vereinbarten Wahrscheinlichkeit liegen, wird dem Messvorgang nicht gerecht. Auch ist ein Vergleich zweier Ergebnisse schlicht nicht möglich. Denn selbst eine kleine Differenz zwischen zwei Messwerten kann bei entsprechend kleinen Messunsicherheiten immer noch signifikant sein. Bei größeren Unsicherheiten würde das Urteil hingegen anders ausfallen.

Wie Unsicherheiten von Messdaten angegeben, miteinander verrechnet und Messergebnisse angegeben werden, wird seit 1995 eindeutig durch einen Leitfaden der ISO, den *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, kurz GUM, geregelt. Dieser ist in leicht geänderter Form von 2008 noch immer gültig (JCGM, 2008). Der Umgang mit Messdaten sollte also schon lange keine Frage der Fachkultur oder gar persönlichen Vorliebe sein, sondern ist auf internationalem Niveau eindeutig vereinbart. Sobald Messdaten erhoben und betrachtet werden, ist es also zwingend erforderlich die Unsicherheit der erhobenen Daten zu thematisieren.

Dies trifft bereits in der Schule zu, aber spätestens im Physikstudium muss der fachgerechte Umgang mit Messdaten und deren Unsicherheiten ein zentrales Element darstellen. Einige Autoren fordern eine

strukturierte Behandlung dieses wichtigen Themas bereits im Physikunterricht der Sekundarstufe I und II, da hier bereits in diversen Experimenten Daten erhoben und bewertet werden (Hellwig, 2012). Auch finden sich Vorschläge, wie dieses Thema bereits in der Grundschule behandelt werden kann (Munier, 2012). Doch spätestens bei Physik-Studierenden ist die Relevanz dieses Themas unbestreitbar und ist expliziter Bestandteil der Laborpraktika an Universitäten.

Auch nach einer eingehenden Beschäftigung mit diesem Thema zeigen Studierende inadäquate Konzepte im Bezug auf den Umgang mit Messdaten (Séré, Journeaux und Larcher, 1993, Allie, 1998). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass Studierende abhängig von der Situation unterschiedlichen handlungsleitenden Kognitionen folgen (Heinicke, 2012). So kommt der Diagnose des konzeptuellen Verständnisses zum Thema Messunsicherheiten ein großer Stellenwert zu, um das Lernen auf diesem Gebiet weiter zu erkunden.

2. Hintergründe

Der Lerntheorie Ausubels folgend bedeutet Lernen den Aufbau eines Netzwerkes aus Wissen über einzelne Konstrukte oder Konzepte sowie die Art ihrer Verknüpfung miteinander. „Meaningful learning“ zeichnet sich nach seiner Theorie durch einen Ausbau des Netzwerkes durch das Hinzufügen neuer Konzepte sowie einer guten Anbindung dieser neuen Konzepte an die bereits bestehende Struktur aus (Ausubel, 1963).

Novak und seine Mitarbeiter entwickelten ausgehend von dieser Theorie die Methode des Concept-Mappings, dass eine Externalisierung der Wissensstruktur in einen Graphen darstellt. In diesem Graphen werden die Konzepte des Netzwerkes als Knoten, die Verbindungen oder Proportionen als Kanten zwischen diesen dargestellt. Die sogenannten Concept-Maps erwiesen sich in einer Studie von Novak u. Cañas (2006) als robustes und reliables Werkzeug, um auch über verschiedene Interviewer hinweg konsistente Abbildungen des Wissensstands von Probanden zu erhalten. Dieser anfängliche Einsatz (von Forschern erstellte Concept-Maps) ist inzwischen aber gegenüber der vielfältigen Verwendung als Diagnose- und Bewertungsinstrument (von Lernenden erstellte Concept-Maps, die vom Lehrenden ausgewertet werden) in den Hintergrund getreten (Fischler u. Peuckert, 2000).

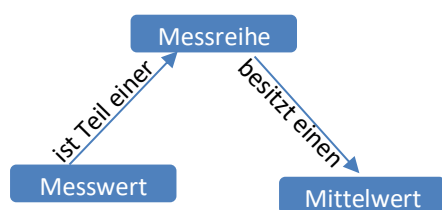


Abbildung 1: Beispiel einer Concept-Map

Zu diagnostischen Zwecken finden sich in der Literatur verschiedenen Methoden, die Concept-Maps Lernender zu bewerten. Eine Übersicht möglicher Bewertungsmethoden, die von einer holistischen Betrachtung über das Zählen vereinbarter essenzieller Verbindungen bis zum Vergleich mit der Map eines Experten gehen, finden sich im Buch von Fischler und Peuckert (2000) und sollen hier nicht weiter dargestellt werden.

Concept-Maps bieten also abseits von praxisnahen oder auch praxisfernen Aufgaben, die eine Anwendung der vorhandenen Wissensstrukturen durch die Probanden erfordern, die Möglichkeit, die Wissensstruktur zu einem Thema selbst zu erheben. Auch hier kann natürlich nicht ausgeschlossen werden, dass die

externalisierte Wissensstruktur abhängig von der konkreten Fragestellung beeinflusst wird oder sich erst durch die Bearbeitung der Aufgabe ausbildet (vgl. auch Schecker und Klieme, 2000). Diese Methode bildet aber neben den klassischen Zugängen über schriftliche Tests oder die Beobachtung der Probanden bei Experimentieraufgaben einen weiteren Zugang, die das durch die anderen Methoden gewonnene Bild vervollständigen kann.

3. Erhebung

Für die hier vorgestellte Fallstudie wurden von 45 Studierenden (B.Sc. und B.Ed. Physik) zum Ende einer achtwöchigen Einführung in das Arbeiten mit Messdaten und den Umgang mit Messunsicherheiten im ersten Studiensemester Concept-Maps zu eben diesem Thema erstellt. Zur Erstellung wurde das webbasierte Tool YEd-Live (yWorks GmbH, 2017) verwendet, über welches allen Probanden eine vorgegebene Liste von 12 Begriffen vorgegeben wurde, die zur Beantwortung einer Fokusfrage („Ist das Ergebnis des Experiments mit dem Literaturwert vereinbar?“) über Kanten miteinander verbunden werden sollten. Die eingefügten Kanten mussten darüber hinaus unter Verwendung von Verben beschriftet werden. Dabei soll die Einheit von Konzept A (z. B. „Einzelmessung“), Konzept B (z. B. „Messreihe“) und Kantenbeschriftung (z. B. „ist Teil einer“) eine Aussage ergeben (hier: „Einzelmessung ist Teil einer Messreihe“). Die verwendeten Begriffe der Knoten wurden alle in der Einführungsvorlesung eingeführt, in flankierenden Aufgaben vertieft und im Praktikum des ersten Semesters verwendet.

Des Weiteren wurde von den Praktikumsleitern und ausgewählten Lehrenden der Universität Konstanz eine gemeinsame Experten-Map auf Basis der Begriffe gebildet.

4. Auswertung

Zur Bewertung der Maps wurde in einem ersten Schritt eine Reihe von sieben essenziellen Relationen definiert, deren Vorkommen in den einzelnen Maps gezählt wurde. Eine Bewertung und ggf. Bereinigung

| Essenzielle Relation | Anteil, gesamt | | Anteil, oberes Quartil | |
|-------------------------------------------------|----------------|-----|------------------------|------|
| Einzelmessung - Messreihe | 33 | 73% | 11 | 100% |
| Messreihe - Mittelwert | 29 | 64% | 10 | 91% |
| Mittelwert - Messergebnis | 26 | 58% | 10 | 91% |
| Messunsicherheit - Messergebnis | 17 | 38% | 7 | 64% |
| Messreihe - Standardabweichung des Mittelwerts | 12 | 27% | 3 | 27% |
| Standardabw. des Mittelwerts - Messunsicherheit | 12 | 27% | 7 | 64% |
| Messreihe - Standardabweichung der Stichprobe | 9 | 20% | 7 | 64% |

Tabelle 1: Häufigkeit der essentiellen Relationen in der Gesamtstichprobe und dem oberen Quartil (Gesamtzahl der essentiellen Relationen) der Concept-Maps

der Maps um fachlich falsch beschriftete Kanten wurde bei den hier gezeigten Daten nicht vorgenommen. Die ausgewerteten Maps spiegeln also die unkorrigierten Konzepte der Probanden dar. Die Ergebnisse dieser Zählungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Klar erkennbar ist eine Hierarchie in der Häufigkeit der essenziellen Relationen. So findet sich in der Gesamtstichprobe der Maps (nach Gesamtzahl der auftretenden essenziellen Relationen) zum Beispiel die Verbindung zwischen den Begriffen „Einzelmessung“ und „Messreihe“ mehr als dreimal so häufig wie die Verbindung zwischen „Messreihe“ und „Standardabweichung der Stichprobe“.

Betrachtet man das obere Quartil der Maps, so findet man eine fast identische Reihung. Allerdings, wie nicht anders zu erwarten, bei wesentlich höheren relativen Häufigkeiten der einzelnen Verknüpfungen. Lediglich die Verbindung zwischen „Messreihe“ und

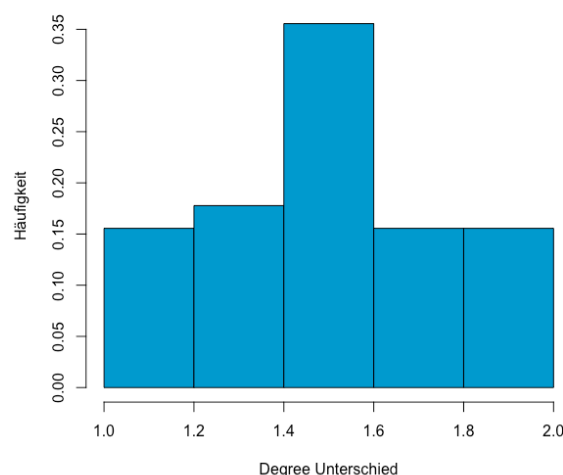


Abbildung 2: Verteilung der Summe der Degree-Unterschiede der Concept-Maps zur Experten-Map

„Standardabweichung des Mittelwertes stünde jetzt auf dem letzten Platz. Die häufigsten drei Konzepte sind bei nahezu allen Maps enthalten. Diese Reihung kann so als eine Reihung der Komplexität des hinter der Verbindung stehenden Konzeptes gewertet werden.

Graphentheoretische Zentralitätsmaße lassen neben der Betrachtung der einzelnen Konzepte eine Gesamtbewertung der Concept-Maps über einen Vergleich mit der Experten-Map zu. Da die genauen Strukturen von Maps unterschiedlicher Experten teilweise stark differieren, wird auf einen Vergleich der Zentralitäten der einzelnen Konzepte zur Experten-Map zurückgegriffen. Dafür wird der Knotengrad aller Knoten bestimmt und anschließend die Summe der Absolutdifferenzen zwischen Experten-Map und Studierenden-Maps für eine Bewertung gebildet. Die Verteilung der so gewonnenen Bewertung ist in Abbildung 2 zu erkennen. Die Verteilung ist klar unimodal allerdings nicht normalverteilt ($p=0.03$ Shapiro-Wilk).

Diese Art der Bewertung zeigt eine starke Korrelation ($r = .62$ nach Spearman) mit einer kriteriengestützten holistischen Bewertung durch Experten.

5. Fazit

Die Auswertung von Concept-Maps bietet eine weitere Möglichkeit, das konzeptuelle Verständnis Lernender zu erheben. Über die Betrachtung der Verbindungen in den Maps kann so zum Beispiel eine Reihung im Lernen der dahinterliegenden Konzepte ermittelt werden. Der Vergleich von Experten- und Probanden-Maps über den Vergleich der Zentralitäten der einzelnen Konzepte bietet darüber hinaus eine Möglichkeit der automatisierten Bewertung von Maps, die einer holistischen Bewertung durch einen Experten vergleichbar ist.

6. Literatur

- Allie, S.; Buffler, A.; Campbell, B.; Lubben, F.: First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. In: *International Journal of Science Education* Bd. 20 (1998), Nr. 4, S. 447
- Ausubel, D. G.: Cognitive Structure and the Facilitation of Meaningful Verbal Learning. In: *Journal of teacher education* 14 (1963), Nr. 2, S. 217
- Fischler, H. (Hrsg.); Peuckert, J. (Hrsg.): *Concept mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*. Logos Verlag Berlin, 2000
- Heinicke, S.: *Aus Fehlern wird man klug*. Berlin : Logos Verlag, 2012
- Hellwig, Julia: *Messunsicherheiten verstehen*, Ruhr-Universität Bochum, 2012
- JCGM: 100:2008 - Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) / Joint Committee for Guides in Metrology. 2008.
- Munier, V.; Merle, H.; Brehelin, D.: Teaching Scientific Measurement and Uncertainty in Elementary School. In: *International Journal of Science Education* 35 (2012), Nr. 16, S. 2752
- Schecker, H.; Klieme, E.: Erfassung physikalischer Kompetenz durch Concept-Mapping-Verfahren. In: Fischler, H. (Hrsg.); Peuckert, J. (Hrsg.): *Concept mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*. Logos Verlag Berlin, 2000, S. 23
- Seefeldler, R.: Konzepte zur Unsicherheit im *physikalischen Messprozess bei Physikstudierenden - Eine Untersuchung mit Concept-Maps*, wissenschaftliche Arbeit (2017)
- Séré, M.-G.; Journeaux, R.; Larcher, C.: Learning the statistical analysis of measurement errors. In: *International Journal of Science Education* 15 (1993), Nr. 4, S. 427
- yWorks, 2018 <https://www.yworks.com/yed-live/>