

Das Schulbuch im fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht

- Eine vergleichende empirische Analyse -

Johannes Lewing*, Susanne Schneider*

*Georg-August-Universität Göttingen, Didaktik der Physik, Friedrich Hund-Platz 1, 37077, Göttingen
johannes.lewing@uni-goettingen.de, sschnei@gwdg.de

Kurzfassung

In der Diskussion um integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht wird häufig anhand der inhaltlichen Struktur sowohl pro fächerübergreifenden, also auch pro fachsystematischen Unterricht argumentiert. Inwiefern sich die Sachstrukturen der beiden Varianten unterscheiden, ist derzeit noch nicht hinreichend geklärt. In diesem Beitrag wird untersucht, ob eine automatisierte Extraktion von Sachstrukturen aus Schulbüchern möglich ist, und ob ein Unterschied zwischen den zentralen Konzepten in Physikschulbüchern und Schulbüchern für das integrierte Fach feststellbar ist. Anhand der Schulbuchreihen *Universum Physik* für das Fach Physik und *PRISMA Naturwissenschaften* für das integrierte Fach wird exemplarisch gezeigt, dass eine automatisierte Extraktion der Sachstruktur gelingt, anhand derer die zentralen Konzepte verglichen werden können. Erste Ergebnisse zeigen Unterschiede zwischen den beiden Schulbüchern.

1. Einleitung

Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht (INU) hat sich deutschlandweit in den vergangenen Jahren immer weiter im Anfangsunterricht etabliert. Zum Teil werden allerdings auch in der gesamten Sekundarstufe I Naturwissenschaften integriert unterrichtet, wie an der integrierten Gesamtschule in Niedersachsen¹. In der Diskussion um den fächerübergreifenden Unterricht werden oft Argumente eingebracht, die sich auf die inhaltliche Struktur der Fächer beziehen, aber größtenteils nur unzureichend empirisch belegt sind, sodass hier ein Beitrag zu diesem Thema geleistet werden soll.

2. Theorie

2.1 Diskussion um INU

In der Diskussion um INU wird aus Sicht der Befürworter argumentiert, dass fächerübergreifender Unterricht das Verbinden bereits gelernter und neu zu erlernender Wissensbestandteile begünstigt (Labudde, 2014). Weiter soll das „interdisziplinäre Vernetzen von Inhalten [...] neue Einsichten ermöglich[en]“ und somit das Interesse der Schülerinnen und Schüler fördern (ebd., S. 14). Aus Sicht der Kritiker spricht nach Merzyn (2013) gegen den fächerübergreifenden Unterricht vor allem die „Ordnung und Struktur“ (S. 266) der fachsystematischen Variante, welche „Umwege und Abwege“ (ebd.) vermeidet. Auch gewährleistet der übersichtliche Aufbau durch die Fachlogik ein angemessenes Unterrichtsniveau. In der Schulstudie der DPG (2016) wird darüber hinaus davor gewarnt, dass zentrale Konzepte in einem fächerübergreifenden Fach vernachlässigt werden, wenn fachsystematische Unterrichtsphasen fehlen. Die genannten Argumente im-

plizieren einen Unterschied in der inhaltlichen Struktur des integrierten Fachs und des fachsystematischen Unterrichts, dem im Folgenden nachgegangen werden soll.

2.2 Sachstrukturen

Unter dem Begriff der Sachstruktur wird im Folgenden die *Sachstruktur für den Physikunterricht* verstanden, welche in Abgrenzung zur *Sachstruktur der Wissenschaft Physik* aktiv entwickelt werden kann (Brückmann, 2009). Die Autorin beschreibt diese Sachstrukturen für den Physikunterricht als „sachliche, unter logischen und systematischen Gesichtspunkten gegliederte Struktur der fachlichen Inhalte“ (ebd., S. 57). Dabei zählen zu den fachlichen Inhalten „Begriffe, Konzepte, Modelle und Prinzipien als auch [...] die Methoden, Denk- und Arbeitsweisen und die Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften“ (ebd.). Nach ähnlicher Definition wurden diverse Videografiestudien durchgeführt, in denen Sachstrukturdiagramme extrahiert wurden (Brückmann, 2009; Liepertz, 2017; Müller & Duit, 2004). Dagegen fokussieren sich andere Studien ausschließlich auf die fachlichen Konzepte innerhalb der Sachstruktur, sodass vor allem die verwendeten Fachbegriffe und deren Verknüpfungen untereinander in Concept Maps betrachtet werden. Dazu zählen zum Beispiel Härtig (2010) und Helaakoski und Viiri (2014). Während in der Schulbuchanalyse von Härtig auch die Relationen, also die Art der Verbindung zwischen Fachbegriffen ebenfalls extrahiert wird, ist diese bei Helaakoski und Viiri vernachlässigt worden. Letztere konnten in ihrer Videostudie von Physikunterricht eine Korrelation zwischen Vernetzung der Fachbegriffe und Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler feststellen, weshalb in

diesem Beitrag diese Operationalisierung der konzeptuellen Sachstruktur gewählt wurde.

2.3 Schulbücher

Schulbüchern wird in der Literatur starke Bedeutung in der Vermittlung zwischen intendiertem und umgesetztem Curriculum zugesprochen (Bierema, Schwartz & Gill, 2017; Oelkers & Reusser, 2008). Merzyn (1994), sowie Härtig, Kauertz und Fischer (2012) betonen des Weiteren die Rolle des Schulbuchs bei der Vorbereitung des Unterrichts. In Bezug auf das zum Teil fachfremde Unterrichten des integrierten Fachs Naturwissenschaften kann angenommen werden, dass sich diese Rolle weiter verstärkt. Schulbücher werden hier also als Annäherung an den eigentlichen Unterricht verstanden.

2.4 Forschungsinteresse

Um den Argumenten in der Diskussion um fächerübergreifenden Unterricht mit einer hohen Stichprobengröße nachzugehen, bietet es sich an, Sachstrukturen maschinell extrahieren zu lassen. Aus diesem Grund besteht das erste Forschungsinteresse darin, ob sich konzeptionelle Sachstrukturen automatisiert aus Schulbüchern extrahieren lassen. Anschließend kann die Forschungsfrage geprüft werden, inwiefern sich die Sachstrukturen zwischen Physikschulbüchern und Schulbüchern für das integrierte Fach unterscheiden. Aufgrund der oben beschriebenen Diskussion um den INU besteht zum einen die Hypothese, dass grundsätzlich eine stärkere Vernetzung der physikalischen Konzepte im Physikschulbuch stattfindet und zum zweiten, dass sich die beiden Schulbucharten hinsichtlich ihrer zentralen Konzepte unterscheiden.

3. Methoden

3.1 Stichprobe

In diesem Beitrag soll exemplarisch die Analyse zweier aktueller Schulbuchreihen vorgenommen werden. Für den integrierten Unterricht Naturwissenschaften in der integrierten Gesamtschule wurde die Reihe *PRISMA Naturwissenschaften* (Bergau et al., 2013a; Bergau et al., 2013b; Bergau et al., 2014) aus dem Klett-Verlag und für das Fach Physik am Gymnasium *Universum Physik* (Bengelsdorff et al., 2015; Carmesin et al., 2015a; Carmesin et al., 2015b) von Cornelsen gewählt. Es handelt sich dabei um zwei in Niedersachsen zugelassene und nach Einschätzung der Autoren weit verbreitete Schulbücher, welche für die gesamte Sekundarstufe I als Begleitband fungieren. In die Analyse gingen 500 Seiten aus *Universum Physik* und 1176 Seiten aus *PRISMA Naturwissenschaften* ein. Dabei werden im zweiten Schulbuch neben der Physik auch Inhalte aus Biologie und Chemie behandelt.

3.2 Automatisierte Erstellung von Concept-Maps

Zur Visualisierung und Analyse der Sachstrukturen werden Concept Maps nach Novak und Cañas (2008) in nicht-hierarchischer Form verwendet. Diese Form der Darstellung ermöglicht einen Ver-

gleich der beiden Schulbucharten über grafentheoretische Parameter.

Zur Generierung des Textkorpus werden die Schulbücher mittels eines Dokumentenscanners eingescannt. Anschließend wird über eine OCR-Texterkennung der Text extrahiert.

Die Erstellung der Concept Maps aus dem Text der Schulbücher erfolgt anschließend über ein R-Skript, welches sich am Kodiermanual von Härtig (2010) orientiert. Nach Härtig (2010) wird jeder Satz einzeln analysiert und alle vorkommenden Fachbegriffe werden als Knoten eingezeichnet, sowie mit einer Kante untereinander verbunden. Als Fachbegriff zählen dabei solche Begriffe, die in einem physikalischen Kontext eindeutig definiert sind und sich nach Schurz (2006) einer der Kategorien logisch, empirisch oder theoretisch zuordnen lassen. Die Fachbegriffe zweier aneinander stehender Sätze werden genau dann miteinander in Verbindung gesetzt, wenn ein einleitendes Satzglied des folgenden Satzes („Dazu“, „Hiermit“, ...) durch den entsprechenden Fachbegriff des ersten Satzes eindeutig ersetzt werden kann. Auf eine Identifikation verbindender Satzglieder wurde in der Automatisierung verzichtet, sodass grundsätzlich alle Fachbegriffe eines Satzes mit denen des Folgesatzes verbunden werden. Zur Kodierung wurde in der Studie von Härtig (2010) ein Register an Fachbegriffen aufgestellt, welches während des Kodierens stetig erweitert wurde und schließlich 1891 physikalische Fachbegriffe umfasste. Dieses Register wurde dieser Studie zur Verfügung gestelltⁱⁱ. Damit die Fachbegriffe in ihrer deklinierten Form im Text gefunden werden können, müssen die Begriffe des Registers, sowie die Wörter der Schulbuchtexte mit Hilfe eines Stemming-Algorithmus (Bouchet-Valat, 2015) auf ihren Wortstamm reduziert werden. Erst nach diesem Schritt können die Fachbegriffe in ihrer Wortstammform aus dem Text mit ihrer entsprechenden Satznummer extrahiert werden.ⁱⁱⁱ

3.3 Grafentheoretische Parameter

In der Grafentheorie gibt es verschiedene Zentralitätsmaße, die auf die entstehenden Begriffsnetze angewandt werden können. Allerdings sind diese in Bezug auf eine inhaltliche Bedeutung nur unzureichend theoretisch fundiert (Mutschke, 2010), sodass der Fokus auf eine direkter abzuleitende Größe gelegt werden soll, die im Folgenden als effektiver Grad bezeichnet wird. Der effektive Grad eines Konzepts berechnet sich aus der Summe der Kantengewichte aller angrenzenden Kanten an das Konzept. Somit steigt der effektive Grad beispielsweise um 1, wenn das betrachtete Konzept mit einem anderen zusammen in zwei angrenzenden Sätzen auftritt, bzw. um 2, wenn dieses Konzept mit zwei anderen Konzepten auftritt, usw. Abbildung 1 zeigt das Begriffsnetz zum Text: „Alle Körper zeigen Trägheit. Ohne äußere Einwirkung verharren sie infolge der Trägheit im Zustand der Ruhe oder der gleichförmig geradlinigen Bewegung (Trägheits-

satz). Körper zeigen eine größere Trägheit, wenn ihre Masse größer ist“ (Auszug aus *Impulse Physik*: Bredthauer, Bruns, Grote & Köhnke, 2009, S. 100).

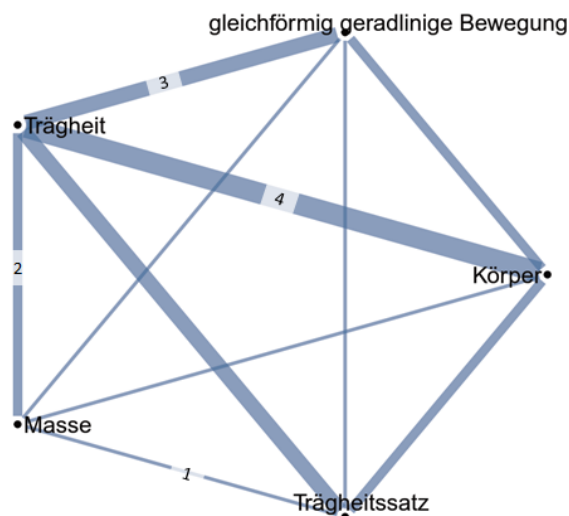


Abb. 1: Begriffsnetz zum Textausschnitt zur Trägheit

Das Konzept „Trägheit“ hat den höchsten effektiven Grad mit $d_{\text{eff}} = 12$. In Bezug auf die Forschungshypothesen wird also vermutet, dass sich sowohl die Konzepte mit den höchsten effektiven Graden zwischen Physik- und INU-Schulbüchern unterscheiden, als auch die Konzepte im Physikschulbuch grundsätzlich einen höheren effektiven Grad aufweisen.

4. Ergebnisse

Bei Anwendung des R-Skripts auf Physikschulbücher ergeben sich umfangreiche Concept Maps. Innerhalb dieser lassen sich die in dem jeweiligen Werk behandelten Themengebiete wie Magnetismus, Elektrizitätslehre oder Mechanik sinngemäß als zum Teil abgegrenzte Begriffscluster wiederfinden. Die zentralen Begriffe sind gekennzeichnet durch besonders viele und stark gewichtige Relationen mit anderen Konzepten.

Es lassen sich nun für die beiden oben genannten Schulbuchreihen die Begriffsnetze extrahieren und

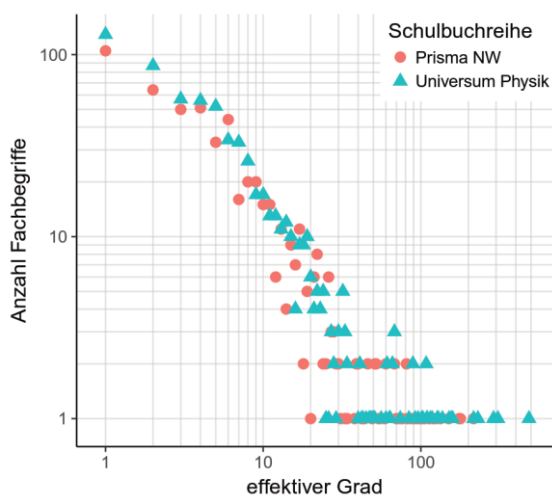


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung effektiver Grad

die effektiven Grade der in ihnen enthaltenen Konzepte berechnen. In Abbildung 2 sind die Häufigkeitsverteilungen in doppelt logarithmischer Auftragung dargestellt. Ein Wilcoxon-Test ($p = 0,65$) zeigt, dass sich die beiden Verteilungen nicht signifikant unterscheiden.

Beim direkten Vergleich der zentralen Konzepte wird deutlich, dass diese im Physikschulbuch wesentlich stärker vernetzt sind bzw. höhere effektive Grade aufweisen (Tabelle 1). So ist der Energie-Begriff in *Universum Physik* der am

Rang	<i>Universum Physik</i>	<i>PRISMA Naturwissenschaften</i>
1	Energie (486)	Atom (217)
2	Körper (308)	Energie (178)
3	Kraft (289)	Elektron (175)
4	Temperatur (230)	Körper (150)
5	Spannung (216)	Spannung (133)

Tab. 1: Fachbegriffe mit höchstem effektiven Grad (d_{eff})

stärksten vernetzte Begriff, während er in *PRISMA Naturwissenschaften* zwar an zweiter Stelle steht, aber deutliche Unterschiede in der absoluten Zahl an Vernetzungen aufweist. Genauso ist der in der Physik besonders präzise Kraft-Begriff im Physikschulbuch stark vernetzt, wohingegen dieser im INU-Schulbuch eine geringere Bedeutung zu haben scheint (7. Rang, $d_{\text{eff}} = 114$).

Die genauere Betrachtung der Vernetzung des Energie-Begriffs führt zu dem in Abbildung 3 dargestellten Histogramm. Die Binbreite ist logarithmisch gewählt und die rechte Begrenzung stellt die abgeschlossene Intervallgrenze dar. Es ist zu erkennen, dass sowohl im Physik- als auch im INU-Schulbuch die meisten Begriffe genau einmal mit dem Energie-Begriff in Verbindung stehen. Im Bereich der starken Vernetzung fällt auf, dass in *Universum Physik* insgesamt 30 Begriffe öfter als 25 mal mit „Energie“ verknüpft sind, während dies für

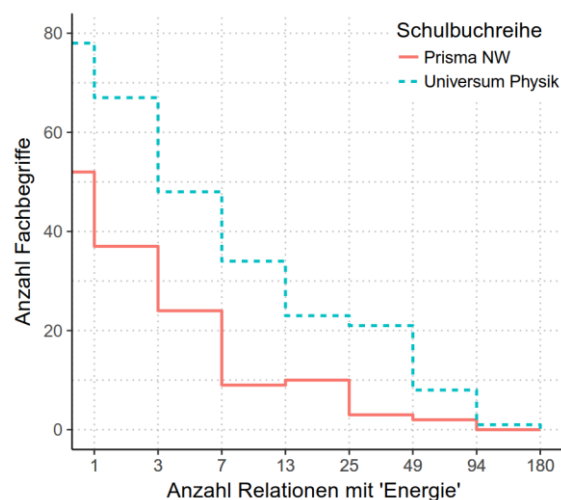


Abb. 3: Histogramm zur Vernetzungsstärke mit dem Energie-Begriff

- Bergau, M., Boldt, J., Hänsel, M., Hell, K., Hoffmann, L., Kalusche, D., . . . Willmer-Klumpp, C. (2013b). *Prisma Naturwissenschaften 1* (1. Auflage, Differenzierende Ausgabe mit CD-ROM, Ausg. A). Stuttgart: Klett.
- Bergau, M., Geissler, G., Hell, K., Jung, U., Maiworm, M., Nelke, S., . . . Tebeck, S. (2014). *Prisma Naturwissenschaften 3* (1. Aufl., Differenzierende Ausgabe mit CD-ROM, Ausg. A). Stuttgart, Leipzig: Klett.
- Bierema, A. M.-K., Schwartz, R. S., & Gill, S. A. (2017). To what extent does current scientific research and textbook content align? A methodology and case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(8), 1097–1118.
- Bouchet-Valat, M. (2015). *Package 'SnowballC'*.
- Bredthauer, W., Bruns, K. G., Grote, M., & Köhncke, H. (2009). *Impulse Physik 9/10* (Niedersachsen, G8, Neubearb., 1. Aufl.). Stuttgart: Klett.
- Brückmann, M. (2009). *Sachstrukturen im Physikunterricht: Ergebnisse einer Videostudie*. Berlin: Logos.
- Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Pröhl, I. K., Trumme, T., Bogenberger, B., . . . Wienbruch, U. (2015a). *Universum Physik 9/10* (Niedersachsen G9, 1. Auflage, 3. Druck). Berlin: Cornelsen.
- Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Trumme, T., Witte, L., Bogenberger, B., . . . Wienbruch, U. (2015b). *Universum Physik 7/8* (Niedersachsen G9, 1. Auflage, 3. Druck). Berlin: Cornelsen.
- DPG (Ed.). (2016). *Physik in der Schule: Hauptteil mit Anlage Basiskonzepte. Studien der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.* Bad Honnef: Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.
- Härtig, H. (2010). *Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests*. Berlin: Logos.
- Härtig, H., Kauertz, A., & Fischer, H. E. (2012). Das Schulbuch im Physikunterricht: Nutzung von Schulbüchern zur Unterrichtsvorbereitung in Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65(4), 197–200.
- Helaakoski, J., & Viiri, J. (2014). Content and content structure of physics lessons and students' learning gains. In: HE Fischer, P. Labudde, K. Neumann, & J. Viiri,(Eds.) *Quality of instruction in physics. Comparing Finland, Germany and Switzerland*. Waxmann, Münster, 93–110.
- Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht - Mythen, Definitionen, Fakten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 11–19.
- Liepert, S. (2017). *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung*, Berlin: Logos.
- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht: Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer*. IPN: Vol. 139. Kiel: IPN.
- Merzyn, G. (2013). Fachsystematischer Unterricht: Eine umstrittene Konzeption. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 66(5), 265–269.
- Müller, C. T., & Duit, R. (2004). Die unterrichtliche Sachstruktur als Indikator für Lernerfolg - Analyse von Sachstrukturdiagrammen und ihr Bezug zu Leistungsergebnissen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 147–161.
- Mutschke, P. (2010). Zentralitäts- und Prestigemaße. In C. Stegbauer & R. Häußling (Eds.), *Netzwerkforschung: Vol. 4. Handbuch Netzwerkforschung* (pp. 365–378). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwissenschaften.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Ed.). (2016). *Die niedersächsischen allgemein bildenden Schulen in Zahlen: Stand: Schuljahr 2015/2016*. Hannover: Niedersachsen.
- Novak, J. D., Cañas, A. J. (2008). The theory underlying concept maps and how to construct and use them.
- Oelkers, J., & Reusser, K. (2008). *Qualität entwickeln, Standards sichern, mit Differenz umgehen. Bildung - Ideen zünden! Vol. 27*. Bonn: BMBF.
- Schurz, G. (2006). *Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Silge, J., & Robinson, D. (2016). tidytext: Text Mining and Analysis Using Tidy Data Principles in R. *The Journal of Open Source Software*, 1(3), 37.

ⁱ Im Schuljahr 2015/2016 betrug der Anteil der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I an der integrierten Gesamtschule in Niedersachsen etwa 14 % gegenüber 33 % auf einem Gymnasium (Niedersächsisches Kultusministerium, 2016).

ⁱⁱ Wir bedanken uns bei Herrn Härtig zur Bereitstellung des Registers. Das originale Register wurde leicht verändert: Die Wörter, die nach der Wortstammreduktion nicht mehr eindeutig den Fachbegriffen zuzuordnen waren, wurden entfernt.

ⁱⁱⁱ Zur Erkennung von Sätzen und weiteren Text-Mining Aufgaben wurde das R-Paket Tidytextmining (Silge & Robinson, 2016) verwendet.