

Vernetztes Wissen zum Energiekonzept von Studierenden der Naturwissenschaften

Dennis Dietz*, Claus Bolte*

*Freie Universität Berlin, Didaktik der Chemie
dennis.dietz@fu-berlin.de

Kurzfassung

In erfolgreichen Lernprozessen werden Begriffe durch die möglichst vielfältige Verknüpfung von Begriffselementen gebildet. Auf diese Weise entsteht vernetztes Wissen, das nicht passiv verankert ist, sondern vom Lernenden in Handlungs- und Urteilsituationen aktiv genutzt werden kann. In den naturwissenschaftlichen Fächern ist die Bildung vernetzten Wissens zum fächerübergreifenden Energiekonzept in besonderem Maße erstrebenswert, da mit Hilfe des Energiekonzepts zahlreiche naturwissenschaftliche Prozesse nicht nur rekonstruiert, sondern auch erklärt werden können. Im Rahmen der hier vorgestellten Studie haben wir die Wissensvernetzung von Studierenden naturwissenschaftlicher Fächer in der Anfangsphase ihres Studiums in Bezug auf das Energiekonzept systematisch untersucht. Dazu haben wir insgesamt 108 Studierende zu Beginn des Sommersemesters 2023 in den Modulen „Grundlagen der Physikalischen Chemie“ sowie „Atombau und Chemische Bindung“ gebeten, ein Essay über das Energiekonzept zu verfassen. Diese Essays haben wir qualitativ-inhaltsanalytisch mit einem theoriebasiert konstruierten und empirisch erprobten Modell – dem Modell zur Analyse der Vernetzung von Begriffselementen (Akronym: MAVerBE) – untersucht. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die befragten Studierenden eine nennenswerte Wissensbasis zum Energiekonzept aufgebaut haben und auch zu höheren Vernetzungsleistungen in der Lage sind. Allerdings stellen wir auch fest, dass unsere befragten Studierenden die – theoretisch betrachtet – höchstmöglichen Vernetzungsleistungen nur selten in ihren Essays dargelegt haben.

1. Ausgangspunkt

Sowohl aus bildungs- (u.a. Ausubel, 1974, Gagné, 1970) als auch aus lerntheoretischer Sicht (u.a. Klafki, 2007; Weinert, 2000) wird Lernen dann als erfolgreich angesehen, wenn Wissen vernetzt aufgebaut und so zu handlungs- und urteilsrelevantem Wissen wird. Aus diesem Grund stellt das Maß der Vernetzung von Wissensselementen ein bedeutsames Qualitätsmerkmal für den Wissenserwerb dar (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Der Zusammenhang zwischen erfolgreichem Fachwissenserwerb und Vernetzungsleistungen wurde in den vergangenen Jahrzehnten verschiedentlich empirisch belegt (u.a. Knobloch et al., 2013; Kubsch et al., 2019; Neumann et al., 2008; Podschuweit et al., 2016; Podschuweit & Bernholt, 2020).

Dass der Erwerb vernetzten Wissens durchaus eine Herausforderung darstellt, ist am Beispiel des Energiekonzepts hinreichend belegt (u.a. Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022; Kubsch et al., 2019; Podschuweit & Bernholt, 2020). Obgleich das Energiekonzept das Potenzial besitzt, sowohl inhaltliche Domänen eines Unterrichtsfachs (Duit, 1986, S. 94) als auch verschiedener Unterrichtsfächer miteinander in Verbindung zu bringen (Eisenkraft et al., 2014, S. 2), wird häufig moniert, dass das Energiekonzept von Schüler*innen nur wenig vernetzt erlernt wird (u.a. Lancor, 2014). In der hier vorgestellten Studie sind wir der Frage nachgegangen, inwieweit diese Befunde auch für Studierende mit naturwissenschaftlichem Fach gelten.

2. Theorie

2.1. Begriffe und Begriffselemente als Bausteine vernetzten Wissens

Aus kognitionsökonomischen Betrachtungen ist es notwendig, dass Individuen Begriffe als kognitive Einheiten bilden, um mit der (quasi) unendlichen Anzahl an vielfältigen Situationen im Zuge ihrer Interaktion mit der Umwelt umgehen zu können (Schnotz, 1994). Einen Begriff zu bilden, bedeutet, „eine Erscheinung im Griff“ zu haben (Aebli, 2003, S. 245). Damit die Begriffsbildung erfolgreich gelingt, stellt Aebli fest, dass „der erfolgreiche Abruf der Elemente des Begriffsaufbaus aus dem Wissen des Begriffsbildners und ihre richtige Verknüpfung“ gelingen muss (Aebli, 1981, S. 99). Diese Ausführungen verdeutlichen nicht nur die zwingende – lerntheoretisch umfassend beschriebene – Notwendigkeit, dass das Vorwissen von Lernenden in erfolgreichen Lernprozessen zu berücksichtigen und zu aktivieren sei (vgl. u.a. Ausubel, 1974; Gagné, 1970), sondern beschreiben auch, dass das Wissen des Menschen als Netzwerk aus miteinander vernetzten Begriffen bzw. Begriffselementen zu betrachten ist (Dörner, 1976; Schnotz, 1994). Dieses Netzwerk ist in Form von Komplexions- und Abstraktionshierarchien organisiert (Achtenhagen et al., 1992; Dörner, 1976; Schnotz, 1994). In Komplexionshierarchien sind Begriffselemente eines Begriffs durch „hat-als-Teil“-Relationen miteinander verknüpft (Dörner, 1976). In Abstraktionshierarchien liegen „ist-ein-Teil“-Relationen zwischen den Begriffselementen vor (Dörner, 1976).

Wenn ein Individuum einen Begriff rekonstruiert, bspw. indem es die Aufgabe bekommt, einen Begriff zu erklären, dann werden die im Zuge der Begriffsbildung ausgebildeten hierarchischen Strukturen zwischen den Begriffselementen des rekonstruierten Begriffs temporär identifizierbar (Aebli, 1981, S. 206 f.). Die Untersuchung des latenten Konstrukts „Wissensvernetzung“ wird dadurch möglich, wenn Individuen gebeten werden, einen Begriff zu erklären, und in diesem Zusammenhang die Fähigkeit der sinnstiftenden Verknüpfung einzelner Begriffselemente analysiert wird (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Im nächsten Abschnitt stellen wir ein Modell vor, mit welchem Untersuchungen dieser Art möglich sind.

2.2. MAVerBE – ein Modell zur Analyse von Vernetzungsleistungen

Das theoriegeleitet entwickelte Modell zur Analyse der Vernetzung von Begriffselementen (Akronym: MAVerBE) bietet die Möglichkeit, Vernetzungsleistungen umfassend zu untersuchen (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Dazu berücksichtigt das MAVerBE drei Dimensionen der Vernetzung: 1. das vertikale Vernetzungsniveau, 2. die horizontale Vernetzung und 3. die fachwissenschaftliche Richtigkeit (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022).

Im Kontext der ersten Dimension des MAVerBE – dem vertikalen Vernetzungsniveau – wird die Komplexität beschrieben, mit der Begriffselemente miteinander verknüpft sind (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Im MAVerBE werden hierfür fünf verschiedene Vernetzungsniveaus unterschieden. Auf dem niedrigsten – dem ersten – vertikalen Vernetzungsniveau (mit den Kategorien „Erfahrungswissen“ oder „wissenschaftlicher Fakt“) werden maximal zwei Begriffselemente in einer simplen Art und Weise miteinander verknüpft. Die Einfachheit der Verknüpfung ist i.d.R. an der Verwendung von Hilfsverben wie „sein“ oder „haben“ zu erkennen. In Aussagen, die dem zweiten vertikalen Vernetzungsniveaus zuzuschreiben sind, werden mindestens drei Begriffselemente in einer komplexeren Art und Weise miteinander in einen Sinnzusammenhang gebracht. Die mit dem zweiten vertikalen Vernetzungsniveau korrespondierende Kategorie wird als „Zusammenhang ohne Begründung“ bezeichnet (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Die komplexere Verknüpfung zeichnet sich durch die Formulierung von Kausalitäten, Abhängigkeiten, Bedingungen oder Prozessbeschreibungen aus. Das dritte oder sogar das vierte vertikale Vernetzungsniveau mit den Kategorien „verbundener Zusammenhang“ und „Zusammenhang mit Begründung“ wird erreicht, wenn Aussagen des zweiten vertikalen Vernetzungsniveaus explizit miteinander verknüpft werden. Die Verknüpfung von Kausalitäten zu einer Kausalkette wird der Kategorie „verbundener Zusammenhang“ zugeordnet. Wird ein Zusammenhang mit einem weiteren Zusammenhang begründet, dann liegt eine Aussage des vierten vertikalen Vernetzungsniveaus (Kategorie

„Zusammenhang mit Begründung“) vor. In Ausführungen, die dem höchsten – dem fünften – vertikalen Vernetzungsniveau mit der Kategorie „multiperspektivische Verallgemeinerung“ zuzuordnen sind, werden zentrale Aspekte des Energiekonzepts, wie Energiequelle, Energieform, Energieumwandlung, Energietransfer, Energieentwertung, Energieerhaltung und Entropie (u.a. Dietz, 2023; Duit, 1986; Neumann et al., 2013) explizit miteinander verknüpft. Außerdem wird die Verknüpfung der zentralen Aspekte des Energiekonzepts an mindestens einem Beispiel ausführlich erklärt (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022).

Die zweite Dimension des MAVerBE – die horizontale Vernetzung – beschreibt fächerübergreifende Vernetzungsleistungen (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Dazu werden alle in einer Aussage enthaltenen Begriffselemente in einem ersten Schritt einem Unterrichtsfach (Biologie, Chemie oder Physik) oder einer Kombination von Unterrichtsfächern (z.B. Biologie/Chemie, usw.) zugeordnet. Für diese Zuordnung der Begriffselemente wird deren Vorhandensein in den jeweiligen Rahmenlehrplänen der Bundesländer Berlin & Brandenburg (SenBJF & MBS, 2015a-c) herangezogen. Im zweiten Schritt wird ausgezählt, welche Unterrichtsfächer in der jeweiligen Aussage miteinander in Beziehung gesetzt wurden (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022).

Die dritte Dimension des MAVerBE berücksichtigt die fachliche Richtigkeit der untersuchten Aussagen (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022). Neben explizit richtigen und falschen Aussagen werden in einer dritten Kategorie (Kategorie „implizit richtig“) Aussagen berücksichtigt, die fachwissenschaftlich unpräzise, aber nicht gänzlich als falsch zu beurteilen sind (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022).

2.3. Energie – ein bedeutsames, jedoch schwierig zu erlernendes Konzept

Energie stellt ein bedeutsames Konzept dafür dar, um komplexe naturwissenschaftliche Prozesse verstehen und fachlich angemessen beschreiben zu können (u.a. Duit, 1986; Eisenkraft et al., 2014). Diese Bedeutsamkeit des Energiekonzepts zeigt sich darin, dass es als Basiskonzept sowohl in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2005a;b) als auch für die Allgemeine Hochschulreife (KMK & IQB, 2021a,b) explizit verankert und damit zentraler Bestandteil der naturwissenschaftlichen (schulischen) Allgemeinbildung ist (u.a. Bolte, 2003a;b; Häußler et al., 1988).

Typischerweise wird das Energiekonzept entlang der zentralen Aspekte Energiequelle und -form, Energieumwandlung und -transfer, Energieentwertung und Energieerhaltung gelehrt und gelernt (s. learning progression zum Energiekonzept in Neumann et al., 2013). Sowohl Schüler*innen als auch Studierende zeigen jedoch große Schwierigkeiten beim Lernen des Energiekonzepts. Die Lernenden haben insbesondere Probleme damit, die zentralen Aspekte der

Energieentwertung und der Energieerhaltung zu verstehen (u.a. Neumann et al., 2013; Opitz et al., 2017). Hinzu kommen zahlreiche Vorstellungen, die nicht der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechen (Watts, 1983; Duit, 1986; Crossley et al., 2009; Pahl, 2013; Behle & Wilhelm, 2017). Häufig sehen Lernende die Energie bspw. als etwas an, dass lediglich als Nebenprodukt von Prozessen, bspw. im Zuge von chemischen Reaktionen, gebildet wird (u.a. Watts, 1983; Behle & Wilhelm, 2017). Eine weitere fachwissenschaftlich falsche Vorstellung von Lernenden besteht darin, dass Energie in chemischen Bindungen gespeichert sei (u.a. Watts, 1983; Cooper & Klymkowsky, 2013).

Die Schwierigkeiten in Bezug auf das Erlernen des Energiekonzepts sind auf mehrere Ursachen zurückzuführen. Ein Grund besteht darin, dass der Energiebegriff eine hohe Alltagspräsenz hat (u.a. Crossley et al., 2009). Dadurch entwickeln Lernende sehr früh Vorstellungen zum Energiebegriff, die nicht der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechen, und die später nur schwer im Sinne des „conceptual change“ in wissenschaftlich korrekte Konzepte überführt werden können (Watts, 1983; Duit, 1986; Crossley et al., 2009; Pahl, 2012; Behle & Wilhelm, 2017). Ein weiteres wesentliches Lernhindernis stellt die Tatsache dar, dass es keine einheitlich akzeptierte Definition des Energiebegriffs gibt, da wissenschaftlich eigentlich immer noch ungeklärt ist, was Energie überhaupt ist (u.a. Feynman et al., 1970, S. 4-1). Dies hat zur Folge, dass Schüler*innen und Studierende je nach Unterrichtsfach und je nach Lehrperson verschiedene Definitionen des Energiebegriffs lernen und sich unterschiedliche Sprechweisen über das Energiekonzept aneignen (Cooper & Klymkowsky, 2013; Lancor, 2014). Aus diesem Grund ist es wenig verwunderlich, dass Lernende das Energiekonzept wenig vernetzt – und damit wenig erfolgreich – erlernen. Der mangelnde Lernerfolg zeigt sich bspw. darin, dass das Energiekonzeptverständnis von Lernenden kontextabhängig ist (u.a. Park & Liu, 2016; 2021; Opitz et al., 2017). Ein weiterer Indikator für den mangelnden Lernerfolg ist darin zu sehen, dass Lernende das Energiekonzept immer wieder mit anderen (vor allem physikalischen Konzepten) verwechseln (Watts & Gilbert, 1983; Trumper, 1996; 1998).

In zurückliegenden Studien haben wir explizit die Wissensvernetzung von Schüler*innen der 9. Jahrgangsstufe in Bezug auf das Energiekonzept in den Blick genommen (Dietz & Bolte, 2021; 2022). Im Zuge dessen haben wir Schüler*innen aufgefordert, ein Essay zum Energiekonzept zu verfassen. Dabei konnten die Schüler*innen – wenn sie wollten – auf 26 Begriffselemente des Energiekonzepts, deren Relevanz in einer Vorstudie validiert wurde (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022), zurückgreifen. Die Essays der Schüler*innen wurden anschließend qualitativ-inhaltsanalytisch unter Zuhilfenahme des MAVerBE (s. Abschnitt 2.2) untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass die Schüler*innen nur selten in der

Lage waren, Begriffselemente des Energiekonzepts in einer komplexen Art und Weise fachlich korrekt miteinander zu verknüpfen (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022).

Konkrete Untersuchungen dazu, inwieweit Studierende in der Lage sind, Begriffselemente des Energiekonzepts sinnstiftend miteinander zu verknüpfen, sind u.W. bisher nicht erfolgt. Um diese Forschungslücke zu adressieren und um einen (ersten) Einblick in das Wissen unserer Studierenden zum Energiekonzept zu erhalten, sind wir den im nächsten Abschnitt dezidiert dargelegten Forschungsfragen systematisch nachgegangen.

2.4. Forschungsfragen

Im Rahmen der in diesem Beitrag vorgestellten Studie sind wir den folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

- (1) Inwieweit sind Studierende der Studienanfangsphase in der Lage, Begriffselemente des Energiekonzepts möglichst komplex und naturwissenschaftlich korrekt miteinander zu vernetzen?
- (2) Inwieweit unterscheiden sich die Leistungen von Studierenden der Studienanfangsphase von denen von Schüler*innen der 9. Jahrgangsstufe in Bezug auf die naturwissenschaftliche korrekte Vernetzung von Begriffselementen des Energiekonzepts?

3. Methode

Um diesen Forschungsfragen nachzugehen haben wir Studierende in den Einführungsveranstaltungen der Module „Grundlagen der Physikalischen Chemie“ (GPC) sowie „Atombau und chemische Bindung“ (ACB) gebeten, ein Essay zum Energiekonzept zu verfassen. Diese Module werden von Studierenden zu Beginn ihres Studiums der Bachelor-Studiengänge Chemie, Chemie-Lehramt oder Biochemie absolviert. Um die Studierenden zum Schreiben der Essays anzuregen, haben wir ihnen eine Liste mit 26 Begriffselementen zum Energiekonzept vorgelegt (s. Abschnitt 2.3).

Zur Auswertung der Essays haben wir das MAVerBE (Dietz, 2023; Dietz & Bolte; 2021; 2022; s. Abschnitt 2.2) genutzt und uns dabei auf die Dimensionen „vertikales Vernetzungsniveau“ und „fachliche Richtigkeit“ fokussiert.

Für den Vergleich der Vernetzungsleistungen der Studierenden mit den Vernetzungsleistungen von Schüler*innen der 9. Jahrgangsstufe (Forschungsfrage 2, s. Abschnitt 2.4) haben wir das t-Testverfahren für unabhängige Stichproben (Eid et al., 2011) genutzt.

4. Ergebnisse

4.1. Stichprobe und deskriptiv-statistische Daten zu den Essays

Zu Beginn des Sommersemesters 2023 haben wir in den Einführungsveranstaltungen der Module „Grundlagen der Physikalischen Chemie“ (GPC) sowie „Atombau und chemische Bindung“ (ACB)

insgesamt 108 Studierende (62 BCP und 46 ACB) gebeten, ein Essay zum Energiekonzept zu verfassen. In beiden Teilstichproben musste jeweils ein Essay von den weiteren Analysen ausgeschlossen werden, da die Aufgabenstellung nicht bearbeitet wurde.

Die verbliebenen 106 Essays wurden von Studierenden (männlich: 48, weiblich: 56, divers: 0, ohne Angabe: 2) geschrieben, die zum Zeitpunkt der Befragung im Mittel $20,3 \pm 2,4$ Jahre alt waren. Als Studienfach haben 44 Befragte Chemie, 45 Befragte Biochemie, 14 Befragte Chemie-Lehramt und eine Person Pharmazie angegeben. Zwei Befragte haben keine Angabe zu ihrem Studienfach gemacht. Die Studierenden sind zum Zeitpunkt der Befragung im Median im zweiten Fachsemester gewesen.

Die von den Studierenden unserer Stichprobe formulierten Essays sind im Mittel 230 ± 70 Wörter lang und enthalten durchschnittlich $35,2 \pm 11,2$ verschiedene Begriffselemente des Energiekonzepts. Auf Grundlage der Analyse der Verknüpfungen zwischen diesen Begriffselementen, wurden durchschnittlich $19,9 \pm 6,5$ Analyseeinheiten pro Essay festgelegt. Nach Ausschluss aller Analyseeinheiten, die entweder im Sinn unklar oder wiederholend waren, wurden im Mittel $19,4 \pm 6,5$ Analyseeinheiten pro Essay festgelegt und hinsichtlich der Dimensionen „fachliche Richtigkeit“ (s. Abschnitt 4.2) und „vertikales Vernetzungsniveau“ (s. Abschnitt 4.3) unter Anwendung des MAVerBE (s. Abschnitt 2.2) kodiert.

4.2. Dimension „fachliche Richtigkeit“

Die Verteilung der Analyseeinheiten auf die drei Kategorien zur Beschreibung der Dimension „fachliche Richtigkeit“ sind in der Tabelle 1 dargestellt. Außerdem sind in der Tabelle 1 zu Vergleichszwecken Ergebnisse von Schüler*innen eines Berliner Gymnasiums zu Beginn der 9. Jahrgangsstufe ($N = 132$ Essays, vgl. Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022; s. Abschnitt 2.3) abgebildet.

Tab. 1.: Mittlere Verteilung der Analyseeinheiten auf die Kategorien zur Beschreibung der Dimension „fachliche Richtigkeit“ – differenziert nach Teilstichprobe (***) $p < 0,001$

| | Studierende ($N = 106$) | Schüler*innen (9. Jgst., $N = 132$) |
|------------------|------------------------------|--|
| explizit richtig | $15,7 \pm 6,0^{***}$ | $7,7 \pm 5,3$ |
| implizit richtig | $2,4 \pm 1,9$ | $2,3 \pm 2,1$ |
| falsch | $1,4 \pm 1,7^{***}$ | $3,6 \pm 2,7$ |
| N (Gesamt) | $19,4 \pm 6,5^{***}$ | $13,6 \pm 6,8$ |

Das Gros der Aussagen der Studierenden ist aus fachwissenschaftlicher Perspektive als explizit oder zumindest als implizit richtig zu beurteilen (s. Tab. 1). Im Mittel sind in den Essays der Studierenden nur ein bis zwei Analyseeinheiten als fachlich falsch zu werten (s. Tab. 1). Die mit Abstand häufigste Fehlerquelle in den Essays der Studierenden stellen Aussagen dar, in denen wiedergegeben wird, dass Energie erzeugt oder vernichtet würde. Zwei Beispiele hierfür

aus den Essays, in denen der Energieerhaltungssatz verletzt wird, lauten:

„Allein schon auf atomarer Ebene benötigen bzw. verbrauchen die Elektronen, die um einen Atomkern kreisen, Energie.“ (GPC-45)

„Unser Körper ist nicht nur in der Lage Energie zu produzieren, sondern auch zu speichern.“ (GPC-34)

Mit Blick auf bekannte als falsch zu beurteilende Lernendenvorstellungen zum Energiekonzept (s. Abschnitt 2.3), ist zu beobachten, dass lediglich in vier von 106 Essays der Studierenden Aussagen zu finden sind, denen zufolge Energie in chemischen Bindungen gespeichert sei.

Die Studierenden haben im Vergleich zu den Schüler*innen mehr Sinnzusammenhänge in ihren Essays dargelegt. Von diesen Analyseeinheiten sind – relativ betrachtet – mehr als explizit oder implizit richtig und weniger als falsch zu beurteilen (s. Tab. 1). Die unterschiedlichen Besetzungshäufigkeiten der Kategorien „explizit richtig“ und „falsch“ im Vergleich der Essays der Studierenden und der Schüler*innen sind statistisch signifikant (s. Tab. 1), wobei in beiden Fällen von einem großen Effekt zu sprechen ist ($|d| = 1,4$ und $|d| = 0,9$).

4.3. Dimension „vertikales Vernetzungsniveau“

Im Anschluss an die Analyse der fachlichen Richtigkeit der Studierenden Aussagen haben wir die Komplexität der Verknüpfungsstrukturen – das vertikale Vernetzungsniveau – untersucht. Dazu haben wir uns ausschließlich auf die Aussagen beschränkt, die fachwissenschaftlich als richtig zu beurteilen sind. Die Verteilung der Analyseeinheiten, die zuvor entweder als „explizit richtig“ oder zumindest als „implizit richtig“ kodiert wurden, auf die verschiedenen Kategorien zur Beschreibung des vertikalen Vernetzungsniveaus sind in der Abbildung 1 dargestellt (s. nächste Seite).

Die meisten Aussagen der Studierenden sind dem ersten oder zweiten vertikalen Vernetzungsniveau zuzuordnen (s. Abbildung 1). Im Mittel sind 2,7 Analyseeinheiten pro Studierenden-Essay dem dritten vertikalen Vernetzungsniveau zuzuweisen. Aussagen, die den beiden höchsten vertikalen Vernetzungsniveaus entsprechen, sind in den Essays der Studierenden kaum zu identifizieren (s. Abbildung 1).

Der Vergleich der Essays der Studierenden mit denen der Schüler*innen der 9. Jahrgangsstufe offenbart, dass die Studierenden in Bezug auf alle Kategorien zur Beschreibung der Dimension „vertikales Vernetzungsniveau“ im Mittel mehr fachwissenschaftlich korrekte Aussagen formuliert haben (s. Abbildung 1). Mit Ausnahme der Kategorien „Erfahrungswissen“ (erstes vertikales Vernetzungsniveau) und „multiperspektivische Verallgemeinerung“ (fünftes vertikales Vernetzungsniveau) fällt dieser Unterschied zwischen beiden Teilstichproben statistisch signifikant aus (s. Abbildung 1).

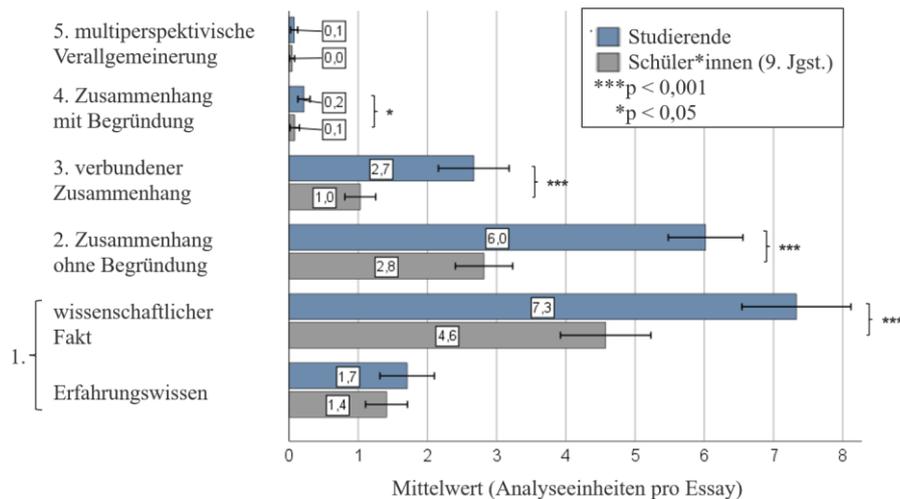


Abb. 1.: Mittlere Verteilung der Analyseeinheiten, die als „explizit richtig“ oder „implizit richtig“ kodiert wurden, auf die Kategorien der Dimension „vertikales Vernetzungsniveau“ – differenziert nach Teilstichprobe

Im Zuge der statistischen Vergleichsberechnungen wurde für das zweite und dritte Vernetzungsniveau ein großer Effekt ($|d| = 1,2$ und $|d| = 0,8$), für das erste vertikale Vernetzungsniveau (Kategorie „wissenschaftlicher Fakt“) ein mittlerer Effekt ($|d| = 0,7$) und für das vierte vertikale Vernetzungsniveau ein kleiner Effekt ($|d| = 0,3$) ermittelt.

5. Diskussion

In Anbetracht der Länge der Essays und der darin enthaltenen großen Anzahl an unterschiedlichen Begriffselementen des Energiekonzepts können wir konstatieren, dass die von uns befragten Studierenden bereits zu Beginn ihres Studiums eine lobenswerte Wissensbasis zum Energiekonzept besitzen. Diese Feststellung wird zusätzlich dadurch gestützt, dass die von uns befragten Studierenden relativ betrachtet nur wenige Aussagen formuliert haben, die aus fachlicher Perspektive als falsch zu beurteilen sind.

Dass die meisten als falsch beurteilten Aussagen in den Essays der Studierenden Verletzungen des Energieerhaltungssatzes darstellen, ist mit Blick auf die vorhandene Forschungsliteratur zu den Lernproblemen von Schüler*innen in Bezug auf das Energiekonzept wenig überraschend (u.a. Neumann et al., 2013; Opitz et al., 2017). An dieser Stelle möchten wir herausstellen, dass wir im Zusammenhang mit dem zentralen Aspekt der Energieerhaltung nicht nur formale sprachliche Ungenauigkeiten – wie von Pauly (2022, S. 195) beschrieben – als falsch beurteilt haben. Pauly (2022, S. 50 ff.) argumentiert, dass der Energieerhaltungssatz nur für ein abgeschlossenes System gilt, sodass Beschreibungen von Phänomenen, in denen Energie „verloren“ oder „verbraucht“ wird, nicht grundsätzlich als falsch zu beurteilen sind, wenn System und Umgebung nicht gemeinsam betrachtet werden. Die in Abschnitt 4.2 dargestellten Aussagen von den Studierenden GPC-45 und GPC-34 zeigen u. E. jedoch eindeutig ein fehlendes Verständnis des zentralen Aspekts der Energieerhaltung.

So beschreiben die Studierenden Situationen, in denen Energie wie eine Art Treibstoff verbraucht (GPC-45) oder produziert wird (GPC-34) und damit auch nicht vom jeweiligen System in die Umgebung entlassen oder aus der Umgebung entnommen wird.

Erfreulicherweise haben wir in den Essays unserer Studierenden nur überaus wenige Aussagen identifizieren können, die auf wissenschaftlich falsche Vorstellungen zum Zusammenhang von Energie und chemischen Bindungen schließen lassen. Ob die von uns befragten Studierenden jedoch wirklich die in der Forschungsliteratur umfassend beschriebenen fachwissenschaftlich falschen Vorstellungen tatsächlich nicht besitzen (u.a. Watts, 1983; Cooper & Klymkowsky, 2013; s. Abschnitt 2.3), können wir mit der von uns gewählten Methodik nicht mit Sicherheit sagen. An dieser Stelle wären zusätzlich leitfadengestützte Interviews – wie bspw. von Pahl & Komorek (2013) vorgeschlagen – für eine abschließende Klärung geeignet.

Mit Blick auf die Analysen zum vertikalen Vernetzungsniveau ist festzustellen, dass die von den Studierenden verschriftlichten Aussagen mehrheitlich einem eher niedrigen vertikalen Vernetzungsniveau entsprechen und das höchste vertikale Vernetzungsniveau leider nur überaus selten erreicht wird. Diese Befunde decken sich grundsätzlich mit denen aus Studien, in denen Vernetzungsleistungen von Schüler*innen untersucht wurden (u.a. Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022; Knobloch et al., 2013; Neumann et al., 2008; Podschuweit et al., 2016; Wadouh, 2007).

Der Vergleich der Leistungen der Studierenden mit denen der Schüler*innen einer 9. Jahrgangsstufe (Dietz, 2023; Dietz & Bolte, 2021; 2022) offenbart jedoch, dass die Studierenden signifikant häufiger auch zu höheren vertikalen Vernetzungsleistungen in Bezug auf das Energiekonzept imstande waren. Dieser Befund ist erwartungskonform und kann als Beleg

für die Validität des von uns theoriegeleitet entwickelten Modells zur Analyse von Vernetzungsleistungen (MAVerBE, s. Abschnitt 2.2) interpretiert werden. Offen bleibt zum jetzigen Zeitpunkt allerdings die Frage, warum nur wenige Ausführungen dem höchsten vertikalen Vernetzungsniveau zuzuordnen sind und ob dies auf das fehlende Wissen seitens der Studierenden oder auf die gewählte Methode des Essayschreibens zurückzuführen ist.

Das häufige Auftreten von Studierenden-Aussagen, die einem niedrigen vertikalen Vernetzungsniveau entsprechen, kann u.E. zumindest zum Teil mit der Aufgabenstellung, ein Essay zum Energiekonzept schriftlich zu verfassen, erklärt werden. Essays besitzen grundsätzlich eine Einleitung, die die Funktion erfüllt, den Lesenden in das Thema des Essays einzuführen (siehe u.a. Krause, 2003). Wir konnten in den Essays der Studierenden häufig beobachten, dass in der Einleitung der Energiebegriff zunächst entweder als Definition über den Energieerhaltungssatz oder über den zentralen Aspekt der Energieform eingeführt wurde. Sowohl das Nennen einer Definition als auch das Aufzählen von Energieformen stellen nach unserem Modell MAVerBE (s. Abschnitt 2.2), eine Aneinanderreihung von wissenschaftlichen Fakten dar, sodass die Einleitung der Essays häufig von Aussagen, die nahezu ausschließlich dem ersten vertikalen Vernetzungsniveau entsprechen, dominiert werden.

Um zu prüfen, ob und wenn ja inwieweit das Fehlen von besonders hohen Vernetzungsleistungen auf die Essay-Methode zurückzuführen ist, könnte in weiterfolgenden Studien, z.B. durch anschließende Interviews, untersucht werden.

6. Ausblick

Wie zum Ende des vorherigen Abschnitts dargelegt, wäre es zur weiteren Validierung des MAVerBE im nächsten Schritt notwendig, z.B. zu untersuchen, ob Expert*innen (bspw. Doktorierende der naturwissenschaftlichen Fächer) in Essays über das Energiekonzept vermehrt auch Ausführungen darlegen würden, die dem höchsten vertikalen Vernetzungsniveau entsprechen.

Außerdem stellt die Frage, ob Studierende der Chemie und der Biochemie tatsächlich kaum Fehlvorstellungen zum Zusammenhang von Energie und chemischen Bindungen besitzen, einen interessanten Forschungsfokus dar. Wir planen daher auch zukünftig mit den Fachkolleg*innen zusammenarbeiten – sowohl um die von uns hier dargelegten offenen Fragen zu klären als auch um die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie auf eine noch breitere empirische Basis zu stellen. Wir hoffen auf diese Weise einen Beitrag zur Verbesserung der Hochschullehre und der Studierendenleistungen leisten zu können.

7. Literatur

- Achtenhagen, F., John, E.G., Preiss, P., Tramm, T., Schunck, A., Seemann-Weymar, H. (1992). *Lernhandeln in komplexen Situationen. Neue Konzepte einer betriebswirtschaftlichen Ausbildung*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH. Wiesbaden.
- Aebli, H. (1981). *Denken: das Ordnen des Tuns, Band 2: Denkprozesse*. Stuttgart: Klett.
- Aebli, H. (2003). *Zwölf Grundformen des Lehrens* (12. Auflage). Klett-Cotta.
- Ausubel, D. P. (1974). *Psychologie des Unterrichts. Band 1*. Weinheim: Beltz.
- Behle, J., & Wilhelm, T. (2017). Aktuelle Schülerrahmenkonzepte zur Energie. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *Tagungsband zur DPG-Jahrestagung*. Dresden.
- Bolte, C. (2003a). Konturen wünschenswerter chemiebezogener Bildung im Meinungsbild einer ausgewählten Öffentlichkeit – Methode und Konzeption der curricularen Delphi-Studie Chemie sowie Ergebnisse aus dem ersten Untersuchungsabschnitt. *ZfDN*, 9, 7–26.
- Bolte, C. (2003b). Chemiebezogene Bildung zwischen Wunsch und Wirklichkeit – Ausgewählte Ergebnisse aus dem zweiten Untersuchungsabschnitt der curricularen Delphi-Studie Chemie. *ZfDN*, 9, 27–42.
- Cooper, M. M., & Klymowsky, M. W. (2013). The trouble with chemical energy: Why understanding bond energies requires an interdisciplinary systems approach. *CBE – Life, Sciences Education*, 12, 306–312.
- Crossley, A., Hirn, N., & Starauschek, E. (2009). Schülervorstellungen zur Energie – Eine Replikationsstudie. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *Tagungsband zur DPG-Jahrestagung*. Bochum.
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and Qualities of Knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105–113.
- Dietz, D. (2023). *Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie. Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“*. Logos.
- Dietz, D. & Bolte, C. (2021). Mehrdimensionale Analyse zur Vernetzung von Begriffselementen des Basiskonzepts Energie. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *Phydid B: Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Digitale Frühjahrstagung 2021* (S. 233-241), Berlin: DPG.
- Dietz, D. & Bolte, C. (2022). Multidimensional Analysis of Knowledge-Linking within the Concept of Energy in Student Essays. *NordiNa*, 18(3), 353-368.

- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Duit, R. (1986). *Der Energiebegriff im Physikunterricht* (Habilitationsschrift). Universität Kiel.
- Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2011). *Statistik und Forschungsmethoden* (2. korrigierte Auflage). Beltz.
- Eisenkraft A., Nordine, J., Chen, R., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., & Scheff, A. (2014) Introduction: Why Focus on Energy Instruction? In: R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (alle Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education* (S. 1-11). Springer, Cham.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1970). *The Feynman Lectures on Physics. Mainly Mechanics, Radiation and Heat* (5. Auflage). Adison-Wesley. Publishing Company.
- Gagné, R. M. (1970). *Die Bedingungen des menschlichen Lernens*. 2. Auflage. Hannover: Schroedel.
- Häußler, P., Frey, K., Hoffmann, L., Rost, J., & Spada, H. (1988). *Physikalische Bildung für heute und morgen: Ergebnisse einer curricularen Delphi-Studie*. IPN.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik* (6. Auflage). Beltz Verlag.
- KMK: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005a). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.
- KMK: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005b). *Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss*. Luchterhand.
- KMK & IQB: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland und Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (2020a). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife*.
- KMK & IQB: Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland und Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (2020c). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*.
- Knobloch, R., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2013). Förderung der Qualität fachinhaltlicher Schüleräußerungen in experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *ZfDN*, 19, 347–373.
- Krause, S. (2003). Wissenschaftliches Arbeiten. In: H. Münkler (Hrsg.), *Politikwissenschaft: ein Grundkurs* (S. 651-679). Rowohlt.
- Kubsch, M., Nordine, J., Neumann, K., Fortus, D., & Krajcik, J. (2019). Probing the Relation between Students' Integrated Knowledge and Knowledge-in-Use about Energy using Network Analysis. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology*, 15(8), 1–20.
- Lancor, R. A. (2014). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: A multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1–23.
- Neumann, K., Lau, A., Fischer, H. E. & Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In E.-M. Lankes (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 141– 151). Waxmann.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162–188.
- Opitz, S. T., Neumann, K., Bernholt, S., & Harms, U. (2017). How do students understand energy in biology, chemistry, and physics? Development and validation of an assessment instrument. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(7), 3019–3042.
- Pahl, E.-M. (2013). *Subjektive Überzeugungen von Lehrkräften des Sachunterrichts und Physikunterrichts zum Thema Energie*. Logos.
- Pahl, E.-M. & Komorek, M. (2013): "Energie" im Sach- und im Physikunterricht. Vorstellungen von Lehrpersonen vom Konzept der Energie und seiner Vermittlung im Unterricht. In: M. Komorek & S. Prediger (Hrsg.), *Der lange Weg zum Unterrichtsdesign. Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme* (S. 237-255). Waxmann.
- Park, M., & Liu, X. (2016). Assessing understanding of the energy concept in different science disciplines. *Science Education*, 100(3), 483–516.
- Park, M., & Liu, X. (2021). An investigation of item difficulties in energy aspects across biology, chemistry, environmental science, and physics. *Research in Science Education*, 51(1), 43–60.
- Pauly, A. (2022). *Das Energieverständnis angehenden Chemielehrkräfte*.
- Podschuweit, S., Bernholt, S., & Brückmann, M. (2016). Classroom learning and achievement: how the complexity of classroom interaction impacts students' learning. *Research in Science & Technological Education*. 1–22.
- Podschuweit, S., & Bernholt, S. (2020). Investigating Network Coherence to Assess Students' Conceptual Understanding of Energy. *Education Sciences*, 10(4), 103, 1–20.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Beltz.

- SenBJF & MBS: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin & Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Brandenburg (2015a). *Rahmenlehrplan Teil C Biologie, Jahrgangsstufen 7–10*.
- SenBJF & MBS: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin & Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Brandenburg (2015b). *Rahmenlehrplan Teil C Chemie, Jahrgangsstufen 7–10*.
- SenBJF & MBS: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin & Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Brandenburg (2015c). *Rahmenlehrplan Teil C Physik, Jahrgangsstufen 7–10*.
- Trumper, R. (1996). Survey of Israeli physics students' conceptions of energy in pre-service training for high school teachers. *Research in Science and Technological Education*, 14, 179-192.
- Trumper (1998). R. A longitudinal study of physics students' conceptions on energy in pre-service training for high school teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7(4), 311 – 318.
- Wadouh, J. (2007). *Vernetzung und kumulatives Lernen im Biologieunterricht der Gymnasialklasse 9*. Universität Duisburg-Essen
- Watts, D. M. (1983). *A study of alternative frameworks in school science*. University of Surrey.
- Watts, D. M., & Gilbert, J. K. (1983). Enigmas in school science: students' conceptions for scientifically associated words. *Research in Science & Technological Education*, 1(2), 161–171.
- Weinert, F. E. (2000). *Lehren und Lernen für die Zukunft – Ansprüche an das Lernen in der Schule*. *Pädagogische Nachrichten Rheinland-Pfalz*, 2, 1-16 (Nachdruck als Reprint 16/2000. München: Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung)

8. Danksagung

Wir danken Frau Prof. Dr. Beate Paulus (AG „Theoretische Chemie“, Freie Universität Berlin) herzlich für die Möglichkeit, dass wir Studierende im Rahmen der Einführungsveranstaltungen der Module „Grundlagen der Physikalischen Chemie“ sowie „Atombau und chemische Bindung“ befragen durften.