

Benjamin Pölloth¹
Dominik Diekemper¹
Chiara Bosch¹
Stefan Schwarzer¹

¹Universität Tübingen

Die Oktettregel: Eine produktive Ressource in Erklärungen von Schülern?

In einem Forschungsartikel berichteten wir, dass viele Schüler:innen die Oktettregel zentral in ihren Argumentationen zur Erklärung energetischer Aspekte chemischer Reaktionen verwendeten (Pölloth et al. 2023). Keith Taber, emeritierter Professor der University of Cambridge und langjähriger Editor von *Chemistry Education Research and Practice*, verfasste einen „Comment“ mit folgendem Ziel: „to (i) develop this particular theme [the use of the octet rule] in a little more detail and (ii) argue for stronger implications from the reported results for directing further research“ (Taber 2024). Diese wissenschaftliche Diskussion und unsere „Reply“ wird in diesem Beitrag skizziert (Pölloth et al. 2024).

Hintergrund zur Ausgangsstudie. In der ursprünglichen Publikation diskutierten Schüler:innen der Oberstufe ($N = 38$, Oberstufe, BW) in Fokusgruppen unter anderem die Frage, weshalb die in einem Video präsentierte Chlorknallgasreaktion ($\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$) überhaupt abläuft. Als theoretische Rahmung der Studie wurde die Ressourcen-Theorie (Hammer et al. 2005) gewählt. Um auch die Ressourcen der Schüler:innen zu untersuchen, die sie nicht spontan aktiviert hatten, wurden im Anschluss an die Fokusgruppenphase leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Sehr häufig begründeten die Gruppen dabei den Ablauf der chemischen Reaktion im Sinne des folgenden Zitats: *„Ja, die wollen eben die Oktettregel, ähm, ja, haben, dass eben gerade die letzte Schale voll ist.“*

Problemstellung. Nun stellt die Oktettregel jedoch eine unproduktive Begründung für das Ablaufen der diskutierten Reaktion dar, denn alle Edukte und Produkte weisen bereits eine Edelgaskonfiguration auf. Dennoch diskutierten 75% der Gruppen die Oktettregel während der Erhebung, 50% der Gruppen kamen bereits früh in der Fokusgruppenphase auf die Oktettregel zu sprechen. In seinem Comment betonte Taber (2024), dass es sich bei der Oktettregel lediglich um „a heuristic or rule-of-thumb“ handelt. Wir konnten dies durch eine Analyse von Fachbüchern bestätigen, in denen die Oktettregel meist nur am Rande erwähnt wird. Die Diskrepanz zwischen der fachwissenschaftlichen Bedeutung der Oktettregel und ihrer dominanten Rolle in Argumentationen von Schüler:innen ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da die Frage „Warum läuft überhaupt eine Reaktion ab?“ von Taber (2024) als *“the central notion of chemical change”* beschrieben wird. Diese zentrale Frage war für fast alle Schüler:innen in der Stichprobe sehr herausfordernd: *„[Die Frage] ist tatsächlich interessant, weil wenn wir uns sonst in der Schule Experimente angeschaut haben, dann sieht man bei einer Reaktion gleich, dass es eine Reaktion ist, und [fragt] nicht, warum die Reaktion abläuft.“*

Methodik und Limitationen. Um die Frage *„Why do so many students seem to misunderstand/misapply this heuristic?“* (Taber 2024) zu beantworten, untersuchten wir, welche Muster sich bei der Verwendung der Oktettregel identifizieren lassen. Dafür führten wir eine typenbildende, qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) aller Textstellen mit Bezug zu „Oktettregel“, „Edelgaskonfiguration“ bzw. „voller (Außen-)Schalen“ durch. Diese Inhaltsanalyse wurde bereits vor Tabers Comment durchgeführt. Die unabhängig gewonnenen

Kategorien zeigten eine hohe Passung mit Tabers Analyse. Als Limitation ist zu beachten, dass es sich um eine Sekundäranalyse handelt, die Daten wurden im Kontext anderer Forschungsfragen erhoben. Die qualitative Auswertung hat keinen Anspruch auf Generalisierbarkeit.

Zentrale Muster bei der Argumentation von Schüler:innen mit der Oktettregel. Zunächst werden dominante Muster in den Argumentationsketten der Schüler:innen diskutiert.

Annahme atomarer Reaktanden. Die Argumentation vieler Gruppen schien von atomaren Reaktionspartnern auszugehen. Somit wäre die Anwendung der Oktettregel erklärbar: „*Und es läuft ab, weil der Wasserstoff und das Chlor die haben beide nicht die Oktettregel erfüllt und die wollen die eben erfüllen, damit ihre Außenschale acht Elektronen hat.*“

Anthropomorphe Sprache. Ein sehr dominantes Muster, das sich bei fast allen Gruppen, die die Oktettregel verwendeten, fand, war die Nutzung anthropomorpher Sprache im Zusammenhang mit der Oktettregel: „*Wenn dieses Chlor jetzt hier so eine volle Außenschale hätte, dann, ähm, ist es zufrieden. Wenn das jetzt aber hier nur noch diesen Punkt hat, also nur sieben, dann will das ja unbedingt noch eins, das heißt es sucht auch danach und ist deswegen dann instabil.*“ Anthropomorphe Sprache findet sich in sehr vielen internationalen Studien (Taber 2024) und wird häufig als Fehlvorstellung kategorisiert (Barke et al. 2018).

Dominanz der Oktettregel. Über die Interviews hinweg zeigte sich, dass viele Schüler:innen die Konzepte Stabilität und Edelgaskonfiguration analog verwendeten und dabei einer zirkulären Argumentation folgten. In anderen Studien wird die Dominanz der Oktettregel dadurch deutlich, dass manche Lernende sogar Na^7 als stabiler als elementares Natrium beschreiben (Taber 2009).

Implikationen für die Schulpraxis. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Oktettregel eine zu große Bedeutung in der Argumentation von Schüler:innen einnimmt. Deshalb sollte die besondere Stabilität einer Edelgaskonfiguration eher als Beobachtung vermittelt werden und nicht im Sinne eines Naturgesetzes. Dabei sollte auch der Gültigkeitsbereich deutlich auf die Bestimmung wahrscheinlicher Lewis-Strukturen und Ionisierungsstufen eingegrenzt werden (Binnewies et al. 2016). Wichtig scheint auch, solche empirisch belegten Stolperstellen im Chemieunterricht noch besser in die Ausbildung von Lehrkräften zu transferieren.

Lerntheoretische Deutung. In seinem Comment schlägt Taber (2024) eine Interpretation der Ergebnisse im Sinne eines „octet frameworks“ vor. Demnach besitzen Schüler:innen ein kohärentes, fachlich falsches Wissensnetzwerk rund um die Oktettregel, auf das sie zur Konstruktion von Erklärungen zurückgreifen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob eine solche Interpretation die tatsächlichen Denkweisen adäquat abbildet. Auch in der Biologiedidaktik werden „construals“ als stabile alternative kognitive Frameworks diskutiert (Coley und Tanner 2015). Gouvea und Simon (2018) konnten jedoch zeigen, dass Schüler:innen nicht kohärent mit diesen construals argumentieren, sondern dies von der Formulierung der Items abhängt. Gouvea und Simon (2018) schlussfolgern: „*Across all [...] construals, we could find ways to interpret agreement with construal-based formulations that did not necessitate claims about students holding cognitive construal frameworks.*“

Auch viele kohärent klingende Argumentationen zur Oktettregel lassen sich aus einer dynamischen Sichtweise auf das Lernen erklären. Im ursprünglichen theoretischen Rahmen der Studie, dem Ressourcen-Framework (Hammer et al. 2005), wird Wissen durch verschiedene kleinteilige Ressourcen aus unterschiedlichen Kontexten charakterisiert. Je nach Kontext aktivieren Lernende verschiedene Ressourcen. Bei der Analyse von

Lernendenäußerungen stellt sich nicht primär die Fragen, ob bestimmte Wissens Elemente richtig sind, sondern ob sie produktiv für das zu lösende Problem sind.

Annahme atomarer Reaktanden. Die Interpretation der Argumentationen aus der Perspektive eines kohärenten Netzwerkes erfordert es anzunehmen, dass Schüler:innen von atomar vorliegenden Reaktanden ausgehen. Eine genauere Analyse der Interviews zeigt jedoch, dass selbst die oben zitierte Gruppe Grün sich bewusst war, dass die Reaktanden molekular vorliegen: „2: *Nein, atomar tritt es nicht auf. Stimmt/ Dann hat es wahrscheinlich sieben...*“ Das Problem scheint in diesem Fall eher unidimensionales fragmentiertes Denken zu sein, als ein fehlerhaftes Wissenskonzept (Grove und Bretz 2010).

Anthropomorphe Sprache. Im Zusammenhang mit der anthropomorphen Sprache zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Eine Gruppe verwendete beispielsweise sehr dominant Animismen und das Modell einer Kugel, der eine Stück fehlt. Die Gruppe schränkte den Gültigkeitsbereich ihre Aussage jedoch wiederholt mit Begriffen ein: „*verbildlicht jetzt mit diesen Kugeln, die einfach rollen wollen [...] Ist, in Anführungszeichen, zufrieden.*“ Es scheint, dass sich viele Schüler:innen zumindest teilweise bewusst sind, dass ihre Ausdrucksweise eine Art Modell darstellt. Die empirischen Befunde zur Verwendung anthropomorpher Sprache sind dabei widersprüchlich (Tang und Hammer 2024). Eine solche Sprache könnte z.B. auch als „Brücken-Ressource“ auf dem Weg zum mechanistischen Denken verstanden werden (Tang und Hammer 2024; Püttchneider und Lück 2004). Hierzu wären weitere empirische Untersuchungen wünschenswert.

Dominanz der Oktettregel. Besonders gut lässt sich die Konstruktion von Argumentationsmustern am Beispiel der im folgenden diskutierten Gruppe aufzeigen. Ihre zuletzt formulierte Erklärung „*Die wollen eben ihre acht Außenelektronen. Und weil sie die selbst nicht haben, gehen die dann eine Bindung ein.*“ entspricht den zu erwartenden Folgerungen aus einem kohärenten „octet framework“. Allerdings zeigt die Analyse, dass die Schüler:innen zunächst ein „explanatory vacuum“ (Taber 2009) wahrnehmen: „1: *Das ist eine gute Frage, warum die miteinander reagieren.*“ Der Wechsel auf die submikroskopische Ebene führt die Schüler:innen dann zunächst zum Periodensystem, dieser Kontext scheint sehr schnell die Oktettregel zu aktivieren: „3: *Wasserstoff ist in der ersten Hauptgruppe und das ist ja/ Chlor ist in der [...] siebten. 2: Ah und dann kann man das mit dem/ Wie heißt es? Oktettregel. 1: Ach so, ja. Ja gut.*“ Trotz der Unsicherheit der Schüler:innen („2: *Man könnte/ Aber ich weiß nicht...*“) einigen sie sich schnell darauf, dass es sich um die richtige Lösung handeln muss: „3: *Das muss doch stimmen, oder? 1: Das stimmt bestimmt.*“ Das Problem scheint hier die Fokussierung der Schüler:innen auf einfache, richtige Antworten zu sein, die sie von einer multidimensionalen, reflektierten Interpretation abhält. Die Oktettregel dient als Lückenfüller, dessen Eignung nicht weiter hinterfragt wird.

Implikationen für die Forschung. Aus den diskutierten Ergebnissen lässt sich zum einen ableiten, dass grundlegende Forschung nötig ist, um zu verstehen, wie sich das „explanatory vacuum“ zum Ablauf von Reaktionen füllen lässt. Ein expliziter (auch quantitativer) Fokus auf das Basiskonzept Energie scheint dabei eine wichtige Rolle zu spielen (Pölloth und Sieve 2024). Außerdem zeigt sich, dass der gewählte bildungstheoretische Rahmen entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse ist. Deshalb sollte die Art und Weise wie Schüler:innen denken und lernen sehr viel feingliedriger und tiefergehend analysiert werden (Parnafes und diSessa 2013). Um solche Fragestellungen kontroverser diskutieren zu können, bietet es sich außerdem an, das Artikelformat von Comment und Reply in den Fachdidaktiken stärker zu nutzen.

Literatur

- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H., & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Coley, J.D., & Tanner, K. (2015). Relations between intuitive biological thinking and biological misconceptions in biology majors and nonmajors. *CBE life sciences education*, 14(1), ar8.
- Gouvea, J.S., & Simon, M.R. (2018). Challenging Cognitive Construals: A Dynamic Alternative to Stable Misconceptions. *CBE life sciences education*, 17(2), ar34.
- Grove, N.P., & Bretz, S.L. (2010). Perry's Scheme of Intellectual and Epistemological Development as a framework for describing student difficulties in learning organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 207–211.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R.E., & Redish, E.F. (2005). Resources, framing, and transfer. In J. Mestre (Hrsg.), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective* (S. 89–120). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim: Beltz.
- Parnafes, O., & diSessa, A.A. (2013). Microgenetic Learning Analysis: A Methodology for Studying Knowledge in Transition. *Human Development*, 56(1), 5–37.
- Pöloth, B., Diekemper, D., Bosch, C., & Schwarzer, S. (2024). Reply to the ‘Comment on “What resources do high school students activate to link energetic and structural changes in chemical reactions? – A qualitative study”’ by K. S. Taber, Chem. Educ. Res. Pract. 2024, 25 <https://doi.org/10.1039/D3RP00232B>. *Chemistry Education Research and Practice*, 958–965.
- Pöloth, B., Diekemper, D., & Schwarzer, S. (2023). What resources do high school students activate to link energetic and structural changes in chemical reactions? – A qualitative study. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(4), 1153–1173.
- Pöloth, B., & Sieve, B.F. (2024). Energie – Kaum fassbarer Begriff oder zentraler Erklärungsansatz für die Chemie? *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, 35(201), 3-7.
- Püttchneider, M., & Lück, G. (2004). Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte. *CHEMKON*, 11(4), 167–174.
- Taber, K.S. (2009). College Students' Conceptions of Chemical Stability: The widespread adoption of a heuristic rule out of context and beyond its range of application. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1333–1358.
- Taber, K.S. (2024). Comment on “What resources do high school students activate to link energetic and structural changes in chemical reactions? – A qualitative study” by B. Pöloth, D. Diekemper and S. Schwarzer, Chem. Educ. Res. Pract. 2023, 24 1153. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(3), 949–957.
- Tang, X., & Hammer, D. (2024). “I think of it that way and it helps me understand”: Anthropomorphism in elementary students' mechanistic stories. *Science Education*, 108(3), 661–679.