

Lernendenvorstellungen: Konzeptartig, fragmentarisch – oder beides?

In der Physikdidaktik wird nach wie vor kontrovers diskutiert, ob Lernendenvorstellungen als kohärente, theorieähnliche Wissensstrukturen (z.B. Vosniadou & Skopeliti, 2014) oder als fragmentierte, situativ aktivierte Wissens Elemente (z.B. diSessa, 2014) aufzufassen sind. Aus den unterschiedlichen Sichtweisen (Kohärenz vs. Fragmentierung) ergeben sich unterschiedliche didaktische Implikationen für den Aufbau physikalischen Konzeptwissens (Hull & Hopf, 2021). Empirisch finden sich Befunde für beide Perspektiven. Exemplarisch seien hier Befunde zu Force Concept Inventory (FCI; Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992) genannt, einem Multiple-Choice-Test zur Erhebung von Konzeptwissen in der Newton'schen Mechanik, dessen Distraktoren hohe Plausibilität haben, wenn Lernende auf Basis von Lernendenvorstellungen argumentieren. Während Interviews nahelegen, dass Lernende ihre Antworten auf wenige, konzeptartige Vorstellungen stützen (Hestenes & Halloun, 1995; vgl. Hestenes et al., 1992), deuten Befunde zur Kontextabhängigkeit der Antworten (Bao & Redish, 2006) sowie häufige Distraktorwechsel (Lasry, Rosenfield, Dedic, Dahan, & Reshef, 2011) eher auf die Aktivierung fragmentierter Wissens Elemente hin. Wissenszentrierte Physikproblemlöseaufgaben wie die FCI-Aufgaben, zeichnen sich dadurch aus, dass zu ihrer Lösung vorhandenes Wissen aktiviert und angewendet werden muss, um qualitative Schlussfolgerungen abzuleiten. Eine Idee von Badagnani et al. (2017) aufgreifend, schlagen Cauet & Kauertz (2025) daher vor, dass moderne Dual-Process Theorien zum logischen Schlussfolgern die zwischen schnellen, automatisch und in der Regel unbewusst ablaufenden intuitiven Denkprozessen (Typ-1 Prozesse) und langsam ablaufenden, mit kognitivem Denkaufwand verbundenen analytischen Denkprozessen (Typ-2 Prozesse) unterscheiden, eine dynamische Integration beider Sichtweisen erlauben und so die scheinbaren empirischen Widersprüche auflösen können.

Dual-Process Theorien als Ansatz zur Integration der Perspektiven

Nach dem Default-Interventionist Modell von Evans (Evans, 2006, 2019) bilden Personen beim Lesen einer Aufgabe zunächst auf Grundlage von Typ-1 Prozessen ein erstes mentales Modell der Aufgabe, auf dessen Basis sie eine erste Aufgabenlösung ableiten. Hierbei wird auf die am schnellsten kognitiv verfügbaren Informationen zurückgegriffen (Verfügbarkeitsheuristik, vgl. Tversky & Kahneman, 1973). Typ-2 Prozesse werden in der Regel nur zur post-hoc Rechtfertigung der intuitiven Antwort initiiert. Ein Hinterfragen der intuitiven Antwort erfolgt nur dann, wenn diese von einem geringem Feeling of Rightness begleitet wird, wenn eine Person hoch motiviert ist oder aufgrund ihrer denkbezogenen Dispositionen über eine hohe Bereitschaft zum kritischen Reflektieren verfügt und wenn sie ausreichend Zeit, kognitive Ressourcen und das erforderliche Wissen für die Aufgabenlösung hat (vgl. z.B. Evans, 2006, 2019; Thompson & Morsanyi, 2012). Das Mindware Modell von Stanovich (2018) spezifiziert auf welche Wissensstrukturen (Mindware) Typ-1 und Typ-2 Prozesse zurückgreifen. Normatives Wissen und komplexere Wissensstrukturen werden demnach erst durch Typ-2 Prozesse aktiviert, außer sie wurden durch immer wiederkehrende Anwendung so verinnerlicht, dass sie automatisiert abgerufen werden.

Empirische Befunde aus der physikdidaktischen Forschung

Zur Untersuchung von Typ-1 und Typ-2 Prozessen bei der Bearbeitung von Physikaufgaben werden oft sogenannte Screening-Target Aufgabenpaare eingesetzt. Das Aufgabenpaar in Abb. 1 von Heckler (2011) lässt sich über den Vergleich der Graphensteigungen lösen. In der Targetaufgabe (rechts) lenkt der Kurvenschnittpunkt jedoch die Aufmerksamkeit auf die Graphenhöhe, die schneller verarbeitet wird. Viele ProbandInnen, die ihr Wissen in der Screeningaufgabe (links) erfolgreich anwenden konnten, wählen daher irrtümlich den Schnittpunkt als Lösung. In solchen Targetaufgaben wenden bis zu 50% der Studierenden vorhandenes Konzeptwissen nicht an (Heckler, 2011; Kryjevskaja, Stetzer, & Grosz, 2014) – was im Einklang mit dem Mindware Modell darauf hinweist, dass normatives physikalisches Konzeptwissen bei diesen Lernenden erst durch Typ-2 Prozesse aktiviert wird. Speiers et al. (2021) zeigen, dass viele Studierende in Targetaufgaben – im Einklang mit dem Default-Interventionist Modell – ihr physikalisches Konzeptwissen selbst dann nur zur Rechtfertigung falscher Antworten aktivierten, wenn ihnen Argumentationselemente bereitgestellt wurden, die lösungsrelevantes Wissen enthielten (z.B. die Information, dass die Geschwindigkeit aus der Steigung der Graphen abgelesen werden kann). Erst durch Bereitstellung von Informationen, die der intuitiven Antwort explizit widersprechen und deren Feeling of Rightness reduzierten, begannen Studierende diese kritisch zu hinterfragen.

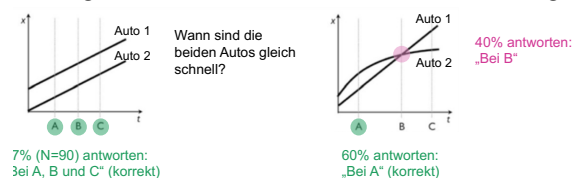


Abb. 1: Beispiel für ein Screening-Target Aufgabenpaar [Heckler (2011; S.256)]

Gette & Kryjevskaja (2019) zeigen außerdem, dass der Bearbeitungserfolg von Targetaufgaben mit jeder richtig gelösten Aufgabe im Cognitive Reflection Skills Test (CRT) von Fredericks (2005) wahrscheinlicher wird. Da Toplak et al. (2011, 2014) zeigen konnten, dass kognitive Fähigkeiten, Arbeitsgedächtniskapazität und denkbezogene Dispositionen kaum zur Varianzaufklärung im Aufgabenbearbeitungserfolg beitragen, wenn kognitive Reflexionsfähigkeit kontrolliert wird, werden diese Einflussfaktoren in physikdidaktischen Studien meist vernachlässigt. Korrelationen zwischen Leistungen im FCI und CRT ($r=.32-.38$; Wood, Galloway, & Hardy, 2016) weisen darauf hin, dass intuitive Prozesse auch bei der Bearbeitung der FCI-Aufgaben eine Rolle spielen. Ergebnisse von Talanquer (2017) für ein dem FCI ähnlichen Chemie Concept Inventory legen zudem nahe, dass ein Prompting zur Initiierung von Typ-2 Prozessen zum Hinterfragen intuitiver Antworten die Aktivierung von Konzeptwissen fördert. Sowohl das Mindware als auch das Default-Interventionist Modell lassen sich offenbar sinnvoll auf die Bearbeitung von Physikaufgaben anwenden. Aber können die Modelle auch dabei helfen, die scheinbare Widersprüchlichkeit der Ergebnisse aus der Forschung zu Lernendenvorstellungen aufzulösen?

Kohärenz und Fragmentierung aus Dual-Process Perspektive

Ausgehend vom Mindware Modell könnten Novizen beim Bearbeiten von wissenszentrierten Physikproblemlöseaufgaben durch intuitive Prozesse zunächst fragmentiertes Wissen aktivieren, auf dessen Basis sie eine erste intuitive Aufgabenantwort generieren, was kompatibel mit der Knowledge-in-pieces Theorie von diSessa (2014) wäre. Möglicherweise vorhandene konzeptartige Lernendenvorstellungen (vgl. Vosniadou & Skopeliti, 2014)

würden in diesen Fällen (ähnlich wie physikalisches Konzeptwissen) erst dann aktiviert, wenn hierfür analytische Denkprozesse initiiert werden. Abhängig von den im Default-Interventionist Modell beschriebenen Einflussfaktoren könnten diese zum Hinterfragen der intuitiven Antwort oder aber lediglich zu deren Rechtfertigung herangezogen werden. Letzteres würde erklären, warum Studierende in Interviews zur Begründung falscher Antworten konzeptartige Lernendenvorstellungen heranziehen, obwohl ihr Antwortverhalten nicht konsistent bzgl. dieser Vorstellungen ist. Über die Verfügbarkeitsheuristik (Tversky & Kahneman, 1973) ließe sich auch erklären, warum Personen selbst bei vorhandenem physikalischem Konzeptwissen auf Basis von Lernendenvorstellungen argumentieren – letztere sind aufgrund ihrer Alltagstauglichkeit oftmals leichter zugänglich.

Ausgehend vom Default-Interventionist und Mindware Modell, den Befunden von Toplak et al. (2011, 2014) sowie den obigen Überlegungen, wurde das INTEGRATE-Modell (Abb. 2) zur Erklärung inkonsistenter und konsistenter Muster falscher Antworten bei der Bearbeitung wissenszentrierter Physikproblemlöseaufgaben entwickelt. Das Modell unterscheidet anhand der Funktion analytischer Denkprozesse zwei Arten von Bearbeitungsprozessen: bei Typ-1 dominierten Bearbeitungsprozessen werden analytische Prozesse lediglich zur Rechtfertigung intuitiver Antworten initiiert, während sie bei Typ-2 dominierten Bearbeitungsprozessen zum Hinterfragen intuitiver Antworten initiiert werden. Da das Modell auf falsche Bearbeitungsprozesse fokussiert, sind Bearbeitungsprozesse in denen die intuitive Antwort A1 (ggf. zufällig) richtig ist, demnach immer Typ-2 dominiert. Ob ein Bearbeitungsprozess eher Typ-1 oder Typ-2 dominiert ist, sollte in einer gegebenen Testsituation von dem die intuitive Antwort begleitenden Feeling of Rightness (FOR) und von Personenmerkmalen abhängen: ein niedrigeres FOR sowie höhere kognitive Reflexionsfähigkeit und Motivation erhöhen die Bereitschaft zum Hinterfragen intuitiver Antworten. Außerdem sollte ein Anstieg des Anteils Typ-2 dominierter Bearbeitungsprozesse mit einer höheren Konsistenz falscher Antwortmuster einhergehen.

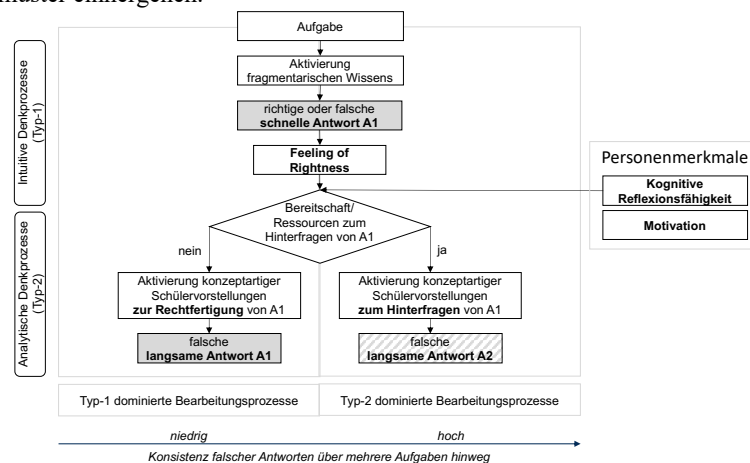


Abb. 2: Das INTEGRATE-Modell zur Erklärung inkonsistenter und konsistenter Muster falscher Antworten beim Bearbeiten wissenszentrierter Physikproblemlöseaufgaben bei Vorhandensein einer konzeptartigen Lernendenvorstellung

Literatur

Badagnani, D., Petrucci, D. & Cappannini, O. (2017). Evidence on the coherence–pieces debate from the force concept inventory. *European Journal of Physics*, 39, 015705.

- Bao, L. & Redish, E. F. (2006). Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2, 010103.
- Cauet, E. & Kauertz, A. (2025, März 1). A stimulus-response model for explaining when students decide to engage in a physics task: The TSMS-Model. arXiv.
- diSessa, A. A. (2014). A history of conceptual change research. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (S. 88–108). Cambridge University Press.
- Evans, J. B. T. (2006). The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 378–395.
- Evans, J. B. T. (2019). Reflections on reflection: The nature and function of type 2 processes in dual-process theories of reasoning. *Thinking & Reasoning*, 25, 383–415.
- Frederick, S. (2005). Cognitive reflection and decision making. *Journal of Economic Perspectives*, 19, 25–42.
- Gette, C. R. & Kryjevskaja, M. (2019). Establishing a relationship between student cognitive reflection skills and performance on physics questions that elicit strong intuitive responses. *Physical Review Physics Education Research*, 15, 010118.
- Heckler, A. F. (2011). The role of automatic, bottom-up processes: In the ubiquitous patterns of incorrect answers to science questions. *Psychology of Learning and Motivation*, 55, 227–267.
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33, 502–502.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141–158.
- Hull, M. M. & Hopf, M. (2021). Students' conceptions. In H. E. Fischer & R. Girwidz (Hrsg.), *Physics Education* (S. 383–411). Cham: Springer International Publishing.
- Kryjevskaja, M., Stetzer, M. R. & Grosz, N. (2014). Answer first: Applying the heuristic-analytic theory of reasoning to examine student intuitive thinking in the context of physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10, 020109.
- Lasry, N., Rosenfield, S., Dedic, H., Dahan, A. & Reshef, O. (2011). The puzzling reliability of the Force Concept Inventory. *American Journal of Physics*, 79, 909–912.
- Speirs, J. C., Stetzer, M. R., Lindsey, B. A. & Kryjevskaja, M. (2021). Exploring and supporting student reasoning in physics by leveraging dual-process theories of reasoning and decision making. *Physical Review Physics Education Research*, 17, 020137.
- Stanovich, K. E. (2018). Miserliness in human cognition: The interaction of detection, override and mindware. *Thinking & Reasoning*, 24, 423–444.
- Talanquer, V. (2017). Concept inventories: Predicting the wrong answer may boost performance. *Journal of Chemical Education*, 94, 1805–1810.
- Thompson, V. A. & Morsanyi, K. (2012). Analytic thinking: Do you feel like it? *Mind & Society*, 11, 93–105.
- Toplak, M. E., West, R. F. & Stanovich, K. E. (2011). The Cognitive Reflection Test as a predictor of performance on heuristics-and-biases tasks. *Memory & Cognition*, 39, 1275–1289.
- Toplak, M. E., West, R. F. & Stanovich, K. E. (2014). Assessing miserly information processing: An expansion of the Cognitive Reflection Test. *Thinking & Reasoning*, 20, 147–168.
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive psychology*, 5, 207–232.
- Vosniadou, S. & Skopeliti, I. (2014). Conceptual change from the framework theory side of the fence. *Science & Education*, 23, 1427–1445.
- Wood, A. K., Galloway, R. K. & Hardy, J. (2016). Can dual processing theory explain physics students' performance on the Force Concept Inventory? *Physical Review Physics Education Research*, 12, 023101.