

Registered Research Plan

Die naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen im Lehrplan 21: Rekonstruktion einer Typologie aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive.

Markus Emden¹, Christina Colberg²

Received: August 2024 / Revised: February 2025 / Accepted: March 2025

Structured Abstract

Background: Curricula are state-issued instruments of governance in education. They mandate what and to which extent it should be taught and which competencies the students should accomplish. Composing curricula involves experts from diverse branches of schools' subjects. Necessarily, curricula result to be documents of compromise. Expertise that has been condensed in them is frequently not explicated, and some of the curricula's governing potentials are forfeited. Teachers may not be able to realize easily the experts' implicit suggestions. Consequently, they cannot necessarily profit from the experts' advice to structure their teaching.

The current article aims to reconstruct some of the implicit expertise for a specific aspect of the Swiss German curriculum for the lower secondary level (*Lehrplan 21* – referred to as *Curriculum* in this abstract): namely, its suggested modi of thinking, working, and acting (*Denk- Arbeits- und Handlungsweisen* – *DAH* – '*Modi Operandi*' in this abstract). These are referenced in the context of the subject NMG (*Natur, Mensch, Gesellschaft*), which covers both natural and social science content and methods.

Purpose: The article suggests that the derived list of *Modi Operandi* can be organized in a structured typology. In doing so, it proposes that learning individual *Modi Operandi* is differentially difficult for students depending on a specific *Modus Operandi*'s locus in the typology. Validating the typology empirically could ultimately lead to improving science education by sketching learning progressions on *Modi Operandi* which respect the increase of difficulties between individual *Modi Operandi*.

Design and Methods: The typology is derived theoretically. First, relevant scientific *Modi Operandi* are identified from the *Curriculum* and operationalized for the purpose of sketching a typology drawing on current literature from science education research. The typology aims at distinguishing between *Modi Operandi* by as few criteria as possible. Recent modeling studies on student competences from Austria, Germany and Switzerland inform this approach. Finally, a typology for science-related *Modi Operandi* of the *Curriculum* is proposed and the outline for an empirical validation study is developed.

Results: The typology suggests science-related *Modi Operandi* to be distinctive with regard to: (1) their being invasive or non-invasive, i.e., if objects of study need to be manipulated substantially or not; (2) their approach being holistic or selective; (3) how taxing they are in terms of Cognitive Load, i.e., if they require the handling of numerous items of information at the same time or if teachers provide scaffolding. Concerning criteria (1) and (2), nine science-related *Modi Operandi* can be clustered into four groups: (I) Reconnaissances (non-invasive, holistic), (II) Explorations (invasive, holistic), (III) Observations (non-invasive, selective), and (IV) Experiments (invasive, selective). Within these groups, further distinctions apply with regard to increasing Cognitive Load.

Conclusions: The typology is meant to form the basis for an empirical validation study that is to investigate empirical difficulties of tasks with year 3–6 students (ages 9–12). The typology will inform item construction. Subsequent analyses of students' performance data will outline the development of empirical difficulties between individual *Modi Operandi*. Should the typology prove to be a valid derivation, i.e., should empirical difficulties manifest in the hypothesized way, this could form the basis for developing learning progressions that align with students' potentials. This, in turn, could greatly contribute to the development of science education at the lower secondary level.

Keywords: *scientific inquiry, Lehrplan 21, typology, validation, DAH.*

¹Pädagogische Hochschule Zürich, ²Pädagogische Hochschule Thurgau

✉ markus.emden@phzh.ch

1. Einleitung und Zielsetzung

Lehrpläne sind Instrumente der Bildungsadministration, um Unterricht an den Schulen zeitgemäss und den Anforderungen entsprechend zu entwickeln. Unterrichtspraktisch entfalten sie eher mittelbare Wirkung (B. Mayer, 2006). Nichtsdestoweniger bilden sie zentrale Bezugspunkte bildungsorientierter Diskurse und schaffen Stabilität in einem tendenziell sehr dynamischen Feld. Bei der Entwicklung von Lehrplänen wirken Perspektiven der Fachwissenschaft, Fachdidaktik, Erziehungswissenschaft sowie der Berufspraxis möglichst synergistisch zusammen (B. Mayer, 2006). Sie sind aufgrund dieser Multiperspektivität notwendigerweise Kompromissprodukte, die nicht streng aus einer Perspektive hergeleitet werden. Dies bedingt zugleich, dass sich Leitideen und Vorgaben von Lehrplänen nicht immer reibungsfrei zu Einzelpositionen verhalten. Als einfachstes Beispiel mögen Elementarisierungen und didaktische Rekonstruktionen komplexer Sachverhalte gelten, die von den Fachwissenschaften nicht umfänglich geteilt werden (z. B. Tolan, 2014). Doch bedeutet ‚Kompromiss‘ keinesfalls, dass Lehrpläne beliebig oder atheoretisch abgeleitet würden – dagegen spricht die Beteiligung anerkannter Expert:innen. Es darf jedoch davon ausgegangen werden, dass die einflussende Expertise zu einem wesentlichen Anteil auf implizitem Wissen beruht (Neuweg, 2020). Nicht jede Entscheidung und Empfehlung kann direkt in einen ursächlichen Zusammenhang gestellt werden, sondern beruht auf fundiertem Erfahrungswissen der Profession. Eine wichtige Orientierungsfunktion von Lehrplänen geht mit dieser Implizitheit verloren. Denn, wenn Lehrplannutzende die ‚Logik des Lehrplans‘ nicht mehr verstehen und nachvollziehen können, erscheint Vieles plötzlich willkürlich – ohne dass dem so sei!

Dies erscheint uns besonders der Fall zu sein im Lehrplan 21 und seinen Vorgaben zu Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (DAH) im Fachbereich Natur, Mensch und Gesellschaft (NMG). Während man der Relevanz der einzelnen DAH in aller Regel nicht widersprechen können, ist die Frage nach ihrem Zusammenspiel im Rahmen des Lehrplan 21 nicht angesprochen. Ebenso wie die naturwissenschaftsbezogenen Prozesskompetenzen in anderen Lehrplänen (z. B. Science and Engineering Practices in NRC, 2011; National Curriculum in DfE, 2014) stehen die DAH scheinbar gleichberechtigt nebeneinander, ohne sich aufeinander zu beziehen. Damit käme die Auflistung der DAH aber einer rein lexikalischen Leistung gleich. Unsere Grundannahme für den folgenden Beitrag ist jedoch entgegengesetzt: Die Zusammenstellung der DAH des Lehrplan 21 ist bewusst und zielorientiert erfolgt. Erziehungswissenschaftler:innen, Fachwissenschaftler:innen, Fachdidaktiker:innen und Lehrpersonen haben in Diskussionen darum gerungen, welche DAH aufgenommen werden und welche nicht – die 30 DAH des Lehrplan 21 sind keine Zufallsauswahl. Auch wenn keine Begründung für die Zusammenstellung gegeben wird, haben bei der Lehrplannerstellung Expert:innen aus ihren Wissensschätzen geschöpft, um die Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Unterrichts zu unterstützen, der zeitgemäss, lernendengerecht und zukunftsweisend sein soll. In diesem Sinne ist der Lehrplan als konzentrierte – allenfalls zu wenig explizite – Expertise zu verstehen.

Das Anliegen dieses Beitrags ist es, eine Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen im Lehrplan 21 für die Zyklen 1 bis 3 zu rekonstruieren. Damit soll *nachträglich* versucht werden, der normativen Aufstellung von DAH des Lehrplan 21 (D-EDK, 2016) eine Entwicklungslogik einzuschreiben. Eine solche Typologie könnte die theoriebasierten Entwicklungen der DAH – bzw. Entwicklung der mit ihnen verbundenen Kompetenzen im Unterricht – unterstützen, indem beispielsweise optimierte Lernpfade vorgeschlagen werden (learning progressions: z. B. Duschl, Maeng & Sezen, 2011). Diese liessen sich durch empirische Überprüfungen untermauern, indem aufbauend auf der abgeleiteten Typologie Testinstrumente zur Überprüfung des Entwicklungsstands in den DAH entwickelt würden (z. B. Rogat, 2011; K. Weber, 2018).

2. Theoretischer Hintergrund

Im Zuge dieses theoretischen Hintergrunds wird versucht, die im Lehrplan 21 verwendeten und daher für die Schulpraxis zentralen Begrifflichkeiten vor dem Hintergrund naturwissenschaftsdidaktischer Theorie auszudeuten. Dies dient dem Ziel, eine einheitliche und verbindliche Sprache zu schaffen, die sowohl für die fachdidaktische Entwicklung und Forschung als auch für die Schulpraxis nutzbar ist. Im Laufe dieses Abschnitts wird deutlich, dass unpräzise Formulierungen in Curricula und Lehrwerken zu einem Wildwuchs geführt haben, dem auch die naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung teils unkritisch gefolgt ist. Vornehmliches Interesse dieser Ausführungen ist es daher nicht ‚besser zu wissen‘, sondern sich festlegen zu wollen auf das, was man mit dem naturwissenschaftlichen Unterricht erreichen will. Anders: Naturwissenschaftsdidaktische Literatur beklagt zwar wiederholt, dass nicht alles, was man mit den Händen macht, gleich Experimentieren sei, doch bemüht sie sich meist nur in Schlaglichtern um eine theoretische Begriffsbestimmung. Die allgemeine Verunsicherung sei exemplarisch illustriert an der Themenstellung eines fächerübergreifenden Workshops der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung: Praktisches naturwissenschaftliches Arbeiten im Spannungsfeld der Disziplinen (Metzger et al., 2020). Manche Spannung könnte man auch auflösen, wenn man es versuchte.

2.1 Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (DAH)

Für den Unterricht im Fachbereich NMG – und in Erweiterung für den Unterricht zu Natur und Technik auf der Sekundarstufe – formuliert der Lehrplan 21 in vier Handlungsaspekten 30 DAH, die im Verlaufe der drei Zyklen der obligatorischen Schulzeit aufgebaut und vertieft werden sollen (D-EDK, 2016). Die Frage nach einer systematischen Entwicklung dieser DAH wird dabei jedoch nicht angesprochen. Auf Seiten der fachdidaktischen Forschung werden

Denk- und Arbeitsweisen wie die der DAH bestenfalls in Ausschnitten behandelt, sodass das Verhältnis aller DAH des Lehrplan 21 zueinander nicht zweifelsfrei geklärt ist.¹ – Aufbauend auf vorliegenden Arbeiten ist anzunehmen, dass sich die DAH durch Anlegen weniger Unterscheidungskriterien voneinander trennen und entsprechend in einer beschreibenden Typologie einordnen lassen (s. Abschnitt 3).

Inwiefern sich Denk- von Arbeits- und von Handlungsweisen unterscheiden lassen bzw. unterscheiden lassen müssen, ist derzeit nicht geklärt. Die deutsche Gesellschaft für den Sachunterricht formuliert in ihrem Perspektivrahmen Sachunterricht (GDSU, 2013) die „Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen“ als prozessbeschreibende Perspektive, die die inhaltsorientierte Perspektive (*Themenfelder*) weiter ausdifferenziert. Dabei unterscheidet der Perspektivrahmen zwischen perspektivenübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (z. B. erkennen/verstehen, evaluieren/reflektieren, umsetzen/handeln) sowie perspektivenbezogenen, d. h. stärker inhaltsgebundenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (z. B. die belebte Natur untersuchen, experimentieren; Räume erkunden, sich orientieren). Eine theoretische Unterscheidung innerhalb des Dreifach-Begriffs wird nicht vorgenommen. Es gilt zu beachten, dass sich die Perspektiven des Sachunterrichts – ähnlich dem Fachbereich NMG in der Schweiz – auf zahlreiche natur- und sozialwissenschaftliche Disziplinen beziehen. Eine Einführung in ein den jeweiligen Disziplinen adäquates wissenschaftliches Denken, Arbeiten und Handeln muss notwendigerweise sehr divers ausfallen. Innerhalb ausgewählter Perspektiven erfolgen die Zugänge auf Basis einer fokussierenden Auswahl von DAH.

Nehring et al. (2016) schlagen vor, dass unter Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften drei grundlegende methodische Zugänge zu fassen sind (Beobachten/Vergleichen/Ordnen, Experimentieren und Modellieren), die sich in Denkweisen (Fragen, Untersuchen, Schlussfolgern) ausdifferenzieren lassen. Durch Anlegen der zweiten Dimension weisen sie jenen Prozessen, die an anderer Stelle als Teilprozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung verstanden werden (z. B. Gut-Glanzmann & J. Mayer, 2018), einen jeweils eigenen grundlegenden Modus der Weltbegegnung zu. Sie stehen damit gleichzeitig terminologisch in Opposition zu z. B. Klos et al. (2008), bei denen sich die naturwissenschaftlichen *Arbeitsweisen* definieren durch einen methodischen Dreischritt von „Ideen-/Hypothesenbildung – experimentelle Umsetzung – Schlussfolgerung“. Wiederum ‚quer‘ dazu liegen die Vorschläge des HarmoS-Konsortiums für die Naturwissenschaften, die unter *Handlungsaspekten* gleichberechtigt nebeneinander z.B. „fragen und untersuchen“ sowie „ordnen, strukturieren, modellieren“ fassen (HarmoS+, 2008). Die Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen scheinen ähnlich wie Weinerts (2001) „Fähigkeiten und Fertigkeiten“ unreflektiert und undifferenziert als feste Fachbegriffe übernommen worden zu sein (vgl. Bleisch, Helbling & Schellenberg, 2022). Dabei wären theoretische Differenzierungen oft möglich (siehe dazu Emden, 2011; Glug, 2009).

An dieser Stelle wird eine terminologische Ausdifferenzierung vorgeschlagen, die interpretativ angelegt ist und zu Diskussionen anregen soll. Eine klare Unterscheidung zwischen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen bietet die Möglichkeit, einzelne Fähigkeiten gezielter zu fördern. Dadurch wird deutlicher, wer für die Förderung welcher Fähigkeit verantwortlich ist. Um illustrierend vorzugreifen: Das Experimentieren als *fachspezifische Arbeitsweise* sollte von naturwissenschaftlichen Akteur:innen eingeführt und entwickelt werden, wohingegen *allgemeinere Handlungsweisen* wie das Beschreiben zwecks der Übertragbarkeit in möglichst vielen Kontexten studiert werden sollten.

- Unter **Denkweisen** lassen sich prinzipielle Zugänge fassen, die für ein Fach prägend sind bzw. die als Grundannahmen die Wissensbildung in einem Fach bestimmen (vgl. „Denkstile“ bei Fleck, 1935/1980). Für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung lassen sich beispielsweise deduktive, induktive und abduktive Verfahren differenzieren (Gut & Tardent, 2023). Diese Zugänge stellen keine Erkenntnismethoden im eigentlichen Sinne dar; vielmehr beschreiben sie regelhafte Zusammenhänge zwischen Einzelbeobachtungen (Empirie) und Schlussfolgerungen (Theorie). Damit setzen sie Grenzen bezüglich dessen, was im Zuge von naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als akzeptabel gilt – sie wirken gewissermassen als Paradigma. Analog lässt sich argumentieren, dass das *Denken* in Modellen, das *Systemdenken* sowie die wissenschaftstheoretische Reflexion (Nature of Science) nicht methodologisch, sondern paradigmatisch charakterisiert sind. Die Nutzung von Denkweisen erfordert die Einhaltung fundamentaler Rahmensetzungen, sodass ein Ergebnis des Denkens einen Gültigkeitsanspruch im Fach stellen kann. Wissenschaftstheoretische Reflexion im Sinne der Nature of Science muss beispielsweise berücksichtigen, dass naturwissenschaftliches Wissen vorläufig ist, in kreativen Prozessen entsteht und dass es historisch und gesellschaftlich beeinflusst ist (z. B. Billion-Kramer, 2021; Kunz, 2016; Lederman, 2007). Eine Interpretation von Modellieren als *Denkweise* betont z. B., dass Modelle stets verkürzt sind und nur eingeschränkte Geltungsbereiche haben (z. B. Gilbert, 2004; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) – demgegenüber wird Modellieren aber auch als *Arbeitsweise* verstanden, die als didaktisierte Prozessmethode in Einzelschritten zu formulieren ist (z. B. Glynn, 2007; Gut et al., 2016; Leisner-Bodenthin, 2006). Wir favorisieren die Interpretation des Modellierens als *Denkweise*. Das hier dargelegte Verständnis von Denkweisen entspricht weitgehend dem Vorschlag von Nehring et al. (2016), indem beispielsweise nur naturwissenschaftliche Fragestellungen zugelassen werden bzw. Schlussfolgerungen sich auf Hypothesen zurückbeziehen lassen müssen, um Gültigkeit zu erlangen.

¹ Zur Differenzierung zwischen dem Verständnis der Erkenntnismethoden allgemein und im Lehrplan 21, wird hier wie in der Folge der Lehrplanbezug immer durch das Akronym „DAH“ ausgedrückt; Referenzen zu anderen Konzeptionen wie bspw. in den Bezugswissenschaften werden ausgeschrieben als „Denk-“, „Arbeits-“ oder „Handlungsweise“.

- Unter **Arbeitsweisen** sind solche Prozessfähigkeiten zu verstehen, die eine fachspezifische und erkenntnisgeleitete Auseinandersetzung mit einem Gegenstand unterstützen und mit der die „Verwirklichung eines Resultats“ angestrebt wird (Greif, 2009). „Arbeiten“ in dieser marxistischen Auslegung (Hacker, 1999a) ist an die Erreichung eines konkreten Ziels gebunden, das nicht zwingend materieller Natur sein muss, sondern auch ideell sein kann (z. B. Wissen). Arbeitsweisen sind daher, analog dem Verständnis von Nehring et al. (2016), als fachspezifische Erkenntnismethoden zur Gewinnung neuen Wissens zu interpretieren. Die Expertise im Umgang mit einer Arbeitsweise entwickelt sich in Abhängigkeit von wachsendem Fach- und Methodenwissen (z. B. Emden et al., 2024; Klahr & Simon, 2001). Die Effizienz von Arbeitsweisen steigt mit dem Grad ihrer Spezialisierung. Trial & error geht also immer, ist aber sehr zeitaufwendig. So benötigt man für das Experimentieren im Sinne einer variablenkontrollierten Aufklärung von Kausalzusammenhängen zwar viel Vorwissen, dafür ist es aber zeitökonomisch. Unter Arbeitsweisen sind fachspezifische Heuristiken und Problemlösefähigkeiten zu verstehen, zu denen sich idealisierte Grundstrukturen formulieren lassen (z. B. Teilprozesse, Schrittfolgen). Auch wenn die Frage nach der Idealisierung der jeweiligen Grundstruktur nicht abschliessend zu klären ist („Myth of the Scientific Method“, z. B. McComas, 2020), muss sich der naturwissenschaftliche Unterricht in der Entwicklung der Arbeitsweisen zwischenzeitlich darauf beziehen (dürfen), um Lernprozesse anlegen und strukturieren zu können (Emden, 2021; Gut & Tardent, 2023).
- Giest (2009) versteht unter Handlungen intentionale, planvolle, bewusste und zielorientierte Prozesse, d. h. um willentlich eine Absicht zu verfolgen, handelt man. Bei Max Weber (1920/1922, S. 503) beschreiben Handlungen ebenfalls „menschliches Verhalten (einerlei ob äußeres oder innerliches Tun, Unterlassen oder Dulden) [...], mit dem Menschen] einen subjektiven Sinn verbinden“. **Handlungsweisen** beschreiben entsprechend Prozesse, die durch den Handelnden mit Sinn versehen sind – damit sind sie ein Gegenpol zum Tun oder Werkeln. Handlungsweisen müssen methodologisch oder paradigmatisch nicht besonders vorbestimmt sein (z. B. Beschreiben, Erklären, Mitteilen). Unter Handlungsweisen fallen beispielsweise auch Prozesse der Bewertung und Kommunikation (vgl. hierzu die Kompetenzbereiche der deutschen Bildungsstandards: KMK, 2024a-c). Handlungsweisen sind aufmerksamkeitsleitend („bewusst“) und organisieren bestehendes Wissen („planvoll“), anstatt Neues zu entdecken. Sie können als interaktives Pendant gegenüber den Denkweisen verstanden werden, bei denen der/die Denkende mit ‚sich selbst‘ verhandelt. Gleichzeitig ergänzen sie die ‚produktorientierten‘ Arbeitsweisen um ein Element, das persönliche Bewertungen und Abwägungen erlaubt. Handeln wird als Grundeinheit komplexerer Tätigkeiten (auch: Arbeiten) verstanden (Greif, 2009; Hacker 1999a). Entsprechend sind Handlungsweisen grundlegender und allgemeiner als Arbeitsweisen. Sie sind weitgehend unabhängig von fachlichen Konsensen: Über die Gültigkeit einer Beschreibung oder Erklärung entscheidet weniger ihre Form als eine subjektive Sinnzuweisung.

2.1.1 Die naturwissenschaftsbezogenen DAH des Lehrplan 21

Unter den 30 DAH im Fachbereich NMG lassen sich zehn DAH identifizieren, die naturwissenschaftsspezifisch gedeutet werden können. Ihnen kann je eine methodische Grundstruktur zugeordnet werden (Tab. 1), sodass sie als naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen zu interpretieren sind. In Tabelle 1 wird das Modellieren vorläufig mit angeführt, da es traditionell als naturwissenschaftliche Erkenntnis*methode* gelistet wird (vgl. D-EDK, 2016; KMK, 2024a-c; NRC, 2011). Wie weiter oben angedeutet, sollte man im Unterricht entscheiden, ob Modellieren als ein methodologisch gut beschreibbarer Prozess (Arbeitsweise) eingeführt wird oder als eine durch Rahmenbedingungen eingeschränkte Form der Auseinandersetzung mit natürlichen Phänomenen (Denkweise). Da auch der Lehrplan 21 in der Operationalisierung spezifisch auf das Denken abhebt (Tab. 1) und die Literatur mehrheitlich die paradigmatischen Merkmale von Modellen betont, wird auch im Folgenden ein Verständnis vom Modellieren als Denkweise angelegt. (s. a. Abschnitt 2.1.2).

Die verbleibenden 20 DAH des Lehrplan 21 beziehen sich vornehmlich auf überfachliche Handlungsweisen, die beispielsweise Aspekte der fachgerechten Kommunikation und Bewertung fokussieren (vgl. KMK, 2020a-c; 2024a-c).

Die Auswahl der zehn DAH in Tabelle 1 folgt ihrer Fachspezifität für die Naturwissenschaften und ihre Didaktik. Auch wenn alle anderen DAH für den naturwissenschaftlichen Unterricht relevant sind, übernimmt dieser die Hauptverantwortung für die Entwicklung der ausgewählten zehn. Dabei ist einschränkend zu berücksichtigen, dass es zur Doppelverwendung von Begriffen zwischen Unterrichtsfächern kommen kann: Ordnen und Vergleichen meint in den Naturwissenschaften etwas anderes als in den Gesellschaftswissenschaften (hier bezieht der Lehrplan 21 Ergebnisse und Informationen (Artefakte) ein neben Gesammeltem und Erkundetem (natürliche Gegebenheiten)); Betrachten folgt in Kunst anderen Regeln als in Biologie (wobei sich der Lehrplan 21 auf das Anschauen von „Phänomenen“ festlegt und damit den Bezug zur natürlichen Umwelt andeutet); der Experimentbegriff der Mathematik ist kein physikalisch-chemischer. Wir erheben hier jeweils nur den Anspruch auf Auslegung eines naturwissenschaftsdidaktischen Verständnisses. Im Gegensatz hierzu werden die meisten weiteren DAH gemeinsam mit anderen Disziplinen bearbeitet: So obliegt es beispielsweise zweifelsfrei den naturwissenschaftlichen Fächern, Kompetenzen im Experimentieren anzulegen, wohingegen Fähigkeiten zur Reflexion von Sachverhalten und Vorgängen fächerübergreifend aufgebaut werden.

Tab. 1. naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21 (adaptiert aus D-EDK, 2016, S. 263)

	Operationalisierung lt. Lehrplan 21
Betrachten	Phänomene nach Gesichtspunkten anschauen
Beobachten	Veränderungen bzw. Abläufe nach Gesichtspunkten verfolgen
Laborieren	angeleitet Versuche durchführen, insbesondere um Vorgehen und Methoden kennen zu lernen; versuchen
Erkunden	am Original oder im Gelände nach Eindrücken, Spuren, Merkmalen suchen; herausfinden; sammeln; Daten aufnehmen, erheben, kartieren
Experimentieren	Forschungsprozess durchlaufen, insbesondere um kausale Zusammenhänge zu finden: Fragen stellen – Hypothesen bilden – Experiment planen, durchführen und auswerten – Ergebnisse darstellen und reflektieren; erforschen
Untersuchen	Untersuchungen planen; durchführen und auswerten, insbesondere um fragengeleitet Zusammenhänge zu finden; prüfen
Vergleichen	unterscheiden, differenzieren, gegenüberstellen, abgleichen, überprüfen
Ordnen	Gesammeltes, Erkundetes, Ergebnisse, Informationen nach Gesichtspunkten ordnen; einordnen, zuordnen, identifizieren, kategorisieren, verorten, zusammenstellen
Explorieren	spielerisch an einem Problem arbeiten; ausprobieren; herausarbeiten, entdecken
Modellieren	in Modellen denken, Analogien bilden; Gesetzmässigkeiten ableiten; generalisieren

Um eine Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21 ableiten zu können, gilt es einige rahmende Annahmen zu betonen, die den sich anschliessenden Überlegungen zugrunde liegen:

- (1) Die Operationalisierungen der DAH des Lehrplan 21 erfüllen eine Orientierungsfunktion (D-EDK, 2016; B. Mayer, 2006). Bezüglich Tabelle 1 sind sie Ausdruck einer überblickshaften Zusammenstellung jener Denk- und Arbeitsweisen, die in den Naturwissenschaftsdidaktiken diskutiert werden. Sie fügen sich nicht reibungs- oder widerspruchsfrei in diesen Diskurs, der selbst nicht widerspruchsfrei ist (s. a. 2.1.2).
- (2) Der Rückbezug auf die Operationalisierungen des Lehrplan 21 schliesst prinzipiell nicht die Gültigkeit alternativer Operationalisierungen aus.
- (3) Die DAH werden – sofern möglich – so ausgelegt, wie es der Lehrplan 21 vorsieht. Wo nötig können die Operationalisierungen der DAH des Lehrplan 21 theoriegeleitet ausdifferenziert werden (s. a. 2.1.2), um allfällige Widersprüche aufzulösen.
- (4) Die Operationalisierungen der DAH des Lehrplan 21 werden nicht als in sich abgeschlossen verstanden. Die einzelnen Denk- und Arbeitsweisen können über komplexere Binnenstrukturen verfügen als dies in den zugrundeliegenden Operationalisierungen des Lehrplan 21 abzulesen ist (z. B. zum Beobachten vgl. Kohlhauf et al., 2011). Dies umfasst auch, dass die DAH des Lehrplan 21 im Verlauf des naturwissenschaftlichen Unterrichts weiter ausdifferenziert und durch weitere Facetten ergänzt werden können.
- (5) Die Operationalisierungen der DAH des Lehrplan 21 sind als didaktische Rekonstruktionen von Denk- und Arbeitsweisen der forschenden Naturwissenschaften zu verstehen. Sie stellen keinen umfassenden Authentizitätsanspruch, sondern verstehen sich als lernenden- und entwicklungsgerechte Operationalisierungen von komplexeren Denk- und Arbeitsweisen (vgl. Kircher et al., 2019), die in den forschenden Naturwissenschaften zum Einsatz kommen.
- (6) Die Operationalisierungen der DAH werden als ganzheitliche Problemtypen verstanden, deren Gliederung in Teilprozesse nicht Gegenstand der hiesigen Betrachtungen sind (vgl. hierzu: Gut & Tardent, 2023). Angesichts der überaus diversen Literaturlage zur Operationalisierung von Teilprozessen und deren Strukturierung im Rahmen der Erkenntnisgewinnung (Emden, 2021; Rönnebeck et al., 2016) bewährt sich der ganzheitliche Zugang.

2.1.2 Naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen der DAH im Spiegel fachdidaktischer Forschung

Die Sichtweisen in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung entsprechen meist den Operationalisierungen der einzelnen DAH des Lehrplan 21. In wenigen Fällen kommt es zu Widersprüchen und Verwirrungen in der Literatur, die es zu klären gilt, bevor eine Typologie vorgeschlagen werden kann.²

- Betrachten: Wilhelm und Kunz (2016) bezeichnen dies, analog zu Gropengießer und Kattmann (2006), als nicht-ingreifende Erfassung des Habitus von Objekten, d. h. der Gegenstand der Arbeitsweise ist unveränderlich und statisch (vgl. Arnold et al., 2010.). Diese Arbeitsweise wird in der englischsprachigen Literatur in der Regel nicht vom Beobachten unterschieden.

² Die hier theoretisch abgeleiteten Arbeitsweisen werden in einer online-Beigabe auf exemplarische Lernanlässe bezogen. Diese Darstellung verstehen sich exemplarisch und sollen die theoretischen Differenzierungen für die Unterrichtspraxis illustrieren.

- ‚Beobachten‘ bezeichnet im Gegensatz zum ‚Betrachten‘ die „bewusste, theoriegeleitete, systematische und selektive Wahrnehmung von konkreten Systemen, *Ereignissen* und *Prozessen* ohne grundlegende Manipulationen“ (Arnold et al., 2010, unsere Hervorhebungen), d. h. der Gegenstand der Arbeitsweise ist veränderlich und dynamisch (s. a. Gropengießer & Kattmann, 2006; Wilhelm & Kunz, 2016). Gemeinsam mit dem ‚Experimentieren‘ wird das ‚Beobachten‘ als konstitutive Methode der Naturwissenschaften verstanden (Kraus, 2024; Rousmaniere, 1906). Es setzt eine Zielsetzung und damit verbunden eine bewusste Wahrnehmung voraus (Metzger et al., 2020; Schulz et al., 2012).
- Laborieren: Der Lehrplan 21 operationalisiert diese Arbeitsweise als Vehikel (s. Tab. 1), um stark angeleitet Methoden zu erlernen. In diesem Verständnis stellt es keine spezifisch naturwissenschaftliche Arbeitsweise im Sinne einer Erkenntnismethode dar, sondern ist eine reine Vermittlungsmethode. Erschwerend kommt hinzu, dass die Operationalisierung den Begriff des ‚Versuchens‘ synonym gebraucht, der an anderen Stellen vom ‚Laborieren‘ unterschieden wird (z. B. Grygier & Hartinger, 2012). Daher wird hier eine an den Literaturdiskurs anschlussfähigere Differenzierung für die Typologie eingeführt.
 - ‚Laborieren‘ stellt in Anlehnung an Grygier und Hartinger (2012) eine stark geleitete, eingreifende Untersuchung dar – ‚Untersuchung‘ ist hier alltagssprachlich zu verstehen –, die einer Fragestellung folgt. Zur unterrichtlichen Umsetzung dienen „Koch(buch)rezepte“ (Metzger & Sommer, 2010).
 - ‚Versuchen‘ beschreibt eine ebenfalls eingreifende, aber weniger variablenkontrollierte Untersuchung natürlicher Systeme (Schulz et al., 2012). Versuche folgen keiner anfänglichen Fragestellung, sondern können explorativ angelegt sein und sind stark geleitet (Grygier & Hartinger, 2012). Auch hier erscheint die rezeptartige Anleitung angemessen (Metzger & Sommer, 2010).
- Unter ‚Erkunden‘ versteht der Lehrplan 21 eine Orientierung in Zeit und Raum, wie sie der Exkursionsdidaktik der Geographie entspricht (Stolz & Feiler, 2018). Während Wilhelm und Kunz (2016) unter ‚Erkunden‘ das „Erfassen von Objekten durch Intervention in die Struktur“ verstehen, wird an dieser Stelle dem geographiedidaktischen Verständnis gefolgt, da der Alternativvorschlag zu Verwirrung mit dem ‚Untersuchen‘ nach Gropengießer und Kattmann (2006) führen würde (siehe auch unten).
- ‚Experimentieren‘ wird im Lehrplan 21 – wie überwiegend in der fachdidaktischen Literatur – als hypothesengeleitete Aufklärung von kausalen Zusammenhängen durch variablenkontrollierendes Eingreifen (z. B. Emden et al., 2025; Metzger et al., 2020; Rousmaniere, 1906; Schulz et al., 2012) verstanden. Schulz et al. (2012) stellen diesem vorherrschenden Verständnis des konfirmatorischen Experimentierens (hypothesenprüfend) das explorative Experimentieren gegenüber (hypothesenentwickelnd), das im Vorgehen gleichermaßen variablenkontrollierend angelegt ist und allenfalls als Erweiterung des Experimentbegriffs des Lehrplan 21 zu verstehen ist.
- ‚Untersuchen‘ unterscheidet sich gemäss der Formulierungen im Lehrplan 21 vom ‚Experimentieren‘ vor allem durch die Art der Zusammenhänge, die aufgedeckt werden sollen: Durch eine Unbestimmtheit der Zusammenhänge, wird für das Untersuchen weder ein Anspruch auf Klärung von Kausalzusammenhängen gestellt, noch wird dieser ausgeschlossen (D-EDK, 2016). Diese Operationalisierung erscheint nicht anschlussfähig an den allgemeinen naturwissenschaftsdidaktischen Diskurs. Erschwerend kommt hinzu, dass ‚Untersuchen‘ in der deutschsprachigen Literatur – ähnlich wie ‚investigation‘ im anglophonen Sprachraum – häufig als Oberbegriff für eine Vielzahl von differenzierteren Denk- und Arbeitsweisen verwendet wird (vgl. Metzger et al., 2020). Eine trennscharfe Operationalisierung ist daher wünschenswert. ‚Untersuchen‘ wird hier nach Gropengießer und Kattmann (2006) als eine in den äusseren Aufbau eingreifende Arbeitsweise gefasst. Hierzu können das Auseinandernehmen eines technischen Geräts zählen, ebenso wie die Sektion. Arnold et al. (2010), hingegen, verstehen die Sektion nicht als ‚grundlegende Manipulation‘, sondern deuten sie als mittelbare Beobachtungen – diesem Verständnis folgend gäbe es keinen wesentlichen Unterschied zwischen der Verwendung eines Röntgengeräts und einem Skalpell (vgl. a. Brandon, 1994). Für die Unterrichtspraxis ist allerdings davon auszugehen, dass ein Eingriff durch Sektion nicht wieder rückgängig zu machen ist und der Untersuchungsgegenstand aufhört ‚zu existieren‘. An dieser Stelle wird die Sektion als Form der Untersuchung daher als grundlegende, da existenzielle Manipulation gedeutet. Eingriffe dieser Art bedürfen darüber hinaus der vorherigen Anlage von Fertigkeiten, sodass ihnen eine Spezialisierung zukommt, die einem Oberbegriff widersprechen.
- ‚Vergleichen‘ wird bei Nehring et al. (2016) dem ‚Ordnen‘ und dem ‚Beobachten‘ gleichgestellt. In den Naturwissenschaften ist es eine nicht-ingreifende Arbeitsweise, bei der mindestens zwei Gegenstände hinsichtlich eines geteilten Merkmals betrachtet oder beobachtet werden (vgl. Wellnitz & J. Mayer, 2008). Die Bestimmung der Vergleichsmerkmale erfolgt in den Naturwissenschaften theoriebasiert und fragegeleitet. Das Vergleichen in den Naturwissenschaften (ebenso wie das Ordnen und das Beobachten) nimmt die Existenz von natürlichen Zusammenhängen an, die erschlossen werden können. Daraus ergibt sich der Charakter des Vergleichens als Erkenntnismethode. Vergleiche in anderen Fachzusammenhängen beziehen sich nicht auf natürliche Phänomene, sondern auf Artefakte (Bildvergleiche, Gedichtvergleiche) oder auf Einzeldaten, die keinen Zusammenhang offenlegen (Bildung einer Reihe von Körpergrößen, Farbschattierungen). Diese Grundlegung des Vergleichs auf natürlich gegebenen Zusammenhängen spiegelt sich auch wider in der von

Wilhelm und Kunz (2016) gewählten Bezeichnung: „effektbasiertes Erfassen von Unterschieden“ (vgl. a. „effektbasierter Vergleich“: Gut & Tardent, 2023, jeweils unsere Hervorhebungen).

- Beim ‚Ordnen‘ werden mindestens drei Beobachtungs-/Betrachtungsgegenstände hinsichtlich mindestens eines Kriteriums in eine Rangfolge gebracht (vgl. Wellnitz & J. Mayer, 2008). Gegenüber dem ‚Vergleichen‘ ergibt sich neben der Fokussierung eines Vergleichskriteriums die Notwendigkeit, Ausprägungen des Kriteriums bezüglich mehr als zweier Objekte zu gewichten. Ähnlich dem ‚Vergleichen‘ ist das ‚Ordnen‘ für die Naturwissenschaften spezifisch auszulegen als theoriebasierte und fragengeleitete Erkenntnismethode, die sich auf natürliche Zusammenhänge bezieht (s. direkt vorausgehender Punkt).
- ‚Explorieren‘ bezeichnet die weitgehend ungeleitete, d. h. eigenverantwortete eingreifende Auseinandersetzung mit einem Gegenstand bzw. einem System. Es setzt keine Fragestellung voraus (vgl. Schulz et al., 2012) und versteht sich als frühe Vorstufe des Experimentierens (Grygier & Hartinger, 2012).
- ‚Modellieren‘ im Verständnis des Lehrplan 21 umfasst deduktives Arbeiten mit Modellen („Gesetzmässigkeiten ableiten“) ebenso wie induktive Aspekte („generalisieren“ – vgl. a. Gut et al., 2016). Der Lehrplan 21 reduziert die eigentlich komplexen Anforderungen der Denkweise (vgl. Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) auf Modellwissen und die reproduzierende Anwendung von vordefinierten Modellen. Aspekte von Modellkritik und -entwicklung scheinen nicht vorgesehen. Nehring et al. (2016) führen das Modellieren als eine von drei Arbeitsweisen neben dem nicht-eingreifenden Beobachten und dem eingreifenden Experimentieren, die sich jeweils an der ‚objektiven Realität‘ messen lassen. Dies erscheint insofern berechtigt, als dass die Entwicklung und Prüfung von Modellen den realen Phänomenen in aller Regel eine abstrakte Behandlungsebene hinzufügen, die sich den Objektivitätsansprüchen der grundlegenden Arbeitsweisen Beobachten und Experimentieren (Rousmaniere, 1906) entzieht. Naturwissenschaft muss sich jedoch über die Beschränkung durch die Sinne bzw. feine Messgeräte erheben, wenn sie umfassende Erkenntnis gewinnen will. Modellieren wird aktuell vor allen Dingen als Denkweise gedeutet (s. a. 2.1.1), sodass es in einer abzuleitenden Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH nicht berücksichtigt wird.

3. Instrumente und Methoden

In diesem Abschnitt wird zunächst die für eine geplante empirische Studie grundlegende Typologie abgeleitet. Sie bildet den instrumentellen Bezugsrahmen für einen zu entwickelnden Leistungstest, mit dem die empirische Schwierigkeit der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den Zyklen 1 und 2 ermittelt werden soll. Die Anlage und Methode der Studie schliesst sich entsprechend der Ableitung der Typologie an.

3.1 Herleitung einer Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21

Im Folgenden wird eine dreidimensionale Typologie für die naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH abgeleitet, die versucht, die Unterscheidung der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in möglichst wenigen Kriterien zu bewerkstelligen. Die Typologie orientiert sich an theoretischen Grundlagen der Kompetenzmodellierung der vergangenen Jahre. Leitend ist dabei der Gedanke, dass Kompetenzstrukturmodelle versuchen, schwierigkeitszeugende Merkmale einer Kompetenz zu beschreiben und somit die Basis für theoriegeleitete Kompetenzentwicklung zu legen (vgl. Schecker & Parchmann, 2006).

3.1.1 *Lessons learned* aus der Kompetenzmodellierung

Aufbauend auf Arbeiten zur Kompetenzmodellierung zur Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht soll eine Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH abgeleitet werden. Aufgrund der genesteten Binnenstrukturen einzelner naturwissenschaftsbezogener Arbeitsweisen (z. B. Kohlhauf et al., 2011) wird an dieser Stelle jedoch nicht von einem Kompetenzstrukturmodell gesprochen, da keine für alle Arbeitsweisen einheitliche, umfassende Kompetenzstruktur erwartet wird. Dennoch wird erwartet, dass sich die einzelnen DAH in wenigen, abstrakten Kriterien voneinander differenzieren lassen. Als notwendigen Kompromiss dieser (Grob-)Strukturierung gibt man die Feinauflösung einzelner DAH auf. Wird in der Folge also eine Schwierigkeitsabfolge von DAH postuliert, ist dies immer auf den einfachst möglichen Fall einer DAH zu beziehen. Da natürliche Phänomene beliebig komplex strukturiert sein können, kann auch der Umgang mit ihnen immer noch komplexer angenommen werden. Daher kann man auch ohne Probleme eine Beobachtungssituation ersinnen, die deutlich schwieriger erscheint als ein vergleichsweise einfach strukturiertes Experiment.

Zur Unterscheidung einzelner DAH sind erklärmächtige Kriterien nötig, die eine pragmatische Auftrennung einer Klasse von DAH in *n* Unterklassen erlauben. Kompetenzmodellierungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland, in Österreich und in der Schweiz schlagen jeweils drei Kriterienbereiche / Dimensionen vor: (1) Inhaltswissen, (2) Prozesswissen und (3) Anforderungsniveau (EDK, 2007; HarmoS Naturwissenschaften+, 2008; Schiffli, 2016; Wellnitz et al., 2012; Wellnitz et al., 2017). Damit anerkennen diese Modelle, dass differenzielle Vorwissensbestände hinsichtlich der Inhalte und Prozesse in den Naturwissenschaften unterschiedliche Kompetenzstände bedingen.

Der vorliegende Beitrag unternimmt den Versuch, eine der Standarddimensionen (Dimension (2)) von Kompetenzmodellen weiter auszudifferenzieren. Dem „Prozesswissen“ wird eine eigene Binnenstruktur unterstellt, die schwierigkeiterzeugend und daher bei der Planung von Lernprozessen relevant sein sollte.

Der Einfluss des relevanten Inhaltswissens (Dimension (1)) soll in den folgenden Betrachtungen zunächst vernachlässigt werden, ohne dabei den Anspruch zu stellen, dass Prozesswissen losgelöst von Inhaltswissen wirksam wird. Die Abhängigkeit der Ausprägung von Prozessfähigkeiten von Fachinhalten ist in der Literatur gut dokumentiert und wird anerkannt (z. B. Brown & Moore, 1994; Shavelson et al., 1993; Toh & Woolnough, 1994). Auch wenn das ultimative Ziel naturwissenschaftlicher Lehre ist, Prozesswissen anzulegen, das flexibel in variablen Kontexten angewendet werden kann (vgl. Weinert, 2001), gilt gerade bei der Einführung in entsprechende DAH die Bindung an Fachwissen zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden – in Analogie zu den Kompetenzstrukturmodellen zur Erkenntnisgewinnung – drei differenzierende Dimensionen abgeleitet (vgl. Abb. 1): Die DAH des Lehrplan 21 lassen sich bezüglich ihrer Schwierigkeiten ordnen hinsichtlich der Invasivität des Vorgehens, der Herangehensweise an ein Phänomen sowie durch den Grad der anzunehmenden kognitiven Belastung (Cognitive Load). Diese Dimensionen lassen sich fachdidaktisch gut begründen (s.u.), sind jedoch selbst Produkt einer intensiven Aushandlung zwischen Naturwissenschaftsdidaktiker:innen der Initiative SWiSE (Swiss Science Education). Es soll entsprechend nicht der Anspruch gestellt werden, dass die vorgeschlagenen drei Dimensionen die einzig mögliche Wahl seien. Im Sinne einer Arbeitshypothese versprechen sie jedoch eine gute Ausgangsbasis zu bilden.

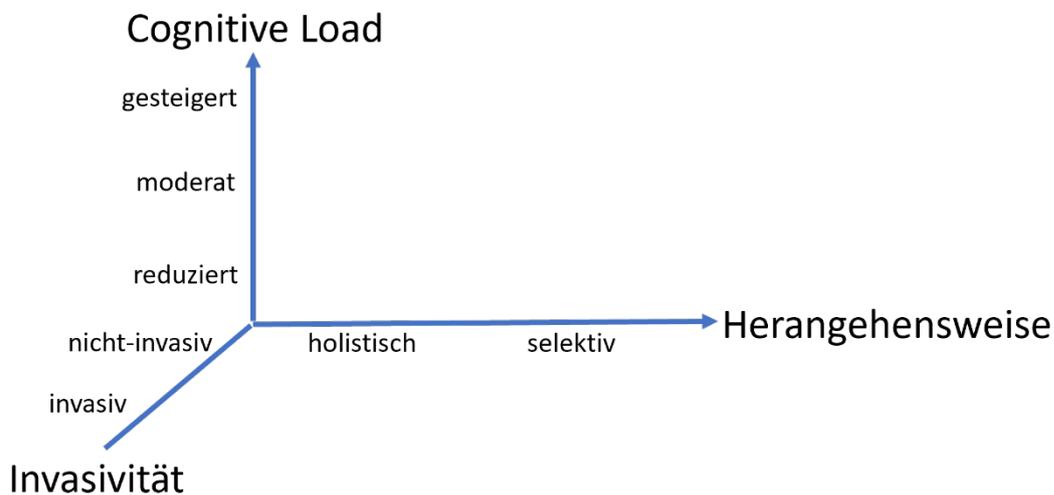


Abb. 1. Dimensionen einer Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21

3.1.2 Dimension I – Invasivität (invasiv – nicht invasiv)

Die kommentierende Aufführung der naturwissenschaftsbezogenen Denk- und Arbeitsweisen in 2.2 legt eine Dimension der abzuleitenden Typologie nahe: das Eingreifen in ein System. Schon Rousmaniere (1906) unterscheidet grundlegend zwei Formen der Beobachtung vom Experimentieren, indem sie die willentliche Beeinflussung zum Kriterium macht, wobei sie *observation of the inside* analog zu Arnold et al. (2010) als Beobachtung ohne „grundlegende Manipulation“ versteht. Gropengießer und Kattmann (2006) legen ihrem Quartett von Erkenntnismethoden ebenfalls die Invasivität des Vorgehens als eine Ordnungsdimension zugrunde. Der Eingriff in den Habitus bspw. durch Sektion bildet bei ihnen das Kriterium für die Unterscheidung zwischen einer „Untersuchung“ und einer „Betrachtung“. Die Frage nach dem willkürlichen Eingreifen wird so zum Differenzierungskriterium (s. a. Brandon, 1994). Die Nutzung von nicht-zerstörenden Instrumenten wie Längenmessern, Lupen, Mikroskopen o. ä. wird im Folgenden als nicht-invasiv verstanden. Die Bearbeitung eines Gegenstands, die zur Veränderung strukturgebender Merkmale führt („grundlegende Manipulation“ des Habitus: Arnold et al., 2010) – bspw. mit dem Geolog:innenhammer oder dem Skalpell –, wird hingegen als invasiv verstanden. Die naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen lassen sich mit diesem Kriterium in zwei Gruppen unterscheiden: Jene, bei denen Gegenstände und Objekte unverändert studiert werden (Betrachten, Beobachten, Vergleichen, Ordnen, Erkunden) und jene, die eine Art des willkürlichen Eingriffs in Form von Veränderungen erfordern (Untersuchen, Versuchen, Laborieren, Explorieren, Experimentieren).

3.1.3 Dimension II – Herangehensweise (selektiv – holistisch)

Eine zweite Dimension beschreibt die Art der Herangehensweise an einen Gegenstand. Ein Teil der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen betont die theoriebasierte, zusammenhangsorientierte Auseinandersetzung mit einem Gegenstand (Laborieren, Experimentieren), die eine *selektive* Wahrnehmung einzelner Merkmale eines Systems erfordert. Hypothesenprüfende (deduktive) Verfahren sind dieser Klasse zuzuordnen, da die Reduktion komplexer Systeme auf eine Auswahl von unabhängigen und abhängigen Variablen die bewusste Selektion voraussetzt. Fragestellungen,

die diese Arbeitsweisen erfordern, beginnen häufig mit ‚Warum‘ (z. B. Dillon, 1988; Hempel & Oppenheim, 1948). Das Offenlegen von Zusammenhängen zwischen derart selektierten Merkmalen erfordert einen starken Rückbezug zur Theorie (Kosso, 2011; Lawson, 2002; Popper, 1935/1989) und eine Vorauswahl relevanter Theorieaspekte steuert das forschende Vorgehen. Dies darf allerdings nicht als gleichbedeutend verstanden werden mit einer Unterscheidung zwischen deduktivem und induktivem Vorgehen. Beide Zugänge greifen nämlich gleichermaßen auf die selektive Wahrnehmung komplexerer Systeme zurück. Dies wird bei Schulz et al. (2012) in konfirmatorisches (hypothesenprüfendes) und exploratives (hypothesengenerierendes) Experimentieren unterschieden. Ob ein Zusammenhang zwischen der Masse eines Wagens, der Neigung einer Ebene und der Geschwindigkeit eines Wagens zum Zeitpunkt t vorausgehend angenommen wird oder durch Reihenmessungen bestimmt wird, ist unter dieser Perspektive unwesentlich. In jedem Fall interessieren nur noch drei Merkmale (Masse, Neigung, Geschwindigkeit) – andere Aspekte des Systems werden durch Variablenkontrolle (z. B. Form des Wagens, Oberflächenbeschaffenheit der Ebene etc.) aus dem Bewusstsein ausgeklammert.

Ebenso werden Betrachten, Beobachten, Vergleich und Ordnen im Sinne des Lehrplan 21 als selektive Arbeitsweisen verstanden. Denn gemäss Operationalisierung des Lehrplans wird bei ihnen jeweils das Vorliegen von „Gesichtspunkten“ angenommen, die die Auseinandersetzung mit dem Phänomen leiten. Die Galapagos-Finken des Charles Darwin werden im Prinzip reduziert auf ihre Schnabelform und wenige andere Merkmale, in denen sie sich unterscheiden (Lawson, 2002). Die Gegenstände dieser naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen werden jeweils erst nach der Auswahl von für bedeutsam gehaltenen Beobachtungsaspekten (Arnold et al., 2010) oder Untersuchungsvariablen (Wenninger, 2002) erkenntnissuchend erschlossen – Forschende wissen vorher, auf was sie achten. Bildlich gesprochen teilen sich diese Verfahren einen verengenden Forschungsblick, der eine Ablenkung durch andere Aspekte vermeiden soll.

Demgegenüber stehen Arbeitsweisen, die sich ihren Objekten holistisch nähern: Der Gegenstand wird im Vorfeld nicht in Einzelmerkmale zergliedert, sondern wird als möglichst Ganzes erschlossen. Forschende versuchen so eine erfahrungsbasierte, beschreibende Auseinandersetzung zu steuern (z. B. Brandon, 1994; Hempel & Oppenheim, 1948). Es sind darunter solche Verfahren zu fassen, die weniger an Zusammenhängen als an Einzeldaten orientiert sind und die auf „Was?“, „Wie?“ oder „Wo?“ antworten (z. B. Dillon, 1988). So sind Versuchen, Explorieren, Untersuchen und Erkunden unter dieser Überschrift zusammenzufassen. Jede dieser naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen nimmt sich eines Gegenstandes unter der Prämisse an, dass es ein reizreicher Gegenstand ist, der Neues und Unbekanntes enthält. Das Herantreten an den Gegenstand ist geprägt durch den Erkenntnisanspruch, die Komplexität des Seins zu beschreiben. Eine Aufnahme und möglichst ganzheitliche Beschreibung von Einzeldaten sind das Ziel.

Brandon (1994) schlägt für eine Unterscheidung naturwissenschaftlicher Methoden ergänzend zu einer Dimension der Manipulation – im obigen Sinne von Invasivität – eine Gegenüberstellung von hypothesenprüfenden und ‚messenden‘ Verfahren vor. Der Begriff der Messung ist dabei weit gefasst im Sinne einer nicht hypothesengeleiteten Datenaufnahme zu verstehen. Brandon (1994) selbst fasst auch die Bestandsaufnahme der Flora eines Gebiets unter diesen ‚messenden‘ Zugang und bezeichnet ihn dann als ‚deskriptiv‘ oder schlicht als „not test“ (S. 66). Der Begriff der ‚Messung‘ erscheint an dieser Stelle daher missverständlich, da unweigerlich Assoziationen zu skalenbasierten Messungen (vgl. Gut & Tardent, 2023) geknüpft würden. Ebenso ist die kontrastierende Engführung auf hypothesenprüfende Verfahren u. E. nicht zielführend (s. o.). Liest man den Begriff ‚beschreibend‘ stellvertretend für eine ganzheitliche Herangehensweise, die die Komplexität eines Phänomens erfassen will, ergibt sich jedoch eine gute Ergänzung des selektiven, auf Zusammenhänge gerichteten Herangehens. Solche Arbeitsweisen stünden für einen den verengenden Forschungsblick blickweitenden Ansatz: Die Beschreibung der Flora der Westschweiz ist bspw. nur dann gehaltvoll und erkenntnisfördernd, wenn das Co-Vorkommen von Pflanzen mit bestimmten geologischen und meteorologischen Bedingungen in Verbindung gebracht wird. In diesem Sinne geht der Forschungsblick fortwährend vom Grossen aufs Kleine und dann wieder zurück aufs Grosse.

Auch wenn sich der Begriff ‚beschreibend‘ für diese Zugänge zunehmend etabliert, um einer Überbetonung hypothetisch-deduktiver Zugänge zu begegnen (Cullinane et al., 2019; Ioannidou & Erduran, 2021; Xu et al., 2023), birgt er Verwirrungspotential aufgrund der Mehrdeutigkeit des Begriffs ‚Beschreiben‘. Denn es ist nicht zu leugnen, dass aus einer selektiven Beobachtung auch eine ‚Beschreibung‘ resultieren kann („Diese Finken hatten spitze Schnäbel, jene hatten runde.“). Unterscheidungsmächtig werden solche Beschreibungen erst, wenn sie auf ausgewählte Zusammenhänge fokussieren (selektiv) oder sich auf komplexe Systeme beziehen (holistisch).

3.1.4 Dimension III – Cognitive Load (reduziert – moderat – gesteigert)

Die dritte kriteriale Dimension scheint sich einer einfachen Beschreibung zunächst zu entziehen. Als Vorbilder dienende Kompetenzstrukturmodelle führen häufig die Komplexität von Kompetenzen an, ohne dass es einen Konsens gäbe, was Komplexität bedeutet (Parchmann, 2010). So wird Komplexität tendenziell als Funktion der Elementinteraktivität modelliert (R. Mayer, 2009; Sweller, 2010), die es aufgrund der beschränkten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses zu berücksichtigen gilt:

- Das ESNAS-Kompetenzmodell unterscheidet danach, ob und wie viele isolierte bzw. verbundene Fakten bei einer Problemlösung zusammenwirken (Kremer et al., 2012), die dementsprechend zeitgleich im Arbeitsgedächtnis vorgehalten werden müssen.

- Das alternative Modell der hierarchischen Komplexität (Bernholt & Parchmann, 2011) betrachtet vornehmlich die Art der Verbindung zwischen Wissenselementen, teilt im Prinzip aber dieselbe Argumentation, dass die Koordination und Vernetzung von Wissenselementen das Arbeitsgedächtnis belasten.
- Das HarmoS-Kompetenzmodell differenziert vier theoretisch nicht unterlegte Anforderungsniveaus, die empirisch bestimmt werden sollten (Labudde et al., 2012) – implizit liegt auch hier die Beschränkungshypothese für das Arbeitsgedächtnis zugrunde.
- In der Komplexitätsbeschreibung im österreichischen Kompetenzmodell für die naturwissenschaftlichen Fächer werden drei Anforderungsniveaus unterschieden, in deren Beschreibung gleichzeitig der Umgang mit Fachsprache, der freie Umgang mit Gegenständen und der Bezug zu immer formalerem Fachwissen einfließt (Schiffel, 2016). Diese dreifache Operationalisierung ist sicherlich als Alternativbetrachtung zu verstehen und erfordert nicht, dass im höchsten Niveau die Lernenden gleichzeitig mit fortgeschrittener Fachsprache unter Bezug auf komplexe Theorien frei handeln. Diese Herangehensweise dürfte der Annahme folgen, dass sich die Anforderungen im Spannungsfeld von Inhalts- und Handlungsdimension nicht gleichförmig beschreiben lassen: Im «Kommunizieren» drückt sich Kompetenz in anderen Indikatoren aus als im «Untersuchen».

Auch in der vorliegenden Typologie differenziert eine Dimension die naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen nach ihrem Anforderungsniveau. Hierbei werden scheinbar zwei Kriterien angelegt, die zunächst nicht bruchlos ineinander überführt werden können: Einerseits wird für nicht-invasive, selektive naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen das Kriterium der Elementinteraktivität angelegt. Dabei geht es darum wie viele Objekte und Kriterien zeitgleich verarbeitet werden müssen., Andererseits wird für alle weiteren naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen das Kriterium der Leitung durch die Lehrperson (Öffnungsgrade) als Ausdruck einer Didaktisierung verstanden.

Diese 'zwei' Kriterien sind nur scheinbar unvereinbar. Bei genauerer Betrachtung ist zu erkennen, dass sich beide Kriterien im Kern auf die Belastung des kapazitätslimitierten Arbeitsgedächtnisses berufen (z. B. R. Mayer, 2009). Unterrichten sollte dem Arbeitsgedächtnis nur gerade so viel zuzumuten, dass noch Raum für Lernen bleibt. Die Cognitive Load Theory (Chandler & Sweller, 1991) unterscheidet hier – vereinfachend – zwischen drei Arten der Belastung, die das Arbeitsgedächtnis zu bewältigen hat: Die intrinsische Belastung (*intrinsic load*), die sich durch die 'Schwierigkeit' eines Gegenstands ergibt, die extrinsische Belastung (*extraneous load*), die sich durch die Präsentation eines Gegenstands ergibt, und die lernbezogene Belastung (*germane load*), die es erlaubt auf dem bereits Bekannten neues aufzubauen. Durch Massnahmen wie Elementarisierung (Kircher et al., 2019), didaktische Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) oder Scaffolding (Arnold et al., 2017; Hild et al., 2020; Scheuermann, 2017) wird der *intrinsic load* zu reduzieren versucht. In einem vereinfachten Verständnis von Lernen würden die so befreiten Belastungsanteile für das Lernen verfügbar und stünden als *germane load* zur Verfügung. Das so skizzierte Bild der Cognitive Load Theory ist sehr grundlegend und kann keinen Anspruch stellen, feinere Differenzierungen in der Theorie abzubilden. Im Zuge einer Arbeitshypothese erlaubt diese grundlegende Interpretation der Cognitive Load Theory jedoch gut die Ableitung von Annahmen zur Schwierigkeit einzelner DAH.

Schon Gagné (1965) legt eigentlich die Prinzipien der Cognitive Load Theory zu Grunde, wenn er in seinen lernpsychologischen Überlegungen zwischen für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung grundlegenden und integrativen Prozessfertigkeiten unterscheidet.³

Die grundlegenden Prozessfertigkeiten umfassen Beobachtung, Deutung, Kommunikation, Messung, Klassifizierung und Voraussage (Padilla, 1990). Diese Fertigkeiten kommen laut Gagné in allen, auch weiter differenzierten, Erkenntnisprozessen zum Tragen. Ein Abrufen derer und ein Verfügen über sie muss möglichst früh im Lernprozess angelegt werden.

Frühe Lernwege sind in aller Regel vorwissensarm angelegt und durch die langsame Herausbildung von Routinen und Sicherheiten geprägt. Die Schwierigkeiten bei solchen Prozessen ergeben sich meist durch die Anzahl an Informationen, die zeitgleich im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen (Chandler & Sweller, 1991). In diesem Verständnis lassen sich die Formen des Beobachtens (d. h. Betrachten/Beobachten), Vergleichens und Ordnen in eine Reihenfolge zunehmenden Anspruchs bringen (vgl. Wellnitz & J. Mayer, 2008): Beim Betrachten bzw. Beobachten fokussieren die Lernenden auf *einen* Gegenstand/Vorgang hinsichtlich eines Kriteriums; beim Vergleichen müssen bereits *zwei* Gegenstände/Vorgänge hinsichtlich eines Kriteriums zeitgleich verarbeitet werden; beim Ordnen schliesslich gilt es mindestens *drei* Gegenstände/Vorgänge hinsichtlich eines Kriteriums zu gewichten. Diese Überlegungen gelten jeweils nur für die einfachsten Ausformungen der Arbeitsweise, die sich wenig komplexer Phänomene widmen (s.a.o.). Der naturwissenschaftliche Unterricht darf (und soll) die Fähigkeiten darüber hinaus entwickeln, sodass die hier geschilderte Situation gewissermassen die geringste Hürde ist, die Lernende nehmen können müssen.

Am Beispiel des Betrachtens und Beobachtens lässt sich eine weitere, den Cognitive Load beeinflussende, Unterscheidung verdeutlichen: Betrachten bezieht sich auf statische Systeme, Beobachten auf dynamische (Arnold et al., 2010; Gropengießer & Kattmann, 2006). Beim Beobachten kommt entsprechend stets eine zeitliche Komponente hinzu, die sich einerseits auf Schwierigkeiten bei der Aufmerksamkeitsfokussierung bezieht, andererseits aber auch die Planung entsprechender Forschungsprozesse betrifft. Neben der Selektion von Merkmalen für die Beobachtung muss auch

³ Wir nutzen in der Übersetzung den Begriff ‚Fertigkeit‘, um Gagné's Original der *basic process skills* nahezukommen, wenngleich wir davon ausgehen, dass es sich bei naturwissenschaftlichen DAH um Fähigkeiten im Sinne von *abilities* handelt (vgl. Emden, 2011; Fleishman & Bartlett, 1969; Hacker, 1999b).

entschieden werden, in welchen Zeitintervallen die Beobachtung erfolgen soll, was eine zusätzliche Last auf das Arbeitsgedächtnis bedeuten kann. Im Prinzip wäre eine solche Differenzierung auch hinsichtlich statischer und dynamischer Vergleiche bzw. Ordnungen auszuführen, da sie für die Biologie von Bedeutung sind. Dies wird aber in Lehrplänen allgemein und im Lehrplan 21 im Speziellen nicht realisiert. Die Typologie bezieht sich hier jeweils wieder auf den einfachsten Anwendungsfall einer Arbeitsweise. Die weitergehende Ausdifferenzierung in der skizzierten Art ist die Aufgabe von Ansätzen zur Aufklärung von Binnenstrukturen (vgl. Kohlhauf et al., 2011).

Die integrierten Prozessfertigkeiten – Variablenkontrolle, Operationalisierung, Hypothesenformulierung, Dateninterpretation, Experimentieren, Modellentwicklung (Padilla, 1990) – bauen auf den grundlegenden Fertigkeiten auf, die im Vorfeld eingeübt werden müssen. In Form von Routinen werden die grundlegenden Fertigkeiten als komplexe Einzeldaten in das Arbeitsgedächtnis aufgerufen und beanspruchen dann nicht wesentlich mehr kognitive Kapazität als zuvor die unvertrauten Einzelaspekte der Arbeitsweise. Durch Routinierung erfolgt also eine Reduzierung des *intrinsic load*. Die Formulierung einer Hypothese ist beispielsweise, ohne ein vorhergehendes Verständnis von Voraussage oder Deutung nicht sinnvoll zu bewerkstelligen. Anzunehmen, dass ungeübte Lernende gleichzeitig zwischen Beobachtung und Deutung unterscheiden, um dann einen Kausalzusammenhang abzuleiten und voraussagen zu können, widerspräche den beschränkten kognitiven Ressourcen, auf die Lernen zurückgreifen kann. Die integrierten Prozessfertigkeiten lassen sich – entgegen den grundlegenden Prozessfertigkeiten – nicht in Isolation erlernen, sondern sind stets aufeinander zu beziehen.

Ein Erlernen dieser Fertigkeiten ist komplexer, da mehrere Fertigkeiten miteinander zu koordinieren sind. Formate mit minimaler Anleitung stehen bezüglich solch komplexer Lernprozesse, wie sie beispielsweise das *inquiry-based-learning* darstellt, schon lange in der Kritik (Kirschner et al., 2006; R. Mayer, 2004; Sweller et al., 2007). Es besteht weitgehende Einigkeit, dass das Erlernen solch komplexer Prozesse der Begleitung bedarf (Hmelo-Silver et al., 2007) sowie es für *inquiry-based-learning* seit den 1960er Jahren wiederholt vorgeschlagen wird (Baur & Emden, 2021; Bell et al., 2005; Blanchard et al., 2010; Herron, 1971; Schwab, 1966). In der fachdidaktischen Diskussion werden hierfür verschiedene Formen des Scaffoldings vorgeschlagen (z. B. Arnold et al., 2017; Hild et al., 2020; Scheuermann, 2017), die alle zum Ziel haben, die Komplexität eines Gegenstands im Moment des Lernens zu reduzieren.

Angestrebt wird bspw. die schrittweise Öffnung von Erkenntnisprozessen von ‚geschlossen‘, d. h. alle Teilprozesse werden von Lehrperson angeleitet (*verification inquiry*: Blanchard et al., 2010), hin zu ‚offenen‘ Verfahren, bei denen Lernende für den Erkenntnisprozess umfänglich allein verantwortlich sind (*open inquiry*). Dieses Scaffold erlaubt eine Ordnung der selektiv-invasiven Arbeitsweisen: Dabei wird streng angeleitetes Experimentieren-I im Sinne eines Laborierens als *verification inquiry* von gemässigt angeleitetem Experimentieren-II (*structured/guided inquiry*) unterschieden und Experimentieren-III als *open inquiry* wird als kognitiv belastendste Ausprägung verstanden (vgl. Abb. 2). Aber auch hinsichtlich der holistisch-invasiven Arbeitsweisen zeichnet sich eine vergleichbare Reihung ab: Explorieren-I (Versuchen) ist streng geleitet, Explorieren-II lässt mehr Freiheiten und das Explorieren-III (Untersuchen) ist schliesslich die am weitesten geöffnete und daher kognitiv beanspruchendste Form. Analog lassen sich drei methodische Variationen des Erkundens hinsichtlich der holistisch-nicht-invasiven Arbeitsweisen deuten. Denn im Verständnis einer Orientierung in Zeit und Raum fällt auf, dass die Geographie in ihrer Exkursionsdidaktik ähnliche Öffnungsgrade vorschlägt, die die Lernenden zu einer stets ausgeprägter konstruktivistisch orientierten Wissensgewinnung führt. Überblicksexkursionen sind sehr eng durch Lehrpersonen geführt, Arbeitsexkursionen bieten einen orientierenden Rahmen und Spurensuchen schliesslich sind maximal geöffnet (Hemmer & Uphues, 2009; Stolz & Feiler, 2018).

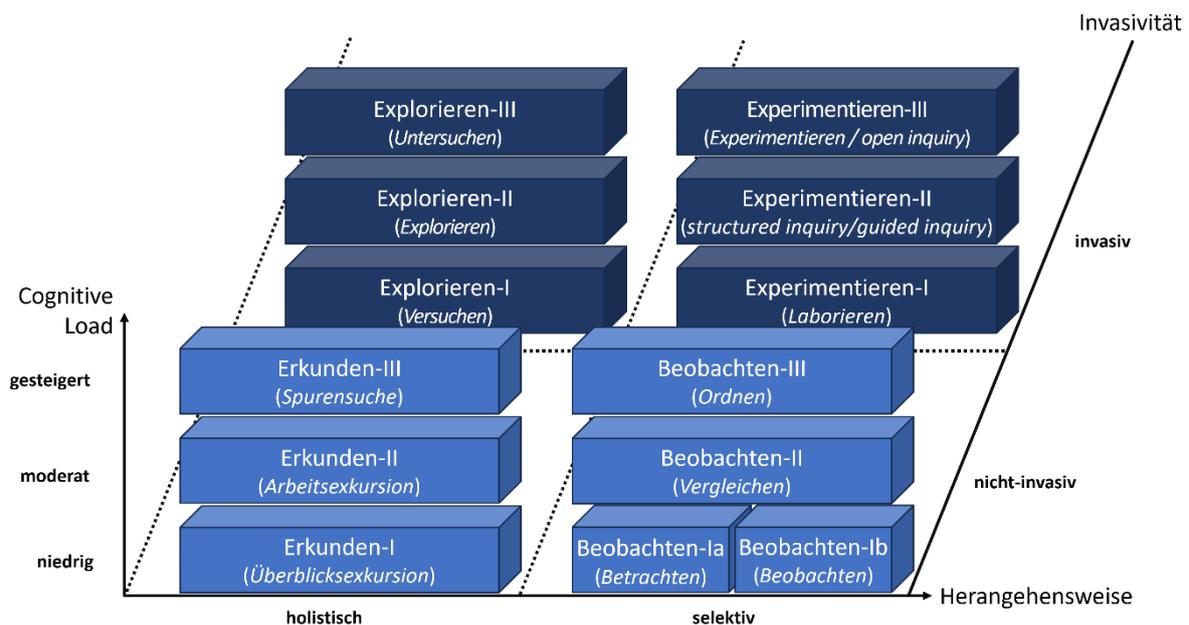


Abb. 2. Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Modellierung einzelner Arbeitsweisen entlang der Dimension ‚Cognitive Load‘ zu berücksichtigen versucht, wie viele Aspekte eines Phänomens gleichzeitig koordiniert werden müssen. Die Art der Aspekte und damit der möglichen Lernunterstützung kann dabei variieren: Sind es beim Beobachten ‚nur‘ Kriterien und die Anzahl von Objekten, die gut vorgeplant werden können, handelt es sich beim Experimentieren schon um aufeinander zu beziehende Teilprozesse, bei denen stärker ausgefeilte Scaffolds zur Verwendung kommen. Die Absicht ist jedoch jedes Mal vergleichbar: Die unvermeidliche kognitive Belastung (in Form des *intrinsic loads*) soll so weit wie möglich reduziert werden, um der lernbezogenen Belastung maximale Ressourcen zur Verfügung zu stellen. Im Sinne einer Arbeitshypothese wird in der Typologie dieser sehr grundlegenden Interpretation der kognitiven Belastung beim Ausführen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen gefolgt. Differenziertere Beschreibungen wären wiederum im Zuge der Aufklärung von Binnenstrukturen der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen zu entwickeln.

3.2 Empirische Validierung der Typologie – ein Ausblick

3.2.1 Ordinale und nominale Dimensionen

Die Typologie soll letztlich dazu dienen, Schwierigkeitsverläufe beim Erlernen der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen aufzudecken. Aufbauend auf empirisch bestätigten Schwierigkeitsprofilen lassen sich optimierte Lernpfade für Lernende entwerfen. Hierfür ist es notwendig, dass die beschreibende Typologie auch Vorhersagen zu schwierigkeitserzeugenden Auswirkungen differenzierender Ausprägungen auf den Dimensionen zulässt.

Es wird davon ausgegangen, dass zwei Dimensionen mindestens ordinal strukturiert sind und dadurch eine Schwierigkeitsentwicklung annehmen lassen (Herangehensweise, Cognitive Load). Eine Dimension – Invasivität – wird nominal angenommen sowie existierende Kompetenzstrukturmodelle auch nominale Dimensionen annehmen. So unterscheiden bspw. Studien mit Bezug zum ESNaS-Modell im Bereich Fachwissen „allgemeine Merkmale“, „Säure-Base“ oder Redoxchemie (Ropohl et al., 2015) oder „Gemische & Lösungen“, „Säuren & Basen“, „Redoxreaktionen“ (Emden et al. 2015). Im Bereich Erkenntnisgewinnung wird zwischen Kompetenzen zum Naturwissenschaftlichen Untersuchen, zu Naturwissenschaftlicher Modellbildung und zur wissenschaftstheoretischen Reflexion (Wellnitz et al., 2012) differenziert. Die Ausprägung auf dieser Dimension mag zwar schwierigkeitserklärend sein, lässt aber *a priori* keine ‚Richtung‘ einer Progression von Schwierigkeit vorhersagen.

- Dimension I – Invasivität: Eine Schwierigkeitsstufung bezüglich der Invasivität kann bei hands-on Testungen angenommen werden, weil händische Geschicklichkeiten (Fertigkeiten im Sinne von Fleishman & Bartlett, 1969; vgl. Emden, 2011) konfundierend auf Leistung wirken. In Papier-Bleistift-Verfahren hingegen sollten die beiden Aufgabentypen vergleichbare Schwierigkeiten aufweisen. Die Dimension wird im Hinblick auf die Ableitung einer möglichen Learning Progression aufgenommen, weil der Aspekt der händischen Geschicklichkeit bei der Einführung in naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen zu berücksichtigen ist.
- Dimension II – Herangehensweise: Eine Schwierigkeitsstufung zwischen holistischer und selektiver Herangehensweise ist insofern zu erwarten, dass selektiv angelegte Arbeitsweisen auf mehr Vorwissen zurückgreifen müssen als holistische. Die (Re-)Konstruktion eines Zusammenhangs erfordert die Integration konzeptuellen Vorwissens, im Gegensatz zur ganzheitlich orientierten Aufnahme von Einzeldaten. Es wird daher angenommen, dass selektiv orientierte Arbeitsweisen bei vergleichbarer Invasivität und kognitiver Belastung den Lernenden in der Lösung schwerer fallen als holistische.
- Dimension III – Cognitive Load: Die Schwierigkeit einer Arbeitsweise wird dadurch mitbestimmt, wie sehr sie das Arbeitsgedächtnis belastet. Stark vorstrukturierte Arbeitsweisen wie das ‚geschlossene‘ Experimentieren (verification inquiry) nach Kochbuchrezept sind weniger belastend als maximal geöffnete Verfahren (Kirschner et al., 2006; R. Mayer, 2004). Unterstützungsmaßnahmen in Form von Scaffolding können entlasten. Hinsichtlich der nicht-invasiven selektiven Arbeitsweisen ergibt sich die von Wellnitz und J. Mayer (2008) vorgeschlagene Schwierigkeitsreihung von Betrachten/Beobachten → Vergleichen → Ordnen durch die zunehmende Anzahl zu bearbeitender Gegenstände (1 Gegenstand → 2 Gegenstände → mehr als 2 Gegenstände) und Zunahme von Bearbeitungskriterien (1 Kriterium → 1 Kriterium → mehr als 1 Kriterium). Im Interesse einer vergleichbaren Beschreibung von Arbeitsweisen wird jeweils die einfachste Ausformung einer Arbeitsweise zugrunde gelegt – damit wird nicht angenommen, dass die Schule keine Möglichkeit zu komplexeren Beobachtungen, Vergleichen und Ordnungen vorsieht. Inwiefern Schwierigkeitsunterschiede bezüglich der Leistungen beim Betrachten und beim Beobachten zu erwarten sind, ist diskutabel. International wird zwar Betrachten nicht gesondert behandelt, aber der additive Einfluss der Zeitvariable beim Beobachten könnte für die Erklärung möglicher Schwierigkeitsstufungen relevant werden. (s.a.o., denn wenigstens implizit kommt dem fokussierten Kriterium noch ein Zeitkriterium hinzu). In der vorliegenden Typologie werden die beiden Arbeitsweisen formal auf derselben Stufe angesiedelt als Beobachten-Ia und -Ib, da eine Dominanz der Anzahl von Gegenständen und Kriterien angenommen wird. Für eine empirische Prüfung ist festzuhalten, dass Beobachten und Betrachten balanciert in eigenen Testitems abgebildet werden. Dass ein Ordnen erst ab drei Gegenständen/Vorgängen sinnvoll ist, erklärt sich daraus, dass eine Ordnung von zwei Gegenständen im Prinzip nicht fehlerhaft sein kann. Selbst im Falle einer ‚falschen‘ Polung der Gewichte wäre die Reihung in sich noch stimmig und somit korrekt. Sobald die Beobachtungsanlässe komplexer strukturiert sind, z. B. indem zwei Individuen gleichzeitig zu betrachten/beobachten sind, muss die hier getroffene Annahme zur Schwierigkeitsentwicklung nicht mehr streng gelten.

3.2.2 Studientwurf zur empirischen Validierung der Typologie

Es ist geplant, die Typologie einer empirischen Überprüfung zu unterziehen. Zu diesem Zweck sollen modellbasiert Testaufgaben im Papier-Bleistiftformat entwickelt werden. Gemessen an den Zellen der Typologie (s. Abb. 2) sind dreizehn Aufgabentypen zu entwickeln. Die Testaufgaben werden die Inhaltsabhängigkeit der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen durch Einführung von relevantem Fachwissen im Aufgabenstamm kontrollieren (vgl. Ropohl, 2010) bzw. auf vorwissensfreie Nonsense-Kontexte aufbauen (vgl. Lawson, 2005). Insofern fachliche Kontexte genutzt werden, werden diese zwischen den drei naturwissenschaftlichen Disziplinen balanciert und hinsichtlich der zu untersuchenden Stichprobe curricular valide am Lehrplan 21 orientiert. Die dreizehn Aufgabentypen werden entsprechend in drei Fachkontexten plus einem Nonsenskontext entwickelt, sodass mindestens 52 Testaufgaben resultieren.

Die Testaufgaben werden als two-tier-Aufgaben sowohl eine kategorische Lösung im Multiple-Choice-Single-Select-Verfahren erheben (Tier 1) als auch in einer offenen Fragestellung eine kurze Begründung für die jeweilige Entscheidung einfordern (Tier 2, vgl. Sibiç et al., 2022).

Die Testaufgaben werden im Balanced-Incomplete-Block-Design (Frey et al., 2009) auf Testhefte verteilt. Die Bearbeitung des Testhefts soll für Proband:innen nicht länger als 45 Minuten erfordern. Der Umfang eines einzelnen Testheftes liegt voraussichtlich bei acht Aufgaben. Testhefte werden untereinander geankert – je zwei geteilte Aufgaben mit ‚Nachbarheften‘, je vier ‚eigene‘ Aufgaben –, sodass dreizehn Testhefte zum Einsatz kommen werden.

Der Test wird einer Stichprobe von Lernenden des Zyklus 2 in Primarschulen der Deutschschweiz vorgelegt (Schuljahre 3-6). Die Stichprobe wird dabei so gewählt, dass jede Testaufgabe von mindestens 50 Lernenden bearbeitet wird (vgl. Linacre, 1994) – insgesamt werden Daten von mindestens 400 Lernenden erhoben, um die minimale Bearbeitungsquote für Einzelitems sicherzustellen, die bei optimal balancierter Testheftadministration und -bearbeitung mit 325 Lernenden zu erreichen wäre ((13 Zellen der Typologie x 4 Kontexte x 50 Antworten) / 8 Aufgaben pro Testheft = 325). Die Proband:innen sollen zwischen den Jahrgängen des Zyklus 2 etwa gleichverteilt werden (mindestens 100 Proband:innen pro Jahrgang).

Als Kontrollvariablen werden zusätzlich erhoben: Alter, Geschlecht, Lesefähigkeiten (ELFE: Lenhard & Schneider, 2006) und kognitive Fähigkeiten (KFT, N3: Heller & Perleth, 2000) – die Erhebung dieser Variablen erfolgt unabhängig vom Leistungstest, um die Testlast für die noch jungen Proband:innen so gering wie möglich zu halten. Die kognitive Belastung bei der Aufgabenbearbeitung wird zu jeder Aufgabe ‚online‘, d. h. während der Aufgabenbearbeitung, mittels zwei Einschätzungsitems nach Paas (1992) erhoben.

Die Multiple-Choice-Skalen der Tests und Einschätzungsbögen werden quantitativ ausgewertet mit Verfahren der Item-Response-Theorie, sodass eine Testgüteabschätzung des Testinstruments möglich wird – inklusive einer Dimensionsanalyse hinsichtlich der drei abgeleiteten Dimensionen der Typologie – ebenso wie Gruppenvergleiche (Geschlechtervergleiche, Jahrgangsstufenvergleiche, Niveauunterschiede hinsichtlich der Leistungsniveaus in der Volksschule) oder Zusammenhangsanalysen (Itemschwierigkeiten mit self-reported cognitive load, Lesefähigkeiten, kognitive Fähigkeiten).

Darüber hinaus wird aufbauend auf Diskussionen mit naturwissenschaftsdidaktischen Expert:innen und Lehrpersonen eine Learning Progression der untersuchten naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen skizziert. Die Zusammensetzung der Expert:innengruppe wird schlussendlich einem convenience sample entsprechen. Bei der Einladung zur Mitarbeit soll jedoch auf eine Balance zwischen auf der Stufe spezialisierten Fachdidaktiker:innen und Lehrpersonen hingewirkt werden sowie eine Beteiligung von Fachdidaktiker:innen für den Zyklus 3 erfolgen, deren Expertise in den Einzeldisziplinen des Natur- und Technik-Unterrichts für eine Anschlussfähigkeit genutzt werden soll. Das Expert:innengremium wird voraussichtlich 15-20 Personen umfassen und folgt damit dem Muster zur Entwicklung einer Learning Progression bei Katrin Weber (2018). Dieser Lernpfad wird mit den Leistungsdaten aus der Erhebung unter Verwendung der Methoden der Bayesschen Statistik auf seine Gangbarkeit untersucht (vgl. Emden et al., 2018).

Die offenen Aufgabenbestandteile des two-tier-Tests werden inhaltsanalytisch untersucht (z. B. Kuckartz, 2016). Einerseits sollen die Analysen differenzierte Informationen zu Schwierigkeits- bzw. Qualitätsentwicklungen entlang der abgeleiteten Dimensionen ergeben (deduktiv). Andererseits sollen die Antworten in einer induktiven Herangehensweise Hinweise zu weiteren schwierigkeiterzeugenden Merkmalen liefern.

3.2.3 Erwartete Erträge

Die abgeleitete Typologie kann im Anschluss an eine erfolgreiche Validierung die Grundlage für weitere empirische Untersuchungen bilden, indem sie Aufschluss über schwierigkeiterzeugende Merkmale bei den naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen gibt. Gleichermassen bilden die erzeugten Daten eine Grundlage für die Identifizierung einer Learning Progression naturwissenschaftsbezogener Arbeitsweisen. Denn die Arbeitsweisen sind nicht durch einmalige Ansprache im Unterricht einzuführen, sondern bedürfen abgestimmter und nach Möglichkeit spiralcurricularer Ansätze, die bereits erworbene Fähigkeiten sukzessive ausbauen und erweitern (vgl. Emden, 2021).

Ein verbessertes Verständnis über die Schwierigkeiten beim Erlernen naturwissenschaftsbezogener Arbeitsweisen sowie deren Verhältnis untereinander kann die Entwicklung von fördernden Lernumgebungen unterstützen. Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung könnte so als ‚Komplettpaket‘ verstanden und massvoll entwickelt werden anstelle durch verstreute Einzelbeiträge wichtige Transferpotenziale nicht angemessen zu nutzen.

Die Typologie ist als Repräsentation sehr grundlegender Realisierungen (der einfachsten Ausformungen) der jeweiligen naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen zu verstehen. Wie bereits mehrfach angesprochen, sind die hier angenommenen Ausformungen der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen entwicklungs offen und können je nach Interessen- und Leistungsstand der Lernenden weiter ausdifferenziert werden. Individuelle Diskurse zu einzelnen Arbeitsweisen, die schon seit langem forschungsprägend sind für die Naturwissenschaftsdidaktik, werden durch den Vorschlag einer solchen Typologie nicht abgebrochen oder entwertet. Vielmehr stellt sich daran anschliessend die Herausforderung, die Typologie für weitere Ausdifferenzierungen nutzbar zu machen, z. B. durch die weitere Aufklärung von Binnenstrukturen.

4. Zusammenfassung

Die DAH des Lehrplan 21 stellen keine willkürliche Auflistung von möglichen Arten der Weltbegegnung dar. Sie lassen sich theoriebasiert voneinander differenzieren. Innerhalb der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen lässt sich eine Charakterisierung der Arbeitsweisen entlang dreier Dimensionen vorschlagen: Naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21 unterscheiden sich danach, ob sie (1) invasiv oder nicht-invasiv mit ihrem Gegenstand umgehen, (2) ob der Umgang einer holistischen oder selektiven Herangehensweise folgt und (3) ob der Umgang das Arbeitsgedächtnis stark oder weniger stark belastet.

Diese Typologie kann als Unmöglichkeit oder Provokation verstanden werden, da sie den Darstellungen im Lehrplan allenfalls mehr theoretische Struktur unterstellt als einem bildungspolitischen Kompromiss zukommen mag. Andererseits scheint es nichtsdestoweniger möglich, den Auflistungen des Lehrplans eine theoretische Struktur einzubeschreiben. Wenn dem so ist und die Typologie Leistungsunterschiede erklären könnte, wäre eine solche Typologie ein geeignetes Instrument zur lang- und mittelfristigen Planung von Lernprozessen, Massnahmen der individuellen Förderung und der empirischen Bildungsforschung in den Naturwissenschaftsdidaktiken. Einen Versuch ist es wert!

Danksagung

Wir möchten uns bei allen Kolleginnen und Kollegen bedanken, die mit uns die Entwicklung dieser Typologie begleitet und diskutiert haben. Dies betrifft vor allen Dingen die Mitglieder der Koordinationsgruppe der Initiative SWiSE (Swiss Science Education), die sich am Fusse der Rigi auf die Metapher eines wachsenden Baums eingelassen haben. Erste konkretere Überlegungen zu der Typologie und einer darauf aufbauenden Validierungsstudie haben ganz wesentlich von den Hinweisen von Prof. Dr. Julia Arnold, Prof. Dr. Pitt Hild und Prof. Dr. Markus Wilhelm profitiert.

Literatur

- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0>
- Arnold, J., Wellnitz, N. & Mayer, J. (2010). Beschreibung und Messung von Beobachtungskompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 7–22.
- Baur, A. & Emden, M. (2021). How to open inquiry teaching? An alternative teaching scaffold to foster students' inquiry skills. *Chemistry Teacher International*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.1515/cti-2019-0013>
- Bell, R. L., Smetana, L. & Binns, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction. Assessing the Inquiry Level of Classroom Activities. *The Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Bernholt, S. & Parchmann, I. (2011). Assessing the complexity of students' knowledge in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 167–173. <https://doi.org/10.1039/C1RP90021H>
- Billion-Kramer, T. (2021). *Nature of science. Lernen über das Wesen der Naturwissenschaften* (essentials). Springer VS.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A. & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577–616. <https://doi.org/10.1002/sc.20390>
- Bleisch, P., Helbling, D. & Schellenberg, U. (2022). Religion erkunden. Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen in Religionskunde. *Zeitschrift für Religionskunde*, (10), 7–10. Editorial. Verfügbar unter: https://sonar.ch/documents/319616/files/dc901c27111a-2022_bleischhelblingschellenberg_editorial_zfrk_10.pdf
- Brandon, R. N. (1994). Theory and Experiment in Evolutionary Biology. *Synthese*, 99(1), 59–73.
- Brown, C. R. & Moore, J. L. (1994). Construct Validity and Context Dependency of the Assessment of Practical Skills in Advanced Level Biology Examination. *Research in Science & Technological Education*, 12(1), 53–61.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332.

- Cullinane, A., Erduran, S. & Wooding, S. J. (2019). Investigating the diversity of scientific methods in high-stakes chemistry examinations in England. *International Journal of Science Education*, 41(16), 2201–2217. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1666216>
- [D-EDK] Deutschschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz. (2016). *Lehrplan 21. Gesamtausgabe. Von der D-EDK Plenarversammlung am 31.10.2014 zur Einführung in den Kantonen freigegebene Vorlage*. bereinigte Fassung vom 29.02.2016, Deutschschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz. Verfügbar unter: https://v-fe.lehrplan.ch/contai-ner/V_FE_DE_Gesamtausgabe.pdf
- [DfE] Department for Education (Hrsg.). (2014). *Science programmes of study. Key Stage 4* (National curriculum in England).
- Dillon, J. T. (1988). Questioning in Science. In M. Meyer (Hrsg.), *Questions and Questioning* (S. 68–80). de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110864205.68>
- Duschl, R. A., Maeng, S. & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- [EDK] Schweizerische Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren. (2007). Interkantonale Vereinbarung über die Harmonisierung der obligatorischen Schule (HarmoS-Konkordat). Verfügbar unter: http://edudoc.ch/record/24711/files/HarmoS_d.pdf
- Emden, M., Ferber, N., & Sumfleth, E. (2015). Zwischenbilanz der fachdidaktischen Arbeit im Fach Chemie und im Bereich naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. In H. Wendt & W. Bos (Hrsg.), *Auf dem Weg zum Ganztagsgymnasium* (S. 349–374). Waxmann.
- Emden, M., Ropohl, M. & Rossow, M. (2024). Experimentieren im Chemieunterricht in Theorie und Praxis. learning science, learning to do science, learning about science und learning to like science. In J. Paul, S. Schanze & B. Sieve (Hrsg.), *Fachdidaktik Chemie in Theorie und Praxis* (S. 353–397). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-69820-4_11
- Emden, M., Weber, K. & Sumfleth, E. (2018). Evaluating a learning progression on ‘Transformation of Matter’ on the lower secondary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1096–1116. <https://doi.org/10.1039/c8rp00137e>
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 118). Berlin: Logos.
- Emden, M. (2021). Reintroducing “the” Scientific Method to Introduce Scientific Inquiry in Schools? A Cautioning Plea Not to Throw Out the Baby with the Bathwater. *Science & Education*, 30(5), 1037–1073. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00235-w>
- Emden, M., Bewersdorff, A. & Baur, A. (2025). Assessing Professional Development on Experimentation as a Method of Inquiry-based Science Teaching. Framework and Principal Results. *Science Education*. <https://doi.org/10.1002/sci.21943>
- Fleck, L. (1980). *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv* (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft Wissenschaftsforschung, Bd. 312). herausgegeben von Lothar Schäfer und Thomas Schnelle. Suhrkamp (Original erschienen 1935).
- Fleishman, E. A. & Bartlett, C. J. (1969). Human Abilities. *Annual Review of Psychology*, 20, 349–380.
- Gagné, R. M. (1965). *The Psychological Bases of Science - A Process Approach* (American Association for the Advancement of Science [AAAS], Hrsg.) (AAAS Miscellaneous Publication 65-8).
- [GDSU] Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.). (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht* (Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe). Verlag Julius Klinkhardt.
- Giest, H. (2009). *Zur Didaktik des Sachunterrichts. Aktuelle Probleme, Fragen und Antworten*. Universitätsverlag Potsdam.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling. Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130.
- Glug, I. (2009). *Entwicklung und Validierung eines Multiple-Choice-Tests zur Erfassung prozessbezogener naturwissenschaftlicher Grundbildung*. Dissertation, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften [IPN]. Verfügbar unter: http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00003649
- Glynn, S. M. (2007). The Teaching-With-Analogies Model. Build Conceptual Bridges With Mental Models. *Science and Children*, 44(8), 52–55.
- Gropengießer, H. & Kattmann, U. (Hrsg.). (2006). *Fachdidaktik Biologie* (7. Aufl.). Aulis Verlag Deubner.
- Greif, S. (2009). Arbeit. In H. O. Häcker & K.-H. Stapf (Hrsg.), *Dorsch Psychologisches Wörterbuch* (S. 62–63). Verlag Hans Huber.
- Grygier, P. & Hartinger, A. (2012). *Gute Aufgaben Sachunterricht* (Lehrerbücherei Grundschule, 2. Auflage). Naturwissenschaftliche Phänomene begreifen. Cornelsen (Original erschienen 2009).
- Gut, C., Pfirter, H. & Tardent, J. (2016). Modellkompetenz im Naturwissenschaftsunterricht. Förderung und Diagnose. In M. Naas (Hrsg.), *Kompetenzorientierter Unterricht auf der Sekundarstufe I. Erziehungswissenschaftliche und fachdidaktische Perspektiven* (S. 229–255). hep verlag.
- Gut, C. & Tardent, J. (Hrsg.). (2023). *Naturwissenschaftlich-technisches Handeln. Kompetenzmodell und praktische Lernaufgaben für die Sekundarstufe I*. hep verlag.

- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–140). Springer.
- Hacker, W. (1999a). Handlung. In R. Asanger & G. Wenninger (Hrsg.), *Handwörterbuch Psychologie* (S. 275–282). Psychologie Verlags Union.
- Hacker, W. (1999b). Regulation und Struktur von Arbeitstätigkeiten. In C. Graf Hoyos & D. Frey (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie. Ein Lehrbuch* (S. 385–397). Psychologie Verlags Union.
- [HarmoS+] Wissenschaftliches Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+. (2008, 29. Oktober). *HarmoS Naturwissenschaften+. Kompetenzmodell und Vorschläge für Bildungsstandards*. Wissenschaftlicher Schlussbericht. Bern.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen Revision (KFT 4-12+R)*. Hogrefe.
- Hemmer, M. & Uphues, R. (2009). Zwischen passiver Rezeption und aktiver Konstruktion. Varianten der Standortarbeit aufgezeigt am Beispiel der Großwohnsiedlung Berin-Marzahn. In M. Dickel & G. Glasze (Hrsg.), *Vielperspektivität und Teilnehmerzentrierung. Richtungsweiser der Exkursionsdidaktik* Wichmann.
- Hempel, Carl G., Oppenheim, Paul. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135–175.
- Herron, M. D. (1971). The Nature of Scientific Enquiry. *The School Review*, 79(2), 171–212.
- Hild, P., Buff, A., Gut, C. & Parchmann, I. (2020). Adaptives kompetenzbezogenes Feedback beim selbstständigen praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 311(1), o. S. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00109-8>
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning. A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Ioannidou, O. & Erduran, S. (2021). Beyond Hypothesis Testing. *Science & Education*, 30(2), 345–364. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00185-9>
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kircher, E., Girwitz, R. & Fischer, H. E. (Hrsg.). (2019). *Physikdidaktik - Grundlagen*. Springer.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work. An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klahr, D. & Simon, H. A. (2001). What Have Psychologists (and Others) Discovered about the Process of Scientific Discovery? *Current Directions in Psychological Science*, 10, 75–79.
- Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen - zwei verschiedene Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(3), 304–321.
- [KMK] Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2020a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020*, Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf
- [KMK] Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2020b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020*, Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf
- [KMK] Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2020c). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020*, Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf
- [KMK] Kultusministerkonferenz. (2024a). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Biologie (MSA). Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Biologie_MSA.pdf
- [KMK] Kultusministerkonferenz. (2024b). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (MSA). Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Chemie_MSA.pdf
- [KMK] Kultusministerkonferenz. (2024c). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA). Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Physik_MSA.pdf
- Kohlhauf, L., Rutke, U. & Neuhaus, B. J. (2011). Entwicklung eines Kompetenzmodells zum biologischen Beobachten ab dem Vorschulalter. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 203–222.
- Kosso, P. (2011). *A Summary of Scientific Method* (Springer Essentials in Philosophy, Bd. 1). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1614-8>
- Kraus, S. F. (2023). The Method of Observation in Science Education. Characteristic Dimensions from an Educational Perspective. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00422-x>

- Kremer, K., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2012). Assessment of standards-based learning outcomes in science education. Perspectives from the German project ESNaS. In S. Bernholt, K. Neumann & P. Nentwig (Eds.), *Making it tangible. Learning outcomes in science education* (S. 159–177). Waxmann.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa. Verfügbar unter: http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783779943860
- Kunz, P. (2016). Das (unbekannte) Wesen der Naturwissenschaften. In S. Metzger, C. Colberg & P. Kunz (Hrsg.), *Naturwissenschaftsdidaktische Perspektiven. Naturwissenschaftliche Grundbildung und didaktische Umsetzung im Rahmen von SWiSE* (S. 193–207). Haupt Verlag.
- Labudde, P., Nidegger, C., Adamina, M. & Gingins, F. (2012). The development, validation, and implementation of standards in science education. Chances and difficulties in the Swiss project HarmoS. In S. Bernholt, K. Neumann & P. Nentwig (Eds.), *Making it tangible. Learning outcomes in science education* (S. 235–259). Waxmann.
- Lawson, A. E. (2002). What Does Galileo's Discovery of Jupiter's Moons Tell Us About the Process of Scientific Discovery? *Science & Education*, 11(1), 1–24.
- Lawson, A. E. (2005). What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 716–740. <https://doi.org/10.1002/tea.20067>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science. Past, Present, and Future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 831–879). Erlbaum.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91–109.
- Lenhard, W. & Schneider, W. (2006). *ELFE 1-6. Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler*. Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Linacre, J. M. (1994). Sample Size and Item Calibration Stability. *Rasch Measurement Transactions*, 7(4), 328.
- Mayer, B. (2006). Der Lehrplan als Instrument der Bildungspolitik. Referat am Kongress der Pädagogischen Hochschule Bern am 19. Oktober 2005. *i-mail*, 9(1), 4–9.
- Mayer, R. E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14–19.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge University Press.
- McComas, W. F. (2020). Principal Elements of Nature of Science. Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. In W. F. McComas (Hrsg.), *Nature of Science in Science Instruction* (S. 35–65). Springer International Publishing.
- Metzger, S., Lembens, A. & Arnold, J. (2020). Praktisches naturwissenschaftliches Arbeiten im Spannungsfeld der Disziplinen. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 60–65). Universität Duisburg-Essen.
- Metzger, S. & Sommer, K. (2010). "Kochrezept" oder experimentelle Methode? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 63(1), 4–11.
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, A. & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht – eine modellbasierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 77–96. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0043-2>
- Neuweg, G. H. (2020). Implizites Wissen in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung. In C. Cramer, J. König, M. Rothland & S. Blömeke (Hrsg.), *Handbuch Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (S. 764–769). utb GmbH.
- [NRC] National Research Council (Hrsg.). (2011). *A Framework for K–12 Science Education. Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academy Press.
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics. A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429–434. <https://doi.org/10.1037//0022-0663.84.4.429>
- Padilla, M. J. (1990). *The Science Process Skills* (National Association for Research in Science Teaching, Hrsg.) (Research Matters - to the Science Teacher 9004). <http://www.narst.org/publications/research/skill.cfm>
- Parchmann, I. (2010). Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften. Vielfalt ist wertvoll, aber nicht ohne ein gemeinsames Fundament. Review. *Zeitschrift für Pädagogik*, 56(Beiheft), 135–142. <https://doi.org/10.25656/01:3387>
- Popper, K. R. (1989). *Logik der Forschung* (9. Aufl.). Mohr (Original erschienen 1935).
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground. A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Rogat, A. (2011). *Developing Learning Progressions in Support of the New Science Standards. A RAPID Workshop Series* (Consortium for Policy Research in Education (CPRE), Hrsg.). Teachers College, Columbia University. https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=cpre_researchreports
- Ropohl, M., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2015). Welches Aufgabenformat ist das richtige? Empirischer Vergleich zweier Aufgabenformate zur standardbasierten Kompetenzmessung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0020-6>

- Ropohl, M. (2010). *Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*. Logos.
- Rousmaniere, F. H. (1906). A Definition of Experimentation. *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods*, 3(25), 673–680.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Scheuermann, H. (2017). *Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten*. Logos.
- Schiff, I. (2016). Die Situation naturwissenschaftlicher Bildungsstandards in Österreich am Beispiel der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 20, 44–61.
- Schulz, A., Wirtz, M. & Staraschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*. Waxmann.
- Schwab, J. J. (1966). The Teaching of Science as Enquiry. In President and Fellows of Harvard College (Hrsg.), *The Teaching of Science* (S. 3–103). Harvard University Press.
- Shavelson, R. J., Baxter, G. P. & Gao, X. (1993). Sampling Variability of Performance Assessments. *Journal of Educational Measurement*, 30(3), 215–232.
- Sibiç, O., AKÇAY, B. & Arık, M. (2022). Review of Two-tier Tests in the Studies: Creating a New Pathway for Development of Two-tier Tests. *International Journal of Contemporary Educational Research*, 7(2), 81–98. <https://doi.org/10.33200/ijcer.747981>
- Stolz, C. & Feiler, B. (Hrsg.). (2018). *Exkursionsdidaktik. Ein fächerübergreifender Praxisratgeber für Schule, Hochschule und Erwachsenenbildung*. Verlag Eugen Ulmer.
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138.
- Sweller, J., Kirschner, P. A. & Clark, R. E. (2007). Why Minimally Guided Teaching Techniques Do not Work. A Reply to Commentaries. *Educational Psychologist*, 42(2), 115–121.
- Toh, K. A. & Woolnough, B. E. (1994). Science Process Skills. Are They Generalisable? *Research in Science & Technological Education*, 12(1), 31–42.
- Tolan, M. (2014). Das Lehren der Anderen. *Nachrichten aus der Chemie*, 62(4), 399.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Weber, K. (2018). *Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I*. Logos.
- Weber, M. (1920/1922). Methodische Grundlagen der Soziologie. In *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre* (S. 503–523). Verlag von J.C.B. Mohr (Paul Siebeck).
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (Bd. 2, S. 17–31). Beltz-Verlag.
- Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A. et al. (2012). Evaluation der Bildungsstandards. Eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 261–291.
- Wellnitz, N., Hecht, M., Heitmann, P., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E. et al. (2017). Modellierung des Kompetenzteilbereichs naturwissenschaftliche Untersuchungen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 20(4), 556–584. <https://doi.org/10.1007/s11618-016-0721-3>
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2008). Evaluation von Kompetenzstruktur und -niveaus zum Beobachten, Vergleichen, Ordnen und Experimentieren. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 129–144.
- Weninger, G. (Hrsg.). (2002). *Lexikon der Psychologie auf CD-ROM*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Wilhelm, M. & Kunz, P. (2016). Praktisch-naturwissenschaftliches Arbeiten im Unterricht. In S. Metzger, C. Colberg & P. Kunz (Hrsg.), *Naturwissenschaftsdidaktische Perspektiven. Naturwissenschaftliche Grundbildung und didaktische Umsetzung im Rahmen von SWiSE* (S. 126–140). Haupt Verlag.
- Wooding, S. J., Cullinane, A. & Erduran, S. (2020). *Supporting the Teaching of Scientific Methods in Practical Science*. University of Oxford.
- Xu, Y., Liu, H., Chen, B., Huang, S. & Zhong, C. (2023). Examining the diversity of scientific methods in college entrance chemistry examinations in China. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(2), 494–508. <https://doi.org/10.1039/D2RP00235C>