
Welche Unterrichtsprinzipien sollten für den Aufbau von Kompetenzen zum Experimentieren Beachtung finden?

Eine Ableitung auf Basis multiperspektivisch begründeter Unterrichtsziele

Armin Baur ¹, Markus Emden ² und Arne Bewersdorff ¹

¹ Pädagogische Hochschule Heidelberg, Institut für Naturwissenschaften, Geographie und Technik,
Fach Biologie

² Pädagogische Hochschule Zürich, Zentrum für Didaktik der Naturwissenschaften

ZUSAMMENFASSUNG

Dem Experimentieren kommt als Methode zum Erkenntnisgewinn eine große Bedeutung zu. Diese wird auf curriculärer Ebene durch entsprechende Kompetenzformulierungen in den Bildungsstandards aufgegriffen. Aber nicht nur fachlich-disziplinäre und curriculare Begründungen weisen das Experimentieren als wichtige Erkenntnismethode für Lernende und daher als expliziten Unterrichtsgegenstand aus. Auch aus den Perspektiven der Bildungs- und Lerntheorie, die in diesem Artikel bei der Ableitung von Unterrichtsprinzipien zusätzlich zu den fachlich-disziplinären und curricularen Perspektiven Beachtung finden, bildet Experimentieren einen wichtigen Lerngegenstand. Entsprechend kommt der Frage des Vorgehens beim Unterrichten, d. h. der Methodik, große Relevanz zu. Für das Unterrichten sind Maßstäbe zur methodischen Orientierung wichtig: dies sind Unterrichtsprinzipien. Unterrichtsprinzipien sind didaktische Grundsätze, welche das Unterrichtsplanen und -handeln leiten sowie Bezugspunkte für die didaktische Forschung darstellen. Die multiperspektivische Begründung des Experimentierens bildet den ersten Schritt bei der Formulierung von Lehr-Lern-Zielen. Aus den Zielen werden danach Unterrichtsprinzipien abgeleitet. Als Unterrichtsprinzipien [P] werden identifiziert: (P1) ‚Teilprozesse des Experimentierens berücksichtigen‘, (P2) ‚Experimentieren als expliziter Unterrichtsgegenstand‘, (P3) ‚Experimentieren üben‘, (P4) ‚Experimentieren zum Problemlösen einsetzen‘, (P5) ‚Prozessreflektierend experimentieren‘, (P6) ‚Grenzen von Experimenten ansprechen‘, (P7) ‚wissenschaftliche Strenge walten lassen‘ und (P8) ‚Selbsttätigkeit der Lernenden beim Experimentieren‘.

Schlüsselwörter: Experimentieren, Kompetenzen zum Experimentieren, Lehr-Lern-Ziele, Unterrichtsprinzipien, naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden

ABSTRACT

Science and Science Education consider experimentation to be a crucial method of scientific inquiry. Curricula mirror this position in the science standards' performance expectations on experimentation. Yet, it is not merely its disciplinary and curricular significance that declare experimentation to be an essential method of inquiry and, thus, make it an explicit topic of study in science education. Experimentation can be understood as an important aspect of learning from the perspectives of a theory of *Bildung* and from Learning Theory as well. Accordingly, the question how to teach experimentation (methodology) has great relevance. Teaching essentially requires benchmarks for methodical orientation: these are lesson principles. Lesson principles are science education related maxims to inform lesson planning and enactment. At the same time, they can serve as points of reference for science education research. In order not to lose sight of the multi-perspective consideration in the derivation of lesson principles, the formulation of instructional goals was carried out in a first step. Afterwards, lesson principles were derived from these goals. Eight lesson principles [P] are suggested: (P1) ‚Consider the component processes of experimentation‘, (P2) ‚Make experimentation explicit in lessons‘, (P3) ‚Practice experimentation‘, (P4) ‚Use experimentation for problem solving‘, (P5) ‚Reflect the experimentation process‘, (P6) ‚Address limitations of experiments‘, (P7) ‚Be scientifically rigorous‘, (P8) ‚Allow students to experiment self-directedly‘.

Key words: experimentation, experimentation competences, goals, lesson principles, scientific inquiry

1 Einleitung

Der Blick in etliche aktuelle Fachdidaktiklehrbücher (z. B.: Barke, Harsch, Krees & Marohn, 2015; Kircher, Girwidz & Häußler, 2015; Spörhase, 2015; Sommer & Pfeifer, 2018) sowie Curricula (siehe 3.4) lässt die Interpretation zu, dass Experimentieren als Methode und Inhalt eine *wild card* hat: Denn trotz Kritik an der Lernwirksamkeit und Lernökonomie (Hofstein & Lunetta, 1982, 2007, 2004; Lunetta, Hofstein & Clough, 2007) bewahrt es seinen Stellenwert im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Wir erachten es daher als notwendig, eine zentrale Begründungslinie zwischen ‚Was‘ (Experimentieren) und ‚Wie‘ (Umsetzung im Unterricht) zu beleuchten, der wiederum eine fachdidaktische Klärung um das ‚Warum‘ (Begründung) und ‚Wohin‘ (Ziele) als Argumentation vorausgehen muss. Denn die Fachdidaktik nimmt eine Brückenfunktion zwischen dem Fach (z. B. Biologie) und der allgemeinen Didaktik ein, um eine wissenschaftlich fundierte Verknüpfung beider Bereiche herzustellen (Eschenhagen, Kattmann & Rodi, 2001). Didaktik wird als Wissenschaft zur Theorie- und Konzeptbildung verstanden (Klafki, 2007), die sich mit Inhalten (Was soll gelernt werden), Begründungen (Warum ist es wichtig, das zu lernen) und Zielen (Wohin: angestrebter Zustand) beschäftigt (Klafki, 2007). Hierbei muss bedacht werden, dass die „Auswahl und Anordnung von Lernzielen und -inhalten [...] geschichtliche Entscheidungen unter bestimmten geschichtlichen Voraussetzungen [sind]“ (Klafki, 2007, S. 87), sodass Lernziele veränderbar sind und gelegentlich reflektiert werden sollten. Klafki (2007) führt die Methodik als einen Teilbereich der Didaktik an, die sich mit den Verfahren des Lehrens und Lernens (Wie und Womit) auseinandersetzt. Die Auseinandersetzung mit dem Womit entspricht beim Experimentieren einer Diskussion über die Auswahl von Experimentierobjekten sowie über die grundsätzliche Auswahl geeigneter (lernergerechter) Laborgeräte, deren umfassende Bearbeitung über den Rahmen dieser Arbeit hinausginge. Da die Frage nach dem Was der Frage nach dem Wie vorgeschaltet sein sollte (vgl. auch Perspektivschema bei Klafki, 2007), erfolgt im nächsten Gliederungspunkt zuerst eine Klärung, was in dieser Arbeit unter dem Begriff ‚Experimentieren‘ verstanden wird. Da Entscheidungen zur Methodik im Hinblick auf Inhalte und Ziele (Wohin) erfolgen – „form follows function“ – (vgl. auch Baisch, 2016), werden daraufhin

die Ziele auf der Basis der Begründungen (Warum) des Experimentierens abgeleitet.

Die Vermittlung von naturwissenschaftlichem Wissen (inhaltliches und prozedurales Wissen) ist ein komplexer Prozess, für dessen Beschreibung man auf eine Vielzahl von Bezugswissenschaften angewiesen ist (Duit, 2004; Spörhase, 2015). Um das Warum und Wohin des Experimentierens herauszustellen, darf nicht nur die fachlich-disziplinäre Perspektive eingenommen werden, sondern es müssen, da Experimentieren in einem schulischen Lehr-Lernprozess organisiert werden soll, auch die bildungstheoretische, die lerntheoretische und die curriculare Perspektive berücksichtigt werden.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, Unterrichtsprinzipien aus vorab begründeten Unterrichtszielen abzuleiten, um methodische Orientierung für den Unterricht zum Aufbau von Kompetenzen zum Experimentieren anzubieten sowie damit Impulse für die fachdidaktische Forschung und einen Bezugsrahmen für konzeptionelle Arbeiten zu geben.

2 Experimentieren – das WAS

Experimentieren kann hinsichtlich seiner Funktion im Unterrichtsgang (Hinführung zum Thema, Erarbeitung von Inhalten, Bestätigung von Inhalten) sowie in seiner Durchführungsform (Demonstrationsexperiment, Schülerexperiment) sehr unterschiedlich interpretiert werden. Wie oben bereits angeführt, muss vor einer Auseinandersetzung mit dem Wie das Was genau geklärt worden sein, damit die Entscheidungen über die Verfahren des Lehrens und Lernens am Inhalt orientiert erfolgen können.

Der Stellenwert naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden im Unterricht – sowie ein Verständnis von ihrer Vermittlung – veränderte sich infolge der ersten PISA-Studie (OECD, 2000). Deren Ergebnisse hatten für Deutschland massive bildungsadministrative Implikationen (z. B. Klieme et al., 2003) und führten zur Neuausrichtung in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (z. B. Fischer et al., 2003). Die Fachdidaktiken der Naturwissenschaften definierten in der Folge die Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts als Vermittlung von Scientific Literacy (z. B. Bernholt, Neumann & Nentwig, 2012; Gräber, Nentwig, Koballa & Evans, 2002).

Dieser theoretische Ansatz aus der anglo-amerikanischen Tradition fand eine Übersetzung in den nationalen Bildungsstandards der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (2005a-c). Daher soll Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht hier vor dem Hintergrund von Scientific Literacy beispielhaft mit Bezug zu Bybee (2002) und Hodson (2014) betrachtet werden. Dies ist notwendig, um darzulegen, was in dieser Arbeit unter dem Begriff ‚Experimentieren‘ verstanden wird. Gleichwohl sei betont, dass ein solch dominanter Bezug zu Scientific Literacy keinesfalls dazu führen darf, komplementäre Sichtweisen nicht mehr zu berücksichtigen (vgl. Klafki, 2007).

Bybee (2002) differenziert vier Ausprägungen von Scientific Literacy: (I) **Nominale Scientific Literacy**: Lernende auf dieser Stufe können Begriffe, Ideen und Themen aus den Naturwissenschaften und der Technik mit diesen Gebieten assoziieren; (II) **Funktionale Scientific Literacy**: Lernende zeichnen sich dadurch aus, dass sie Begriffe korrekt verwenden, sie können Texte mit naturwissenschaftlichem und technischem Inhalt schreiben und lesen (beide Stufen erfüllen tendenziell eher den Anspruch auf Inhaltswissen); (III) **Konzeptionelle und prozedurale Scientific Literacy**: Lernende haben ein Verständnis für Prozesse und Verfahren der Naturwissenschaften und Technik, sie können Inhaltswissen (Vokabular, Informationen und Fakten) in Beziehung zu konzeptionellen Ideen setzen und können naturwissenschaftliche Fragen stellen, sie können in naturwissenschaftlichen Wirkzusammenhängen denken und ihr Verständnis in Erkenntnisprozessen anwenden (hinzukommend: Prozesswissen); (IV) **Multidimensionale Scientific Literacy**: Lernende entwickeln vielfältige Perspektiven auf Naturwissenschaft und Technik, sie haben ein Verständnis von Nature of Science, können auch Naturwissenschaft und Technik in einem sozialen und geschichtlichen Kontext verstehen (hinzukommend: Meta- und Reichweitenwissen).

Hodson (2014) hingegen schlägt vier allgemeine Zielsetzungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts vor: (A) **learn science** (→ Inhaltswissen), (B) **learn to do science** (→ Prozesswissen), (C) **learn about science** (→ Metawissen), (D) **addressing socio-scientific issues** (→ Wissen um Reichweite naturwissenschaftlicher Belange).

Da – exemplarisch – Bybee eine „konzeptionelle und prozedurale Scientific Literacy“ vorsieht und Hodson die Zielsetzung „learn to do science“ aufnimmt, stellt sich notwendig die Aufgabe, naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden im Unterricht explizit als Unterrichtsgegenstand zu thematisieren und sie hierbei in ihrer epistemologischen Funktion darzustellen. Da das Experimentieren einen *hervorgehobenen* Stellenwert unter den naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden einnimmt, muss auch das Experimentieren demgemäß im Scientific Literacy Diskurs als eigenständiger Unterrichtsgegenstand – als Was – verstanden werden (Kirschner, 1992).

Das Experimentieren wird demnach in diesem Artikel als Erkenntnismethode zur Beantwortung von naturwissenschaftlichen Fragestellungen verstanden, die von Lernenden erlernt und angewandt werden soll, gegenüber einem Verständnis von Experimentieren als Unterrichtsmethode.

3 Perspektiven der Begründung und Ableitung von Unterrichtszielen – das WARUM und WOHN

Es ist im Unterricht notwendig, die Bedarfe und Möglichkeiten der Lernenden im Blick zu behalten sowie sicherzustellen, dass ein zeitgemäßes Bild von Wissenschaft ersichtlich wird (Glöckel, 2003). Daher sollen im Folgenden vier komplementäre Perspektiven auf das Experimentieren als Erkenntnismethode diskutiert und hieraus notwendige Ziele in Bezug auf das Experimentieren abgeleitet werden. Da es hierbei um den weiteren Begründungszusammenhang einer methodischen Gestaltung von Unterricht geht, bildet der zuvor inhaltlich definierte Unterrichtsgegenstand (Was, siehe Abschnitt 2) die Grundlage aller weiteren Betrachtungen.

3.1 Fachlich-disziplinäre Perspektive

Das Experiment stellt in den naturwissenschaftlichen Disziplinen eine zentrale Methode der Erkenntnisgewinnung dar (Popper, 1989) und wird häufig als *die* naturwissenschaftliche Methode (miss-)verstanden (vgl. Ledermann, 2007; McComas, 1996). Mittels des Experiments können Annahmen über Zusammenhänge in natürlichen Phänomenen untersucht und so der Bestand naturwissenschaftlicher Erkenntnis gemehrt werden.

Das hypothesenprüfende naturwissenschaftliche Experiment wird in den Naturwissenschaften oft als

Standardauffassung eines Experiments angesehen (Steinle, 2004). Das Experiment ist in diesem Verständnis immer ein Vorgehen, um eine theoretisch begründete und fokussierte Zusammenhangsvermutung zu überprüfen. Zum Teil werden in naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse explorative Ansätze des Experimentierens eingebunden, um Hypothesen auch ohne explizite Theorien zu generieren (Steinle, 2004). An dieser Stelle darf jedoch nicht der Eindruck entstehen, dass es *die* universelle experimentelle Methode gäbe; im Gegenteil, das Vorgehen ist nicht normiert (McComas, 1998) und im hohen Grade durch professionelle Erfahrung strukturiert (Wong & Hodson, 2009).

Für den Unterricht in der Schule wird nichtsdestoweniger meist eine vereinfachend schematisierende Untergliederung des Experimentierens in Teilprozesse (Frage stellen, Hypothese generieren, Untersuchung planen ...) empfohlen (z. B. Mayer, 2007). Denn die zugrunde liegenden Denk- und Arbeitsweisen werden als hinreichend generalisierbar und abstrahierbar verstanden (Gagné, 1965), um Lernende mit den Grundzügen naturwissenschaftlicher Tätigkeit vertraut zu machen. Die Gliederung des Prozesses in Teilprozesse gibt dabei jedoch nicht vor, dass jedes Experimentierdesign (Aufbau und Durchführung der Experimentieranordnung) einem vorgegebenen Muster folgt oder dass der Ablauf der Teilprozesse linear ist. Ein Verständnis der einzelnen Teilprozesse ist Voraussetzung, um sie funktional aufeinander beziehen zu können: beispielsweise ist eine Fragestellung zwingend – ohne sie keine zielgerichtete Untersuchung –, darauf aufbauende Hypothesen bestimmen die weitere Untersuchung; die Hypothese ist für die Planung der Untersuchung notwendig, da sie die zu variierende unabhängige Variable vorgibt, um eine Wirkung auf eine abhängige Variable zu erfassen.

Hieraus ergibt sich für den Unterricht das Ziel:

→ *Die Lernenden können Experimentieren als Strategie beschreiben: Die Lernenden kennen die unterschiedlichen Teilprozesse und deren Funktion.*

[Ziel 1 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht]

Als weiteres Kennzeichen aller Erkenntnisverfahren der naturwissenschaftlichen Domänen ist das Vorgehen unter Wahrung wissenschaftlicher Strenge (Scientific Rigour) zu sehen. Hierunter versteht man für das naturwissenschaftliche Experimentieren einerseits Sorgfalt, Sauberkeit und Gewissenhaftigkeit

bei der Durchführung und Dokumentation (z. B. Faraday, 1828), aber auch Aspekte wie das Befolgen der Variablenkontrollstrategie (z. B. Schwichow, Croker, Zimmerman & Härtig, 2016), der Bezug zu operationalen Definitionen (Klahr, 2013) – d. h. naturwissenschaftlich beantwortbare Fragestellungen und eindeutige Hypothesen – und nicht zuletzt Ansprüche nach Wiederholbarkeit, Nachvollziehbarkeit und einer sinnvollen Dokumentation mit Fehlerdiskussion (McComas, 1998; Priemer, 2006). Darüber hinausgehend sollten auch im naturwissenschaftlichen Unterricht Qualitätskriterien weiterer empirischer Forschung (z. B. Bortz & Döring, 2002) angesprochen werden, da diese wesensbildend für akademische Studien sind, die in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden. Denn Lernende sollen unseres Erachtens im Sinne von ‚Learn about Science‘ (Hodson, 2014) nicht nur von der wissenschaftlichen Strenge (Scientific Rigour) erfahren, sondern auch lernen, Untersuchungen bezüglich ihrer wissenschaftlichen Strenge zu bewerten (zum Beispiel ist eine publizierte Ernährungsstudie mit vier Probandinnen und Probanden nur bedingt aussagekräftig). Lernende müssen in diesem Zusammenhang aus fachlicher Sicht im Sinne der Nature of Science auch erfahren, dass wissenschaftliche Untersuchungen keine absoluten Beweise liefern können und sich Wissen verändert und weiterentwickelt sowie kulturspezifisch ist (u. a. Lederman, 2007; McComas, 1998; Popper, 1989; Priemer, 2006).

Beim Experimentieren ist daher, um die Aussagekraft und die Grenzen der Ergebnisse zu reflektieren, eine Diskussion über Fehler und Wiederholbarkeit erforderlich. Im Rahmen dieser Diskussion ist das Beachten der wissenschaftlichen Strenge notwendig. Aus den Überlegungen leitet sich dieses Ziel ab:

→ *Die Lernenden können Grenzen der Aussagekraft von Experimenten reflektieren.*

[Ziel 3 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht]

3.2 Bildungstheoretische Perspektive

Lernenden wird durch das Experimentieren die Teilhabe an naturwissenschaftlicher Kultur möglich und sie lernen einen alternativen ‚Modus der Weltbegegnung‘ kennen, der ihre Wahrnehmung und ihr Handeln beeinflussen kann (Baumert, 2002). Damit wird ihnen ein zusätzlicher Orientierungsrahmen gegeben, der ihnen bei der Ordnung und Einordnung neuer Erkenntnisse hilft – dies ist, nach Litt (1959), genau das, was Bildung ausmacht. Klafki (1963: Kategoriale Bildung) bezeichnet Bildung als Prozess

und Produkt, was sich dadurch auszeichnet, dass sich Bildungsobjekt und Bildungssubjekt gegenseitig erschließen. Das heißt, dass Lernen sich nicht in bloßer Enzyklopädisierung erschöpft (‘Ich weiß jetzt, was die Kennzeichen von Amphibien sind.’, ‘Ich kann die Bestandteile einer Zelle aufzählen.’ ...), sondern den Lernenden darüber hinausgehend zum verantwortlichen Handeln befähigt (Klafki, 2007, S. 52). Dies ist beim Experimentieren prototypisch gegeben, wenn Lernende so weit fortschreiten, dass sie selbstständig experimentieren können. Sie machen sich die Methode dann zu eigen und verfügen produktiv über sie (vgl. auch Litt, 1959, S. 63). Im Gegenzug wird die Methode erschlossen, indem sie flexibilisiert wird – sie ist kein starres Werkzeug, das nur auf die eine Weise angewendet werden kann, sondern lässt sich an unterschiedliche Probleme anpassen. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit diesen Aspekten findet sich in Emden, Bewersdorff & Baur (2019).

In diesem Sinne kann (und sollte) man nach Klafki auch das Experimentieren didaktisch analysieren – Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung (Klafki, 1963) – und auf seinen ‚Mehrwert‘ überprüfen. Betrachtet werden sollen hier nur die ersten drei verallgemeinernden Aspekte der didaktischen Analyse, die auch in Klafkis jüngerem Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung den Begründungszusammenhang von Unterricht konstituieren (Klafki, 2007; Koch-Priewe, Köker & Störtländer, 2016) und der an dieser Stelle hinsichtlich des Was und Wohin von Unterricht besonders relevant ist:

- (a) Exemplarizität des Experimentierens: Experimentieren ist prototypischer Ausdruck des naturwissenschaftlichen Vorgehens. Untersuchungen werden meist auf theoretisch begründete Annahmen gestützt, kontrolliert durchgeführt und einer kritischen Reflexion unterworfen. Die Methode ist über Fächergrenzen hinweg anwendbar und ist in ihrer Struktur beispielgebend für weitere naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden (z. B. Modellieren oder Vergleichen, vgl. a. Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2019).
- (b) Gegenwartsbezug des Experimentierens: Lernende können nur mithilfe einer Kenntnis über das Experimentieren, seiner ‚Logik‘ und seiner Grenzen aktuell generiertes naturwissenschaftliches Wissen bewerten. So wird einer Wissen-

schaftsgläubigkeit aktiv vorgebeugt und Bildung zur Demokratisierung beigesteuert (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996; Sjöström & Eilks, 2018). Zudem wird Lernenden durch das Experimentieren eine wirkmächtige Problemlösestrategie verfügbar, die auch im Alltag Anwendung finden kann (z. B. Mayer, 2007).

- (c) Zukunftsbezug des Experimentierens: Im Wesentlichen treffen hier die Aussagen des Abschnitts (b) zu. Hinzu kommen jedoch berufspropädeutische Aspekte (vgl. z. B. Henke, 2016) oder Aspekte der Berufsorientierung (vgl. Ertl, 2010), da eine Vielzahl akademischer Berufe und viele Ausbildungsberufe naturwissenschaftsaffine Aspekte berühren und somit in der weiteren Biografie von Relevanz sein können.

Das Experimentieren verfügt – in Anlehnung an Klafki (1964) – gleichzeitig über material sowie formal bildende Eigenschaften (vgl. Emden, Bewersdorff & Baur, 2019). Als Erkenntnismethode der Naturwissenschaften hat es einen ‚Wert an sich‘ (wissenschaftlicher Objektivismus). Indem es exemplarisch in Teilprozessen gegliedert und anschließend in Heuristiken zusammengefasst wird (Elementarisierung), wird es aus spezifischen Verwendungskontexten gelöst und eine Übertragbarkeit auf andere Problemstellungen wird ermöglicht (Theorie des Klassischen). Darüber hinaus leistet es einen Beitrag zur ‚Kräfteentwicklung‘ des Subjekts, indem es dieses das naturwissenschaftliche Denken lehrt (funktionaler Bildungsbegriff), sowie zur Handlungsbefähigung in entsprechenden naturwissenschaftlichen Problemsituationen beiträgt (methodischer Bildungsbegriff). Die beiden formalen Bildungsaspekte sind dabei nicht ohne Bezüge zu den beiden Aspekten materialer Bildung zu realisieren. Laut Klafki (1963) ist Bildung, die Beiträge in allen vier bildungstheoretischen Strömungen (wissenschaftlicher Objektivismus, Theorie des Klassischen, funktionale bzw. methodische Bildung) leistet, als kategoriale Bildung zu verstehen, die sich in einer wechselseitigen Erschließung manifestiert. Dem Experimentieren kommt entsprechend ein eigener Bildungsgehalt zu.

Aus der bildungstheoretischen Perspektive ist es bedeutend, dass man mithilfe einer Kenntnis über das Experimentieren, dessen ‚Logik‘ und Grenzen, aktuell generiertes naturwissenschaftliches Wissen bewerten kann (funktionale Bildung) – auch im Sinne einer Demokratisierung (Driver et al., 1996; Sjöström & Eilks, 2018).

Entsprechend kann folgendes Ziel abgeleitet werden:

→ *Die Lernenden können Grenzen der Aussagekraft von Experimenten reflektieren.*

[Ziel 3 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht; siehe auch 3.1]

Aus der Perspektive materialer Bildungstheorien, die korrektes und elementares Wissen vermittelt sehen wollen, ergibt sich das Ziel:

→ *Die Lernenden können Experimentieren als Strategie beschreiben: Die Lernenden kennen die unterschiedlichen Teilprozesse und deren Funktion.*

[Ziel 1 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht; siehe auch 3.1]

3.3 Lerntheoretische Ebene

In der pädagogischen Psychologie hat sich die konstruktivistische Sicht auf das Lernen etabliert (Göhlich, Wulf & Zirfas, 2014), sodass auch diese Arbeit darauf zurückgreift.

Aus der Perspektive konstruktivistischer Lerntheorien (z. B. handlungsorientiert-konstruktivistischer Ansatz) ist es unabdingbar, dass Lernen durch aktive, selbstständige und handlungsorientierte Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand erfolgt, da sich Lernende das Bild der Welt nur selbst erschließen können (Schnotz, 2011). Lernen ist ein Prozess, der aus Konstruktion (die Welt selbst erfahren), Rekonstruktion (bestehendes, dargebotenes Wissen selbst noch einmal durchdenken) und Dekonstruktion (hinterfragen: Könnte es auch anders sein?) besteht (Reich, 2012). Daher erfordert das Sammeln von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen (Konstruktion), dass naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden selbstständig geplant und ausgeführt werden können.

Woraus das Ziel folgt:

→ *Die Lernenden können Experimentieren zum Erkenntnisgewinn selbstständig anwenden.*

[Ziel 4 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht]

Für das Lehren aus konstruktivistischer Sicht wird zudem betont, dass Regeln, die von ‚außen‘ gesetzt werden, nicht notwendigerweise von den Lernenden angenommen werden (Reich, 2012). Wichtig ist es, dass für sie die Sinnhaftigkeit des Handelns deutlich wird (Reich, 2012). Regeln werden von Lernenden häufig hinterfragt (Dekonstruktion). Unseres Erachtens kann man die Teilprozesse des Experimentierprozesses als – nicht notwendigerweise linear zu

durchlaufende – Regelschritte (Regeln) interpretieren. Hieraus folgt ein Anspruch, dass alle Teilprozesse von den Lernenden durchgeführt und Sinn und Notwendigkeit der Teilprozesse im Unterricht (wiederholt) besprochen werden müssen.

Aus der lerntheoretischen Perspektive folgt daher noch das Ziel:

→ *Die Lernenden können die innere Logik eines experimentellen Vorgehens erklären.*

[Ziel 2 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht]

3.4 Curriculare Begründung des Experimentierens

Bildungspolitisch spiegelt sich die Forderung nach der Vermittlung von prozeduralem Wissen und epistemologischem Verständnis, sprich von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen wie dem Experimentieren, neben dem Inhaltswissen in nationalen sowie internationalen Lehr- und Bildungsplänen wider (siehe Tab. 1, s. a. Abd-El-Khalick et al., 2004; Emden, 2011).

Tabelle 1: Vergleich internationaler und nationaler Curricula zum Experimentieren als naturwissenschaftliche Arbeitsweise (eigene Darstellung)

	Fragen/ Hypothesenbildung	Planen	Durchführen	Auswerten	Schlussfolgern
Australien The Australian Curriculum (Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority, 2016)	Fragen stellen und Hypothesen bilden: Naturwissenschaftliche Fragen identifizieren und naturwissenschaftliche Fragen aufstellen, Hypothesen aufstellen und Vorhersagen zu möglichen Beobachtungen treffen	Planen und Durchführen: Entscheidungen zum Untersuchen oder Lösen eines Problems treffen und Untersuchungen durchführen inklusive Datenerhebung	Daten und Informationen sammeln und auswerten: Aussagekräftige und nützliche Darstellung von Daten; Trends, Muster und Zusammenhänge in den Daten identifizieren und Erkenntnisse für die Begründung von Schlussfolgerungen nutzen		Auswertung: Betrachtung der Qualität vorliegender Evidenz und des Werts sowie der Signifikanz von Aussagen, Vorschlägen oder Folgerungen hinsichtlich dieser Evidenz
Deutschland Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2005a)		Die Schülerinnen und Schüler planen einfache Experimente, führen die Experimente durch und/oder werten sie aus Die Schülerinnen und Schüler wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an			Die Schülerinnen und Schüler erörtern Tragweite und Grenzen von Untersuchungsanlage, -schritten und -ergebnissen
Deutschland Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2005b)	Die Schülerinnen und Schüler erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind	Die Schülerinnen und Schüler planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen Die Schülerinnen und Schüler beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte	Die Schülerinnen und Schüler führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese Die Schülerinnen und Schüler beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte	Die Schülerinnen und Schüler erheben bei Untersuchungen, insbesondere in chemischen Experimenten, relevante Daten oder recherchieren sie	Die Schülerinnen und Schüler finden in erhobenen oder recherchierten Daten Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen
Deutschland Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2005c)	Die Schülerinnen und Schüler stellen an einfachen Beispielen Hypothesen auf	Die Schülerinnen und Schüler planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse		Die Schülerinnen und Schüler werten gewonnene Daten aus, ggf. auch durch einfache Mathematisierungen Die Schülerinnen und Schüler beurteilen die Gültigkeit empirischer Ergebnisse und deren Verallgemeinerung	
England, Vereinigtes Königreich The national curriculum in England - Key stages 3 and 4 framework document (Department for Education, 2014)	Experimentelle Fähigkeiten und Untersuchungen: Fragen stellen und einen Untersuchungsgang entwickeln, der auf Beobachtungen der realen Welt sowie auf Vorkenntnissen und Erfahrungen basiert. Auswahl, Planung und Durchführung der am besten geeigneten Arten von naturwissenschaftlichen Untersuchungen, um Vorhersagen zu prüfen, einschließlich – wo möglich – der Ermittlung unabhängiger, abhängiger und Kontrollvariablen Beobachtungen und Messungen mit einer Reihe von Methoden für verschiedene Untersuchungen durchführen und aufzeichnen			Analyse und Auswertung: mathematische Konzepte anwenden und Ergebnisse berechnen Beobachtungen und Daten mit geeigneten Methoden präsentieren begründete Erklärungen vorlegen, einschließlich der Erläuterung von Daten in Bezug auf die Vorhersagen und Hypothesen	
Ontario, Kanada The Ontario Curriculum Grades 1–8: Science and Technology (Ministry of Education, 2007)	Vorbereitung und Planung: z. B. Fragen stellen, Problem klären, Schritte zur Durchführung planen		Durchführung und Datenaufnahme: z. B. Abläufen folgen, Informationen abrufen, Beobachtungen und Ergebnisse festhalten	Auswertung und Interpretation: z. B. Daten strukturieren, über Effektivität der Ausführung reflektieren, Schlussfolgerungen ziehen	
USA A Framework for K–12 Science Education (NRC, 2012)	Fragen stellen	Untersuchungen planen und durchführen		Analysieren und Interpretieren der Daten Mathematik und algorithmisches Denken („computational thinking“) nutzen Erläuterungen konstruieren	

In den Bildungsstandards national wie international werden Kompetenzen zu den Teilprozessen des Experimentierens beschrieben (Bsp.: „Die Schülerinnen und Schüler planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen“, KMK, 2005b). In manchen Ländern wird auch explizit die Verkettung von Kompetenzen unterschiedlicher Teilprozesse aufgeführt (Bsp.: „Die Schülerinnen und Schüler planen einfache Experimente, führen die Experimente durch und/oder werten sie aus“ KMK, 2005a). Bei der explizit formulierten Verkettung ist unmissverständlich, dass eine innere Bezogenheit der Kompetenzen zum Experimentieren als Ziel gesehen wird. Wird dies nicht explizit formuliert, so lässt sich trotzdem aus der Sache heraus begründen, dass nicht nur isolierte Kompetenzen, sondern die Fähigkeit, sie aufeinander zu beziehen, als Endabsicht angesehen wird.

Woraus man das Ziel ableiten kann:

→ *Die Lernenden können Experimentieren als Strategie beschreiben: Die Lernenden kennen die unterschiedlichen Teilprozesse und deren Funktion.*

[Ziel 1 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht; siehe auch 3.1 und 3.2]

Die Kompetenzen zum Erkenntnisgewinn, die individuell erworben werden, sollen die Lernenden u. a. befähigen, selbstständig Experimente auszuführen (Bsp.: „Die Schülerinnen und Schüler wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an“, KMK, 2005a).

Was zum formulierten Ziel führt:

→ *Die Lernenden können Experimentieren zum Erkenntnisgewinn selbstständig anwenden.*

[Ziel 4 in der in Abschnitt 4 folgenden Übersicht; siehe auch 3.3]

4 Prinzipien eines Unterrichts zum Experimentieren – das WIE

Um das Experimentieren als Methode des Erkenntnisgewinns zu vermitteln, bedarf es geeigneter Lehr-Lern-Wege. Für deren Gestaltung ist das Wie wichtig. Nachfolgend sollen daher aus den zuvor herausgearbeiteten Zielen Unterrichtsprinzipien abgeleitet werden. Als Unterrichtsprinzipien werden didaktische Grundsätze verstanden, welche das Unterrichtsplanen und -handeln leiten, sowie Maßstäbe, welche einer fachlichen Reflexion zugrunde liegen (vgl. Seibert, 2006). Im Zuge dieser Arbeit deuten wir Unterrichtsprinzipien ähnlich verbindlich wie

Glöckel (2003, S. 280): „Prinzipien sind flexibler als Regeln und weniger zwingend als Gesetze, sie fordern ein bewegliches Entscheiden gemäß der Situation. Sie erlauben die begründete Ausnahme, schließen aber die bloße Willkür aus [...]“

Ziel 1: *Die Lernenden können Experimentieren als Strategie beschreiben: Die Lernenden kennen die unterschiedlichen Teilprozesse und deren Funktion.* [Ziel begründbar aus diesen Perspektiven: fachlich-disziplinär, bildungstheoretisch, curricular.]

Abgeleitete Unterrichtsprinzipien [P]:

Beim Experimentieren im Unterricht sollten alle Teilprozesse des Experimentierprozesses berücksichtigt werden [**P1** ‚*Teilprozesse berücksichtigen*‘], was sich unmittelbar aus dem Ziel selbst ergibt, dass die Lernenden die unterschiedlichen Teilprozesse und deren Funktion kennen. Da eine kompetente Beherrschung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses nicht durch Nachahmung oder bloße Teilhabe erlernt wird (Bell, Blair, Crawford & Lederman, 2003), erscheint es unabdingbar, dass die experimentelle Methode im Unterricht auch explizit und nicht nur implizit behandelt wird [**P2** ‚*expliziter Unterrichtsgegenstand*‘]. Da Lernen nicht nur durch Einführung in einen Unterrichtsgegenstand, sondern auch durch Übung (und Anwendung) erfolgt (z. B. Fritz & Funke, 2002; Wagenschein, 1965), muss das experimentelle Vorgehen nicht nur eingeführt, sondern auch geübt werden [**P3** ‚*Üben*‘].

Ziel 2: *Die Lernenden können die innere Logik eines experimentellen Vorgehens erklären.*

[Ziel begründbar aus dieser Perspektive: lerntheoretisch.]

Abgeleitete Unterrichtsprinzipien:

Damit die innere Logik durchdrungen sowie gelernt und das Ziel erreicht werden kann, muss die Strategie der experimentellen Methode von den Lernenden aktiv eingesetzt werden – nur so können sie sich mit dem Verfahren vertraut machen (vgl. Konstruktion und Rekonstruktion: Abschnitt 3.3). Da Experimentieren als Erkenntnismethode eine Form des Problemlösens darstellt (Mayer, 2007) und entsprechend eine innere Logik hat (Hammann, 2004), sollte es beim Problemlösen eingesetzt werden, damit diese Logik in Bezug auf das Problemlösen erfahren werden kann [**P4** ‚*Problemlösen*‘]. Des Weiteren muss zur Erschließung der inneren Logik aus konstruktivistischer Sicht

(Dekonstruktion vgl.: Reich, 2012) und aus wissenschaftstheoretischer Sicht (Fehlerdiskussion) eine Prozessreflexion stattfinden [**P5** ‚*Prozessreflektierend*‘]. Unter einer Prozessreflexion wird das Hinterfragen einer Passung von Hypothese und Fragestellung, Planung und Durchführung sowie Beobachtung und Ergebnis bei einem Experiment verstanden. Die Prozessreflexion soll zum Verständnis der Zusammenhänge der Teilprozesse anleiten. Zudem müssen die Prinzipien [**P1**] ‚*Teilprozesse berücksichtigen*‘, [**P2**] ‚*expliziter Unterrichtsgegenstand*‘ und [**P3**] ‚*Üben*‘ Berücksichtigung finden: Alle Teilprozesse müssen im Unterricht angesprochen werden [**P1**], damit die Struktur des Experimentierens ersichtlich werden kann, was für die Erfassung und Aneignung der inneren Logik unabdingbar ist. Möchte man die innere Logik des Experimentierens besprechen, wird das Experiment ein eigener Unterrichtsgegenstand und **P2** muss beachtet werden. Damit die Lernenden das Ziel erreichen können, ist Übung [**P3**] notwendig (s. o. Ziel 1).

Ziel 3: *Die Lernenden können Grenzen der Aussagekraft von Experimenten reflektieren.*

[Ziel begründbar aus diesen Perspektiven: fachlich-disziplinär, bildungstheoretisch.]

Abgeleitete Unterrichtsprinzipien:

Zum Erreichen dieses Ziels ist wichtig, dass im Unterricht regelmäßig über die Grenzen und Unsicherheiten gewonnener Erkenntnisse gesprochen wird – sowohl jene aus eigenen Experimenten als auch jene aus der Wissenschaft – [**P6** ‚*Grenzen ansprechen*‘]. Mögliche Ansätze finden sich im planvollen Umgang mit unerwarteten Daten (Chinn & Brewer, 1993) oder mit Untersuchungen, die nicht erwartungskonform verlaufen (Nott & Wellington, 1996). Beim Experimentieren ist wissenschaftliche Strenge (Scientific Rigour) zu wahren [**P7** ‚*wissenschaftliche Strenge*‘], da diese als Merkmal

zum Experimentieren gehört (z. B. Faraday, 1828). Zur Erreichung des Ziels ist auch das Prinzip [**P4**] ‚*Problemlösen*‘ wichtig, denn nur nach der Aufnahme eigener Daten kann realitätsnah über gewonnene Ergebnisse gesprochen werden (ermöglichen von Realerfahrungen: vgl. Benesch & Winkler, 2016; Labudde, 2000).

Ziel 4: *Die Lernenden können Experimentieren zum Erkenntnisgewinn selbstständig anwenden.*

[Ziel begründbar aus diesen Perspektiven: lerntheoretisch, curricular.]

Abgeleitete Unterrichtsprinzipien:

Dieses Ziel stellt gleichsam die Synthese der zuvor angesprochenen Ziele dar, sodass in ihm auch alle zuvor angeführten Prinzipien (**P1–P7**) wirksam werden. Dabei ist es nicht so zu verstehen, dass, bevor Ziel 4 erreicht werden kann, die Ziele 1–3 umfänglich erreicht worden sein müssen. Vielmehr verstehen wir Ziel 4 als sich langsam entfaltendes Kontinuum, das sukzessiv durch die Beiträge der Ziele 1–3 an Komplexität gewinnt.

Hinzu tritt bei diesem Unterrichtsziel das Prinzip zum Aufbau zunehmender Selbstständigkeit der Lernenden (vgl. hierzu Banchi & Bell, 2008; Bell, Smetana & Binns, 2005; Labudde, 2000) [**P8** ‚*Selbstständigkeit*‘]. Selbstständige und selbstverantwortete Experimentierprozesse sind zum Erlernen der Erkenntnis-methode wichtig.

Das Primat eigenständigen Erfahrens und Konstruierens des Lerngegenstandes darf jedoch nicht falsch verstanden werden: Es muss unseres Erachtens eine *schrittweise* (nicht alle Teilprozesse des Experimentierens von Beginn an gleichzeitig und nicht ohne Übung der Teilprozesse) Übertragung der Auseinandersetzung mit den Arbeitsmethoden (im vorliegenden Fall: des Experimentierens) erfolgen, da sich zu weit geöffnete Unterrichtsansätze als nicht effektiv erwiesen haben (Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Klahr & Nigam, 2004).

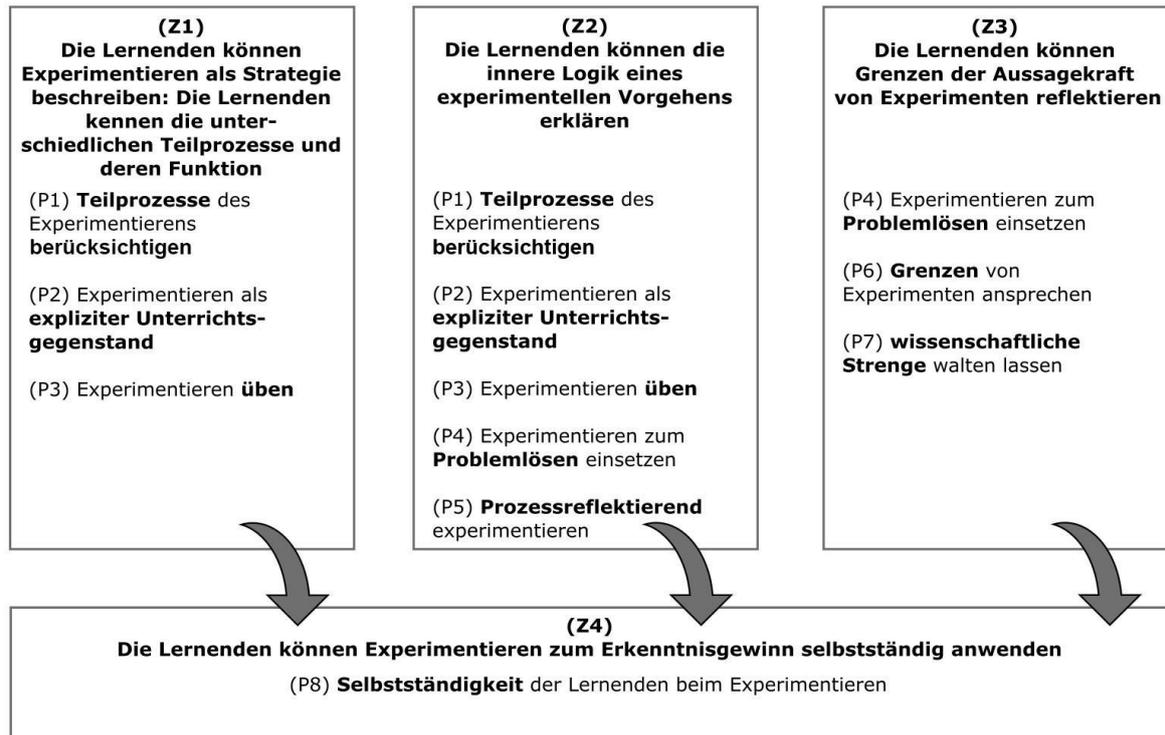


Abbildung 1: Ziele und Unterrichtsprinzipien – Zusammenhang

5 Resümee

Bei der Betrachtung des Experimentierens als Erkenntnismethode konnten durch Zugrundelegung von vier Perspektiven vier Ziele von Unterricht abgeleitet werden. Aus diesen Zielen resultieren acht Unterrichtsprinzipien. Die Prinzipien sollten in der Planung und Durchführung von Unterricht sowie in der Fachdidaktik (Forschungs- und Konzeptionsarbeit) Berücksichtigung finden, beispielsweise als:

- Impulse für die fachdidaktische Forschung und Entwicklung: Bei der Planung von Interventionsstudien und Unterrichtsmaterialien sollten allgemein Unterrichtsprinzipien Beachtung finden. Aus der Ableitung von Unterrichtsprinzipien ergeben sich Forschungsfragen zur Lernforschung wie beispielsweise: Wie wirken einzelne Unterrichtsprinzipien auf die Entwicklung der Kompetenzen zu den einzelnen Teilprozessen?
- Impulse für die Weiterentwicklung des naturwissenschaftlichen Unterrichts: Aus der Überlegung, auf welche Unterrichtsprinzipien geachtet werden muss, resultieren beispielsweise die Fragen/Überlegungen:

Welche Art von Unterrichtsmaterialien wird benötigt? Wie kann man den Unterrichtsgegenstand mit Blick auf die Unterrichtsprinzipien im Sinne der didaktischen Rekonstruktion (vgl. Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997) didaktisch strukturieren? Welche Lehr-Lern-Formen sind geeignet?

Unterrichtsprinzipien müssen hierbei als flexible Regeln und weniger zwingend als Gesetze angesehen werden. Es ist wichtig, sie der Situation (Lerner, Lerngegenstand: in unserem Fall dem Sachinhalt des Experiments) angepasst einzusetzen: Begründete Ausnahmen sind erlaubt, die bloße Willkür jedoch ist ausgeschlossen (Glöckel, 2003). Beispielsweise kann nicht in jeder Unterrichtsstunde zum Experimentieren das Üben aller Teilprozesse stattfinden, da das experimentelle Verfahren ja auch als Erkenntnismethode angewendet werden soll und zeitökonomisch zu einer Erkenntnis führen soll. Gleichmaßen darf dies nicht als Legitimation missverstanden werden, überhaupt nicht mehr zu üben, da Üben für das Lernen essenziell ist (z. B. Fritz & Funke, 2002; Wagenschein, 1965). Beim Experimentieren mit Gefahrstoffen – als weiteres Beispiel – ist ein komplett

selbstständiges Experimentieren hinsichtlich Sicherheitsaspekten abzuwägen (z. B. Vorhandensein eines Abzugs), wohingegen bei nicht gefahrstoffrechtlich relevanten Chemikalien eine weitgehende Lernenselbstständigkeit prinzipiell möglich erscheint.

Die Unterrichtsprinzipien wurden theoriegeleitet aufgestellt, eine empirische Prüfung könnte ihre Effektivität weiter belegen.

Wichtig ist, noch einmal zu betonen, dass in dieser Arbeit Experimente und das Experimentieren ausschließlich in der Funktion der Erkenntnismethode (gemäß einer konzeptionellen und prozeduralen Scientific Literacy) betrachtet und hierfür Unterrichtsprinzipien beschrieben wurden. Dies darf kein falsches Bild erzeugen. Experimente können für den Unterricht auch in anderen Funktionen bedeutend sein: z. B. Demonstrationsexperimente zur Präsentation von Phänomenen, Bestätigungsexperimente zur veranschaulichenden Wiederholung, egg-races zur Förderung von Teamfähigkeiten sowie explorative Versuchsphasen zur affektiven Einlassung.

Literatur

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A. et al. (2004). Inquiry in science education. International perspectives. *Science Education* 88(3), 397–419.
- Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority. (2016). The Australian Curriculum. Science. Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority.
- Baisch, P. (2016). Das methodische Handeln reflektieren. In H. Weitzel & S. Schaal (Hrsg.), *Biologie unterrichten: planen, durchführen, reflektieren* (S. 54-60). Berlin: Cornelsen.
- Banchi, H. & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Krees, S. & Marohn, A. (2015). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Baumert, J. (2002). Deutschland im internationalen Bildungsvergleich. In N. Killius (Hrsg.), *Die Zukunft der Bildung* (S. 100-150). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A. & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understanding of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487–509.
- Bell, R. L., Smetana, L. & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Benesch, T. & Winkler, M. (2016). Conceptual Change. Anwendungsbeispiel in der Sekundarstufe 1. *Open Online Journal for Research and Education*, (6), 1–7.
- Bernholt, S., Neumann, K. & Nentwig, P. (2012). *Making it tangible. Learning outcomes in science education*. Münster: Waxmann.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bybee, R. W. (2002). Scientific Literacy – Mythos oder Realität? In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 21-43). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition. A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1–49.
- Department for Education. (2014). *The national curriculum in England – Key stages 3 and 4 framework document*. London: Department for Education.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Duit, R. (2004): Fachdidaktiken als Forschungsgebiete und als Berufswissenschaften der Lehrkräfte. Das Beispiel Didaktik der Naturwissenschaften. *Beiträge zur Lehrerbildung* 22 (1), 20–28.
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens*. Berlin: Logos.
- Emden, M., Bewersdorff, A. & Baur, A. (2019). Kann Experimentieren in der Schule bilden? Ein Beitrag zur bildungstheoretischen Legitimation eines selbstverständlichen Gegenstandes des Naturwissenschaftsunterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, 65(5), 710–729.
- Ertl, D. (2010). The Nature of Science. Das Wesen / die Natur der Naturwissenschaften. *PLUS LUCIS* (1–2), 5–7.
- Eschenhagen, D., Kattmann, U., Rodi, D. & Etschenberg, K. (2003). *Fachdidaktik Biologie*. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Faraday, M. (1828). *Chemische Manipulation. Oder das eigentlich Practische der sichern Ausführung chemischer Arbeiten und Experimente*. Weimar: Verlag des Großherzoglich Sächsisch privilegierten Landes-Industrie-Comptoirs.
- Fischer, H. E., Klemm, K., Leutner, D., Sumfleth, E., Tiemann, R. & Wirth, J. (2003). Naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lernforschung. Defizite und Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 179–209.
- Fritz, A. & Funke, F. (2002). Planen und Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenzen. *Lernchancen*, 25, 6–14.
- Gagné, R. M. (1965). *The Psychological Bases of Science – A Process Approach* (AAAS Miscellaneous Publication 65-8). Washington, D.C.
- Glöckel, H. (2003). *Vom Unterrichts. Lehrbuch der Allgemeinen Didaktik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Göhlich, M., Wulf, C. & Zirfas, J. (2014). Pädagogische Zugänge zum Lernen. In M. Göhlich, C. Wulf & J. Zirfas (Hrsg.), *Pädagogische Theorien des Lernens* (S. 7-19). Weinheim: Beltz.
- Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T. & Evans, R. H. (Hrsg.). (2002). *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *MNU*, 57(4), 196–202.
- Henke, A. (2016). Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Forschender und historisch orientierter Physikunterricht im Vergleich. *Zeitschrift Für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 123–145.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science. Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The Laboratory in Science Education. Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88(1), 28–54.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217.
- 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., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). (2015). *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, Practical Work and Academic Skills in Science Education. *Science & Education*, 1(3), 273–299.
- 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.
- Klafki, W. (1964). *Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung* (Göttinger Studien zur Pädagogik, Bd. 6). Weinheim: Beltz (Originalarbeit erschienen 1959).
- Klafki, W. (1963). *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Weinheim: Beltz.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Weinheim: Beltz (Originalarbeit erschienen 1985).
- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction. Effect of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661–667.
- Klahr, D. (2013). What do we mean? On the importance of not abandoning scientific rigor when talking about science education. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(Suppl 3), 14075–14080.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruper, H., Prenzel, M. et al. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Expertise* (Bildungsforschung). Bonn: BMBF.
- KMK [Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland]. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- KMK. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- KMK. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Koch-Priewe, B., Köker, A. & Störtländer, J. C. (2016). Die bildungstheoretische Didaktik und die kritisch-konstruktive Didaktik. In R. Porsch (Hrsg.), *Einführung in die Allgemeine Didaktik. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für Lehramtsstudierende* (S. 101-132). Münster: Waxmann.
- Labudde, P. (2000). *Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II*. Bern: Haupt.
- 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). Mahwah: Erlbaum.
- Litt, T. (1952). Naturwissenschaft und Menschenbildung. *Physikalische Blätter*, 8(11), 481–492.
- Litt, T. (1959). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle und Meyer (Originalarbeit erschienen 1952).
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. & Clough, M. P. (2007). Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory, and Practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 393-441). Mahwah: Erlbaum.

- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiepädagogischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177-186). Berlin: Springer.
- McComas, William F. (1996). Ten Myths of Science. Reexamining What We Think We Know About the Nature of Science. *School Science and Mathematics* 96(1), 10–16.
- McComas, W. F. (1998). *The nature of science in science education. Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Ministry of Education. (2007). The Ontario Curriculum Grades 1-8: Science and Technology. Hrsg. v. The Ministry of Education.
- NRC [National Research Council]. (2012). A Framework for K-12 Science Education. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Nott, M. & Wellington, J. (1996). When the Black Box Springs Open. Practical Work in Schools and the Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 807–818.
- OECD [Organisation for Economic Co-Operation and Development]. (2017). *PISA 2015 assessment and analytical framework*. Paris: OECD.
- OECD. (2000). *Measuring Student Knowledge and Skills. The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. Paris: OECD.
- Popper, K. R. (1989). *Logik der Forschung* (Die Einheit der Gesellschaftswissenschaften, Bd. 4). Tübingen: Mohr (Originalarbeit erschienen 1935).
- Priemer, B. (2006). Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 177–197.
- Reich, K. (2012). *Konstruktivistische Didaktik. Das Lehr- und Studienbuch mit Online-Methodenpool*. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (2011). *Pädagogische Psychologie kompakt*. Weinheim: Beltz.
- Seibert, N. (2006). Unterrichtsprinzipien. Unterrichtsprinzipien als handlungsleitender Teil einer Theorie des Unterrichts. In: K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (S. 251-260). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Sjöström, J. & Eilks, I. (2018). Reconsidering Different Visions of Scientific Literacy and Science Education Based on the Concept of Bildung. In Y. J. Dori, Z. R. Mevarech & D. R. Baker (Hrsg.), *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education* (Innovations in Science Education and Technology, Bd. 24, S. 65-88). Cham: Springer International Publishing.
- Sommer, K. & Pfeifer, P. (2018). Experiment und Erkenntnis. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 70-88). Seelze: Friedrich Aulis.
- Spörhase, U. (2015). *Biologie-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. Berlin: Cornelsen.
- Steinle, F. (2004). Exploratives Experimentieren. Charles Dufay und die Entdeckung der zwei Elektrizitäten. *Physik Journal*, 3(6), 47–52.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy. A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37–63.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2019). Ein Fall für Erkenntnisgewinnung! Biologische Beiträge zu einem Verständnis naturwissenschaftlichen Modellierens. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*, 30(171), 38–41.
- Wagenschein, M. (1965). Die Aufgabe des Physikunterrichts. In M. Wagenschein, *Ursprüngliches Denken und exaktes Denken* (S. 380-385). Stuttgart: Klett (Originalarbeit von 1960).
- Wong, S. L. & Hodson, D. (2009). From the Horse's Mouth. What Scientists Say About Scientific Investigation and Scientific Knowledge. *Science Education*, 93(1), 109–130.

Kontakt

Herr Armin Baur
Pädagogische Hochschule Heidelberg,
Institut für Naturwissenschaften, Geographie und Technik, Fach Biologie
Im Neuenheimer Feld 561
69120 Heidelberg
Email: baur@ph-heidelberg.de

Zitationshinweis:

Baur, A., Emden, M. & Bewersdorff, A. (2019). Welche Unterrichtsprinzipien sollten für den Aufbau von Kompetenzen zum Experimentieren Beachtung finden? Eine Ableitung auf Basis multiperspektivisch begründeter Unterrichtsziele. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 23(1), 10-24. doi: 10.4119/zdb-1738

Veröffentlicht: 07.10.2019



Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 4.0 International zugänglich (CC BY 4.0 de). URL <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>