

---

# Analyse von Unterrichtskonzepten zum Experimentieren hinsichtlich theoretisch begründeter Unterrichtsprinzipien

## Bestandsaufnahme und kriteriale Gegenüberstellung

Arne Bewersdorff<sup>1</sup>, Armin Baur<sup>1</sup> und Markus Emden<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pädagogische Hochschule Heidelberg,  
Institut für Naturwissenschaften, Geographie und Technik*

<sup>2</sup>*Pädagogische Hochschule Zürich,  
Zentrum für Didaktik der Naturwissenschaften*

---

### ZUSAMMENFASSUNG

Seit vielen Jahrzehnten versucht die naturwissenschaftsdidaktische Entwicklung die Lernwirksamkeit lernendenaktiver Experimentierphasen durch innovative, unterschiedlich akzentuierte Unterrichtskonzepte zu fördern. Unterrichtskonzepte sind Gesamtorientierungen didaktisch-methodischen Handelns, in denen ein begründeter Zusammenhang von Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen hergestellt wird. Dies hat zu einer Vielzahl von namens- wie auch teils inhaltsgleichen Unterrichtskonzepten geführt, aus deren Nebeneinander Lehrkräfte möglichst geeignete Ansätze für ihren Unterricht auswählen sollen. In diesem Artikel werden prominente Unterrichtskonzepte zum Experimentieren gesichtet, geordnet und bezüglich ihrer Potenziale untersucht, Experimentieren im Sinne der Bildungsstandards zu fördern. Zur Analyse werden vornehmlich im deutschsprachigen Raum besprochene Unterrichtskonzepte ausgewählt, die konstruktivistischen Theorien zum aktiven Lernen folgen. Grundlage des kriteriengeleiteten Vergleichs sind acht theoretisch begründete Unterrichtsprinzipien: (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‘, (P8) ‚Zunehmende Selbstständigkeit der Lernenden beim Experimentieren‘. Als Ergebnis ist festzustellen, dass keines der untersuchten Unterrichtskonzepte alle acht Unterrichtsprinzipien berücksichtigt. Besonders hinsichtlich einer zunehmenden Lernendenselbstständigkeit und des Übens wissenschaftlichen Experimentierens wurden bei vielen Unterrichtskonzepten Leerstellen identifiziert. Die Konzepte des Forschend-entdeckenden Lernens nach Höttecke und des Forschenden Lernens nach Arnold versprechen, nach Erweiterung um einen Übungs-Aspekt, die Berücksichtigung aller Unterrichtsprinzipien.

**Schlüsselwörter:** Experimentieren, Unterrichtskonzepte, Forschendes Lernen, Scientific Inquiry

---

### ABSTRACT

Science education has tried to advance learning effectiveness of student activating experimentation for the past decades by suggesting innovative, differently nuanced teaching concepts. Teaching concepts are holistic approaches to teaching which purposefully coordinate decisions of teaching goals, content and method. This has led to the introduction of a multitude of nominally (and sometimes also with regard to content) identical teaching concepts, from which teachers have to choose the ones most suitable for their teaching. This paper aims at reviewing some of the most prominent teaching concepts in German speaking science education and at analyzing their potentials for learning experimentation aligned with the science education standards. Teaching concepts are selected that obey constructivist theories of active learning. Basis for this criteria-led juxtaposition are eight theoretically founded teaching principles for experimentation: (P1) ‚Consider subprocesses of experimentation‘, (P2) ‚Make experimentation an explicit teaching content‘, (3) ‚Practice experimentation‘, (4) ‚Use experimentation for problem solving‘, (5) ‚Reflect on the processes of experimentation‘, (6) ‚Address limitations of experimentation‘, (7) ‚Obey scientific rigor‘, (8) ‚Have students experiment increasingly more autonomous‘. Results show that none of the analyzed teaching concepts addresses all of the postulated principles. Especially with respect to increasing students’ autonomy in and practicing of scientific experimentation teaching concepts have been found to be mute. Two of the concepts analyzed – inquiry-discovery learning, inquiry learning – promise to meet the comprehensive set of principles if augmented for an aspect of practice.

**Key words:** experimentation, teaching concepts, scientific inquiry

## 1 Motivation

Spätestens seit dem Sputnikschock der späten 1950er-Jahre und den bildungspolitischen Reaktionen in Richtung Förderung eines naturwissenschaftlich qualifizierten Nachwuchses gehört das Experimentieren als Erkenntnismethode, die von den Lernenden selbst zur Lösung von lernendengerechten Forschungsfragen eingesetzt wird<sup>1</sup>, in Schulen zum normativen Standard (Singer, Hilton & Schweingruber, 2006). Fast genauso lange wird die Lernwirksamkeit eines solchen Experimentierens hinterfragt, diskutiert (Hofstein & Lunetta, 1982; R. Mayer, 2004) und durch unterschiedlich akzentuierte Unterrichtskonzepte zu unterstützen gesucht.

Den Autoren stellte sich vor diesem Hintergrund die Frage nach Legitimation und Effektivität eines weiteren, selbst entwickelten Unterrichtskonzepts (*Entdeckendes Experimentieren*: Emden & Baur, 2017). Dies führte zu einer Artikelserie, in welcher zuerst der Bildungsgehalt des Experimentierens beleuchtet wurde (Emden, Bewersdorff & Baur, 2019). In einem folgenden Artikel (Baur, Emden & Bewersdorff, 2019) wurden Unterrichtsziele und -prinzipien aus vier schulrelevanten Perspektiven als Maßstab für effektiven Unterricht zum Experimentieren abgeleitet. In dem vorgelegten, dritten Artikel der Serie sollen nun etablierte Unterrichtskonzepte hinsichtlich ihrer Berücksichtigung der Unterrichtsprinzipien exemplarisch analysiert werden. Das von den Autoren entwickelte Unterrichtskonzept des *Entdeckenden Experimentierens* (Emden & Baur, 2017) wird aufgrund einer möglichen Voreingenommenheit bei der Ableitung der Unterrichtsprinzipien und einem damit potenziell einhergehendem Defizit an Objektivität ‚außer Konkurrenz‘, selbstkritisch analysiert.

Unterrichtskonzepte sind Gesamtorientierungen didaktisch-methodischen Handelns, in denen ein begründeter Zusammenhang von Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen hergestellt wird (Meyer, 1987, S. 208). Den Überblick über Gemeinsamkeiten und Differenzen

einzelner Unterrichtskonzepte zu wahren (vgl. für *Inductive Teaching and Learning* z. B. Prince & Felder, 2006; 2007) ist dabei nicht ganz trivial, da eine weiterentwickelnde Auseinandersetzung mit fachdidaktischer Literatur zu unterschiedlichen Interpretationen und Umsetzungen des vermeintlich selben Konzeptes führen kann (vgl. *Inquiry-Based Science Teaching* bei: Furtak, Seidel, Iverson & Briggs, 2012). Sich so einstellende terminologische Unschärfen erschweren die Differenzierung zwischen verschiedenen Ansätzen (Hood Cattaneo, 2017) und beeinträchtigen so auch die unterrichtspraktische Umsetzung (Lucas, 1971).

So finden sich in der Literatur zum einen unterschiedliche Auffassungen davon, auf was beispielsweise *Inquiry-Based Learning* ausgerichtet ist (definitiver Lerngegenstand, Methode zur Wissensgenerierung oder Unterrichtsmethode); zum Zweiten erscheint der Begriff in freier Übersetzung als ‚forschendes Lernen‘ häufig definitiv unscharf oder sogar widersprüchlich zu vorausgehenden Definitionen (z. B. Bundesassistentenkonferenz, 1970/2009) und, zum Dritten, erscheint ‚offenes Experimentieren‘ in der fachdidaktischen Literatur zunehmend als generischer Ausdruck ohne Definitionsmacht verwendet zu werden (vgl. Priemer, 2011). Zwar werden in einer Vielzahl von Arbeiten Unterrichtskonzepte, die sich dem ein oder anderen Terminus widmen, differenzierend beschrieben, was die erwähnte, zunehmende ‚Abschleifung‘ illustriert (z. B. Bell, Urhahne, Schanze & Plötzner, 2010; Arnold, 2015), doch existiert augenscheinlich keine aktualisierte Zusammenschau relevanter Unterrichtskonzepte zum Experimentieren.

Experimentieren in der Schule kann aus mindestens vier Perspektiven begründet werden, die häufig selektiv und nicht gemeinsam betrachtet werden, sich idealerweise aber ergänzen (Baur et al., 2019): (1) fachwissenschaftlich und -didaktisch, (2) bildungstheoretisch, (3) lerntheoretisch, (4) curricular. Je nach Betrachtungsweise ergeben sich hieraus anders nuancierte Ansprüche an

---

<sup>1</sup> Der Terminus Experiment wird im Schulkontext häufig übergeneralisierend für jede Art naturwissenschaftlicher Untersuchung verwendet (Wellnitz & Mayer, 2013) wodurch auch dem Missverständnis Vorschub geleistet wird, es gebe in den Naturwissenschaften die *eine*, universelle Methode („*the Scientific Method*“) zur Erkenntnisgewinnung (Alexakos, 2010; Lederman 2007). Das Experimentieren wird in diesem Artikel als eine naturwissenschaftliche Erkenntnismethode zur Beantwortung von Fragestellungen verstanden, die von Lernenden erlernt und angewandt werden soll. Wenn im Folgenden von der „experimentellen Methode“ die Rede ist, erhebt dies keinen Exklusivitätsanspruch im Bereich Erkenntnisgewinnung, sondern folgt – im Interesse einer besseren Lesbarkeit – der teils vereinfachenden Verwendung des Begriffs in der Lehrbuch- und auch in Teilen der fachdidaktischen Literatur. Wir wollen jedoch betonen, dass auch wir das Experimentieren als nur *eine*, wenngleich zentrale unter vielen gleichberechtigten, validen Erkenntnismethoden verstehen (s. a. Baur, Emden & Bewersdorff, 2019).

Unterricht – so wird eine konstruktivistische (lerntheoretische) Sicht auf den Unterricht möglichst viel Aktivität vom Lernenden einfordern, die curricular zunächst nicht zwingend geboten ist (dem Curriculum ist prinzipiell auch durch Vorlesungen zu genügen). Demgegenüber erscheint es zwar curricular geboten, Experimentieren im Unterricht zu berücksichtigen, der dafür notwendige Zeitaufwand, der in jedem Falle auf wertvolle Ressourcen zugreift, ist aber wiederum eher bildungstheoretisch zu rechtfertigen (Emden et al., 2019), indem das Bildungsgut ‚Experimentieren‘ etwa gegen das Bildungsgut ‚Periodensystem‘ aufgewogen werden muss. Aufbauend auf der mehrperspektivischen Begründung des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht wurden Unterrichtsziele abgeleitet und diese anschließend in Unterrichtsprinzipien zu deren Erreichung konkretisiert (siehe Baur et al., 2019; vgl. Abb. 1). Diese Ableitung wurde mit dem Ziel erstellt, alle relevanten Potenziale des Experimentierens lernförderlich für den Kompetenzaufbau adressieren zu können. In dieser Arbeit soll nun überprüft werden, inwiefern probate Unterrichtskonzepte zum Experimentieren im Naturwissenschaftsunterricht diese Ziele und Prinzipien berücksichtigen – damit verbunden ist der Anspruch, mögliche Leerstellen in den Unterrichtskonzepten zu identifizieren, deren zusätzliche Berücksichtigung Potenziale für eine Steigerung der Lernwirksamkeit erschließen könnte. Damit sollen die entsprechenden Unterrichtskonzepte nicht diskreditiert werden, sondern es wird erhofft, das Verständnis um die unterrichtliche Rolle des Experimentierens auszuscharfen und dadurch möglicherweise Konzepterweiterungen anzuregen.

## 2 Suche und Auswahl der Unterrichtskonzepte

Der Versuch eines *deduktiven* Literaturreviews durch Blick in aktuelle deutschsprachige Fachmethodiken und -didaktiken (z. B. Kranz & Schorn, 2012; Mikelskis-Seifert & Rabe, 2012; Spörhase-Eichmann & Ruppert, 2012; Kircher, Girwidz & Häußler, 2015; Berck & Graf, 2018; Sommer, Wambach-Laicher & Pfeifer, 2018) liefert nur ein fragmentarisches Bild der Unterrichtswirklichkeit, da hier entweder auf einer Theorieebene argumentiert wird, die erst in Unterrichtskonzepten ausdifferenziert werden muss (Didaktiken) oder

vorab eine einschränkende Auswahl bestehender Unterrichtskonzepte – oder (Mikro-)Methoden – getroffen worden ist (Methodiken). Zieht man einschlägige *International Handbooks* zurate wird deutlich, dass diese das Lernen mit Experimenten primär didaktisch und nicht unterrichtsmethodisch behandeln (z. B. Anderson, 2007; Lunetta, Hofstein & Clough, 2007; Hofstein & Kind, 2012; Crawford, 2014; Abrahams, 2017; Hofstein, 2017). Diese erste Suche zur Identifikation von Unterrichtskonzepten führte daher nicht zu dem erhofften Inventar gängiger Unterrichtskonzepte zum Experimentieren. Ein *induktiver* Ansatz über Literaturrecherchen in den Datenbanken FIS, ERIC und *Web of Science* förderte – je nach Schlagwort bzw. Schlagwortkombination – entweder unbewältigbare Mengen an Publikationen zutage (z. B. FIS: ‚Experiment‘ ca. 10.000) oder blieb fruchtlos<sup>2</sup>, weil die gefundenen Publikationen sich beispielsweise auf *Inquiry* allgemein und nicht auf *ausdifferenzierte Unterrichtskonzepte* bezogen. Daher wurde eine *assoziative* Vorgehensweise zur Suche und Auswahl gewählt, für die der Rückgriff auf die Unterscheidung von „konstruktivistischen Theoriefamilien“ notwendig war. Eine detaillierte Darstellung des Vorgehens folgt in den Abschnitten 2.1-2.3.

Eine umfassende, wenn schon nicht erschöpfende, so doch pluralistische Darstellung der mit der experimentellen Erkenntnisgewinnung verquickbaren und im deutschsprachigen Raum rezipierten Unterrichtskonzepte und -verfahren gibt es nach Kenntnis der Autoren nicht. In der Folge soll versucht werden, eine solche vergleichende Übersicht für den deutschsprachigen Naturwissenschaftsunterricht der Sekundarstufen zusammenzustellen und kriterial zu vergleichen. Ausgewählte anglo-amerikanische Konzepte – etwa: *Scientific Inquiry* – sind dort ergänzt worden, wo sie auch für den Diskurs der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktik wesensprägend erschienen. Gleichwohl erhebt diese erste Aufstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit und steht Fortschreibungen offen.

### 2.1 Konstruktivistische Theoriefamilien

Leitend bei der Suche nach Unterrichtskonzepten zum Experimentieren war die bei Hood Cattaneo (2017) getroffene allgemeinpädagogische Unterscheidung von fünf konstruktivistischen Theoriefamilien zum aktiven Lernen (*Active Learning Pedagogies*): *Problem-Based*,

<sup>2</sup> Die Sichtung von ca. 3000 Titeln, die durch verschiedene Kombinationen der Begriffe *inquiry*, *experiment*, *teaching method* (bzw. Erkenntnisgewinnung, Experiment, Unterrichtsmethode oder Unterrichtskonzept) in den erwähnten Datenbanken ausgegeben werden, fördert nicht eine Zusammenschau koexistierender Unterrichtskonzepte zutage.

*Discovery-Based*, *Inquiry-Based*, *Project-Based* und *Case-Based Learning*<sup>3</sup>. Die Unterteilung in Theoriefamilien von Hood Cattaneo wurde von den Autoren für die Suche aufgegriffen, da sich eine konstruktivistische Sicht auf das Lernen etabliert hat (Göhlich, Wulf & Zirfas, 2014) und sich gerade das Experimentieren nur durch aktives Lernen aneignen lässt (z. B. R. Bell, Blair, Crawford & Lederman 2003).

Die Berücksichtigung dieser fünf Theoriefamilien sollte die Suche von Unterrichtskonzepten zum Experimentieren im gesamten Spektrum des aktiven Lernens gewährleisten. Gleichzeitig umfasst diese allgemeinpädagogische Perspektive auch Theorieansätze, welche im Kontext des Experimentierens kaum Anwendung finden (wie das *Case-Based Learning*, welches, wie Hood Cattaneo (2017) zeigen konnte, in der Schule ein Nischendasein führt). Mit den Theoriefamilien verknüpfte Unterrichtskonzepte wurden assoziativ anhand der zitierten (gemäß Literaturverzeichnis) sowie der zitierenden Literatur (gemäß z. B. Google Scholar) zu einzelnen Unterrichtskonzepten bis zur Sättigung fortgeschrieben.

## 2.2 Identifikation und Einordnung der Unterrichtskonzepte

### 2.2.1 Theoriefamilie *Inquiry-Based Learning*

In der Familie des *Inquiry-Based Learning* bezieht sich auch Hood Cattaneo (2017) vornehmlich auf Lernen im Ansatz der *Scientific Inquiry* (NRC, 1996). Für die deutschsprachige Naturwissenschaftsdidaktik wurden folgende synonyme Übersetzungen gefunden: *Forschendes Lernen* (bei Arnold (2015) sowie Scheerso (2016)), *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen* (NAW, bei Walpuski (2006) und Wahser (2007)), *Forschend-entdeckendes Lernen* (bei Köster (2006) sowie Höttecke (2010)).

Die solchermaßen identifizierte Sammlung von im Deutschen synonym zu *Scientific Inquiry* verwendeten Begriffen wurde in einem nächsten Schritt um begrifflich nahe stehende Konzepte (über Datenbanksuchen) sowie um ihnen inhaltlich nahe stehende Konzepte (über die jeweiligen Quellenverzeichnisse), d. h. *assoziativ* erweitert:

Dem *Forschend-entdeckenden Lernen* (Höttecke, 2010) steht begrifflich das *Entdeckend-forschende Lernen* (Klautke, 2003) nahe; das *Forschende Lernen* nach T. Bell (2007) ist zum *Forschenden Lernen* nach Arnold (2015) synonym. Das *Forschende Lernen* (Arnold, 2015) steht wiederum inhaltlich in der Tradition des *Offenen Experimentierens* nach J. Mayer und Ziemeck (2006). Davon gilt es trotz synonymen Begrifflichkeit das *Offene Experimentieren* nach Reinhold (1996) zu unterscheiden. Offenes Experimentieren wird teilweise auch als *Freies Experimentieren* bezeichnet (Peschel, 2009), wozu das *Freie Explorieren und Experimentieren* (Köster, 2006; Köster & Galow, 2014) mindestens als begriffsnah gelten kann, wenngleich es einer anderen Theoriefamilie (*Discovery-Based Learning*) zuzuordnen ist. Das *Entdeckende Experimentieren* (Emden & Baur, 2017) wurde in dieser Sammlung ergänzt, da es sich explizit auf *Scientific Inquiry-Based Learning* bezieht und von den *NAW* und dem *Forschenden Lernen* abgrenzt.

### 2.2.2 Theoriefamilie *Discovery-Based Learning*

Zahlreiche der *inquiry*-orientierten Unterrichtskonzepte (J. Mayer & Ziemeck 2006; T. Bell, 2007; Höttecke, 2010) beziehen sich in ihrer inhaltlichen Herleitung auf den *forschend-entwickelnden Unterricht* (Schmidkunz & Lindemann, 1979/1992), der sich wiederum unter anderem auf das *Discovery-Based Learning* zurückführen lässt. Daher kann er als Brücke zwischen den *Inquiry*-geprägten Ansätzen und den Ansätzen des *Discovery-Based Learning* verstanden werden. Erstere sind dadurch charakterisiert, dass sie in der Regel zu einer aus den Fachwissenschaften idealisierten Prozessstruktur anleiten wollen. Letztere betonen stärker Motivations- und lehr-lernpsychologische Theorien, in denen die individuelle Bildung kognitiver Strukturen im Fokus steht, die durch die Lehrkraft optimalerweise nur begleitet wird (Bruner, 1961).

Fortschreibungen des *Discovery-Based Learning* finden sich im *Scientific Discovery Learning* (de Jong & van Joolingen, 1998) sowie darauf aufbauend dem *Selbstständig entdeckenden Experimentieren* (Göbbling, 2010). Diese drei Ansätze sind jedoch weniger als Unterrichtskonzepte für die Schulpraxis, sondern vielmehr als Versuche zu verstehen, das naturwissenschaftliche

<sup>3</sup> Barron und Darling-Hammond (2010) schlagen drei Theoriefamilien vor: *Problem-Based*, *Project-Based* und *Design-Based Learning*. Hier wird dem Vorschlag Hood Cattaneos (2017) gefolgt, da sie zeigen kann, dass die fünf pädagogischen Ansätze theoretisch gut voneinander trennbar sind.

„Entdecken“ lernpsychologisch zu beschreiben, weswegen diesen drei Ansätzen im Folgenden nicht weiter nachgegangen wird. Als Vertreter des *Discovery-Based Learning* wird das *Freie Explorieren und Experimentieren*

(Köster, 2006; Köster & Galow, 2014) verstanden, da dies den durch die Lernenden selbst gesteuerten Entdeckungsprozess fokussiert und die Rolle der Lehrenden auf eine Lernbegleitung reduziert.

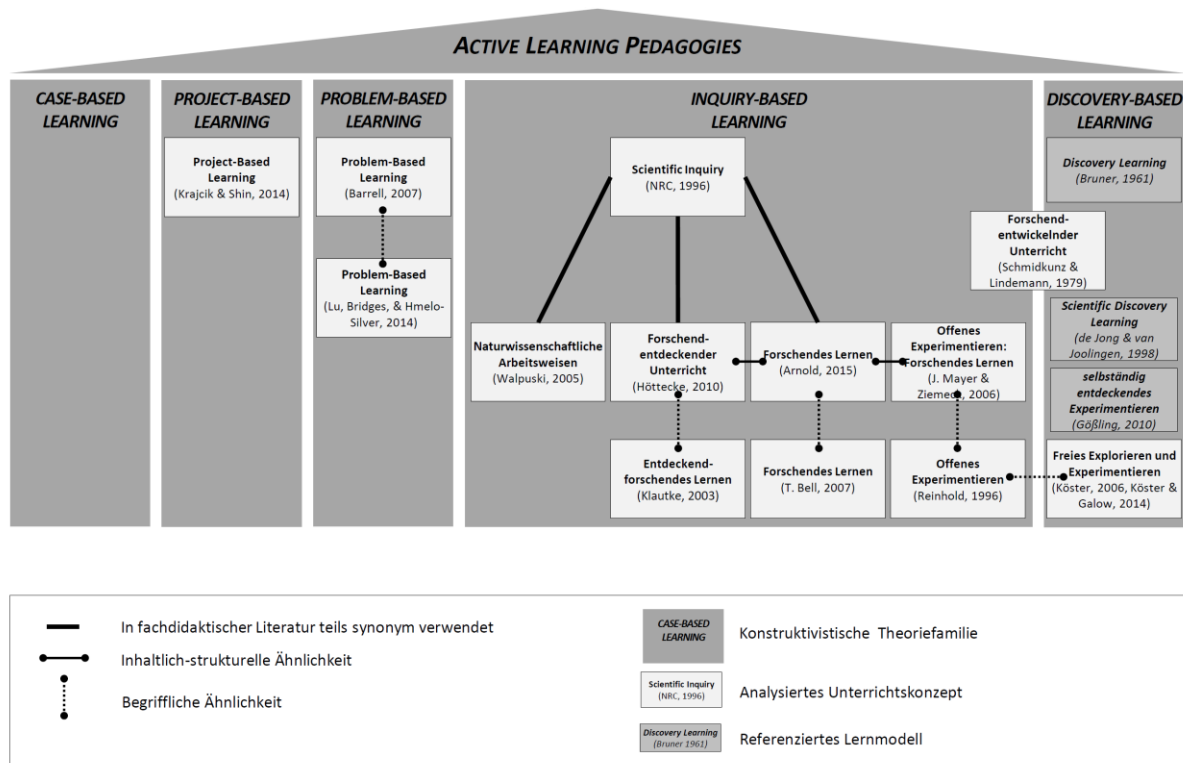


Abbildung 1. Einordnung der identifizierten Unterrichtskonzepte in die von Hood Cattaneo (2017) identifizierten Theoriefamilien *Case-Based*, *Project-Based*, *Problem-Based*, *Inquiry-Based*, und *Discovery-Based Learning*

### 2.2.3 Theoriefamilien *Project-Based Learning*, *Problem-Based Learning* und *Case-Based Learning*

Zu den drei verbleibenden Theoriefamilien konnten wenige Unterrichtskonzepte zum Experimentieren identifiziert werden, weshalb die Darstellung zusammenfassend erfolgt.

*Project-Based Learning* und *Problem-Based Learning* finden in der vorliegenden Analyse in jenen gleichnamigen Unterrichtskonzepten Berücksichtigung, die sich aus diesen Theoriefamilien (Großmethoden) ableiten und die explizit das Experimentieren berücksichtigen. Das *Case-Based Learning* wird im fachdidaktischen Diskurs und der Unterrichtspraxis nur randständig behandelt (Hood Cattaneo, 2017), kein zum Experimentieren gehöriges Unterrichtskonzept konnte gefunden werden.

Abbildung 1 führt vor Augen, dass Unterrichtskonzepte zum aktiven Lernen in den Naturwissenschaften

schwerpunktmäßig im Bereich des *Inquiry Based Learning* vorgeschlagen worden sind und sich dieser Fokus geschichtlich zum Teil auf Ansätze des *Discovery Based Learning* zurückführen lässt. Es fallen ferner vielfältige Synonyme sowie strukturelle und begriffliche Ähnlichkeiten der Unterrichtskonzepte untereinander auf. Dies lässt die kritische Frage zu, inwiefern es sich um jeweils originäre Unterrichtskonzepte handelt oder ob es sich in der Mehrheit lediglich um Übersetzungen aus anderen Sprach- bzw. Fachkulturen handelt. Angesichts der teils fein-nuancierten Benennung, die bewusst als Unterscheidungsmerkmal gewählt worden ist, gehen wir davon aus, dass die Autorinnen und Autoren in der Regel wenigstens den Anspruch auf eine teilweise Originalität erheben. Eine alternative Interpretation, dass die Unterrichtskonzepte fließend ineinander übergehen und nicht trennscharf voneinander zu differenzieren sind, erscheint gleichermaßen valide, würde hier jedoch den Anspruch auf Orientierung aufgeben.

Wie bereits erwähnt, ist die so zusammengestellte Auswahl unvollständig und angreifbar – es ist aber, nach Wissen der Autoren, der erste Versuch überhaupt, hier

einen umfassenderen Überblick über die für die Sekundarstufe des deutschsprachigen Naturwissenschaftsunterrichts propagierten Unterrichtskonzepte zu schaffen.

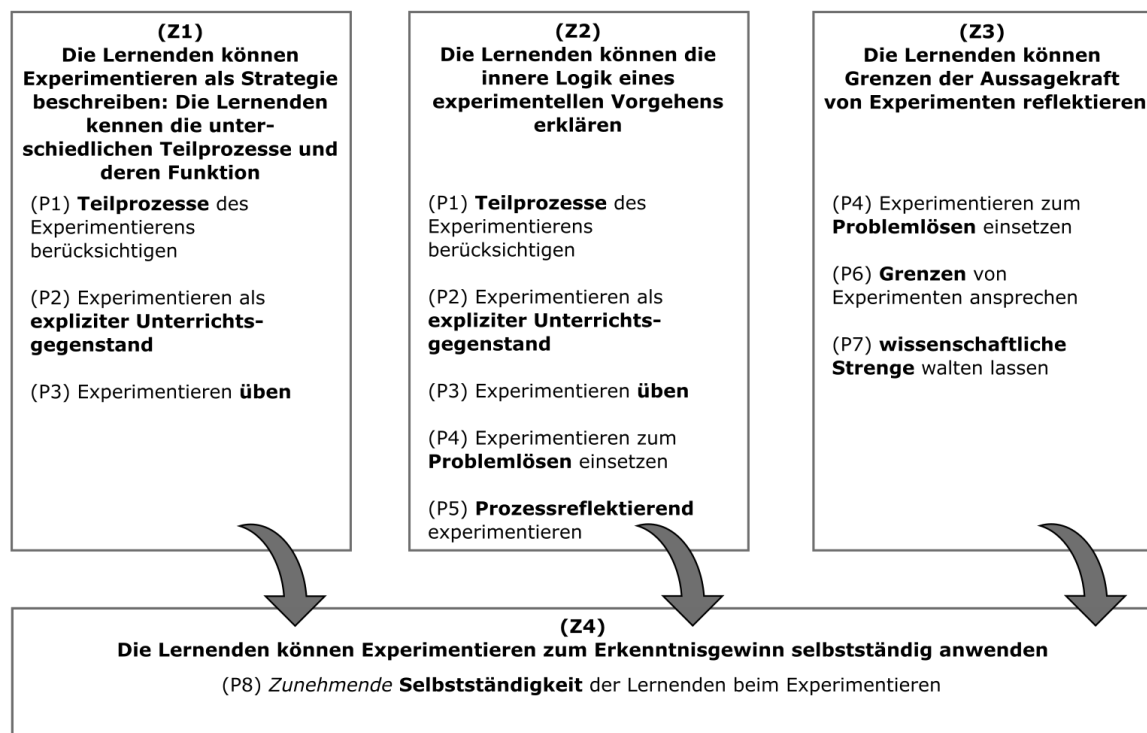


Abbildung 2. Die acht Unterrichtsprinzipien (P), den vier übergreifenden Unterrichtszielen (Z) zugeordnet (nach Baur et al., 2019, S. 19)

### 3 Analyse Kriterien

Die Analyse der untersuchten Unterrichtskonzepte basiert im Folgenden auf den in Baur et al. (2019) herausgearbeiteten Unterrichtsprinzipien:

Eine multiperspektivische Begründung des Experimentierens bildete bei der Analyse den Hintergrund für die Formulierung von Lehr-Lern-Zielen (Z1–Z4). Aus den Zielen wurden in der Folge Unterrichtsprinzipien zum Experimentieren abgeleitet. Als Unterrichtsprinzipien [P] wurden 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) ‚Zunehmende Selbstständigkeit der Lernenden beim Experimentieren‘<sup>4</sup> (vgl. Abb. 2).

Es ist darauf hinzuweisen, dass in der folgenden Analyse bei der Anwendung dieser Unterrichtsprinzipien auf die einzelnen Unterrichtskonzepte vergleichsweise streng mit den zitierten Arbeiten umgegangen worden ist – spricht eine Arbeit ein Prinzip nicht explizit an (z. B. *zunehmende* Selbstständigkeit in P8), gilt es in dieser Analyse als nicht erfüllt. Damit wird gleichzeitig anerkannt, dass vorgängige Autorinnen und Autoren Prinzipien wie ‚Üben‘ (P3) oder ‚Einführen‘ (P2) als allgemeindidaktischen *common sense* der Erwähnung nicht für nötig gehalten haben mögen – angesichts der bei bspw. Furtak et al. (2012) berichteten Ausfaserung des *Scientific Inquiry*-Konzepts im Schulalltag muss aber jeder angenommene *common sense* kritisch hinterfragt werden, sodass hier die angeführte Strenge waltet.

<sup>4</sup> Baur et al. (2019) beschreiben dies als „Prinzip zum Aufbau *zunehmender* Selbstständigkeit“ (S. 18, unsere Hervorhebung), da ihr Fokus auf einer schrittweisen Hinführung der Lernenden zum erkenntnisorientierten Experimentieren liegt – das in der Originalabbildung weggelassene, wenngleich im Rahmen dieses Artikels bedeutsame Adjektiv ‚zunehmend‘ wird hier zur Klarheit in der Abbildung ergänzt und auch für die weitere Analyse als wesentlich verstanden.

Denn eben jene Leerstellen in einer Darstellung lassen auch die Interpretation zu, dass sie im Unterricht nicht gefüllt werden müssen.

Bei der Besprechung der einzelnen Unterrichtskonzepte wurden wo möglich die Originalarbeiten, oder im Falle von *Problem-Based Learning*, *Project Based Learning* und *Scientific Inquiry* im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts stark rezipierte Vertreter ausgewählt. Die Bezugnahme auf die jeweiligen Originalarbeiten soll eine möglichst große Trennschärfe zu anderen Konzepten gewährleisten, die im Lauf der Zeit durch Abschleifungen, Verschmelzungen mit anderen Konzepten oder begrifflichen Verkürzungen sonst verloren werden könnten. Die in die Analyse einbezogenen Arbeiten finden sich in Tabelle 1. Sofern den Autoren bekannt, wurden weitere, die Unterrichtskonzepte ausdifferenzierende Quellen einbezogen, wenn eine strenge Bewertung besonders diskutabel erschien<sup>5</sup>. Gleichwohl besteht in der vorliegenden Analyse damit die Gefahr, dass aufgrund der getroffenen Quellenwahl einzelne Bewertungen nicht allgemein konsensfähig sind und es alternative Deutungen der Unterrichtskonzepte gibt. Letzteres wäre charakteristisch für den *primus motor* der vorliegenden Studie und würde so das allgemeine Vorgehen bestätigen.

#### 4. Vorstellung und Analyse von Unterrichtskonzepten zum Experimentieren

Die Reihenfolge und Auswahl der thematisierten Unterrichtskonzepte versucht chronologisch vorzugehen, um Entwicklungslinien nachzeichnen zu können (s. a. Abb. 1). Dies kann aufgrund der Gleichzeitigkeit zahlreicher Neu- und Weiterentwicklungen von Unterrichtskonzepten jedoch nur als Ideal angestrebt werden; in Einzelfällen wird die Linearität einer Artikelstruktur daher die Synchronizität der Unterrichtskonzepte nicht abbilden können.

Im Folgenden werden die in Abbildung 1 zusammengestellten Unterrichtskonzepte zum Experimentieren<sup>6</sup> vorgestellt und hinsichtlich ihrer Berücksichtigung der in Abbildung 2 aufgeführten Unterrichtsprinzipien analysiert.

##### 4.1 Project-Based Learning (ab etwa 1965)

Die Ursprünge des *Project-Based Learning* liegen in der US-amerikanischen reformpädagogischen Bewegung und können im Schulkontext bis auf Dewey (1916) und seinen Schüler Kilpatrick (1918) zurückgeführt werden. Internationale Verbreitung findet das Konzept ab Mitte der 1960er-Jahre (Knoll, 1997). Es gibt eine Vielzahl von Definitionen, jedoch keine allgemein anerkannte Theorie (Thomas, 2000). Charakteristische Elemente des Konzepts, die wiederholt zur Definition herangezogen werden, sind: anspruchsvolle Fragen oder Probleme, das selbstständige Planen und untersuchende Aktivitäten durch die Lernenden, autonomes Arbeiten der Lernenden, ausgedehnte Dauer des Lehr-Lernprozesses, Produktorientierung, authentische Inhalte sowie authentische Prüfungen, kooperatives Lernen, Reflexion, die Adressierung lebensnaher Fertigkeiten, Unterstützungsangebote durch die Lehrperson sowie das Behandeln expliziter Bildungsziele (Kokotsaki, Menzies & Wiggins, 2016).

Im Folgenden wird *Project-Based Learning* nach Krajcik und Shin (2014) in der Tradition von Blumenfeld et al. (1991) und Krajcik et al. (1994) analysiert, da es einerseits die meisten von Kokotsaki et al. (2016) geforderten Elemente enthält und andererseits explizit naturwissenschaftliche Kontexte fokussiert und die Einbindung experimenteller Ansätze vorsieht.

Zentrale curriculare Themenbereiche und Konzepte werden im Lehr-Lernprozess durch eine treibende Fragestellung (*driving question*), die aus einem authenti-

<sup>5</sup> So ist das NAW-Konzept seit seiner ersten Darstellung in Walpuski (2006) in zentralen Aspekten im Rahmen der Forschergruppe und des Graduiertenkollegs *nwu-essen* (Fischer & Sumfleth, 2013) immer weiter ausdifferenziert worden. Da es sich dabei um konsensuale Weiterentwicklungen gehandelt hat, erscheint die Engführung auf die Originalquelle nicht opportun.

<sup>6</sup> Da der Großteil der publizierten Unterrichtskonzepte sich des umfassenderen Konzepts der Erkenntnisgewinnung annimmt und sich nicht explizit auf eine Erkenntnismethode beschränkt (z. B. das Experimentieren), werden im Folgenden die Konzepte hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf das naturwissenschaftliche Experimentieren untersucht. Es wird dabei angenommen, dass das unterlegte Konzept ‚Erkenntnisgewinnung‘ in all seinen Merkmalen auf jede einzelne Erkenntnismethode anwendbar sein muss. Insofern wird in der Folge immer wieder vom Experimentieren die Rede sein, im Bewusstsein, dass die vorgestellten Unterrichtskonzepte teils allgemeiner orientiert sind. Dies wird in den Analysen zu berücksichtigen sein.

schen Problem erwächst, exemplarisch erschlossen. Anhand dieser Fragestellung sollen Lernende, durch Lehrende im Sinne eines *Scaffolding* (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007) geführt, das Vorgehen sowie ggf. Experimente planen, Informationen sammeln sowie analysieren. Abschließend sollen sie Schlussfolgerungen ziehen und Ideen kommunizieren. In diesem Prozess werden die Lernenden zum Entwickeln von Produkten aufgefordert. Den Lernenden ist es dabei erlaubt, eigene Untersuchungen (z. B. Experimente) durchzuführen. Dabei werden sie ermutigt, zur Lösung des Problems auch technische Werkzeuge anzuwenden, wie etwa Simulationsprogramme oder Augmented Reality-Apps (Krajcik & Shin, 2014), um das Verständnis zu fördern. Das durch die aufgeworfene Fragestellung entstandene Problem lösen die Lernenden in Kollaboration mit Lehrenden und weiteren Mitgliedern der Wissensgemeinschaft (z. B. Hochschulangehörige).

Zwar werden beim *Project-Based Learning* Teilprozesse (P1) benannt, diese orientieren sich jedoch an einem verallgemeinerten Problemlöseprozess und nicht speziell an der experimentellen Methode<sup>7</sup>. Das Prinzip P4 (‘Problemlösen’) wird in diesem Konzept durch das Entwickeln problembezogener Produkte verwirklicht. Eine Berücksichtigung der weiteren geforderten Prinzipien (vgl. Abb. 1) ist aufgrund der weiten Definition des Konzepts nicht sicher ablesbar. Sie können gleichermaßen zur Wirkung gebracht werden wie auch unangesprochen bleiben.

#### 4.2 Problem-Based Learning (ab 1969)

*Problem-Based Learning* unterscheidet sich von *Project-Based Learning* vor allem durch eine fehlende Produktorientierung, eine meist ausgedehntere Projektdauer sowie dadurch, dass das Erlernen des Problemlöseprozesses selbst explizites Bildungsziel ist (Kokotsaki et al., 2016).

*Problem-Based Learning* (Hmelo-Silver, 2004; Lu, Bridges & Hmelo-Silver, 2014) hat seine Wurzeln in der Medizinerbildung in den USA. Es war als Methode gedacht, Studierende dazu zu befähigen, Diagnosen zu Krankheitsbildern zu stellen, die realistischerweise die Form von *ill-defined problems* annehmen und sich so einer algorithmischen Problemlösung entziehen

(Weber, 2007). Daher ist *Problem-Based Learning* bzgl. seiner Umsetzungsformen offen angelegt; Leitmotive dieses Unterrichtskonzepts sind das Lernen im anwendungsbezogenen Kontext, das Aufzeigen interdisziplinärer Verbindungen, das Anknüpfen an Vorwissen sowie die Befähigung zum selbstständigen Wissensmanagement und *doing science* in kooperativer Gruppenarbeit. Barell (2007) definiert *Problem-Based Learning* als *Inquiry Process*, welcher Fragen, Zweifel und Unsicherheiten über komplexe Phänomene der Lebenswelt auflöst. Es ist damit ein Unterrichtskonzept, das Lernende herausfordert, sich intensiv mit der Suche nach Antworten auf ihre *eigenen* Fragen zu beschäftigen. *Problem-Based Learning* nach Lu et al. (2014) schlägt einen generalisierten Problemlösezyklus vor (vgl. Abb. 3).

Die Lernenden sollen in diesem Problemlösezyklus selbstgesteuert handeln und ihr Wissen auf ein Problem beziehen, um abschließend das gewonnene Wissen und die Effektivität ihrer Strategie zu reflektieren.

Die im Problemlösezyklus nach Lu et al. (2014) vorgegebenen Teilprozesse beschreiben nicht wie in P1 dargestellt den Experimentierprozess, sondern aufgrund der prinzipiell vielfältig möglichen Problemlösestrategien einen verallgemeinerten Erkenntnisprozess. Eine Diskussion der methodischen Vorgehensweise zur Erkenntnisgewinnung (P2 ‘expliziter Unterrichtsgegenstand’) ist nicht explizit vorgesehen, ebenso wie das Einüben der experimentellen Methode (P3). Das Prinzip P4 (‘Problemlösen’) wird voll erfüllt. Eine Reflexion der *Ergebnisse* findet über den Verlauf des Problemlösezyklus‘ statt, eine Reflexion der *Methode* (P5) ist allenfalls implizit vorgesehen. Das Aufzeigen von Grenzen und Unsicherheiten (P6), die Einhaltung wissenschaftlicher Strenge (P7) sowie eine zunehmende Selbstständigkeit (P8) werden im Konzept nach Lu et al. (2014) nicht benannt. Eine zunehmende Selbstständigkeit findet sich hingegen im *Problem-Based Learning* nach Barell (2007); er schlägt drei sich auseinander entwickelnde Realisierungsformen vor: *Teacher-Directed*, *Teacher-Student Shared* und *Student-Directed Inquiry*.

<sup>7</sup> Baur et al. (2019) und Baur & Emden (2020) führen aus, dass eine Strukturierung des Experimentierens in Teilprozessen (‘experimentelle Methode’) immer eine idealisierende Reduzierung darstellt, die nicht mechanistisch fehlinterpretiert werden darf. Der Terminus ‘experimentelle Methode’ findet hier Verwendung der besseren Lesbarkeit halber; er erhebt keinen Exklusivitätsanspruch (vgl. Lederman 2007, Lederman & Lederman, 2012) und er will nicht den Methodenpluralismus naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung leugnen.



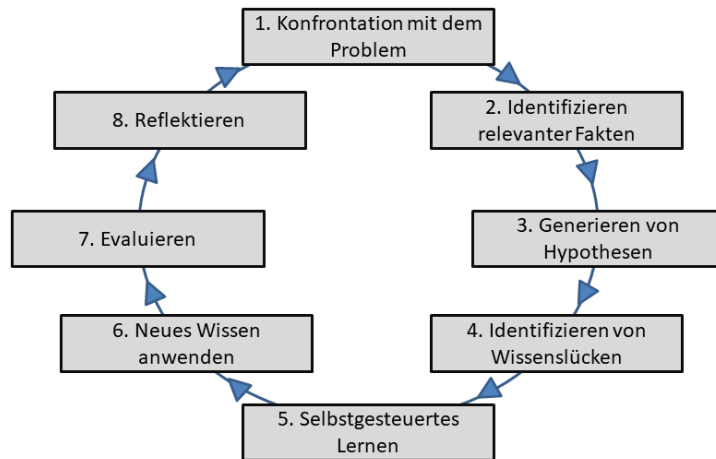


Abbildung 3. Problemlösezyklus nach Lu et al. (2014, basierend auf Hmelo-Silver, 2004 – eigene Darstellung): Lernende werden zu Beginn mit einem Problem konfrontiert. Das Identifizieren relevanter Fakten dient dazu, den Kern des Problems offenzulegen. Nachdem das Problem klar bestimmt wurde, werden Hypothesen zu möglichen Lösungen generiert. Darauf folgt das Identifizieren von Wissenslücken bezüglich des Problems. Das Füllen dieser Wissenslücken ist die Triebfeder für eine Phase selbst gesteuerten Lernens. Anschließend wenden die Lernenden ihr neues Wissen an und bewerten ihre Hypothesen im Hinblick auf das Gelernte. Am Ende reflektieren sie, was sie gelernt haben

Es ist zu betonen, dass die Analyse der Methode im Kontext universitärer Medizinerbildung (vgl. Weber, 2007) zu wahrscheinlich anderen Einschätzungen führt (z. B. hinsichtlich P7), die für den Fokus dieses Beitrags auf den naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufen im deutschsprachigen Raum jedoch als nicht zielführend verstanden werden.

#### 4.3 Forschend-entwickelnder Unterricht (seit 1976)

Das Unterrichtskonzept *Forschend-entwickelnder Unterricht* (Schmidkunz & Lindemann, 1976/1992) schlägt sieben allgemeine Prinzipien zur Gestaltung der Lehr-Lernumgebung des naturwissenschaftlich-experimentellen Unterrichts vor: „Lernen aus Interesse“, „hohe Eigenaktivität beim Wissenserwerb“, „Erfolgserlebnis“, „Lernen aus Problemsituationen“, „Einbeziehung aller Fähigkeitsbereiche“, „Strukturierung“, „Genetisches Lernen“.

Die Strukturierung des Lehr-Lernprozesses erfolgt dabei auf Grundlage von fünf pädagogisch und lernpsychologisch begründeten Denk- bzw. Lernstufen

(Schmidkunz & Lindemann, 1976/1992), die nacheinander durchlaufen werden (vgl. Abb. 4).

Basierend auf den genannten Prinzipien und orientiert an den Denkstufen stehen besonders die eigene Aktivität und das selbstständige Suchen nach neuen Erkenntnissen durch die Lernenden im Fokus des Lernprozesses. Die Lehrkraft soll den Lern- und Forschungsprozess bei den Lernenden entwickeln, sprich: ihn einleiten, weiterführen und aufrechterhalten. Das Experiment wird dabei als eine mögliche Methode zur Problemlösung verstanden, sodass das Unterrichtskonzept nicht als allein experimenteller Ansatz misszuverstehen ist. Sowohl das Prinzip P1 (‘Teilprozesse’) als auch das „Prinzip der Strukturierung“ beschreiben einen geordneten Handlungsablauf beim Problemlösen. Während jedoch das Prinzip P1 den Problemlöseprozess anhand der experimentellen Methode vorsieht, orientieren sich Schmidkunz und Lindemann bei der Strukturierung an universalen Denkstufen der Lernenden, die nicht auf eine spezialisierende Problemlösemethode beschränkt sind. Dies ist aus lernpsychologischer Perspektive folgerichtig, da insbesondere junge Lernende nicht von

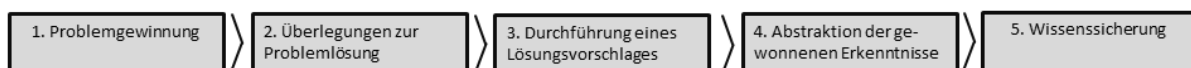


Abbildung 4. Zeitliche Folge der Denkstufen nach Schmidkunz und Lindemann (1976/1992 – eigene Darstellung)

sich aus in einer domänenspezifischen Epistemologie denken. Gleichzeitig ist hinsichtlich des Experimentierens jedoch diskutabel, ob Lernende sich ein epistemologisches Methodenverständnis weitgehend selbst erschließen können (vgl. z. B. Kirschner, Sweller & Clark, 2006), so wie es nach Schmidkunz und Lindemann notwendig werden könnte. Selbst in moderat-konstruktivistischen Ansätzen bedarf es einer expliziten Orientierung am äußeren Maßstab (d. h. eines konsensualen Verständnisses der Strukturierung des Experimentierprozesses), sodass es zum erfolgreichen Lernen kommen kann (*guided inquiry*: s. a. R. Mayer, 2004; Kirschner et al., 2006). Eine zwanglose Gleichsetzung von Teilprozessen des Experimentierens mit aus dem Konstruktivismus abgeleiteten Denkstufen erscheint mindestens fraglich; insbesondere da ein Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden explizit vermittelt werden muss (vgl. Bevins & Price, 2016).

Die Berücksichtigung aller Teilprozesse (P1), die Fokussierung auf die methodische Vorgehensweise (P2 ‚expliziter Unterrichtsgegenstand‘), die Beachtung der Vorläufigkeit des Wissens, die Unsicherheiten der Methode (P6) sowie die Achtung wissenschaftlicher Strenge (P7) finden in diesem Unterrichtskonzept keine vertiefende Beachtung, aufgrund der Fokussierung auf die ablaufenden Lernprozesse anstelle eines Fokus‘ auf einen äußeren, epistemologischen Referenzrahmen. Das explizite Einüben methodischer Fähigkeiten zum Experimentieren (P3) findet sich in diesem Unterrichtskonzept, welches vordergründig als Konzept der Problemlösung und erst nachgeordnet als Konzept zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen verstanden werden möchte, ebenfalls nicht. Das Prinzip P4 (‚Problemlösen‘) steht dem ‚Prinzip des Lernens aus Problemsituationen‘ nahe. Eine Reflexion der experimentellen Methode als Methode der Problemlösung und Erkenntnisgewinnung (P5, ‚Prozessreflexion‘) ist nicht explizit vorgesehen. Das Prinzip P8 (‚zunehmende Selbstständigkeit‘) wird bei Schmidkunz und Lindemann als Forderung nach hoher Eigenaktivität beim Wissenserwerb aufgegriffen. Eine *zunehmende* Selbstständigkeit, wie in P8 gefordert, ist jedoch nicht beschrieben.

#### 4.4 Forschendes Lernen (seit 1970)

Im Jahr 1970 betonte die Bundesassistentenkonferenz [BAK] das *Forschende Lernen* als maßgebliche hochschuldidaktische Methode (Huber, 2018), in der das

Lernen durch eine Orientierung an *authentischen* Forschungsprozessen erfolgen sollte (BAK, 1970/2009). Explizit wurden damit alle „Enttäuschungen, Risiken und Langwierigkeiten, die zum Forschen gehören“ (BAK, 1970/2009, S. 13) im Hinblick auf zukünftige Ansprüche an den akademischen Nachwuchs in den Lernprozess mit einbezogen. Darauf folgten weitere Definitionen für den universitären Kontext (Huber, 2018). Im schulischen Kontext hingegen findet der Begriff häufig Anwendung als freie Übersetzung des Terminus‘ *Scientific Inquiry* (Höttecke, 2010; Arnold, 2015), der in den Abschnitten 4.5.1 bis 4.5.2 diskutiert wird.

Durch diese synonyme Bezugnahme auf verschiedene Traditionen wurde der Begriff *Forschendes Lernen* im fachdidaktischen Diskurs mit unterschiedlichen Bedeutungsgehalten belegt, wodurch ein uniformer Methodenbegriff nicht mehr gegeben scheint. So kommen auch Martius, Delvenne und Schlüter (2016) in einer Analyse von Unterrichtskonzepten zum *Forschenden Lernen* zu dem Schluss, dass zwar alle von ihnen untersuchten Konzepte eine starke Orientierung an den Teilprozessen des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns aufweisen, andererseits aber auch jedes Konzept jeweils weitere spezifische Charakteristika umfasst.

Im Folgenden werden exemplarisch vier Interpretationen des *Forschenden Lernens* – nach Klautke (2003), T. Bell (2007), Höttecke (2010) und Arnold (2015) – skizziert und mit Blick auf die herausgearbeiteten Unterrichtsprinzipien (Abb. 2) besprochen. Die ursprünglich dem *Forschenden Lernen* zentral einbeschriebene Orientierung an authentischen (Forschungs-)Kontexten (BAK, 1970/2009) findet sich in den vier Konzepten allenfalls rudimentär.

##### 4.4.1 Entdeckend-forschendes Lernen – Klautke (2003)

Das *Entdeckend-forschende Lernen* will als Unterrichtskonzept Lernendenorientierung, induktiv experimentelles Arbeiten und Problem- sowie Handlungsorientierung miteinander vereinen (Klautke, 2003). Dazu wird ein Artikulationsschema vorgeschlagen, an welchem sich der Erkenntnisprozess orientieren soll (Abb. 5): Ausgangspunkt einer Untersuchung sind direkte Naturbegegnungen oder Vorerfahrungen der Lernenden. Diese führen zu einer Problemfrage, welche für die Lernenden wiederum Ausgangspunkt für das Äußern von Vermutungen und Vorhersagen ist. Auf Basis der Vermutungen überlegen sich die Lernenden eigene Lösungsversuche, welche sie in der anschließenden Erkundungsphase – im Idealfall durch ein Experiment –

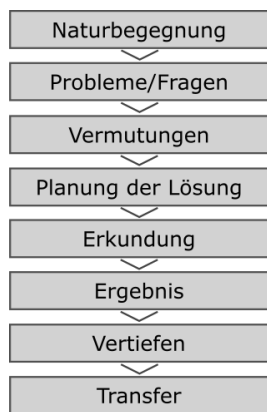


Abbildung 5. Artikulationsschema des *Entdeckend-forschenden Lernens* (Kloutke, 2003 – eigene Darstellung)

umsetzen. Es folgt die Interpretation der Ergebnisse und die Klärung sowie Fixierung des Gelernten, bevor eine Ausweitung auf weitere Phänomene und Verknüpfung mit bestehendem Wissen erfolgt. Bei diesen beiden Schritten bedarf es aufgrund des kognitiv gesteigerten Anspruchs der Hilfe und Unterstützung der Lehrkraft.

Das *Entdeckend-forschende Lernen* nach Kloutke (2003) erfüllt die Prinzipien P1 (‘Teilprozesse’) und P4 (‘Problemlösen’). Eine Einführung und Besprechung der experimentellen Methode (P2), eine Prozessreflexion (P5) sowie Reflexion der Grenzen und Unsicherheiten (P6) gewonnener Erkenntnisse ist nicht vorgesehen. Die zunehmende Selbstständigkeit (P8) wird in diesem Konzept nicht formuliert, vielmehr wird die Methode implizit als bei den Lernenden bekannt vorausgesetzt. Wissenschaftliche Strenge (P7) wird – auch aufgrund des potenziell hohen Freiheitsgrades in der Phase der ‘Erkundung’ – nicht explizit eingefordert.

Das gezielte Einüben des Experimentierens (P3) wird nicht dargestellt.

#### 4.4.2 *Forschendes Lernen* – T. Bell (2007)

Das *Forschende Lernen* nach T. Bell (2007) beschreibt einen Zyklus (Abb. 6) aus zwölf aufeinanderfolgenden Phasen, welche jedoch keinem starren Muster folgen. Vielmehr erlaubt der ‘kreative Forschungsprozess’ Sprünge im Zyklus. Die Lernenden sollen beim *Forschenden Lernen* selbstständig in Lerngruppen oder in Einzelarbeit einen Entdeckungsprozess durchlaufen. Dabei muss die Untersuchung nicht in jedem Fall experimentell erfolgen, auch eine theoretische Analyse oder die Analyse historischer Daten werden als valide Untersuchungen verstanden. Hinsichtlich des Experimentierens sind beim *Forschenden Lernen* nach T. Bell (2007) die Prinzipien P1 (‘Teilprozesse’) und P4 (‘Problemlösen’) als gegeben zu verstehen. Eine Prozessreflexion (P5) ist im Kern gegeben, wobei sich dies nicht auf Aspekte der Epistemologie beziehen lassen muss, da allein von einer ‘Bewusstmachung der durchlaufenen Arbeitsprozesse’ (T. Bell, 2007, S. 77) gesprochen wird: Der Anspruch *Forschenden Lernens* auf Routinebildung setzt die wissenschaftstheoretische Legitimation der Methode voraus und erklärt die entsprechend untergeordnete Stellung der Prozessreflexion. Die explizite Behandlung (P2) sowie das gezielte Einüben des Experimentierens (P3), eine Reflexion der Grenzen und Unsicherheiten (P6) sowie die zunehmende Selbstständigkeit (P8) werden in diesem Konzept nicht formuliert, da die Methode prinzipiell als vorausgesetzt und damit selbstständig nutzbar angenommen wird. Obwohl als *Forschendes Lernen* bezeichnet, wird wissenschaftliche Strenge (P7) nicht explizit eingefordert.

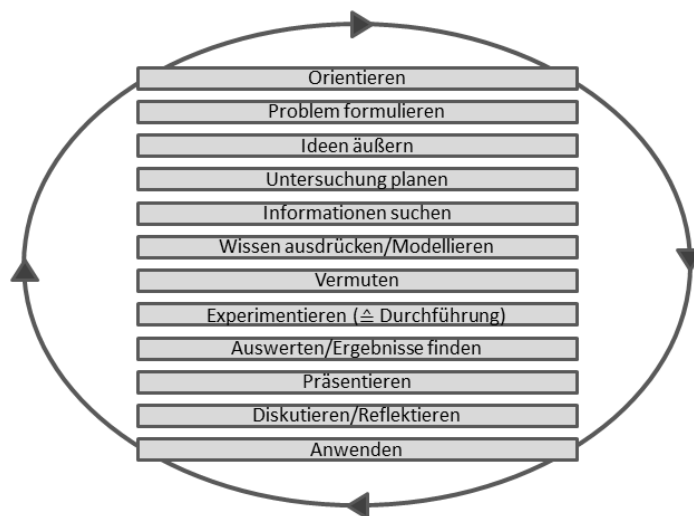


Abbildung 6. Modell des *Forschenden Lernens* (T. Bell 2007 – eigene Darstellung)

#### 4.4.3 Forschend-entdeckendes Lernen – Höttecke (2010)

Höttecke (2010) entwickelt das Unterrichtskonzept des *Forschend-entdeckenden Lernens* hinsichtlich eines selbstbestimmten, handlungsorientierten Prozesses, welcher das Aneignen von für die Lernenden neuem Wissen („entdeckendes Lernen“) in einer forschungsförmig gestalteten Lehr-Lernumgebung („forschendes Lernen“) beschreibt. Ausgangspunkt eigener Untersuchungen, etwa mittels Beobachtung oder Experiment, ist eine (selbst) gestellte naturwissenschaftliche Fragestellung oder ein Problem. Messergebnisse werden sachgerecht aufgenommen, dargestellt, analysiert und diskutiert. Erklärungen werden abgeleitet und in Bezug zu vorhandenem Wissen gesetzt. Dieser Prozess soll durch eine Reflexion vor dem Hintergrund der Natur der Naturwissenschaften (*Nature of Science*, NoS) epistemologisch begleitet werden. Eine den Kompetenzständen angemessene Öffnung einzelner Teilprozesse der Untersuchung wird gefordert.

Das *Forschend-entdeckende Lernen* erfüllt sieben der acht aufgestellten Prinzipien (P1, P2, P4, P5, P6, P7, P8) voll. Das Prinzip P3 („Üben“) ist im Konzept selbst jedoch nicht verankert, durch die *schrittweise* Öffnung einzelner Teilprozesse aber wenigstens impliziert.

#### 4.4.4 Forschendes Lernen – Arnold (2015)

Arnold (2015) beschreibt *Forschendes Lernen* als konstruktivistische, kollaborative, problemorientierte und lernendenzentrierte Unterrichtsmethode, welche dem Erwerb von Fachwissen, wissenschaftsmethodischen Kompetenzen und Problemlösefähigkeiten dienen soll. Ausgehend von einem authentischen Problem werden Fragestellungen und Hypothesen abgeleitet, Untersuchungen geplant und (wiederholt) durchgeführt, die gewonnenen Daten ausgewertet und sowohl das Vorgehen als auch die Daten kritisch reflektiert und diskutiert. Die Lernenden agieren über den gesamten Prozess weitgehend selbstgesteuert, die Lehrperson tritt im Optimalfall als Moderator und Hilfegeber auf. Diese Definition *Forschenden Lernens* steht inhaltlich den *Naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen* nach Wahser (2007, S. 4.5.2) näher als der an authentischen Forschungskontexten orientierten Tradition des Forschenden Lernens.

*Forschendes Lernen* nach Arnold (2015) erfüllt die Prinzipien P1 („Teilprozesse“) und P4 („Problemlö-

sen“). Die explizite Vermittlung des methodischen Vorgehens (P2) wird im Aufbau „wissenschaftsmethodischer Kompetenzen“ avisiert. Eine Prozessreflexion (P5) ist zwar vorgesehen, doch wird die ‚innere Logik‘ der experimentellen Methode – ebenso wie ein fokussiertes Üben (P3) – allenfalls implizit thematisiert. Das Unterrichtskonzept legt Wert auf den kritisch-reflektierten Umgang mit den gewonnenen Ergebnissen (P6, ‚Grenzen‘) und auf wissenschaftliche Strenge (P7). Eine Selbstständigkeit der Lernenden wird gefordert, wenngleich der Weg dahin nur randständig behandelt wird (P8).

#### 4.5 Scientific Inquiry und Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen (seit 1990)

Aufbauend auf dem kognitionspsychologischen Modell des *Scientific Discovery as Dual Search*, in dem naturwissenschaftsauffindende Erkenntnisgewinnung als koordinierter Suchprozess in zwei mentalen Räumen beschrieben wird, der bei einer Problemlösung durchlaufen wird (Klahr & Dunbar, 1988), haben de Jong und van Joolingen (1998) das lehr-lern-psychologische Modell des *Scientific Discovery Learning* abgeleitet. Dies spricht konkret den Erkenntnisprozess beim Lernen von naturwissenschaftlichen Inhalten an. In einem weiteren Konkretisierungsschritt hat Gößling (2010) das Modell auf experimentelle Untersuchungen beim Lernen von Naturwissenschaften bezogen (*Selbständig entdeckendes Experimentieren*). Die Modelle sind jeweils validiert worden.

Die eigentliche Aussageabsicht aller drei Ansätze, Lernprozesse beim naturwissenschaftlichen Entdecken psychologisch zu beschreiben, verbietet eine ungefilterte Übernahme in ein Unterrichtskonzept. Doch bilden die Grundannahmen der Grobstruktur des *Scientific Discovery*-Prozesses im SDDS-Modell die Grundlage (vgl. Emden, 2011; Emden & Baur, 2017) für eine Vielzahl von Unterrichtskonzepten zum selbstständigen, problemorientierten Experimentieren (z. B. Hammann, 2004; *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen* nach Walpuski, 2006) und weisen gleichzeitig Parallelen zu Prozessdarstellungen von *Scientific Inquiry* auf (NRC, 1996).

##### 4.5.1 Scientific Inquiry

Das Konzept des *Scientific Inquiry*, das wiederum bis auf Dewey (u. a. 1910, 1938) zurückgeführt werden kann, wurde in den nationalen naturwissenschaftlichen Bildungsstandards der USA prominent definiert (NRC,

1996). Diese wurden inzwischen aufgrund von Unklarheiten bezüglich ihrer Umsetzung (Crawford, 2014; Furtak et al., 2012) zu den operationalisiert definierten *Scientific and Engineering Practices* (NRC, 2011) weiterentwickelt (Osborne, 2014). Aufgrund der starken Prägekraft des Konzepts für den internationalen *Science Education*-Diskurs wird es im Folgenden besprochen, auch wenn die *Next Generation Science Standards* der USA mittlerweile stärker auf *Scientific Practices* fokussieren (Osborne, 2014).

Lernende sollen – nach den Vorstellungen des NRC zu *Scientific Inquiry* – eine facettenreiche Erkenntnis- methode kennenlernen, die eine Vielzahl von Teilprozessen umfasst: Beobachten, Fragen stellen, Erschließen von Informationsquellen, Planen von Untersuchungen, Sammeln, Analysieren und Interpretieren von Daten, Suchen von Erklärungen, Antworten und Vorhersagen und Kommunizieren von Ergebnissen (NRC, 1996).

Das Unterrichtskonzept erlaubt, je nach Niveau der Lernenden und dem Lernziel, eine stufenweise Öffnung zwischen vollständiger Lenkung durch die Lehrperson (*Confirmation Inquiry*) und kompletter Selbststeuerung (*Open Inquiry*) (R. Bell et al., 2005; Zion & Mendelovici, 2012). An den prinzipiellen Vorschlägen zur Öffnung des Untersuchungsgangs hat sich – trotz zwischenzeitlich feinerer Ausdifferenzierungen (z. B. Jiang & McComas, 2015) – seit Schwab (1962) und Herron (1972) nichts geändert.

*Scientific Inquiry* ist ein problemorientiertes Unterrichtskonzept (P4), das nicht auf das Experimentieren beschränkt ist. Daher sind seine Teilprozesse allgemeiner gefasst als in P1 (,Teilprozesse‘) beschrieben. Aus demselben Grund können ,Vorläufigkeit und Grenzen‘ (P6), ,explizite Einführung‘ (P2), ,Einüben‘ (P3) und ,Prozessreflexion‘ (P5) als nur mittelbar gegeben verstanden werden. Wissenschaftliche Strenge (P7) wird nicht spezifisch eingefordert. Möglichkeiten, zunehmende Selbstständigkeit (P8) von Lernenden anzuleiten, wurden erst mit den Jahren skizziert (NRC, 2000; R. Bell et al., 2005; Banchi & R. Bell, 2008; Wheeler & R. Bell, 2012; Zion & Mendelovici, 2012).

#### 4.5.2 *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen (NAW) – Walpuski (2006)*

Walpuski (2006) gebraucht *Scientific Inquiry* und *Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen (NAW)* synonym (spätere Arbeiten im selben Ansatz sprechen von experimentell-naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen: Henke, 2007; naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten: Klos, 2008; Emden, 2011; Koenen, 2014). NAW beschreibt einen experimentellen Problemlöseprozess, bei dem, ausgehend von der Problemstellung, Hypothesen – allgemeiner: Ideen – formuliert werden, welche anhand eines selbst zu entwickelnden Experiments überprüft werden. Die experimentellen Beobachtungen führen zu einer Schlussfolgerung. Dies kann neue Hypothesen anregen oder den Theorieaufbau unterstützen. Das Verfahren ist am SDDS-Ansatz von Klahr und Dunbar (1988) orientiert und versteht sich als unterrichtspraktische Umsetzung des lehr-lernpsychologischen Erklärungsmodells im Rahmen von Kleingruppenarbeiten (Klos, Henke, Kieren, Walpuski & Sumfleth, 2008). Es findet eine Parallele in der von Hammann (2004) für die Biologie vorgeschlagenen Prozessbeschreibung des Experimentierens.

Der Problemlöseprozess der *Naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen* (P4 gegeben) umfasst eine Reflexion des Prozesses (P5: z. B. bei Wahser, 2007). Die Teilprozesse werden reduziert auf einen Dreischritt berücksichtigt (P1). Eine Heranführung der Lernenden an die experimentelle Methode wird durch Flussdiagramme (P2) angestrebt (z. B. Walpuski, 2006; Wahser, 2007; Koenen, 2014). Ein Üben der experimentellen Methode (P3) wird nicht explizit gefordert. Die Besprechung von Grenzen und Unsicherheiten (P6) sowie die Wahrung wissenschaftlicher Strenge (P7) sind ebenfalls nicht explizit vorgesehen. Eine Selbstständigkeit der Lernenden wird gefördert, die *zunehmende* Öffnung des Experimentierprozesses (P8) ist jedoch nicht beschrieben, da der Öffnungsgrad der Experimentdurchführung zunächst in Form der Interaktionsboxen auf *guided inquiry* fixiert wird, wobei Koenen (2016) später differenzielle Öffnungsmöglichkeiten mit Experimentierarrangements im NAW-Ansatz skizziert.

#### 4.6 Offenes Experimentieren (ab 1996<sup>8</sup>)

Der Begriff des *Offenen Experimentierens* wird als Schlagwort sowie Oberbegriff für eine Vielzahl von Unterrichtskonzepten verwendet, woraus eine begriffliche Uneindeutigkeit erwachsen ist (Priemer, 2011) und somit eine Analyse in diesem Artikel nur an ausgewählten Vertretern möglich ist. Die dem Unterrichtskonzept einbeschriebene Divergenz soll exemplarisch veranschaulicht werden durch eine Gegenüberstellung zweier hinsichtlich der Lernendenselbstständigkeit unterschiedlicher Ansätze des Offenen Experimentierens (zunehmende Eigenverantwortlichkeit vs. von Beginn an eigenverantwortlich) sowie durch ein drittes Beispiel – nach Reinhold (1996) –, bei dem offene Untersuchungsphasen einer gemeinsamen Planung des eigentlichen Experiments vorgeschaltet sind (s. 4.6.1).

*Offenes Experimentieren* nach J. Mayer und Ziemek (2006) steht für einen Pol eng geführter, sukzessiver Übertragung der Verantwortung beim Experimentieren auf die Lernenden (s. 4.6.2), wohingegen das *Freie Explorieren und Experimentieren* nach Köster und Galow (2014) als Vertreter des Gegenpols für eine (von Beginn an) umfassende Abgabe der Verantwortung für den Prozess an die Lernenden herangezogen wird (s. 4.6.3).

##### 4.6.1 Offenes Experimentieren und Physiklernen – Reinhold (1996)

Entgegen anderer populärer Unterrichtskonzepte (s. z. B. 4.6.2 und 4.6.3), die die Offenheit des Experimentierens gegeben verstehen durch die Übertragung der Verantwortlichkeiten auf die Lernenden in allen oder in einzelnen Teilprozessen, versteht Reinhold unter Offenheit eine dem Experimentieren vorgeschaltete Phase des selbstständigen „Probierens und Spekulierens“ durch die Lernenden sowie die Ergebnisoffenheit der durchgeführten Experimente (Reinhold, 1997, S. 108–111).

*Offenes Experimentieren* nach Reinhold (1996) wurde zur Ausbildung von Lehramtsstudierenden entwickelt, jedoch auch im fachdidaktischen Diskurs der Sekundarstufe rezipiert (u. a. Priemer, 2011). Es beschreibt eine

„produktive Störung“ als Initiator des Lernprozesses, etwa die Demonstration eines überraschenden Phänomens, aus welcher eine erklärungsbedürftige Situation (kognitiver Konflikt) erwächst. Auf Basis von Beobachtungen wird das Nachdenken der Lernenden angeregt, welches in eine Phase des „individuellen Probierens und Spekulierens“ übergeht. Dabei werden erste „Ad-hoc-Hypothesen“ aufgestellt, Versuche werden auf der Suche nach einer „systembildenden Idee“ manipuliert und verändert. Anschließend wird die systembildende Idee mit ihren Eigenschaften, Begrenzungen und Beziehungen in einem Reflexionsprozess präzisiert, um eine „modellierende Vorstellung“ der wesentlichen Elemente des Phänomens sowie ihrer Eigenschaften und Beziehungen zu erhalten. Aus der Reflexion ergibt sich ein gemeinsames Untersuchungsprogramm mit konkreten Erkenntniszielen und Hypothesen für das weitere „normalwissenschaftliche Experimentieren“ (vgl. Kuhn, 1976). In dieser Phase werden Experimente geplant, durchgeführt und quantitativ ausgewertet, um Wissen über das Phänomen zu erlangen und die Bildung eines theoretischen Systems voranzutreiben. Die Experimente sind dabei in ihrem Ausgang für die Lernenden ungewiss, was Reinhold als „offen“ bezeichnet. Den letzten Prozessschritt bildet die Reflexion der Systembildung, bei welcher die Lernenden ihre bisherigen Vorstellungen über die einzelnen Schritte des Experimentierprozesses reflektieren und mit ihren eigenen Vorstellungen eines Forschungsprozesses vergleichen.

Das von Reinhold (1996) benannte „Erklärungsbedürfnis“ kann als ein Problem nach Dörner (1976)<sup>9</sup> verstanden werden, sodass P4 als erfüllt gilt. Auch die in P5 geforderte Reflexion der Vorgehensweise ist bei diesem Konzept gegeben, wenngleich die Reflexion vornehmlich als Reflexion der einzelnen Teilprozesse und nicht als Reflexion der umfassenden experimentellen Methode beschrieben wird. Berücksichtigung finden die Teilprozesse (P1) mit der Hypothesenbildung im Element „Probieren und Spekulieren“ sowie im Element „normalwissenschaftliches Experimentieren“ in Form

<sup>8</sup> Für das ‚Offene Experimentieren‘ ist eine genaue Datierung nicht möglich. In der deutschsprachigen Naturwissenschaftsdidaktik scheint es erstmals durch Reinhold (1996) definiert, wobei gleichzeitig die Verwendung des Terminus ‚als Synonym zu *open inquiry* eine längere Tradition (vgl. 4.5.1) suggeriert.

<sup>9</sup> Ein Problem nach Dörner (1976) ist gekennzeichnet durch einen unerwünschten Anfangszustand, einen erwünschten Zielzustand sowie eine Barriere, welche die einfache Transformation, d. h. auf routiniertem oder vorgegebenem Weg vom Anfangszum Zielzustand verhindert. Die Erwünschtheit des Zielzustands kann sich unterschiedlich manifestieren, z. B. in Form eines Erkenntnisinteresses oder einer formulierten Forschungsfrage.

von Planung, Durchführung und Auswertung. Eine Einführung und Besprechung der experimentellen Methode (P2) sowie deren Einüben (P3) sind in diesem Konzept nicht explizit vorgesehen. Wissenschaftliche Strenge (P7) sowie die Thematisierung von Beschränkungen und Unsicherheiten (P6 ‚Grenzen‘) werden ebenfalls nicht ausdrücklich eingefordert. Die Ausbildung einer zunehmenden Selbstständigkeit (P8) ist in diesem Konzept nicht beschrieben.

#### 4.6.2 Offenes Experimentieren: Forschendes Lernen im Biologieunterricht – J. Mayer und Ziemek (2006)

Das *Offene Experimentieren* orientiert sich nach J. Mayer und Ziemek (2006) an folgendem Muster: Ein phänomenbasierter Einstieg oder ergebnisoffenes Experiment lässt Beobachtungen zu und wirft Fragen auf, aus denen Hypothesen generiert werden. Diese Hypothesen bilden die Grundlage für die Planung und Durchführung von Experimenten sowie die anschließende Auswertung und Deutung. Die einzelnen Teilprozesse werden dabei in Bezug auf die Lernendenselbstständigkeit schrittweise über die Schulzeit geöffnet, sodass zunehmend eine Verlagerung der Verantwortung für den Ablauf des Experimentierprozesses auf die Lernenden erfolgt. J. Mayer und Ziemek (2006) verstehen das Offene Experimentieren nicht als eigenständiges Unterrichtskonzept, sondern als eine Ausprägung des Forschenden Lernens (s. a. 4.4).

Das Experimentieren wird beim *Offenen Experimentieren* nach J. Mayer und Ziemek (2006) zum Problemlösen eingesetzt (P4), die Teilprozesse des Experimentierens (P1) werden berücksichtigt und die experimentelle Methode soll neben den Fachinhalten expliziter Unterrichtsgegenstand (P2) sein. Das Einüben dieser Methode wird allerdings nicht explizit angesprochen (P3). Eine Prozessreflexion (P5) ist nicht beschrieben. Die Wahrung wissenschaftlicher Strenge (P7) und das Ansprechen von Grenzen und Unsicherheiten gewonnener Erkenntnisse (P6) werden im Rahmen einer Fehlerdiskussion angeschnitten. Eine zunehmende Selbstständigkeit (P8) wird in Graden zunehmender Lernendenselbstständigkeit aufgezeigt.

#### 4.6.3 Freies Explorieren und Experimentieren – Köster und Galow (2014)

Beim *Freien Explorieren und Experimentieren* (Köster, 2006; Köster & Galow, 2014) wird es den Lernenden ermöglicht, sich interessengeleitet explorierend und

spielerisch mit Phänomenen zu beschäftigen (typischerweise in der Primarstufe (Köster, 2006), bei Köster und Galow (2014) auf die Sekundarstufe erweitert). Nachdem die Lernumgebung durch die Lernenden erkundet worden ist, werden erste fokussierte Beobachtungen angestellt, Fragen aufgeworfen und Vermutungen geäußert. Daran kann sich die Planung eines Experiments anschließen, wobei in den Ausführungen unklar bleibt, inwieweit die Planung von der Lehrkraft mitgetragen wird.

Beim *Freien Explorieren und Experimentieren* nach Köster und Galow (2014) werden durch spielerisches Explorieren und Manipulieren mögliche Fragen aufgeworfen und von den Lernenden Erklärungen gesucht. Wendet man die Definition eines Problems nach Dörner (1976) auf das Gewinnen von „Erlebnissen, Erfahrungen und Erkenntnissen“ (Köster, 2006) an, muss P4 als nicht vollumfänglich erfüllt angesehen werden, da zwar eine Problemorientierung gegeben ist, sich bei Köster und Galow (2014) jedoch nicht notwendig ein adäquater Problemlöseprozess anschließen muss. Die Teilprozesse des Experiments (P1) sowie die experimentelle Methode (P2) werden zugunsten eines durch die Lernenden selbst gesteuerten Explorierens nicht explizit berücksichtigt. Somit findet auch kein Einüben der experimentellen Methode (P3) statt. Eine Prozessreflexion (P5), wie auch das Ansprechen von Grenzen und Unsicherheiten (P6) und die Wahrung wissenschaftlicher Strenge (P7) werden nicht beschrieben. Ein Prozess der Öffnung des Unterrichtskonzepts hin zu einer Selbstständigkeit der Lernenden (P8) ist nicht beschrieben, vielmehr ist die umfassende Selbstständigkeit der Lernenden von Beginn an zentrales Merkmal. Während J. Mayer und Ziemek (2006) also beim *Offenen Experimentieren* die zunehmende Selbstständigkeit in einzeln abgestuften Graden beschreiben, wird bei Köster und Galow (2014) die Lernendenselbstständigkeit ‚gesetzt‘ und als durch Interessen geleitet angenommen. Beide Konzepte implementieren die aufgestellten Prinzipien (Abb. 2) nicht vollumfänglich.

#### 4.7 Das Entdeckende Experimentieren (ab 2017)

Obwohl das *Entdeckende Experimentieren* (Emden & Baur, 2017) vor der Ableitung der Unterrichtsprinzipien zum Experimentieren (Baur et al., 2019) beschrieben wurde, können die gemeinsamen geistigen Wurzeln

nicht bestritten werden. Daher soll dieses Unterrichtskonzept zwar vorgestellt und hinsichtlich der Unterrichtsprinzipien selbstkritisch analysiert werden, es wird jedoch nicht in die abschließende Analyse aller Konzepte mit einbezogen werden.

Emden & Baur (2017) bezeichnen Experimentieren, das streng epistemologisch auf ein genuines Erkenntnisinteresse bei Lernenden zielt, als *Entdeckendes Experimentieren*. Sie verstehen dies als langfristige Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts, so dass ihr Unterrichtskonzept explizit klassenstufen- und fachübergreifend angelegt ist. Den Lernenden kommt im Laufe dessen sowohl bei der Durchführung als auch bei der Kontrolle des Erkenntnisprozesses eine zunehmende Eigenverantwortlichkeit zu. Lernende sollen die Teilprozesse der experimentellen Erkenntnisgewinnung selbstständig und reflexiv zu einer kohärenten Untersuchung fügen können. Im Teilprozess „Experiment durchführen“ sollen sie zu wissenschaftlicher Genauigkeit angehalten werden, was eine sich anschließende Reflexion der Grenzen und Unsicherheiten der vorgenommenen Untersuchung erfordert. Konkret wird Entdeckendes Experimentieren durch fünf Merkmale charakterisiert: 1. Der Experimentierprozess wird von Lernenden ausgeführt, 2. Der Verlauf orientiert sich an den Phasen des wissenschaftlichen Experimentierprozesses, 3. Die innere Logik/Abhängigkeit des Erkenntnisprozesses wird reflektiert („Der Epistemologie verpflichtet“), 4. Der Experimentierprozess führt die Lernenden zu einer (für sie) neuen Erkenntnis, 5. Lernenden kommt eine zunehmende Eigenverantwortlichkeit zu.

Beim Entdeckenden Experimentieren wird das Experiment zum Beantworten einer naturwissenschaftlichen Fragestellung im Sinne einer Problemlösung (P4) eingesetzt. Die Teilprozesse eines idealisierten Experimentierprozesses werden berücksichtigt (P1) und der Problemlöseprozess sowie Grenzen und Unsicherheiten (P6) der experimentellen Methode werden reflektiert (P5). Die experimentelle Methode ist expliziter Unterrichtsgegenstand (P2), deren Einüben (P3) hingegen nur implizit berücksichtigt wird („Dabei ist eine schrittweise Heranführung an das mittelfristige Unterrichtsziel sinnvoll, da zu früh und zu weit geöffnete Unterrichtsansätze nicht unbedingt effektiv sind.“ Emden & Baur, 2017, S. 7). Die Ergebnisse werden unter Wahrung wissenschaftlicher Strenge (P7) gewonnen. Eine Lernendenorientierung und zunehmende Öffnung des Experimentierprozesses (P8) ist, neben der Betonung

der Epistemologie, zentrales Merkmal dieses Konzepts (vgl. Baur & Emden, 2020).

## 5. Folgerungen für ein zeitgemäßes Unterrichtskonzept zum Experimentieren

Die vorangegangene Analyse (s.a. Tab. 1) zeigt, dass es viele Gemeinsamkeiten, aber auch zahlreiche Unterschiede zwischen den Unterrichtskonzepten zum Experimentieren für den deutschsprachigen Naturwissenschaftsunterricht der Sekundarstufe I gibt. Keines der Konzepte berücksichtigt alle zuvor postulierten Unterrichtsprinzipien, die aus fachwissenschaftlich-fachdidaktischer, bildungstheoretischer, lerntheoretischer und curricularer Perspektive begründet wurden (vgl. Baur et al., 2019). Die identifizierten Lücken könnten mit ursächlich sein für eine unbefriedigende Lernwirksamkeit einzelner Unterrichtskonzepte zum Erlernen naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen (vgl. z. B. Baur et al., 2019). Diese Lücken sollen im Folgenden diskutiert werden.

Häufig fokussieren die Konzepte eine Prozessstruktur, welche – durchaus im Widerspruch zu der ursprünglichen Intention (Reinhold, 1996; Klautke, 2003; T. Bell, 2007; Lu et al., 2014; Arnold, 2015) – rezeptartig abgearbeitet werden *kann*, ohne dass Lernende explizit zur Reflexion des Prozesses angehalten wären bzw. darin unterstützt würden. Lernen im Sinne des Konstruktivismus würde in einem solch eher mechanistischen (Miss-)Verständnis des Experimentierens kaum gefördert werden.

*Project-Based Learning* (Krajcik & Shin, 2014), *Problem-Based Learning* (Lu et al., 2014) sowie der *For-schend-entwickelnde Unterricht* (Schmidkunz & Lindemann, 1976/1992) sind in ihrer Anlage als Beschreibungen und Planungshilfen für einen lernendenaktiven (Experimental-)Unterricht gedacht. In ihrem Kern beabsichtigen sie jeweils, Lehrende mit einem Prozesswissen über lernpsychologische Zusammenhänge auszustatten, das in der Gestaltung von Lehr-Lernarrangements genutzt werden kann. Der Gang der experimentellen Erkenntnisgewinnung ist bei ihnen jeweils nicht selbst Gegenstand des Lernens, sondern günstigstenfalls implizite Methode. Ein Erlernen der naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitsweisen kann jedoch nur durch explizite Instruktion erfolgreich sein (R. Bell et al., 2005), sodass die berichteten Ansätze den Aufbau experimenteller Kompetenz nicht optimal unterstützen können.



Tabelle 1

Zusammenschau der analysierten Unterrichtskonzepte: X = Prinzip voll erfüllt; (X) = Prinzip teilweise erfüllt, aber nicht explizit angesprochen

	P1 - Teilprozesse	P2 - expl. Unterrichtsgegenstand	P3 - Üben	P4 - Problemlösen	P5 - prozessreflektierend	P6 - Grenzen	P7 - wiss. Strenge	P8 - zunehmende Selbstständigkeit
Project-Based Learning (Krajcik & Shin, 2014)	(X)			X				
Problem-Based Learning (Lu et al., 2014; Barel, 2007)				X	(X)			(X)
Forschend-entwickelnder Unterricht (Schmidkunz & Lindemann, 1976)	(X)			X				(X)
Entdeckend-forschendes Lernen (Klautke, 2003)	X			X				
Forschendes Lernen (T. Bell, 2007)	X			X	(X)			
Forschend-entdeckendes Lernen (Höttecke, 2010)	X	X	(X)	X	X	X	X	X
Forschendes Lernen (Arnold, 2015)	X	X	(X)	X	(X)	X	X	(X)
Scientific Inquiry (div.)	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)		(X)
NAW (Walpuski, 2006 und Folgende)	X	(X)		X	(X)			(X)
Offenes Experimentieren (Reinhold, 1996)	X			X	X			
Offenes Experimentieren (J. Mayer & Ziemek, 2006)	X	X		X		(X)	(X)	X
Freies Explorieren und Experimentieren (Köster & Galow, 2014)				(X)				

Alle untersuchten Konzepte weisen den Lernenden eine aktive Rolle im Prozess der Erkenntnisgewinnung zu. Die Bandbreite dieser Zuschreibungen reicht jedoch von eher vagen Forderungen nach „Differenzierung in einem Spannungsfeld von Selbsttätigkeit und Anleitung“ (Reinhold, 1996, S. 334) bis zur konsequenten Selbstständigkeit der Lernenden (Arnold, 2015). Es bleibt zumeist unklar (Schmidkunz & Lindemann, 1976/1999; Reinhold, 1996; Klautke, 2003; Walpuski, 2006; T. Bell, 2007; Köster & Galow, 2014; Krajcik & Shin, 2014; Lu et al., 2014; Arnold, 2015), wie die Lernenden diesen Grad der Selbstständigkeit erreichen sollen, ohne von den gegebenen Freiheitsgraden und der damit einhergehenden Komplexität überfordert zu werden (vgl. Kirschner et al., 2006). Höttecke (2010) sowie J. Mayer und Ziemek (2006) skizzieren die Anleitung zur zunehmenden Selbsttätigkeit der Lernenden im Experimentierprozess als schrittweise Öffnung der Teilprozesse. Die Definition von *Scientific Inquiry* des NRC (1996) weist noch keine dezidiert unterschiedlichen Öffnungsgrade aus, dies ist jedoch im Rahmen weiterer Beiträge (NRC, 2000; R. Bell

et al., 2005; Banchi & R. Bell, 2008; Wheeler & R. Bell, 2012; Zion & Mendelovici, 2012) geschehen. Die meisten dieser Modelle beschreiben eine schrittweise lineare Öffnung des Experimentierprozesses.

Wie schon eingangs erwähnt, liegt es durchaus im Rahmen des Vorstellbaren, dass einzelne Unterrichtsprinzipien, einem allgemeindidaktischen *common sense* geschuldet, in manchen der besprochenen Unterrichtskonzepte nicht ausgeführt worden sind. Wie gleichermaßen ausgeführt, darf diese Lässlichkeit aber auch kritisch wahrgenommen werden. So ist beispielsweise in der chemiedidaktischen Genese des Konzepts der *Naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen* festzustellen, dass die Einführung der experimentellen Methode (P2) lange Zeit implizit angenommen und nicht explizit adressiert wurde (Rumann, 2005; Walpuski, 2006). Wahser (2007) ist die Erste in der NAW-Tradition, die in ihrer Untersuchung Aspekte der Methodeneinführung (Training, P2) und -reflexion (als Bestandteil des Trainings, P5) berücksichtigt.

Eine analoge Diskussion kann für das Prinzip des Übens (P3) geführt werden, das in zu vielen Konzepten als selbstverständlich angenommen wird. Insofern müssen solche Selbstverständlichkeiten infrage gestellt und Unklarheiten hinsichtlich unterrichtspraktischer Konzeptionen ausgeräumt werden.<sup>10</sup>

Schulpraktiker bedürfen fachdidaktisch fundierter und pragmatisch unzweideutiger Orientierungshilfen, wenn sie die Qualität von naturwissenschaftlichem Unterricht verbessern sollen. Aktuell gängige Begriffe wie *Scientific Inquiry*, *Offenes Experimentieren* und das *Forschende Lernen* sind im Verlauf ihrer Nutzung definitorisch so unscharf geworden, dass ihre Verwendung keine eindeutige Referenz mehr hat („semantic fog“ – Lucas, 1971, S. 194). Wenn jedoch eine Bezeichnung ihr zu Bezeichnendes verliert, wird sie obsolet. Es bedarf eines neuen, scharf umrissenen Begriffs für ein Konzept des lernenden-aktiven Experimentierens, das theoretisch fundiert, fachdidaktisch wohl-definiert und schulpraktisch relevant ist. Aus der obigen Diskussion und ob der Breite der explizit angesprochenen Unterrichtsprinzipien bieten sich vor allem das *Forschend-entdeckende Lernen* (Höttecke, 2010) sowie das *Forschende Lernen* nach Arnold (2015) als orientierende Konzepte an. Beide stehen in der Tradition erkenntnisorientierten Unterrichts, beide begründen ihr Vorgehen breiter als allein am Curriculum oder der Fachstruktur orientiert; gleichzeitig wäre beiden besonders eine Ausschärfung der Definition um Aspekte des Übens anzuraten. Vielleicht gelingt es mit einer solch begrifflichen Neuorientierung auch mittelfristig die Kompetenzstände der Lernenden zu steigern, wenn trotz allgemeindidaktischem *common sense* keine Leerstellen mehr für die unterrichtspraktische Umsetzung bleiben.

## 6. Limitationen

Die vorliegende Analyse von Unterrichtskonzepten zum Experimentieren hinsichtlich theoretisch begründeter Unterrichtsprinzipien unterliegt einer Reihe von Limitationen.

Anstatt der Auswahl der Unterrichtskonzepten anhand einer allgemeinpädagogischen, konstruktivistischen Ordnung (Hood Cattaneo, 2017) wäre auch eine nach Fachmethodiken ausdifferenzierte Ordnung oder eine kulturelle Dichotomisierung (Konzepte aus dem deutschsprachigen Raum vs. angloamerikanische Konzepte) denkbar gewesen. Die Analyse hätte dann in weit stärkerem Maße auf die Philosophie der jeweiligen Unterrichtskonzepte achten müssen: So meint Experimentieren im Sachunterricht nicht dasselbe wie im Chemieunterricht; angloamerikanische Unterrichtskonzepte berücksichtigen in der Regel die bildungstheoretische Perspektive kaum, da hier keine entsprechende akademische Tradition besteht. Der Entscheid für eine unterrichtspragmatische Strukturierung, die Fach- und Kulturgrenzen gering gewichtet, folgte zum einen aus der Überzeugung, dass Lehrkräfte sich für ein Unterrichtskonzept entscheiden, wenn es für sie authentisch wirkt, d. h. wenn sie das Gefühl haben, dass ‚es zu ihrem Lehrstil passt‘. Der theoretische Überbau ist bei dieser Entscheidung wahrscheinlich von sekundärer Bedeutung, wie exemplarisch an der hohen Akzeptanz von Methoden des sprachsensiblen Unterrichts (z. B. Leisen, 2013) zu sehen ist, die in der Mehrheit der Fremdsprachendidaktik entlehnt sind. Zum anderen bestand die Notwendigkeit, einen handhabbaren Suchrahmen zur Orientierung abzustecken, was gegen allzu fein ausdifferenzierte Theorieabgrenzungen sprach:

Die Suche nach den Unterrichtskonzepten führte weder mit einem streng deduktiven Ansatz über aktuelle fachmethodische und -didaktische Handbücher noch mit einem streng induktiven Ansatz über Datenbankabfragen zu befriedigenden Ergebnissen. Der anschließend beschrittene, assoziative Weg der Suche innerhalb der von Hood Cattaneo (2017) identifizierten Theoriefamilien anhand jeweils eines prominenten Unterrichtskonzepts über Datenbankabfragen synonyme Konzepte und über das jeweilige Inhaltsverzeichnis inhaltsähnliche Konzepte zu identifizieren, ist ein schwer zu standardisierender Prozess. Darum kann auch die dadurch gewonnene Zusammenstellung nur einen Überblick über Unterrichtskonzepte geben und für sich keine Exhaustivität beanspruchen.

<sup>10</sup> In diesem Sinne sehen die Autoren sich in der Verantwortung, ihr eigenes Konzept des *Entdeckenden Experimentierens* (Emden & Baur, 2017) um ein sechstes Charakteristikum zu ergänzen: (6) Lernende erhalten wiederholt die Möglichkeiten, ihre experimentellen Fähigkeiten einzuüben und zu entwickeln.

## Literatur

- Abrahams, I. (2017). Minds-on Practical Work for Effective Science Learning. In B. Akpan & K. S. Taber (Hrsg.), *Science education. An international course companion* (New directions in mathematics and science education, volume 31, 403–413). Rotterdam: Sense Publishers.
- Alexakos, K. (2010). Teaching the practice of science, unteaching the “scientific method”. *Science Scope*, 33(9), 74–79.
- Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 807–830). Mahwah: Erlbaum.
- Arnold, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen*. Berlin: Logos.
- Banchi, H. & Bell, R. L. (2008). The Many Levels of Inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29.
- Barell, J. (2007). *Problem-based learning*. Thousand Oaks: Corwin Press.
- Barron, B. & Darling-Hammond, L. (2010): Prospects and Challenges for Inquiry-Based Approaches to Learning. In: H. Dumont, D. Istance & F. Benavides (Hrsg.): *The Nature of Learning. Using Research to Inspire Practice* (S. 199–225). Paris: OECD Publishing.
- Baur, A. & Emden, M. (2020). How to open inquiry teaching? An alternative teaching scaffold to foster students' inquiry skills. *Chemistry Teacher International*, 2(1), 1–12.
- 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*, 23(1), 10–24.
- 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' Understandings 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. *The Science Teacher*, 7(72), 30–33.
- Bell, T. (2007). Entdeckendes und forschendes Lernen. In S. Mikelskis-Seifert & T. Rabe (Hrsg.), *Physik-Methodik* (S. 70–81). Berlin: Cornelsen.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S. & Ploetzner, R. (2010). Collaborative Inquiry Learning. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2018). *Biologiedidaktik*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag.
- Bevins, S. & Price, G. (2016). Reconceptualising Inquiry in Science Education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17–29.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M. & Palincsar, A. (1991). Motivating Project-Based Learning. *Educational Psychologist*, 26(3) 369–398.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21–32.
- Bundesassistentenkonferenz. (2009). *Forschendes Lernen – Wissenschaftliches Prüfen*. Bielefeld: Universitäts-Verlag Webler (Originalarbeit erschienen 1970).
- Crawford, B. A. (2014). From Inquiry to Scientific Practices in the Science Classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (S. 515–541). London: Routledge.
- Dewey, J. (1910). Science as Subject-Matter and as Method. *Science*, 31(787), 121–127.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and Education. An Introduction to the Philosophy of Education*. New York: Macmillan.
- Dewey, J. (1938). *Logic: The Theory of Inquiry*. New York: Henry Holt.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens*. Berlin: Logos.
- Emden, M. & Baur, A. (2017). Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren – Entwurf eines integrierten Wirkungs- und Gestaltungsmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 1–19.
- 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.

- Fischer, H. E. & Sumfleth, E. (Hrsg.) (2013). *nwu-essen. 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht*. Logos: Berlin.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329.
- 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.
- Göbbling, J. M. (2010). *Selbständig entdeckendes Experimentieren*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. *MNU*, 57(4), 196–203.
- Henke, C. (2007). *Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe*. Berlin: Logos.
- Herron, M. D. (1972). The Nature of Scientific Enquiry. *The School Review*, 79(2), 171–212.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning. *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning. *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Hofstein, A. (2017). The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning. In B. Akpan & K. S. Taber (Eds.), *Science education. An international course companion* (New directions in mathematics and science education, volume 31, 357–368). Rotterdam: Sense Publishers.
- Hofstein, A. & Kind, P. M. (2012). Learning In and From Science Laboratories. In B. J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Second International Handbook of Science Education* (Bd. 1, S. 189–207). Dordrecht: Springer.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217.
- Hood Cattaneo, K. (2017). Telling Active Learning Pedagogies Apart. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 6(2), 144–152.
- Höttecke, D. (2010). Forschend-entdeckender Physikunterricht. *Unterricht Physik*, 21(119), 4–12.
- Huber, L. (2018). *Forschendes Lernen*. Bochum: Zentrum für Wissenschaftsdidaktik der Ruhr-Universität Bochum.
- Jiang, F. & McComas, W. F. (2015). The Effects of Inquiry Teaching on Student Science Achievement and Attitudes. *International Journal of Science Education*, 37(3), 554–576.
- Jong, T. de & Joolingen, W. R. van (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179.
- Kilpatrick, W. (1918). *The Project Method. The Use of the Purposeful Act in the Educative Process*. New York: Teachers College, Columbia University.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). (2015). *Physikdidaktik*. Berlin: Springer Spektrum.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search during Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48.
- Klautke, S. (2003). Entdeckend-forschendes Lernen. *Lernchancen*, 31(5), 33–41.
- Klos, S. (2008). *Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht*. Berlin: Logos.
- Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(3), 304–321.
- Knoll, M. (1997). The Project Method. *Journal of Industrial Teacher Education*, 43(3), 59–80.
- Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen*. Berlin: Logos.
- Koenen, J. (2016). Gestaltung von Experimentiersituationen. In: J. Koenen, M. Emden & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (S. 19–24). Münster: Waxmann.
- Kokotsaki, D., Menzies, V. & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277.
- Köster, H. (2006). *Freies Explorieren und Experimentieren*. Berlin: Logos.
- Köster, H. & Galow, P. (2014). Forschendes Lernen initiieren. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 25(144), 24–26.

- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W. & Soloway, E. (1994). A Collaborative Model for Helping Middle Grade Science Teachers Learn Project-Based Instruction. *The Elementary School Journal*, 94(5), 483–497.
- Krajcik, J. S. & Shin, N. (2014). Project-Based Learning. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (S. 275–297). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kranz, J. & Schorn, J. (Hrsg.). (2012). *Chemie-Methodik*. Berlin: Cornelsen.
- Kuhn, T. S. (1976). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- 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.
- Lederman, N. G. & Lederman, J. S. (2012). Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry. Building Instructional Capacity Through Professional Development. In B. J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Second International Handbook of Science Education* (S. 335–359). Dordrecht: Springer.
- Leisen, J. (2013). *Handbuch Sprachförderung im Fach*. Stuttgart: Klett Sprachen.
- Lu, J., Bridges, S. & Hmelo-Silver, C. E. (2014). Problem-Based Learning. In R. K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (S. 298–318). Cambridge: CUP.
- 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.
- Lucas, A. M. (1971). Creativity, Discovery and Inquiry in Science Education. *The Australian Journal of Education*, 15(2), 185–196.
- Martius, T., Delvenne, L. & Schlüter, K. (2016). Forschendes Lernen. *MNU Journal*, 69(4), 220–228.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. *Unterricht Biologie*, 30(317), 4–13.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a Three-Strikes Rule against pure Discovery Learning? *The American psychologist*, 59(1), 14–19.
- Meyer, H. (1987). *Unterrichtsmethoden*. Frankfurt am Main: Scriptor.
- Mikelskis-Seifert, S. & Rabe, T. (Hrsg.). (2012). *Physik-Methodik*. Berlin: Cornelsen.
- NRC (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- NRC (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- NRC (2011). *A Framework for K–12 Science Education*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196.
- Peschel, M. (2009). Der Begriff der Offenheit beim Offenen Experimentieren. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S. 268–270). Münster: LIT.
- Priemer, B. (2011). Was ist das Offene beim offenen Experimentieren? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 315–337.
- Prince, M. & Felder, R. (2006). Inductive Teaching and Learning Methods. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.
- Prince, M. & Felder, R. (2007). The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14–20.
- Reinhold, P. (1996). *Offenes Experimentieren und Physiklernen*. Kiel: IPN.
- Reinhold, P. (1997). Offenes Experimentieren. In H. E. Fischer (Hrsg.), *Handlungsorientierter Physik-Unterricht Sekundarstufe II* (S. 104–124). Bonn: Dümmler.
- Rumann, S. (2005). *Kooperatives Experimentieren im Chemieunterricht*. Berlin: Logos.
- Scheersoi, A. (2016). „Forschendes Lernen“ im Biologieunterricht. In P. Geiss, R. A. Ißler & R. Kaenders (Hrsg.), *Fachkulturen in der Lehrerbildung* (S. 242–244). Göttingen: V & R Unipress.
- Schmidkunz, H. & Lindemann, H. (1992). *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren*. Magdeburg: Westarp Wissenschaften (Originalarbeit erschienen 1976).
- Schwab, J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. In J. Schwab & P. F. Brandwein (Hrsg.), *The Teaching of Science* (S. 1–103). Cambridge: Harvard University Press.
- Singer, S. R., Hilton, M. L. & Schweingruber, H. A. (2006). *America's Lab Report*. Washington, D.C.: National Academies Press.

- Sommer, K., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P. (Hrsg.). (2018). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Seelze: Friedrich Aulis.
- Spörhase-Eichmann, U. & Ruppert, W. (Hrsg.). (2012). *Biologie-Methodik*. Berlin: Cornelsen.
- Sweller, J., Kirschner, P. A. & Clark, R. E. (2007). Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work. *Educational Psychologist*, 42(2), 115–121.
- Thomas, J. W. (2000). *A Review of Research on Project-Based Learning*. San Rafael: Autodesk Foundation.
- Wahser, I. (2007). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie*. Berlin: Logos.
- Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback*. Berlin: Logos.
- Weber, A. (2007). *Problem-based Learning*. Bern: hep.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315–345.
- Wheeler, L. B. & Bell, R. L. (2012). Open-ended Inquiry. *The Science Teacher*, 79(3), 32–39.
- Zion, M. & Mendelovici, R. (2012). Moving from Structured to Open Inquiry. *Science Education International*, 23(4), 383–399.

## Kontakt

Arne Bewersdorff  
Pädagogische Hochschule Heidelberg  
Institut für Naturwissenschaften, Geographie und Technik  
Im Neuenheimer Feld 561  
69120 Heidelberg  
E-Mail: bewersdorff@ph-heidelberg.de

### Zitationshinweis:

Bewersdorff, A., Baur, A. & Emden, M. (2020). Analyse von Unterrichtskonzepten zum Experimentieren hinsichtlich theoretisch begründeter Unterrichtsprinzipien: Bestandsaufnahme und kriteriale Gegenüberstellung. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 24, 108-130. doi: 10.4119/zdb-3395

Veröffentlicht: 22.09.2020



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/>