

Emden, Markus; Bewersdorff, Arne; Baur, Armin
**Kann Experimentieren in der Schule bilden? Ein Beitrag zur
bildungstheoretischen Legitimation eines selbstverständlichen
Gegenstandes des Naturwissenschaftsunterrichts**

Zeitschrift für Pädagogik 65 (2019) 5, S. 710-729



Quellenangabe/ Reference:

Emden, Markus; Bewersdorff, Arne; Baur, Armin: Kann Experimentieren in der Schule bilden? Ein Beitrag zur bildungstheoretischen Legitimation eines selbstverständlichen Gegenstandes des Naturwissenschaftsunterrichts - In: Zeitschrift für Pädagogik 65 (2019) 5, S. 710-729 - URN: urn:nbn:de:01111-pedocs-241158 - DOI: 10.25656/01:24115

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:01111-pedocs-241158>

<https://doi.org/10.25656/01:24115>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit this document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

ZEITSCHRIFT FÜR PÄDAGOGIK

Heft 5

September/Oktober 2019

Beiträge zur pädagogischen Theorie und Bildungsforschung

Praktiken der Homogenisierung. Soziale Choreographien
im Schulalltag

Passungs-Distanz-Konstruktion und Unterscheidungen
in einer schulwahlbezogenen Wettbewerbssituation

Kann Experimentieren in der Schule bilden?

Übersetzungskonflikte. Zu einer kritisch-kulturwissen-
schaftlichen Pädagogik

Die berufsfeldbezogene Lernorientierung von Lehramts-
studierenden

Empirische Bildungsforschung im Wirbel unmittelbarer
Rezeption. Ein kritischer Reflexionsanstoß

Inhaltsverzeichnis

Beiträge zur pädagogischen Theorie und Bildungsforschung

Cornelie Dietrich/Valerie Riepe

Praktiken der Homogenisierung: Soziale Choreographien im Schulalltag 669

Tilman Drope

Passungs-Distanz-Konstruktion und Unterscheidungen
in einer schulwahlbezogenen Wettbewerbssituation.

Ergebnisse eines ethnographischen Forschungsprojektes 692

Markus Emden/Arne Bewersdorff/Armin Baur

Kann Experimentieren in der Schule bilden?
Ein Beitrag zur bildungstheoretischen Legitimation
eines selbstverständlichen Gegenstandes

des Naturwissenschaftsunterrichts 710

Nicolas Engel

Übersetzungskonflikte. Zu einer kritisch-
kulturwissenschaftlichen Pädagogik

..... 730

Ilona Esslinger-Hinz/Liselotte Denner

Die berufsfeldbezogene Lernorientierung von Lehramtsstudierenden 748

Lukas Otterspeer/Christoph Haker

Empirische Bildungsforschung im Wirbel unmittelbarer Rezeption.

Ein kritischer Reflexionsanstoß 769

Besprechungen

Johannes Drerup

Micha Brumlik: Demokratie und Bildung 789

Johannes Giesinger

Thomas Eckert/Bernhard Gniewosz (Hrsg.): Bildungsgerechtigkeit 791

Philip Wagner

Wilfried Göttlicher/Jörg-W. Link/Eva Matthes (Hrsg.):
Bildungsreform als Thema der Bildungsgeschichte 793

Wilfried Smidt

Sandra Piper: Kindheitspädagogik auf dem Prüfstand.
Umriss einer allgemeinen Theorie frühkindlicher Erziehung und Bildung 795

Dokumentation

Pädagogische Neuerscheinungen 799

Impressum U3

Table of Contents

Contributions to Educational Theory and Research

Cornelie Dietrich/Valerie Riepe

Practices of Homogenization: Social Choreographies
in Everyday School Life 669

Tilman Drope

Fit and Distance Construction and Differentiation
in School Choice-related Competitive Situations:
Results of an Ethnographic Research Project 692

Markus Emden/Arne Bewersdorff/Armin Baur

Can Experimentation in Schools be Formative?
A Contribution to Legitimizing a Self-evident Science Education Matter
from a Theory of Bildung Perspective 710

Nicolas Engel

Translational Conflicts. Towards a Critical Cultural Studies-oriented Theory
of Education 730

Ilona Esslinger-Hinz/Liselotte Denner

Pre-service Teachers' Professional Learning Orientation 748

Lukas Otterspeer/Christoph Haker

Educational Research in the Turmoil of Immediate Reception:
A Critical Approach 769

Book Reviews 789

New Books 799

Impressum U3

Kann Experimentieren in der Schule bilden?

*Ein Beitrag zur bildungstheoretischen Legitimation
eines selbstverständlichen Gegenstandes des Naturwissenschaftsunterrichts*

Zusammenfassung: Experimentieren ist integraler Bestandteil deutscher und internationaler Naturwissenschaftscurricula und -standards. Seine Berechtigung wird, trotz dessen es zeit- und ressourcenintensiv ist, selten angezweifelt. Der Beitrag versucht Experimentieren in der Schule in einen bildungstheoretischen Zusammenhang zu stellen, indem er Arbeiten von Litt und Klafki zeitgemäßen Ansätzen zu Kompetenzorientierung gegenüberstellt. Es wird gezeigt, dass Experimentieren in der Schule über kategorial bildendes Potenzial verfügt, das sich in der Aneignung einer spezifischen Weltsicht manifestiert, aus der zugleich Selbstbestimmung und Verantwortung resultieren können. Persönlichkeitsbildende Aspekte des Experimentierens ergänzen insofern kompetenzorientierte Begründungen, die im Unterricht genutzt werden und zur bereitwilligeren Einlassung der Lernenden führen können.

Schlagnote: Naturwissenschaftsdidaktik, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung, Experimentieren, Bildungstheorie, Kompetenzen

1. Einführung

Experimentieren ist fester Bestandteil des deutschen Naturwissenschaftsunterrichts (z. B. Kirschner, 1992; Prenzel & Parchmann, 2003). Wenngleich der Begriff fälschlich suggeriert, es gäbe die ‚eine‘ experimentelle Methode (Lederman, 2007), findet er sich meist nicht weiter ausdifferenziert in Curricula, Standardformulierungen und Lehrwerken wieder und läuft Gefahr, ein vielfach kritisierendes (Zerr-)Bild naturwissenschaftlichen Arbeitens zu verstärken (z. B. Kosso, 2009). Konzeptionell verweist der Begriff des Experimentierens in diesen Zusammenhängen in der Regel auf ein Verständnis von *Scientific Inquiry Based Learning*, das international weitgehend konsensfähig ist und mit hypothetisch-deduktiven Verfahren der Erkenntnisgewinnung korrespondieren kann (z. B. Abd-El-Khalick et al., 2004; Emden, 2011). Für den naturwissenschaftlichen Unterricht wird meist eine Untergliederung des Experimentierprozesses in Teilprozesse empfohlen (z. B. Mayer, 2007, S. 181: Fragen formulieren, Hypothesen generieren, Planung eines Experiments, Deutung von Befunden), dies ist jedoch als Strukturierungshilfe zu verstehen und nicht als ‚Kochrezept‘ zu lesen, dem jedes Experimentierdesign, einem vorgegebenen Muster gleich, auch folgen muss.

Curricula und Bildungsstandards können provokant als rein normative Kompromissformulierungen (z. B. Feinstein, 2011) verstanden werden, die eine wesentliche Perspektive – nämlich die der Lernenden – vernachlässigen. In diesem Verständnis bil-

den Curricula und Bildungsstandards einerseits den Legitimationsrahmen für unterrichtliche Aktivität, d. h. das Curriculum ist primär zu verstehen als ein Mittel zu Qualitäts- und Effizienzicherung des Unterrichts. Andererseits sind Curricula und Standards gleichzeitig Ausdruck einer Fachkultur der Bezugsdisziplinen und affiner Berufsfelder, die ‚bildungsökonomische‘ Motive stärker gewichten als bildungstheoretische, sodass Lernende „den Anforderungen der technisch-wissenschaftlichen Welt [...] genügen [und sich] auf dem Arbeitsmarkt erfolgreich [...] durchsetzen [...] können“ (Kutschmann, 1999, S. 49).

In beiden, streitbaren Argumentationslinien wird der Unterrichtsinhalt jedoch deutlich nicht von Seiten der Lernenden gedacht: Ein Gegenstand wird aufgenommen, weil er fachsystematisch vonnöten ist, ein anderer wird gestrichen, weil die Zeit nicht mehr reicht. Die Berechtigung der Naturwissenschaften als Lernbereich an allgemeinbildenden Schulen wird dabei kaum mehr hinterfragt – dank *Scientific Literacy* (Roberts, 2007) scheinen sämtliche Erkenntnismethoden und Inhalte der Naturwissenschaften in der Schule (fast schon) über alle Zweifel erhaben (als kritische Stimme: Shamos, 1995). Wenige kritische Nachfragen, woher das Konzept seine zentrale Bedeutungszuweisung erhält (letztlich aus dem PISA-framework: OECD, 2000 ff.) und auch kaum ein Zögern, ob das „E“ in der für die Studie verantwortlichen OECD schon darauf hindeuten könnte, dass *Scientific Literacy* eben nicht in erster Linie lernendenbezogen konzipiert ist (z. B. Gebhard, Höttecke & Rehm, 2017; Grunert, 2012; Tenorth, 2011). Pointierten Ausdruck findet dieser Kritikpunkt, wenn neben einer „nur um gelingendes Lernen und erfolgreiche Kompetenzentwicklung“ bemühte Didaktik ein streng an der „Bildung, Erziehung und Sozialisation“ der Lernenden orientierte *Pädagogik* der Naturwissenschaften gefordert wird (Gebhard et al., 2017, S. 1; s. a. Kutschmann, 1999, S. 257–292).

Eine rein curriculare Begründung des Experimentierens in der Schule dürfte insgesamt zu kurz greifen und könnte gegebenenfalls sogar erklärungs mächtig werden, wenn es um gering ausgeprägte Kompetenzstände bei Lernenden geht, die – bei aller propagierten Zentralität des Themas Naturwissenschaften – eben nicht die notwendigen Ressourcen und den Enthusiasmus aufbringen zur Ausschöpfung ihrer Potenziale, weil man sie in der Begründung von Unterricht zu übersehen haben scheint (vgl. Herrmann, 2003).

Der Beitrag versucht eine altbekannte Diskussion um den Bildungsgehalt des naturwissenschaftlichen Unterrichts – spezieller des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht – aufzugreifen (z. B. Bulthaupt, 2013; Freiman, 2003; zum allgemeinen Bildungsdiskurs z. B. Felden, 2003; Oelkers, 2013; Tenorth, 2003), sicher nicht abzuschließen, und zu neuem Gehör zu helfen. Bezüglich der Naturwissenschaften als akademische Disziplin ist dies umfänglich an anderen Stellen geschehen (z. B. Gebhard et al., 2017; Geiß, 2013; Kutschmann, 1999). Der Fokus des Beitrags soll auf dem Experiment als einem zentralen Gegenstand des naturwissenschaftlichen Unterrichts liegen, das in den allgemeineren Betrachtungen – wenn überhaupt – nur am Rande gestreift worden ist.

Die These, welcher der Beitrag folgt, lautet: Das Experimentieren muss prinzipiell in seinem Bildungswert für Lernende hinterfragt werden. Wenn Naturwissenschafts-

didaktiker und -lehrkräfte erwarten, dass Lernende sich auf einen Gegenstand (Kognition) einlassen (Volition) und diesen auch selbstgesteuert verfolgen (Motivation); wenn also der volle Weinertsche Kompetenzbegriff (2001) ernstgenommen werden soll, dann schuldet man den Lernenden – und ultimativ den Lehrkräften, von denen ein Wandel der professionellen Praxis erwartet wird – eine bessere Legitimation, Lebens- und Unterrichtszeit auf das Experimentieren zu verwenden, als der fahrig und zunehmend habituierte Verweis auf Bildungsstandards und Curricula.

Zu diesem Zweck wird der vorliegende Beitrag dreierlei unternehmen. (1) Aus einer Gegenüberstellung der Begriffe Kompetenz und Bildung wird eine für den Artikel tragende Zweigesichtigkeit des aktuellen Bildungsverständnisses skizziert (vgl. auch Fischler, Gebhard & Rehm, 2018). Auf der einen Seite stehen pragmatisch-funktionalistische Sichtweisen im Sinne einer Grundbildung; dem gegenüber stehen stärker persönlichkeitsbildende Perspektiven, die sich zentral an Arbeiten Theodor Litts (z. B. 1959) und Wolfgang Klafkis (z. B. Klafki, 1972; 2007) orientieren, die anschlussfähig sind an den internationalen Diskurs (vgl. Sjöström, Frerich, Zuin & Eilks, 2017; Sjöström & Eilks, 2018). (2) Die Bewertung einer Bildung durch Naturwissenschaften wird anschließend vor dem Hintergrund dieser Ambivalenz im historischen Kontext diskutiert, wobei das Experimentieren als wesentliche Methode der Naturwissenschaften meist inkludiert ist – eine explizite Würdigung der Bildungsgehalte des Experimentierens fehlt weitgehend (Ansätze finden sich bei Hofheinz, 2007; Scharf, 1984). (3) Schließlich soll der zuvor identifizierte Bildungsbegriff auf ein Verständnis von Experimentieren im Schulkontext angewendet werden, um aufzuzeigen, dass das Experimentieren mehr als fachspezifische Technik oder bloße Kompetenz im Sinne nationaler Bildungsstandards (KMK, 2005a–c) zu sein vermag. Es ist beabsichtigt, dem Experimentieren auf diese Weise in der Schule eine stabilere Basis als das unstete Curriculum zu verleihen. Mit diesem Anspruch ausgestattet, ergibt sich zwingend seine hervorgehobene Stellung im naturwissenschaftlichen Unterricht, wie sie an anderer Stelle den Kulturfertigkeiten Lesen, Schreiben und Rechnen zukommt.

2. Kompetenzorientierung und Bildung

Im Kontext der PISA-Studie 2000 und der sich anschließenden Neuorientierung der Bildungssteuerung des deutschen Schulsystems flammte unter anderem die Diskussion um das Verhältnis von Bildung und Kompetenzen auf (z. B. Benner, 2002; Felden, 2003; Tenorth, 2003), die Klieme et al. in ihrer Expertise zur Einführung nationaler Bildungsstandards antizipieren (Klieme et al., 2003, S. 45) und durch weitgehende Gleichsetzung der beiden Begriffe aufzulösen versuchen (Klieme et al., 2003, S. 53). Damit teilen sie implizit Lerschs (2013) spätere Einschätzung, dass schon die kritisch-konstruktive Didaktik Klafkis „ein letztlich kompetenzorientiertes Bildungskonzept“ darstelle, da sowohl Bildung als auch Kompetenzen die Mündigkeit des Individuums zur gesellschaftlichen Teilhabe als Ziel formulieren. Dem gegenüber steht Benner (2002), der eine Ablösung der Bildungstheorie durch Kompetenztheorie rundheraus ablehnt, da für ihn die

Domänenspezifität der Kompetenz nicht zur Deckung zu bringen ist mit einem universalistisch gefassten Bildungsverständnis, sodass Kompetenzen ohne Bildung den Auftrag der Schule verkürzen würden. Als vermittelnde Position mögen Stübzig und Stübzig gesehen werden, die keinen Ausschluss von Bildung durch Kompetenzorientierung annehmen, jedoch die zugrundeliegenden Kerncurricula für ihre „sparsamen inhaltlichen Konkretisierungen“ (Stübzig & Stübzig, 2018, S. 46) kritisieren, die den Anspruch auf kategoriale Bildung derzeit augenscheinlich nicht einlösen können. Koch-Priewe, Köker und Störtländer gehen schließlich so weit festzustellen, dass der „theoretisch fundierte Bildungsbegriff durch eine neue Rhetorik ersetzt worden ist“ (Koch-Priewe, Köker & Störtländer, 2016, S. 126–127), womit sie einer häufig beklagten Theoriearmut des Kompetenzbegriffs beipflichten (vgl. auch Stübzig & Stübzig, 2018).

Einer polaren Gegenüberstellung von Kompetenzen und Bildung wird zwischenzeitlich mit der Knüpfung von Kausalzusammenhängen begegnet – mittelbar erfolgt dies auch in der Expertise von Klieme et al., wenn sie postulieren, dass Bildungsstandards Kompetenzen benennen, „welche die Schule ihren Schülerinnen und Schülern vermitteln muss, damit bestimmte zentrale Bildungsziele erreicht werden“ (Klieme et al., 2003, S. 13, Hervorh. eingefügt). Grunert dreht diese Kausalität und fasst Kompetenzen „als Produkte von Bildungsprozessen“ (Grunert, 2012, S. 76), die in variablen Situationen konkret zu Handlung befähigen. Die Nähe zum Weinertschen (2001) Kompetenzbegriff, in dem Problemlösefähigkeiten durch kognitive, motivationale, soziale und volitionale Beiträge ausgeformt werden, ist evident. Allerdings wird der Weinertsche Begriff im Interesse von Leistungsmessung häufig auf seine kognitiven Aspekte beschränkt (Klieme & Leutner, 2006) und übersieht damit persönlichkeitsbildende Aspekte, was einer ‚bildungstheoretischen Trivialisierung‘ (vgl. Klieme et al., 2003, S. 45) bzw. ‚Marginalisierung der Bildungsrelevanz der Naturwissenschaften‘ (Fischler et al., 2018, S. 14) durchaus nahekommen scheint (vgl. z. B. Blömeke, 2006, S. 227; Klafki, 2007, S. 32).

Wesentlich für diese Positionen zum Verhältnis von Kompetenz und Bildung ist das jeweilige Bildungsverständnis; denn der Kompetenzbegriff scheint mit Weinert (2001) unstrittig operationalisiert zu sein. Dabei fällt auf, dass auch eine geteilte Anlehnung an die Klafkische Bildungstheorie zu unterschiedlichen Einschätzungen führen kann. Beschränken sich Klieme et al. (2003) auf einen weitgehend funktionalistischen Bildungs- und Kompetenzbegriff, der mit Aspekten der kritisch-konstruktiven Didaktik Klafkis (2007 – Stichwort Mündigkeit) und insbesondere seines Verständnisses von Allgemeinbildung (2003, 2007) zu vereinbaren ist (vgl. auch ‚pragmatischer Bildungsbegriff‘ bei Fischler et al., 2018), so orientieren sich sowohl Benner (2002) als auch Stübzig und Stübzig (2018) an einem differenzierteren Bildungsbegriff, der sich letztlich auf Humboldt (1995), Litt (1959) und Klafkis Theorie der kategorialen Bildung (1964, 1972) beziehen lässt. Bildung kann also entweder pragmatisch-funktionalistisch oder persönlichkeitsentfaltend interpretiert werden (Felden, 2003); dabei ist nur erstere Deutung zwanglos anschlussfähig an den internationalen *Literacy*-, d. h. Kompetenzdiskurs (vgl. Fischler et al., 2018).

Das Konzept der *Scientific Literacy* ist ursprünglich in zwei *Visions* beschrieben worden (Roberts, 2007). *Vision I* verfolgt dabei, naturwissenschaftliche Literalität bei

Lernenden anzulegen, sodass diese auf ein Berufsleben in naturwissenschaftsaffinen Bereichen vorbereitet werden (Professionalisierung). *Vision II* hingegen zielt auf die Befähigung, naturwissenschaftliches Wissen für Problemsituationen des Alltags ‚parat‘ zu haben (Funktionalisierung). Beide *Visions* können, Sjöström et al. (2017) folgend, um eine *Vision III* ergänzt werden, in der die Aspekte einer demokratisch-politischen Teilhabe explizit angesprochen sind (Demokratisierung) und mit Hilfe derer selbstbestimmtes Handeln im Lichte von *Socio-Scientific Issues* ermöglicht wird (vgl. Hodson, 2014). Die Tradition dieser *Vision III* beziehen Sjöström und Eilks (2018) direkt auf Klafkis kritisch-konstruktive Didaktik. Gleichzeitig gibt es Parallelen zu Hentigs (2009) Bildungsmaßstab „die Bereitschaft zur Selbstverantwortung und Verantwortung in der *res publica*“, auf die sich wiederum Klieme et al. (2003, S. 56) beziehen.

Kompetenzen und *Scientific Literacy* kommen somit immer eine an Anwendungssituationen gebundene Finalität zu – Lernende müssen Kompetenzen erwerben, um später etwas zu können, das die Gesellschaft oder ein Arbeitgeber von ihnen erwartet. Sei es, dass es für ihr professionelles Wirken von Bedeutung ist (Anstrichstoffe auf Wasser- bzw. auf Kunstharzbasis können nicht gemischt werden) oder sei es, dass es gesellschaftlich von Bedeutung ist (der Genuss von Säure schadet der Zahngesundheit und belastet die Krankenvorsorge, daher ist Gesundheitserziehung notwendig) – immer ist ein Utilitätsgedanke verbunden. Der Wertmaßstab verschiebt sich nachhaltig, wenn man naturwissenschaftliches Wissen und Können aus der Bildungsperspektive betrachtet. Dann führt eine naturwissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Umwelt zu einer – prinzipiell wertfreien – Formung der Persönlichkeit und erst mittelbar zu einer Utilität in den verschiedenen Feldern. Bildung nimmt den Menschen zum Maßstab, wohingegen Kompetenzen auf seine Funktion in einem komplexen Räderwerk fokussieren.

Betrachtet man nun das Experimentieren, das im Rahmen der Kompetenzerwartungen zur Erkenntnisgewinnung in den Nationalen Bildungsstandards niedergelegt ist (KMK 2005a–c, vgl. Emden & Baur, 2017, S. 3), sind Akzeptanzprobleme auf Seiten der Lernenden nachvollziehbar, wenn nicht gar vorprogrammiert. All jene Lernenden, die keinen naturwissenschaftsaffinen Beruf anstreben, können den Anspruch erheben, dass sie ‚das alles niemals brauchen werden‘ (wider die Professionalisierung, *Vision I*). Bezüglich des postulierten Nutzens in alltäglichen Situationen mögen dieselben Lernenden auf vertraute Rechercheroutinen mit Internetsuchmaschinen hinweisen (wider die Funktionalisierung, *Vision II*). Hinsichtlich der mündigen gesellschaftlichen Teilhabe können zukünftige Anforderungen – denn aktuelle gesellschaftlichen Entscheidungen werden nicht von den Lernenden bestimmt, sondern von den vorausgehenden Generationen – nur bedingt die Einlassung auf einen Unterrichtsgegenstand bewirken, wie sie von einer aktuell relevanten Bezugnahme ausgeht (wider die Demokratisierung, *Vision III*). Funktional gesehen bieten sich Lernenden entsprechend mannigfaltige Möglichkeiten, sich vom *Lernen* des Experimentierens zu exkulpierten, selbst wenn es sich in der Durchführung beständig hoher Beliebtheit erfreut.¹

1 Ungeklärt bleibt jedoch, *was* am Experimentieren beliebt ist und hohe Interessensbekundungen begründet (z. B. Gräber, 1992; Merzyn, 2008): Die erkenntnisorientierte Anwendung der

Der kognitive Aspekt der Kompetenzentwicklung kann so durch motivationale und volitionale Kompetenzbeiträge ausgehebelt werden. Daher bedarf es einer bildungstheoretischen Fundierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts im Allgemeinen (vgl. Fischler et al., 2018) sowie des Experimentierens im Speziellen, die aufzeigt, wieso Experimentieren für jede Persönlichkeit wichtig ist, und an Motivation und Volition für das *Lernen* appelliert. Allein: Diese Verortung fehlt zurzeit.

3. Naturwissenschaft und Bildung

Der Begriff Bildung ist vielfach definiert worden (z. B. Felden, 2003, S. 238; Hentig, 2009, S. 14; Klafki, 1972, S. 43; Schwanitz, 2010, S. 497–498; Tenorth, 2003, S. 423). Einigkeit besteht, dass Bildung sich nicht in einer Anhäufung von Wissen erschöpft (z. B. Humboldt, 1995), sondern einen Transformationsprozess des Subjekts erfordert, sodass Bildung zugleich Prozess und Produkt ist. Hentig unterscheidet drei populäre Verständnisse von Bildung, die er mit den Verben ‚haben-wissen‘, ‚können-tun‘ und ‚sein-werden-sich bewußtwerden‘ (Hentig, 2009, S. 183) assoziiert. Insbesondere hinsichtlich der reflexiven Aspekte von Bildung, die im ‚Können‘ und ‚Sein‘ wirksam werden, ist einsichtig, dass Bildung nicht direkt lehrbar ist, sondern allenfalls durch Lerngelegenheiten angestoßen werden kann (z. B. Grunert, 2012).

Das Humboldtsche Bildungsideal (Humboldt, 1995; vgl. Hentig, 2009, S. 38–39) versprach sich von der Orientierung an einer idealisierten Antike die volle persönliche und gesellschaftliche Entfaltung des Individuums, der keine Zweckgebundenheit vorstand (z. B. im Sinne eines Fitmachens für den Arbeitsmarkt oder eines Vorbereitens auf Examina). Naturwissenschaftliches Wissen wurde hierbei als nicht-bildend verstanden, da die Nähe der Naturwissenschaft zur Technik sie zur Anwendungswissenschaft degradiert (vgl. Fischer, 2009; Hofheinz, 2007; Verdinglichkeitsvorwurf bei Kutschmann, 1999), der es aufgrund ihrer auf Verallgemeinerung angelegten Erkenntnisziele nicht möglich sei, existenziell wirksam zu werden: Wenn jedoch der einzelne Mensch in seiner (sich der Verallgemeinerung entziehenden, da individuellen) Existenz nicht zur Disposition gestellt würde, könne sich in ihm durch die Behandlung des Gegenstands nichts verändern, sodass Bildung ausgeschlossen sei (Litt, 1959, S. 50). Darüber hinaus betreibe die Naturwissenschaft im Prinzip nichts anderes als eine protokollierende Darstellung ohnehin vorhandener und ablesbarer Fakten (Vorwurf der Geistlosigkeit: Kutschmann, 1999). Im Zuge dieser ‚Bestandsaufnahme‘ würden alle ästhetischen und direkt erfahrbaren Qualitäten von Natur dem Interesse der formalistischen Beschreibung und mathematischen Modellierung unterworfen, sodass Natur als solche nicht mehr erlebbar sei, sondern nur noch in lebensentleerten Formeln bestehen („ästhetische[] Barbarei am sittlich schönen Vorbild der Natur“: Kutschmann, 1999, S. 30). Die

Methode oder die willkommene Abwechslung im Unterrichtsgang? Eine allgemeine Beobachtung von *hands-on-minds-off* (z. B. Lunetta, 1998, S. 250; DeBoer, 2006, S. 21; Duschl, 2008, S. 269) zeichnet diesbezüglich ein eher düsteres Bild.

Effekte solch normativer Setzung und Verurteilung wirken bis in die heutige Zeit, in der – ein meist falsch zitierter² – Schwanitz (2010) und sein Antagonist Fischer (2009) zu effektiv derselben Einschätzung kommen: Naturwissenschaftliches Wissen ist nicht gesellschaftsfähig (im Verständnis von ‚Abendgesellschaft‘) und folglich nicht bildend (vgl. auch Wagensein, 1965, S. 443, Fußnote 13).

Litt widerspricht all diesen Thesen gleichermaßen. Einerseits sei der Naturwissenschaftler kein mechanistischer Protokollant der Natur, sondern müsse sein eigenes Verhältnis zu ihr neu definieren, um überhaupt Erkenntnis gewinnen zu können – die Natur lasse sich nicht einfach ‚ablesen‘ (Litt, 1959, S. 67). Andererseits kann auch er den Vorwurf der ‚ästhetischen Barbarei‘ nicht gänzlich auflösen, jedoch sieht er hier eher eine immanente Spannung, aus der schlussendlich Bildung erwachse: Der Mensch müsse sich von einem natürlichen Umgang mit der Natur (Erlebnisaspekt) konditionieren zu einem regelgeleiteten Diskurs mit Naturphänomenen (Erkenntnisaspekt). Zu diesem Zweck muss der Mensch sich selbst zum Subjekt wandeln, das nüchtern und vorurteilsfrei im Dienst der Wissenschaft steht und auf die gleichermaßen zum Objekt gewandelte Natur schaut. Sein Instrument hierzu ist das der Reflexion.

Jener innere Vorgang, der in die Thronbesteigung des reinen „Verstandes“ einmündet, verläuft nicht in jener Weise, daß der Mensch sagt: „Ich will Subjekt werden!“ und nun sich selbst im Sinne dieses Entschlusses bearbeitet – nein: er erfolgt dergestalt, daß der Mensch den frei dahinflutenden Strom seiner Erlebnisse nach Maßgabe der logischen Prinzipien, auf denen die Methode beruht, eindämmt, reguliert und auf bestimmte Erkenntnisziele hin ausrichtet. Er blickt nicht auf sich selbst, er modelt nicht an sich selbst: er blickt auf die Sache, er formt an der Sache. Er wandelt seine Gestalt, indem und dadurch daß er über der Sache seiner selbst vergißt. (Litt, 1959, S. 56)

Insofern muss das sich wandelnde Verhältnis zur Natur als existenzielles Moment verstanden werden, das auch den Menschen selbst aufgrund der gewählten, reflexiven Selbstdistanzierung infrage stellt.

2 Im Folgenden sei der Gesamtzusammenhang des üblicherweise verkürzt wiedergegebenen Zitats (hier kursiv) angeführt: „Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse werden zwar in der Schule gelehrt; sie tragen auch einiges zum Verständnis von Natur, aber wenig zum Verständnis von Kultur bei. Deshalb gilt man nach wie vor als unmöglich, wenn man nicht weiß, wer Rembrandt war. Wenn man aber keinen Schimmer hat, worum es im zweiten thermodynamischen Hauptsatz geht oder wie es um das Verhältnis der schwachen und starken Wechselwirkung des Elektromagnetismus und der Schwerkraft bestellt ist oder was ein Quark ist, obwohl die Bezeichnung aus einem Roman von Joyce stammt, dann wird niemand daraus auf mangelnde Bildung schließen. So bedauerlich es manchem erscheinen mag: *Naturwissenschaftliche Kenntnisse müssen zwar nicht versteckt werden, aber zur Bildung gehören sie nicht.*“ Schwanitz (2010, S. 607). Man bemerke, dass Schwanitz nicht über den Bildungswert der Naturwissenschaften urteilt, sondern lediglich eine gesellschaftliche Beobachtung resümiert, die Fischer in seiner Replik *Die andere Bildung* weitgehend bestätigt (2009, S. 31).

Nicht umsonst haben wir so eingehend den Prozeß der Umbildung erörtert, der im Menschen vor sich gehen muß, auf daß er, zum „Subjekt“ sublimiert, das „Objekt“ zu Gesicht bekomme. Der Anerkennung seiner „existenziellen“ Bedeutung stellt sich die Behauptung entgegen, daß der Mensch durch die allgemeingültige Wahrheit, die bei ihm herauskomme, nicht „verwandelt“ werde. Allein es gibt nicht viele innere Vorgänge von allgemein-geistiger Art, die sich, was ihre verwandelnde Wirkung angeht, mit dem Erwerb dieser Wahrheit messen können. Die Umstellung des inneren Menschen, die sich im Fortschreiten dieses Vorgangs vollzieht, gehört zu den tiefsten Eingriffen in die Selbstorganisation der menschlichen Seele. Ein Instrument, das ich einem von mir getrennten Gegenstand appliziere, verändert diesen Gegenstand, mich selbst aber, den mit ihm Hantierenden, ändert es höchstens insoweit, als es mich durch gewisse äußere Fertigkeiten bereichert. Eine Methode dagegen, in die ich den Rhythmus meines seelischen Lebens einschwingen lasse, um durch sie mit dem gesuchten Gegenstand zusammenzukommen, wird zu einer mein ganzes Menschentum umgestaltenden Macht. (Litt, 1959, S. 62–63)

Der Perspektivwechsel, den der Mensch zu vollziehen hat, sei ein fundamentaler, den er darüber hinaus niemals abschließe, sondern der sich in einer beständigen Antinomie von Erlebnis- und Erkenntnisaspekt der Natur niederschlage (s. a. Benner, 2018; Gebhard et al., 2017; Ullrich, 2000). Der Mensch kann infolge dessen nicht mehr allein Natur genießen im ursprünglichen Umgang mit ihr, noch kann er sie nur analytisch als Objekt behandeln, sodass sich für ihn eine lebenslange Spannung ergibt, die er auszuhalten und produktiv zu kanalisieren hat (vgl. Emden, 1970, S. 243).

Bildend ist die tätige Auseinandersetzung mit den Naturwissenschaften also, weil sich in diesem Prozess der Gegenstand (Natur) *und* der Akteur notwendig verändern müssen: „[D]as ‚Subjekt‘ [wird] auf das ‚Objekt‘ hin ausgerichtet und das ‚Objekt‘ dem ‚Subjekt‘ gleichsam entgegengeformt.“ (Litt, 1952, S. 486–487). Diese doppelte Umformung findet sich – nicht zufällig – wieder in Wolfgang Klafkis Theorie der kategorialen Bildung, zuerst dargelegt in seiner Dissertationsschrift (1964), die er seinen „Lehrern Professor Dr. Erich Weniger und Professor Dr. Dr. h. c. Theodor Litt in Dankbarkeit und Verehrung“ (Klafki, 1964, o. S.) widmet. Ausgehend davon wird „die Deutung des Bildungsvorganges bzw. seines ‚Ergebnisses‘ als wechselseitige Erschließung von Mensch und Welt“ verstanden (Klafki, 1964, S. 305).

Auch Klafki versteht Bildung als Transformationsprozess des Individuums; jedoch sieht er Schule in der Lage, diesen Prozess durch angemessene Lerngelegenheiten anzustoßen, während das Humboldtsche Ideal Prozessinitiierung und -aufrechterhaltung vollständig individuell gesteuert annimmt (Benner, 2018). Klafki fordert, dass Unterrichtsgegenstände, die einen zentralen Ort im Bildungswesen behaupten wollen, kategorial bildend sein müssten (Klafki, 1972, S. 44–45). Nur so sei gewährleistet, dass Lernende sich mit für sie existenziellen Gegenständen beschäftigen und sich schließlich an ihnen bilden können. Klafkis jüngere Theorie der kritisch-konstruktiven Didaktik beruft sich ausdrücklich weiterhin auf die Theorie der kategorialen Bildung (Klafki, 2007, S. 96; s. a. Koch-Priewe et al., 2016, S. 124), sodass sie als Grundlage seines Per-

spektivschemas zur Unterrichtsplanung (Klafki, 2007) verstanden werden muss. Dieses Perspektivschema erreicht bei einer Befragung von Studierenden, Referendaren und aktiven Lehrkräften hinsichtlich des Aspekts ‚Inhalt‘ in allen Gruppen Höchstwerte (Wernke, Werner & Zierer, 2015) – gegenüber den Berliner (Heimann, Otto & Schulz, 1965), Hamburger (Schulz, 1980) bzw. Eklektischen Modellen (Zierer, 2012). Auch in den Bereichen ‚Verständlichkeit‘ und ‚Praxisnähe‘ wird es durchweg überdurchschnittlich positiv bewertet, sodass die Theorie der kategorialen Bildung als im Prinzip der Schulrealität adäquat zu verstehen ist und sich in der Folge als Analyseraster für den Bildungsgehalt von Schulwissen legitimiert.

4. Bildung und Experimentieren

Im Folgenden bildet die Theorie der kategorialen Bildung den Hintergrund, vor dem das Experimentieren als ein zentraler Unterrichtsgegenstand des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu analysieren ist. Klafki legt seiner Theorie die Unterscheidung von vier Bildungstraditionen (in zwei Paaren) zugrunde, deren Vor- und Nachteile er diskutiert (im Folgenden: Klafki, 1972; Stübiger & Stübiger, 2018).

Einerseits unterscheidet er hinsichtlich *materialer Bildung* die *szientifische Bildung* (*bildungstheoretischer Objektivismus*), d. h. ein enzyklopädisches, an fachwissenschaftlichen Wissensstrukturen orientiertes Wissensgebäude, über das der Gebildete flexibel verfügen kann. Diesem Bildungsansatz folgend, entsteht Bildung aus der Kenntnis möglichst vieler, korrekter Fachwissensinhalte, die möglichst komplex aufeinander bezogen werden können. Dieser Ansatz ist nach Klafki angesichts immer schneller wachsender Wissensstrukturen nicht zielführend, da die zentrale Frage „Wie viel wovon im Unterricht“ mit der Realentwicklung von Wissenschaft nicht Schritt halten kann.

Demgegenüber steht die *Theorie des Klassischen*, in der Bildung sich an besonders prägnanten und typischen Wissens-elementen einer Domäne entfalten kann, da sich in diesen „das ideale Selbstverständnis eines Volkes, einer Kultur, eines Menschenkreises“ spiegelt (Klafki, 1972, S. 30). Es sollen solche Lehrgegenstände ausgewählt werden, an denen sich zentrale Aspekte der Wissenschaft in klassischer, d. h. möglichst prototypischer und einfacher Gestalt studieren lassen, sodass im Zuge des Bildungsprozesses Transfermöglichkeiten zu neuen, verwandten Phänomenen erschlossen werden können. Die Entscheidung darüber, was als klassisch zu gelten hat, ist nach Klafki letztlich eine normative, sodass sich dieser Ansatz entweder dem Vorwurf der Willkür oder einer hoffnungslosen Inflation von Kanones ausgesetzt sieht.

Auf der anderen Seite leitet Klafki zwei Ansätze *formaler Bildung* ab, die sich nicht primär der Ausbildung von kognitiven Strukturen widmen, sondern die Formung, Entwicklung und Reifung körperlicher, seelischer und geistiger *Kräfte* im Individuum beschreiben (Klafki, 1972, S. 33). Den einen Teil des zugeordneten Ansatzpaares bezeichnet Klafki als *funktionale Bildung*, die auf die Entwicklung von personalen (oft metakognitiven) Fähigkeiten ausgelegt ist, die dem Menschen bei der Lebensbemeisterung helfen. Hier wären bspw. ‚ästhetische Wahrnehmung‘, ‚ethisches Urteilen‘ so-

wie allgemein ‚Denken‘ zu nennen, aber auch Sekundärtugenden wie Frustrationstoleranz und Sorgfalt (vgl. Scharf, 1984). Suchte man eine moderne Entsprechung dieses Aspekts, müssten u. a. die volitionalen Fähigkeiten im Weinertschen Kompetenzbegriff (2001) apostrophiert werden. Den Gegenpart im Ansatzpaar übernimmt die *methodische Bildung*, die sich der Ausbildung von – im weitesten Sinne – instrumentellen Fähigkeiten widmet, die situationsübergreifend angewendet werden können. Hier ist ebenfalls eine Nähe zum modernen Kompetenzbegriff festzustellen; so würden allgemeine Strategien und Heuristiken wie der Dreisatz, naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden und hermeneutisches Literaturstudium in diesen Bereich fallen. Beiden Ansätzen wird gleichermaßen angelastet, dass ihre Konzeption annimmt, dass formale Bildung unabhängig von materialer Bildung zu entfalten sei – also ohne konkrete Inhalte. So gehe die funktionale Bildung stillschweigend davon aus, dass die entsprechenden Kräfte bereits im Individuum zur Entfaltung angelegt seien und im Bildungsprozess nur mehr geweckt werden müssten, was schon alltäglicher Erfahrung widerspreche.

Diese vier Ansätze versuchen, historisch gesehen, exklusiv (oder bestenfalls additiv) Bildung und Bildungsprozesse zu beschreiben, sodass sich beispielsweise klassische und methodische Bildung nicht ergänzen, sondern häufig als gegenseitige Ausschlusskriterien verstanden wurden. Stübiger und Stübiger (2018) folgend ist es Klafkis Verdienst, die beiden Seiten von Bildung – jene auf das Subjekt bezogene formale Bildung und jene auf das Objekt bezogene materiale Bildung – aufeinander bezogen und in Einklang gebracht zu haben. Dies geschieht dergestalt, dass materiale Bildungsaspekte in Kategorien fassbar werden, die sich das Subjekt in einem formalen Prozess aneignet, durchdringt und in der Folge auf andere Situationen transferieren kann. Das heißt, dass dem Bildungsinhalt etwas Klassisches innewohnen muss, das zugleich wissenschaftlich korrekt und relevant ist (materiale Bildung) – der Umgang mit dem Bildungsinhalt muss auf Seiten des Subjekts dazu führen, dass sich seine Kräfte an ihm entfalten und wachsen können; dies kann sich gleichermaßen auf metakognitiver/personaler wie auch auf methodischer Ebene ereignen. Im Bildungsprozess erschließen sich Bildungs-subjekt und -objekt wechselseitig – d. h. weder das Subjekt noch das Objekt sind hinterher dieselben. Das Objekt gewinnt eine neue Qualität des ‚Erkanntseins‘ und ‚In-Bezug-Stehens‘ zu anderem Wissen (oder Können); das Subjekt erwirbt neue Fähigkeiten. Es kann die Welt nicht mehr so sehen und verstehen wie vor dem Bildungsprozess (vgl. auch Ahrens, 2005, S. 34) – eine Perspektive hat sich nachhaltig verändert und erlaubt es, die Welt aus dieser neuen Perspektive wahrzunehmen. Wesentliche Voraussetzung dafür, dass ein Gegenstand kategorial bildend sein *kann*, ist, dass er bildende Potenziale hinsichtlich der vier historischen Bildungstheorien hat, die sich gegenseitig verstärken – genügt er einem der Ansätze nicht, kann er nicht mehr als kategorial bildend gelten und dürfte „im Raum der Bildung [k]einen zentralen Platz beanspruchen“ (Klafki, 1972, S. 44).

4.1 *Szientifische Aspekte des Experimentierens*

Experimentieren ist *eine* Erkenntnismethode der Naturwissenschaften, die seit Bacon als Maßstab und Charakteristikum naturwissenschaftlicher Auseinandersetzung gilt (Rousmaniere, 1906; Scharf, 1984) und deswegen auch in der Schule Berücksichtigung finden soll (z. B. Kirschner, 1992). Sie umfasst eine Vielzahl von Teilprozessen (vgl. Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Padilla, 1990), die aufeinander bezogen werden müssen (z. B. Prenzel & Parchmann, 2003), um einer ‚Frage an die Natur‘ folgend Hypothesen zu bilden, eine Untersuchung zu planen und durchzuführen, um schließlich auf der gewonnenen Evidenz aufbauend valide Schlüsse zu ziehen (Mayer, 2007). Selbst wenn das in den Bildungsstandards implizite hypothetisch-deduktive Verfahren (vgl. Emden & Baur, 2017, S. 3) nicht den alleingültigen experimentellen Zugang zu naturwissenschaftlicher Erkenntnis darstellt (z. B. Wong & Hodson, 2009), kommt diesem Verfahren dennoch eine Schlüsselposition in der Realwissenschaft zu. Hypothetisch-deduktive Experimente dienen als Nagelprobe für wissenschaftliche Theorie und sind daher zentral für den Erkenntnisprozess. Die Kenntnis normalwissenschaftlichen Vorgehens erfüllt zugleich drei der von Hodson (2014) geforderten Funktionen des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Durch Experimentieren wird naturwissenschaftliches Wissen generiert (*learn science*), auf einem methodisch probaten Wege (*learn to do science*), der in sich auch Grenzen der Reichweite aufzeigt (*learn about science*). Ein Bewusstsein dieser Grenzen allein weist schon ein bildendes Moment auf (Stöckler, 2003, S. 671). Experimentieren ist dementsprechend ein Dreh- und Angelpunkt naturwissenschaftlichen Verstehens.

4.2 *Das ‚Klassische‘ im Experimentieren*

Schule kann und soll nicht die Praxis der aktuellen Wissenschaft imitieren (z. B. DeBoer, 2006; Kirschner, 1992); sie beabsichtigt daher auch nicht, alle jemals durchgeführten Experimente der Menschheitsgeschichte einzuführen oder nachvollziehen zu lassen. Wenn Schule das Experimentieren anspricht, geschieht dies – heute in Folge der nationalen Bildungsstandards (KMK, 2005a–c) mehr denn je – im Interesse, eine verallgemeinerbare Kompetenz zu erwerben, die für die Naturwissenschaften charakteristisch ist. In diesem Sinne kann Experimentieren als materiales Bildungsgut behandelt werden: als Fachmethode, die nicht zwangsläufig selbst durchgeführt werden muss, deren innere Zusammenhänge aber bekannt und verstanden sein müssen, um selbstbestimmt mit Aussagen zum Experimentieren umgehen zu können. Die Ansichten darüber, welche Teilprozesse des Experimentierens in der Schule zu berücksichtigen sind, divergieren deutlich (vgl. Emden & Baur, 2017), lassen sich jedoch im Kern auf drei Teilprozesse reduzieren, die lernpsychologisch modellierbar sind (Klahr & Dunbar, 1988): Generieren einer Fragehaltung/Erwartung, Überprüfung der Fragehaltung/Erwartung, ergebnisoffene Auswertung. Eine solch allgemeine Fassung des Erkenntnisprozesses transzendiert die Grenzen des hypothetisch-deduktiven Vorgehens und erlaubt auch Un-

tersuchungssettings, in denen bspw. die Variablenkontrolle beschränkt ist: So ist der Nachweis von Gravitationswellen, wie er Abbott et al. (2016) gelungen ist, im klassischen Experiment praktisch unmöglich; jedoch können aufbauend auf einer Erwartung, die sich aus Einsteins Prognose von 1918 ableitet, entsprechende Messanordnungen entwickelt werden, die eine klärende Evidenz aufzuzeichnen vermögen. Gleichmaßen lässt sich die Entdeckung des Penicillins durch Alexander Fleming (1929) in dieser Struktur beschreiben, selbst wenn der Prozess nicht hypothesenprüfend eingeleitet worden ist. Das grundlegende Denk- und Handlungsmuster des Experimentierens ist auf vergangene Forschung ebenso anwendbar wie auf aktuelle und voraussichtlich auch auf zukünftige Forschung. In diesem Muster spiegelt sich „das ideale Selbstverständnis [...] einer Kultur [der Naturwissenschaften], eines Menschenkreises [naturwissenschaftlich Forschender]“ (Klafki, 1972, S. 30): Naturwissenschaftliches Wissen muss prinzipiell der empirischen Prüfung und Theoriebildung zugänglich sein und sich auf eine Fragestellung beziehen (vgl. Bartos & Lederman, 2014). Um diese Aspekte des Experimentierens zu erlernen, bedarf es noch keiner eigenen Erfahrung im händischen Umgang – sie könnten prinzipiell auch allein durch die Beschäftigung mit historischen Fallbeispielen erworben werden (McComas, 2008).

4.3 Funktionale Bildung durch Experimentieren

Das Experimentieren wird in einer materialen Bildungsauffassung weitgehend als Bildungsgut verstanden, das auch in Form von Buchwissen weitergegeben werden kann (Wie muss man ..., Worauf ist zu achten ...). Formale Bildungsauffassungen haben hingegen einen prozesshaften Charakter, in den das Subjekt als zu Bildendes zwingend eingebunden ist, sodass Experimentieren in formaler Hinsicht auch immer das Selbst-Experimentieren meinen muss. Dies darf sich jedoch nicht in einem mechanistischen Abarbeiten von Prozeduren erschöpfen, sondern erfordert die kognitiv-reflexive Begleitung (Wagenschein, 1965, S. 369, S. 383). Es ist u. a. jener Aspekt der Reflexion, in dem Litt den Kern des Bildungswertes von Naturwissenschaften sieht (Litt, 1959, S. 93). Das Wissen über „Reichweite und Grenzen, über die Art und Weise, wie naturwissenschaftliche Aussagen begründet werden“ (Stöckler, 2003, S. 671) ist in diesem Sinne bildend, da es den Menschen zur freien Entscheidung ermächtigt bzw. zwingt (Litt, 1947, S. 46).

Zwar erscheint es, als wäre dies auch theoriebasiert in der Auseinandersetzung mit literarischen Zeugnissen (z.B. Tagebücher von Naturwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern) möglich, doch würde dies die weiter oben angeführte existenzielle Verwandlung des Erlebenden in einen Erkennenden nicht ermöglichen. Zur Erkenntnis von Grenzen und Reichweite gehört es zwingend, dass der Lernende zum Subjekt des Prozesses wird und „sich auf das ‚Objekt‘ hin“ ausrichtet (Litt, 1952, S. 487) – dies ist nicht möglich durch passives Rezipieren von Forschungsarbeiten. Wie bereits angeführt, misst Litt diesem „inneren Vorgang von allgemein-geistiger Art“ (Litt, 1959, S. 63) eine fast singuläre Tragweite bei.

Geiß (2013) hingegen kommt zum entgegengesetzten Schluss. Er argumentiert, dass die Auseinandersetzung des Menschen als Subjekt mit der Natur als Objekt in einem Modus der Erkenntnis und nicht des Erlebens stattfindet und somit für den ursprünglichen, d. h. erlebenden Menschen nicht bildend sein kann:

Hier wird deutlich, dass in der Methode der Naturwissenschaft selbst nach Litt kein Bildungswert zu finden ist. Der Konflikt in der Methode der Naturwissenschaft besteht zwischen „bereichernder Erkenntnis“ und „verarmender Entselbstung“. Dieser Konflikt ist es, den Muckenfuß als „unpädagogische Dimension der Physik“ bezeichnet. Der Prozess der Entselbstung ist eine, in vielen Jahren gewachsene Kulturleistung und doch ist sie dem Menschen fremd. (Geiß, 2013, S. 26)

Während das Argument von akademischem Standpunkt aus gut geführt scheint, ist es hinsichtlich der von Litt selbst eingeräumten Antinomie, die Bildung erst ermöglicht (Litt, 1959, S. 102), nicht stichhaltig: Bildung *bedarf* der zwischenzeitlichen Entselbstung, wobei gleichzeitig die „bereichernde Erkenntnis“ nicht negiert werden darf.

4.4 Methodische Bildung durch Experimentieren

Der zweite Aspekt formaler Bildung nimmt sich gegenüber dem der funktionalen Bildung nahezu trivial aus bzw. erscheint als fachdidaktisches Allgemeingut: werden doch Kompetenzen, die mit dem Experimentieren verknüpft sind, zentral in den nationalen Bildungsstandards eingefordert (z. B. Emden & Baur, 2017, S. 3). Schon Rousseaus *Émile* wird ermuntert die Naturphänomene selbst zu erkunden und dies durch selbst konstruierte Messapparaturen zu unterstützen (Rousseau, 2008, S. 156–158). Das Experimentieren wird bereits in der Grundschule systematisch als Methode der Erkenntnisgewinnung angebahnt (z. B. Grygier & Hartinger, 2012) und sukzessiv zu immer selbständigeren Ausführungsformen entwickelt, um Lernenden einen problemlösenden Zugang zu naturwissenschaftlichen Problemstellungen zu ermöglichen (Mayer, 2007). Es besteht die Absicht, dass Lernende das Experimentieren als generalisierbare Methode erwerben, mit der sie auch zukünftig „in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll“ (Weinert, 2001, S. 28) werden umgehen können: So hilft beispielsweise das Beherrschen variablenkontrollierter Untersuchungen der Mechanikerin, Fehler in komplexen Gerätschaften zu lokalisieren und der Hausmann kann das saure Salatdressing zielsicher retten. Wie eingangs erwähnt, verschwimmen im Bereich methodischer Bildung die Grenzen zur Kompetenzorientierung am ehesten, da der Gedanke einer Handlungsautonomie und daraus erwachsenden Mitgestaltungsfähigkeit hier deutlich zutage tritt (vgl. Stübiger & Stübiger, 2018).

4.5 Kategoriale Bildung durch Experimentieren

Die Frage, ob das Experimentieren „im Raum der Bildung einen zentralen Platz beanspruchen“ darf (Klafki, 1972, S. 44), ist daran zu messen, ob sich die oben diskutierten Aspekte integrativ ergänzen und zu einer Kategorie formen oder ob sie additiv nebeneinander stehen.

In der Kategorie vereint sich das Konzentrat bildender Momente, indem es die wechselseitige Erschließung von Mensch und Inhalt charakterisiert (vgl. Klafki, 2003, S. 13). Vergleichbar hat Theodor Litt das Experimentieren beschrieben:

Jedes Experiment, durch dessen Ausfall die für seine Anlage bestimmenden Hypothese verifiziert wird, ist eine Bestätigung des Füreinander [von naturwissenschaftlichem Geist und Natur], durch welches wie das Denken an die zu erforschende Natur so die Natur an das sie erforschende Denken verwiesen wird. Nicht nur formiert sich die dem Menschen begegnende Natur erst zum Objekt, indem sie von ihm in methodischer Einstellung visiert wird – auch der der Natur begegnende Mensch formiert sich erst zum Subjekt, indem er sie in methodischer Einstellung visiert. Er würde so wenig zum Subjekt werden, wenn sie sich Objekt zu werden weigerte, wie sie zum Objekt werden würde, wenn er ihr als Subjekt zu nahen unterließe. (Litt, 1959, S. 112)

Nach Litt kann es das Eine ohne das Andere nicht geben: Das Experiment ist keine äußere Gegebenheit und der Forschende ist ohne Objekt nicht als Subjekt denkbar (Litt, 1952, S. 489); zugleich ist das Experiment *die* Verbindung zwischen Theorie und Praxis (z. B. Emden, 1970, S. 221; Duschl, 2008) und somit Bildungsgut im szientifischen Sinne. Das Handeln des Subjekts ergibt sich aus der Struktur und den Gegebenheiten des Objekts – die Frage an die Natur ist nicht ‚irgendwie‘ zu stellen und ihre Antwort ist auch nicht einfach abzulesen (Litt, 1959, S. 67), insofern bedarf es einer methodischen Bildung und eines Verständnisses von der klassischen Form des Experiments, die situationsabhängig an das Objekt herangeformt werden kann. Das erkennende Subjekt diszipliniert sich (funktionale Bildung) im naturwissenschaftlichen Forschen und Experimentieren zum rechnenden Beobachter (Benner, 2018, S. 83). In derselben Art, wie sich das Subjekt umbildet, wird jedoch auch das Objekt transformiert, sodass sich das Verhältnis der beiden dauerhaft verändert:

Physik ist nicht entfernt eine vorurteilslose Bestandsaufnahme, die beanspruchen könnte, eine „einzige wirkliche“ Natur „festgestellt“ zu haben. Sie ist eine bestimmte, *einschränkende* Verstehensweise, die eine geregelte *Behandlungsart* voraussetzt: das *eingreifende* „Experiment“. Dabei geschieht der Natur etwas, und zugleich geschieht dem Menschen etwas. Es verändert sich das Bild der Natur in uns, und zugleich kommen wir selber in eine besondere Verfassung zu ihr hin.

Es ist *die* Verwandlung, die der Mond erleidet, wenn aus dem freundlichen Gefährten unserer Nächte eine Kugel wird, vom Radius r , von der Masse m , der

Geschwindigkeit v und so fort. Eine einschränkende Verwandlung, ein Verlust an Wirklichkeit. (Wagenschein, 1965, S. 370)

Natürlich ist der erlebende Mensch nicht *gezwungen*, den Mond immer und stets unter erkennenden Aspekten zu betrachten, ihn gleichsam zu objektivieren. Das Erleben des Mondes wird dem Menschen nicht vergällt, wie Wagenschein selbst demonstriert (1995, S. 146), doch ist es ihm, nachdem er einmal den Erkenntnisweg beschritten hat, unmöglich diese Seite des Mondes zu negieren (vgl. auch Fischer, 2009, S. 62).

Diese Antinomie zwischen Erlebnis und Erkenntnis ist es schließlich, die Bildung erst ermöglicht. Aus ihr erwächst zudem eine besondere Verantwortung, die zu einer moralischen Reflexion des technisch Machbaren (funktionale Bildung) zwingt und die naturwissenschaftliche Distanziertheit des Forschungssubjekts zu seinem Forschungsobjekt nivelliert (vgl. Weizsäcker, 1990). Diesem Anspruch folgt Benner, der die Schule in einem Kontext sieht, geprägt von „Wissen um die theoretisch-technischen Möglichkeiten eines vom Menschen herbeizuführenden Weltuntergangs und [der] Frage, wie mit diesem Wissen verantwortlich umzugehen ist“ (Benner, 1990, S. 600) Die Anerkennung dieses unauflösbaren Widerspruchs (Emden, 1970, S. 243) und der damit verbundenen Unsicherheit kann als Aspekt von Bildung verstanden werden (Stöckler, 2003, S. 675) und sollte produktiv zur Initiierung von Bildungsprozessen genutzt werden (Gebhard et al., 2017, S. 43).

5. Fazit

Experimentieren gehört zweifellos zu einem zeitgemäßen Naturwissenschaftsunterricht (z.B. Prenzel & Parchmann, 2003). Eine Legitimation allein auf Grundlage von Curricula oder Bildungsstandards greift jedoch deutlich zu kurz. Dem Experimentieren wohnt – wie gezeigt – ein kategorial bildender Gehalt inne, der sich nicht hinter Ökonomisierungsaspekten zu verstecken braucht. Die Argumentation, dass Experimentieren mehr vermag, als auf den späteren Berufsalltag vorzubereiten, richtet es als Unterrichtsgegenstand auf seine Adressaten aus, denen die ältere Generation (die Lehrenden) nach Hentig (2009) Orientierung schuldet. Orientierung kann man nur denjenigen anbieten, deren Bedarfe man erkennt.

Diesem Anspruch muss sich der naturwissenschaftliche Unterricht stellen. Lernende haben das Experimentieren bisher vor allen Dingen als eines von zahlreichen Werkzeugen in der Vielfalt der Unterrichtsfächer kennengelernt, das für sie gleichberechtigt neben dem Erlernen des Dreisatzes, des perspektivischen Zeichnens oder dem Umgang mit dem Wörterbuch steht. Es ist für sie ein Werkzeug, dessen Nutzen sie nicht abschätzen können und zu dessen Gebrauch sie sich deswegen eher genötigt als ermutigt fühlen. So wird implizit eine passive Konsumentenhaltung von Lernenden unterstützt. Wie gezeigt, hat das Experimentieren in der Schule ein viel größeres Potenzial: Es kann Lernende bilden, indem es ihre Weltsicht verändert und sie hierdurch zur aktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt ermutigt.

Einschränkend zu bemerken ist, dass der Bildungswert von Experimentieren kaum empirisch nachweisbar sein dürfte, da sich Bildung – wie aus der obigen Diskussion ersichtlich – einer psychometrischen Operationalisierung weitgehend entzieht. Ansätze wie bei Fischler et al. (2018) berichtet, in denen die ‚Krise‘ des Bildungsprozesses aus Interviews rekonstruiert bzw. Konzeptwechsel hinsichtlich einer Teilchenvorstellung untersucht wird, können nur bedingt konstruktvalide sein, da sie den Bildungsprozess notwendigerweise verkürzen.

Das Thema ist hier bewusst aus einer geisteswissenschaftlich-pädagogischen Perspektive beleuchtet, die der empirischen Natur aktueller Naturwissenschaftsdidaktik komplementär angeraten wird (Fischler et al., 2018). Zudem ist einzuräumen, dass die Standpunkte Litts und Klafkis als Ideale zu verstehen sind, denen der Schulalltag nicht immer gerecht werden kann. Sie sollen an dieser Stelle vor allem für die bisher anscheinend ungedachten Potenziale des Experimentierens sensibilisieren und dürfen nicht als dogmatische Unterrichtsprinzipien fehlgedeutet werden. Sie sollen optimaler Weise Antworten anbieten auf die Frage, wieso wirklich *alle* Experimentieren lernen sollten – und zwar nicht bloß durch Hinschauen, sondern durch aktives Tun, durch das gerade formale Bildung erst entstehen kann.

Literatur

- Abbott, B. P. et al. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical review letters*, 116(6), 061102.
- Abd-El-Khalick, F. et al. (2004). Inquiry in Science Education. International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.
- Ahrens, S. (2005). *Bildung, Naturwissenschaft und Technik*. Münster: Waxmann.
- Bartos, S.A., & Lederman, N. G. (2014). Teachers' Knowledge Structures for Nature of Science and Scientific Inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(9), 1150–1184.
- Benner, D. (1990). Wissenschaft und Bildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 36(4), 597–620.
- Benner, D. (2002). Die Struktur der Allgemeinbildung im Kerncurriculum moderner Bildungssysteme. *Zeitschrift für Pädagogik*, 48(1), 68–90.
- Benner, D. (2018). Bildung und Kompetenz. In K.-H. Braun, F. Stübiger & H. Stübiger (Hrsg.), *Erziehungswissenschaftliche Reflexion und pädagogisch-politisches Engagement* (S. 73–91). Wiesbaden: Springer.
- Blömeke, S. (2006). Literacy, Kompetenzen und Standards versus Bildung? *Jahrbuch für Pädagogik*, 15(1), 211–237.
- Bulthaupt, P. (2013). Naturwissenschaftliche Bildung. *Pädagogische Korrespondenz*, 26(47), 32–44.
- DeBoer, G.E. (2006). Historical Perspectives on Inquiry Teaching in Schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science*. (S. 17–35). Dordrecht: Kluwer.
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony. Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268–291.
- Einstein, A. (1918). Über Graviationswellen. In Preussische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* (I. Halbband, S. 154–167). Berlin: Verlag der Akademie der Wissenschaften.
- Emden, H. (1970). *Naturwissenschaft und Bildung bei Theodor Litt*. Dissertation, Justus-Liebig-Universität. Gießen.

- Emden, M. (2011). Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. Berlin: Logos.
- Emden, M., & Baur, A. (2017). Effektive Lehrkräftebildung zum Experimentieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 1–19.
- Feinstein, N. (2011). Salvaging Science Literacy. *Science Education*, 95(1), 168–185.
- Felden, H. v. (2003). Literacy oder Bildung? In B. Moschner, H. Kiper & U. Kattmann (Hrsg.), *PISA 2000 als Herausforderung*. (S. 225–240). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Fischer, E. P. (2009). *Die andere Bildung*. Berlin: Ullstein.
- Fischler, H., Gebhard, U., & Rehm, M. (2018). Naturwissenschaftliche Bildung und *Scientific Literacy*. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 14–29). Berlin: Springer.
- Fleming, A. (1929). On the Antibacterial Action of Cultures of a Penicillium. *British journal of experimental pathology*, 10(3), 226–236.
- Freiman, T. (2003). Bildung? Grundbildung? *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 14(76/77), 12–14.
- Gebhard, U., Höttecke, D., & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften*. Wiesbaden: Springer VS.
- Geiß, S. (2013). *Bildung durch Naturwissenschaft*. Paderborn: Schöningh.
- Gräber, W. (1992). Interesse am Unterrichtsfach Chemie, an Inhalten und Tätigkeiten. *Chemie in der Schule*, 39(10), 354–358.
- Grunert, C. (2012). *Bildung und Kompetenz*. Dordrecht: Springer VS.
- Grygier, P., & Hartinger, A. (2012). *Gute Aufgaben Sachunterricht*. Berlin: Cornelsen
- Gut-Glanzmann, C., & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–140). Berlin: Springer.
- Heimann, P., Otto, G., & Schulz, W. (Hrsg.) (1965). *Unterricht – Analyse und Planung*. Hannover: Schroedel.
- Hentig, H. v. (2009). *Bildung*. Weinheim: Beltz.
- Herrmann, U. (2003). „Bildungsstandards“. *Zeitschrift für Pädagogik*, 49(5), 625–639.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning About Science, Doing Science. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553.
- Hofheinz, V. (2007). Allgemeinbildung durch Chemieunterricht in literacy-Zeitalter? *Chimica et ceterae artes rerum naturae didacticae*, 33(100), 128–151.
- Humboldt, W. v. (1795/1995). Theorie der Bildung des Menschen. In A. Flitner & K. Giel (Hrsg.), *Wilhelm von Humboldt. Schriften zur Anthropologie und Geschichte* (Bd. 1, S. 234–240). Stuttgart: Cotta.
- Kirschner, P.A. (1992). Epistemology, Practical Work and Academic Skills in Science Education. *Science & Education*, 1(3), 273–299.
- Klafki, W. (1964). *Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung*. Weinheim: Beltz.
- Klafki, W. (1972). Kategoriale Bildung. In *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik* (S. 25–45). Weinheim: Beltz.
- Klafki, W. (2003). Allgemeinbildung heute. In H. C. Berg (Hrsg.), *Bildung und Lehrkunst in der Unterrichtsentwicklung* (S. 11–28). München: Oldenbourg.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Weinheim u. a.: Beltz Verlagsgruppe.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48.

- Klieme, E. et al. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards – Expertise*. Bonn: BMBF.
- Klieme, E., & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 876–903.
- 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* (S. 101–132). Münster: Waxmann.
- Kosso, P. (2009). The Large-scale Structure of Scientific Method. *Science & Education*, 18(1), 33–42.
- Kutschmann, W. (1999). *Naturwissenschaft und Bildung*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- 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.
- Lersch, R. (2013). Klafkis Bildungskonzept. *HLZ*, 66(4), 27.
- Litt, T. (1947). *Berufsbildung und Allgemeinbildung*. Wiesbaden: Eberhard Brockhaus.
- Litt, T. (1952). Naturwissenschaft und Menschenbildung. *Physikalische Blätter*, 8(11), 481–492.
- Litt, T. (1959). *Naturwissenschaft und Menschenbildung*. Heidelberg: Quelle und Meyer.
- Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education* (S. 249–262). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177–186). Berlin: Springer.
- McComas, W. F. (2008). Seeking Historical Examples to Illustrate Key Aspects of the Nature of Science. *Science & Education*, 17(2-3), 249–263.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?* Hohengehren: Schneider.
- Oelkers, J. (2013). Bildung heute: Passt Humboldt noch? In C. Kolisang (Hrsg.), *Bundesweiter Bildungstreik 2009*. (S. 89–112). Wiesbaden: Springer VS.
- OECD = Organisation for Economic Co-Operation and Development (Hrsg.) (2000). *Measuring Student Knowledge and Skills. The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. Paris: OECD.
- Padilla, M. J. (1990). The Science Process Skills. In National Association for Research. In Science Teaching (Hrsg.), *Research Matters – to the Science Teacher* (Nr. 9004). Reston: NARST.
- Prenzel, M., & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 14(76/77), 15–19.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 729–780). Mahwah: Erlbaum.
- Rousmaniere, F. H. (1906). A Definition of Experimentation. *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods*, 3(25), 673–680.
- Rousseau, J.-J. (1762/2008). *Émile. Ou de l'éducation*. Paris: Larousse.
- Scharf, V. (1984). Zum Bildungsbeitrag von Experimenten im Chemieunterricht. *Der Chemieunterricht*, 15(2), 13–28.
- Schulz, W. (1980). *Unterrichtsplanung*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Schwanitz, D. (2010). *Bildung*. Frankfurt a. M.: Eichborn.
- 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.
- Shamos, M. H. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Brunswick, NJ: Rutgers Univ. Press.
- 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* (S. 65–88). Cham: Springer.
- Sjöström, J., Frerichs, N., Zuin, V. G., & Eilks, I. (2017). Use of the Concept of *Bildung* in the International Science Education Literature, its Potential, and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 53(2), 165–192.
- Stöckler, M. (2003). Naturwissenschaften und Bildung. Philosophische Anmerkungen zur Normalen und Revolutionären Wissenschaft im Unterricht. *Pädagogische Rundschau*, 57(6), 667–679.
- Stübig, F., & Stübig, H. (2018). Kategoriale Bildung und Kompetenzorientierung. In R. Laging & P. Kuhn (Hrsg.), *Bildungstheorie und Sportdidaktik*. (S. 29–48). Wiesbaden: Springer VS.
- Tenorth, H.-E. (2003). „Wie ist Bildung möglich?“ *Zeitschrift für Pädagogik*, 49(3), 422–430.
- Tenorth, H.-E. (2011). „Bildung“ – ein Thema im Dissens der Disziplinen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 14(3), 351–362.
- Ullrich, H. (2000). Naturwissenschaft und Bildung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 46(2), 235–249.
- Wagenschein, M. (1965). *Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken*. Stuttgart: Klett.
- Wagenschein, M. (1968/1995). Die Sprache im Physikunterricht. In ders., *Naturphänomene sehen und verstehen* (S. 133–148). Stuttgart: Klett.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17–31). Weinheim: Beltz.
- Weizsäcker, C. F. v. (1990). Das Experiment. In ders., *Zum Weltbild der Physik* (S. 169–183). Stuttgart: Hirzel.
- Wernke, S., Werner, J., & Zierer, K. (2015). Heimann, Schulz oder Klafki? *Zeitschrift für Pädagogik*, 61(3), 429–451.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2009). From the Horse’s Mouth. *Science Education*, 93(1), 109–130.
- Zierer, K. (2012). Studien zur Allgemeinen Didaktik. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Abstract: Experimentation is an integral element of both German and international science curricula and standards. Despite its time- and resource-demanding character, its legitimacy is hardly ever doubted. The article aims to demonstrate the interrelations that science experiments in schools have with a theory of Bildung by juxtaposing the theories of Litt and Klafki with current concepts of competence. It will be shown that experimentation in schools bares categorically formative potential, which is manifest in acquiring a specific perspective on the world that entails both self-determination and responsibility. Personally formative aspects of experimentation complement competence-based legitimacy and might be capitalized on in schools to achieve a more voluntary commitment from students.

Keywords: Science Education, Scientific Inquiry, Experimentation, Bildung, Competences

Anschrift der Autor_innen

Prof. Dr. Markus Emden, Pädagogische Hochschule Zürich,
Zentrum für Didaktik der Naturwissenschaften,
Lagerstrasse 2, F-FE-ZDN, LAA-K034, 8090 Zürich, Schweiz
E-Mail: markus.emden@phzh.ch

Arne Bewersdorff, Pädagogische Hochschule Heidelberg,
Im Neuenheimer Feld 561, 69120 Heidelberg, Deutschland
E-Mail: bewersdorff@ph-heidelberg.de

Prof. Dr. Armin Baur, Pädagogische Hochschule Heidelberg,
Biologie und ihre Didaktik,
Im Neuenheimer Feld 561, 69120 Heidelberg, Deutschland
E-Mail: baur@ph-heidelberg.de