

BURKHARD PRIEMER

Was ist das Offene beim offenen Experimentieren?**What is Open in Open Ended Experiments?**

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag zeigt die Ungenauigkeiten in der Verwendung und die Notwendigkeit einer Präzisierung des Begriffes des offenen Experimentierens auf. Dies erfolgt mit Blick auf offenen Unterricht und offene Aufgaben, da auch in diesen Bereichen unscharfe Begrifflichkeiten verwendet werden und divergente Ergebnisse bzgl. der Wirksamkeit der Offenheit vorliegen. Unter Beachtung dieses theoretischen Hintergrunds wird mit Bezug auf bereits vorliegende Arbeiten zum offenen Experimentieren eine Dimensionierung des Begriffes mit einer Graduierung (Stufung) vorgenommen. Abschließend werden Implikationen für die fachdidaktische Forschung aufgezeigt.

Schlüsselwörter: offenes Experimentieren, offener Unterricht, offene Aufgaben

ABSTRACT

The article shows the impreciseness in the use and the need of a better specification of the notion of open ended experiments. For that purpose recourse is taken to open learning and open problems. Here, difficulties in defining openness and in evaluating openness are observed as well. By taking account of this theoretical frame and by integrating existing approaches of open ended experiments the notion of open ended experiments is specified by different dimensions with different levels. Finally, implications for further science education research are highlighted.

Keywords: open ended experiments, open learning, open problems

1 Einleitung

Der Begriff des offenen Experimentierens wird in Theorie und Praxis des Unterrichtens von Naturwissenschaften vielfach verwendet. Bei genauer Betrachtung stecken dahinter sehr unterschiedliche Auffassungen, Bedeutungen und Konzepte. Eine Erklärung, was unter offenem Experimentieren im Einzelnen zu verstehen

ist, wird dabei selten explizit und präzise gegeben. Deshalb bleibt oft unklar, was genau das Offene am offenen Experimentieren ist. Ohne eine derartige Klarstellung des Begriffes ist es m. E. aber kaum möglich, Forschungsergebnisse und Konzepte zu vergleichen bzw. zu beurteilen. Aus diesem Grunde besteht die Notwendigkeit der Differenzierung und Präzisierung des Begriffes des offenen Experimentierens.

Der Beitrag erläutert hierzu einen Ansatz detailliert und stellt diesen zur Diskussion. Zu dessen Herleitung wird wiederholt auf offenen Unterricht und offene Aufgaben Bezug genommen, da in diesen Bereichen ähnliche Schwierigkeiten der begrifflichen Fassung und Wirksamkeitsbewertung vorliegen.

2 Merkmale offenen Unterrichts

Der Begriff des offenen Unterrichts wird in vielfältigen Formen verwendet und kennzeichnet eher einen Oberbegriff „nicht-lehrerzentrierten“ Unterrichts als ein klares eindeutiges Konzept. Im Folgenden wird kurz diskutiert, warum der Begriff der Of-

fenheit im Kontext von Unterricht schwer zu fassen ist und wie komplex Wirksamkeitsuntersuchungen in diesem Bereich sind. Die Anmerkungen können Hinweise für die Fassung des Begriffes des offenen Experimentierens liefern, indem bekannte Schwierigkeiten aufgezeigt werden (z. B. die Definition, Wirksamkeit und Graduierung von Offenheit). Diese sind von großer Relevanz für den vorliegenden Beitrag, wenngleich sich nicht unmittelbar Implikationen aus dem offenen Unterricht für das offene Experimentieren ergeben.

Es existieren zahllose Definitionen, deren sehr grob formulierte Gemeinsamkeit die Mitbestimmung des Lernprozesses durch den Lernenden ist. Tabelle 1 gibt beispielhaft drei Definitionen an. Diese sind ge-

Tab. 1: Drei beispielhafte Definitionen des offenen Unterrichts

QUELLE	BESCHREIBUNG
Apel (2002, 221)	<ul style="list-style-type: none"> • Selbst- und Mitbestimmung der Lernenden bei der Auswahl von Inhalten, Arbeitsmitteln und Methoden, • Zurückhaltung der Lehrenden bei gleichzeitiger Förderung selbstorganisierten Lernens, entdeckendes Lernen an problemhaltigen Aufgaben, • selbstverantwortliche Arbeitsformen wie Freiarbeit, Stationenlernen, Wochenplan- und Projektarbeit"
Peschel (2002, 78)	<p>„Offener Unterricht gestattet es dem Schüler, sich unter der Freigabe von Raum, Zeit und Sozialform Wissen und Können innerhalb eines „offenen Lehrplans“ an selbst gewählten Inhalten auf methodisch individuellem Weg anzueignen“. Der Autor unterscheidet fünf Dimensionen der Offenheit (organisatorisch, methodisch, inhaltlich, sozial und persönlich) und unterteilt diese in sechs Stufen (weitestgehend, schwerpunktmäßig, teils-teils, erste Schritte, ansatzweise, nicht vorhanden).</p>
Bohl (2003, 3, nach Jürgens, 1994)	<p>„<i>Schülerverhalten</i>: Zunehmendes Maß an selbstständigem Lernen in quantitativer und qualitativer Hinsicht; Zunehmendes Maß an Selbst- bzw. Mitbestimmung bei der Auswahl der Unterrichtsinhalte und -durchführung <i>Methodische Grundprinzipien</i>: Übendes, vertiefendes, erarbeitendes – und zunehmend entdeckendes, problemlösendes, handlungsorientiertes, selbstverantwortetes, selbstständiges und kooperatives Lernen“</p>

wählt worden, da sie hinreichend konkret formuliert wurden und gleichzeitig das Spektrum verschiedener Auffassungen und Schwerpunkte des Begriffes verdeutlichen. Diese Vielfältigkeit des Begriffes lässt erahnen, dass es schwierig ist, offenen Unterricht präzise zu operationalisieren und dessen Wirksamkeit insbesondere gegenüber eher „lehrerzentriertem“ Unterricht empirisch zu prüfen. Denn auch eher „lehrerzentrierter“ Unterricht ist multidimensional und vielfältig und lässt sich ebenfalls nicht in einfache Definitionen fassen. Dennoch liegen einige Studien vor, die sich dem Vergleich beider Ansätze widmen. Bohl berichtet (2003, 1): „Die empirische Unterrichtsforschung kann inzwischen recht stabile Hinweise zur Verbesserung und durchaus auch zur Effektivierung von offenem Unterricht beitragen“ (z. B. Weinert, 1998; Zusammenfassung in Bohl, 2002). Helmke und Weinert (1997, 136) fassen zusammen: „[...] die Befunde zum offenen, schülerzentrierten Unterricht insgesamt sind pädagogisch sehr ermutigend. Sie belegen zumeist günstige Auswirkungen auf die Lernleistungen und sehr starke positive Effekte auf die Motivation, das soziale Verhalten und die persönliche Selbständigkeit.“ Brügelmann (1998) berichtet, dass „traditioneller“ oder lehrerzentrierter Unterricht nicht zu bedeutsam besseren Schülerleistungen führt als offener Unterricht und führt an, dass letzterer aber positive Effekte im Persönlichkeitsbereich und bei Einstellungen zur Schule bringt (vgl. auch Zusammenfassung in Berge, 1993). Die Definitionen des offenen Unterrichts, die theoretischen Konzepte, die prak-

tischen Umsetzungen und die Ergebnisse der Evaluationen sind vielfältig und divergent (vgl. Heinzel, 2006). Dies ist insofern erwartungsgemäß, weil die Vielfalt und Multidimensionalität der Konzepte kaum einen systematischen Vergleich zulässt. Das ist m. E. nicht zuletzt auch darauf zurückzuführen, dass unterschiedliche Konzepte unterschiedliche Komponenten des Unterrichts öffnen, sodass unklar bleibt, welcher offene Faktor welchen Einfluss auf welche Variable (wie z. B. Lernleistung oder Interesse) hat (vgl. auch Lipowski, 2002). Ein vergleichbarer Sachverhalt liegt m. E. auch im Bereich der offenen Aufgaben und im Bereich des offenen Experimentierens vor (siehe unten).

3 Offene Aufgaben

Durch das „Programm zur Steigerung der Effizienz mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (SINUS) wurde wiederholt eine Aufgabenkultur (zum Begriff vgl. z. B. Leisen, 2006) in den Blick genommen, die den Stellenwert von Aufgaben im Unterricht stark verändert hat (zu Beispielen vgl. z. B. Fröhlich, Bieber & Horn, 2004). Über das Trainieren von Routinetätigkeiten hinaus ist nun insbesondere auch das Problemlösen in das Blickfeld gelangt. Dies lässt sich bspw. durch offene Aufgaben verwirklichen (vgl. Blömeke, Risse, Müller, Eichler & Schulz, 2006).

Um eine Dimensionierung der Offenheit von Experimenten vornehmen zu können, lohnt ein Blick auf die Charakterisierung offener Aufgaben in der Mathematikdi-

daktik. Shimada (1997, 1) definiert Offenheit durch: „We propose to call problems that are formulated to have multiple correct answers “incomplete” or “open ended” problems”. Leuders (2001), Wälti (2005, 34) und Leisen (2006) geben eine Liste von Kriterien an, die offene Aufgaben charakterisieren und die diese klar gegenüber geschlossenen Aufgaben abgrenzen (vgl. Tab. 2). Diese Kriterien lassen sich m. E. ebenfalls auf den naturwissenschaftlichen Unterricht übertragen. So erweitert z. B. Luchner (1993) für die Physik reine Rechenaufgaben durch Tä-

tigkeiten wie kreatives Nachdenken (mit vorläufigen Betrachtungen, qualitativem Abschätzen, Erkennen von Tendenzen usw. – dies sind die „weichen Tätigkeiten bei Leuders (2001)), Intuition pflegen (Argumentation nach dem Verstehen eines Zusammenhangs, Aufdecken von Alltagsvorstellungen) und Daten auswerten (mit Bezug zum Experimentieren). Offene Aufgaben sollen bewirken, dass die Schülerin bzw. der Schüler „selbständig zu konkreten Vorstellungen über weitere durchzuführende Schritte kommt“ (Luchner, 1993, 22).

Tab. 2: Charakterisierung offener Aufgaben

QUELLE	BESCHREIBUNG
Leuders (2001, 3)	<ul style="list-style-type: none"> • Es gibt mehrere Lösungswege. Welcher Weg einzuschlagen ist, liegt nicht sofort auf der Hand. • Die Problemsituation muss erst mathematisiert werden. • Es werden „weiche mathematische Tätigkeiten“ verlangt. • Eine unscharf definierte Problemstellung führt zu divergenten, konkurrierenden Ansätzen. • Zur Lösung der Aufgabe bedarf es der Integration von mathematischen Kenntnissen aus verschiedenen Bereichen, eventuell besteht die Notwendigkeit einer Erweiterung der Wissensbasis.“
Wälti (2005, 34)	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Lösung liegt nicht auf der Hand, • Annahmen müssen formuliert werden, • Diese müssen durch Einholen von Informationen, Schätzen, Vermuten, Überschlagen bearbeitet werden, • Es muss mit großen Zahlen oder häufig auch dem Umrechnen von Größen gearbeitet werden, • Die Schülerinnen und Schüler müssen aushalten können, dass es keine eindeutigen Angaben und Lösungswege gibt ebenso wie es nicht „die richtige oder falsche Lösung“ gibt, • Ergebnisse müssen überprüft, verglichen und bewertet werden.“
Leisen (2006, 263)	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungsaufträge weglassen, • Aufgaben mit verschiedenen Lösungswegen stellen, • Aus dem Setting selbst Fragen und Arbeitsaufträge erstellen und bearbeiten lassen, • Eine Aufgabe durch ein offenes Setting „rückwärts angehen“, • Produktionsorientierte Aufträge stellen (z. B. Postererstellung, Bau eines funktionstüchtigen Gerätes, Erstellung einer Webseite,... , • Aufgaben aus verschiedenen Themengebieten mischen“

Dass damit u. U. auch Probleme entstehen, die der „traditionelle“ Unterricht nicht kennt, zeigt Schönwald (2001, 394) auf. Er diskutiert anhand einer Beispielaufgabe, wie anspruchsvoll die Konstruktion sinnvoller Anwendungen mit abschätzbarem Lernwert sind und wie schwierig die Bewertung offener Aufgaben ist. Lehrkräfte müssen mit unterschiedlichsten Lösungen der Schülerinnen und Schüler rechnen, die ein Spektrum von trivialen Abschätzungen über nicht zielführenden (aber deshalb aus der Sicht der Lernenden nicht sinnlosen) Überlegungen bis zu nicht-lösbaren Ansätzen aufspannen. Die Gründe dafür liegen in dem großen Interpretationsspielraum offener Aufgaben hinsichtlich der erst durch den Lerner zu treffenden Annahmen bzw. auch bzgl. der erwarteten Lösung. Insofern ist es für eine bessere „Handhabung“ der Offenheit sinnvoll, über Stufungen der Offenheit zu verfügen. Fischer und Draxler (2007, 646 bzw. 2001, 390) unterscheiden vier Grade:

- „1. Die Aufgabe lässt mehrere Lösungswege zu und schreibt weder direkt noch indirekt einen bestimmten Weg vor.
2. Die Aufgabe lässt mehrere Lösungsmöglichkeiten zu und thematisiert einige Alternativen.
3. Die Aufgabe macht implizite Vorgaben zum Lösungsweg, etwa durch Handlungsanweisungen [...] oder Nennung der zu verwendenden Geräte bzw. physikalischer Gesetze.
4. Die Aufgabe schreibt explizit einen Lösungsweg vor.“

Kuhn und Müller (2007a, 2007b) schlagen einen anderen Weg vor, der über Theorien des Problemlösens anhand der Parameter „Ausgangsdaten“, „Lösungsweg“ und „Ergebnis“ den Offenheitsgrad von Aufgaben beschreibt. Auf diese Weise werden sieben Aufgabentypen generiert: Geschlossen sind solche Aufgaben, die einen offenen Parameter haben, halboffen sind solche mit zweien und offen sind Aufgaben mit drei offenen Parametern. Ganz analog findet man bei Neubrand (2002) acht Typen, je nachdem ob Anfangszustand, Bearbeitung und Zielzustand vorgegeben oder gesucht sind. Maier, Kleinknecht, Metz, Schymala und Bohl (2010) reduzieren dieses System wegen besserer Handhabbarkeit auf drei Klassifikationen: Aufgaben mit klar definiertem Anfangszustand und (1) einer Lösung (konvergente Aufgaben) oder (2) mehreren Lösungen (divergente Aufgaben). Die letzte Kategorie enthält (3) Aufgaben mit schlecht definiertem Anfangszustand und mehreren Lösungen. Die aufgezeigten Klassifizierungen der Offenheit von Aufgaben liefern damit wichtige Hinweise zur Beschreibung offenen Experimentierens. Zum einen eröffnen sie den Blickwinkel, dass offenes Experimentieren zerlegt in Teilschritte (oder Phasen) als Kette von (offenen) Aufgaben interpretiert werden kann. Somit „reduziert“ sich das Problem der Fassung des Begriffes des offenen Experimentierens in eine Charakterisierung der Offenheit von Experimentier(teil)aufgaben. Zum anderen können die Parameter „Lösungsweg“ und „Ergebnis“ sinnvoll in eine Dimensionierung des offenen Experimentierens integriert werden (vgl. Abschnitt 5). Dass

damit offenes Experimentieren allerdings noch nicht vollständig beschrieben ist, soll in den folgenden zwei Abschnitten aufgezeigt werden.

4 Zum Begriff des offenen Experimentierens

Mit offenem Experimentieren (engl. *open ended experiments, inquiry based experiments*; vgl. Lunetta, Hofstein & Clough, 2007; Domin, 1999) wird die Offenheit auf eine naturwissenschaftliche Arbeitsweise – das Experimentieren – übertragen. Reinhold (1996, 333, vgl. auch Braun, 2009) charakterisiert das offene Experimentieren wie folgt: „Zur Struktur des offenen Experimentierens gehören die folgenden Elemente: Erklärungsbedürftige Situation, Probieren und Spekulieren, Reflexion der gebildeten Systeme, normalwissenschaftliches Experimentieren, Reflexion der Systembildung, Reflexion der Lerntätigkeit.“ Die Offenheit zeigt sich hier insbesondere in der Phase des „Probierens und Spekulierens“. Reinhold (1996) nimmt dabei Bezug zum einen auf Arbeiten von Heege (1978) bzw. Heege und Bruns

(1981), in denen von „Improvisation“ gesprochen wird, und zum anderen auf die „Theory of Instruction“ von Lawson, Abraham und Renner (1989), die Phasen der Exploration („Erfahrungen sammeln“) und der Conceptual Invention („Entwickeln eines Konzeptes“) unterscheiden. Analog zum offenen Unterricht und zu den offenen Aufgaben verbirgt sich an dieser Stelle die Mitbestimmung des Lernenden. Aber auch für das offene Experimentieren gilt, dass damit nicht ein völlig planloses und vorgabenloses Arbeiten gemeint ist, sondern dass Einschränkungen bzw. klare Ziele vorliegen. Insofern handelt es sich immer „nur“ um eine eingeschränkte Offenheit (vgl. auch Reinhold, 1996; Fach, Kandt & Parchmann, 2006). Ähnlich wie beim offenen Unterricht findet der Begriff des offenen Experimentierens in der didaktischen Forschung zwar vielfältige Verwendung, eine klare Definition oder Differenzierung des Begriffs erfolgt aber in der Regel nicht. Tabelle 3 skizziert exemplarisch Quellen (in chronologischer Reihenfolge), die Offenheit als Komponente des Experimentierens anführen (zur letzten Spalte siehe Ausführungen im nächsten Abschnitt).

Tab. 3: Exemplarische Quellen mit Offenheit als Komponente des Experimentierens in chronologischer Reihenfolge

QUELLE	BESCHREIBUNG	ZUORDNUNG zu Dimensionen im eigenen Ansatz (vgl. nächster Abschnitt)
Schwab (1962)	Festlegen von drei Freiheitsgraden des Experimentierens (Problemstellung, Methoden, Lösung) von Schülerinnen und Schülern, um zwischen experimentellen Aufgaben mit klaren Vorgaben und solchen mit eigenen Entscheidungsmöglichkeiten zu unterscheiden	Fachinhalt, Strategie, Lösung

Fortsetzung nächste Seite ...

Fortsetzung Tab. 3:

Herron (1971)	Nennung von <i>levels of inquiry</i> , die beschreiben, ob das Problem, die Methode, die Lösung und die Folgerungen offen oder vorgegeben sind (in Erweiterung von Schwab, 1962)	Fachinhalt, Strategie, Lösung, Phase der Folgerungen
Hegarty (1978, vgl. auch Staer, Goodrum & Hackling, 1998)	In diesem Ansatz wird zwischen Ziel, Material, Methode und Lösung in drei Stufen (vorgegeben, zum Teil gegeben und vollständig gegeben) unterschieden. Es ergeben sich insgesamt fünf verschiedene Experimentiertypen.	Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösung
Fuhrmann, Novick, Lunetta & Tamir (1978)	Beschreibung der Struktur einer experimentellen Aufgabe, inwiefern die Aufgabe offen ist, der Ansatz induktiv oder deduktiv ist, ob der Bezug zur Theorie vorgegeben ist, wie hoch das Ausmaß der Zusammenarbeit ist und inwieweit die Daten selbst generiert wurden	Fachinhalt, Strategie, Lösung
Domin (1999)	Differenzierung von Ansätzen des Experimentierens nach <i>expository</i> , <i>inquiry</i> , <i>discovery</i> und <i>problem based</i> und Unterteilung danach, ob das Ergebnis vorbestimmt oder unbestimmt ist, ob der Ansatz induktiv oder deduktiv ist und ob das Vorgehen vorgegeben oder vom Lerner selbst bestimmt ist	Lösungen und Lösungswege, Strategie
Millar, Tiberghien & Le Maréchal (2002, 13)	Anführen eines <i>profile of labwork tasks</i> , welches die Ausprägung und Art der Schülerbeteiligung beschreibt. Offenheit wird spezifiziert durch folgende Komponenten: Grade der Offenheit – eingeteilt danach, ob vom Lehrer vorgegeben, durch Diskussion vereinbart oder durch den Schüler festgelegt – werden betrachtet bzgl. Fragestellung, Material und Methode, strategische Vorgehensweise, Datenauswertung und Interpretation der Ergebnisse	Fachinhalt, Strategie, Methode, Phasen der Auswertung und Interpretation
Fischer & Draxler (2001)	Unterscheidung dreier Experimentierverhalten von Schülerinnen und Schülern: Beim imitatorischen Experimentieren arbeiten die Schülerinnen und Schüler eine genau vorgegebene Anleitung ab. Beim organisierenden Experimentieren müssen die zur Verfügung stehenden Geräte selbstständig zu einem Versuchsaufbau zusammengefügt werden. Beim konzeptuellen Experimentieren diskutieren die Schülerinnen und Schüler über die Untersuchungsfragen und die Hypothesen und konstruieren den Versuchsaufbau	Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösung, Lösungsweg, Phasen
Hof (2010, 32) modifiziert nach Mayer & Ziemek (2006)	Dargestellt sind Phasen des Experimentierens (Fragestellung formulieren, Hypothesen generieren, Planung des Experiments, Durchführung des Experiments, Auswertung) mit jeweils vier Graden der Offenheit, die die Ausprägung der Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung beschreiben	Phasen
Buck, Bretz & Towns (2008)	Angegeben werden die sechs Charakteristika Problem/ Frage, Theorie/ Hintergrund, Vorgehen/ Design, Analyse des Ergebnisses, Kommunikation des Ergebnisses und Folgerungen, für die entschieden werden muss, ob diese den Lernern vorgegeben werden oder nicht	Fachinhalt, Strategie, Phasen der Auswertung und Folgerung

Die angeführten Begriffsbestimmungen in Tabelle 3 bieten Ansätze, offenes Experimentieren zu kategorisieren. Für eine präzise Fassung des offenen Experimentierens sind diese jedoch nicht ausreichend, da folgende Probleme auftreten:

- Die Beschreibung ist sehr allgemein und auf zu viele Aspekte gleichzeitig bezogen, um eine detaillierte und differenzierte Fassung des Begriffes leisten zu können (vgl. Domin, 1999; Fischer & Draxler, 2001; Fuhrmann, Novick, Lunetta & Tami, 1978; Hegarty, 1978; Schwab, 1962).
- Es wird nur ein ausgewählter Aspekt in den Vordergrund gestellt (vgl. Domin, 1999; Herron, 1971; Hof, 2010).
- Die Beschreibung umfasst Aspekte, die nur sehr eingeschränkt Offenheit widerspiegeln können, wie z. B. das Ausmaß der Zusammenarbeit (vgl. Fuhrmann et al., 1978).
- Die Kategorisierungen umfassen mehr, als für die Beschreibung der Offenheit einer experimentellen Aufgabe notwendig ist (vgl. Buck, Bretz & Towns, 2008; Fuhrmann et al., 1978; Millar, Tiberghien & Le Maréchal, 2002).
- Es wird sehr stark auf organisatorische Offenheit (vgl. Brügelmann, 1997; Peschel, 2002) eingegangen, wobei der Bezug zum Fachinhalt in den Hintergrund tritt (vgl. Hof, 2010; Millar et al., 2002; Schwab, 1962).
- Dimensionierungen und Graduierungen (Ausprägungen) der Offenheit werden zwar in einigen der Quellen (vgl. Tab. 3) vorgenommen, aber nicht in einer vollständigen Charakterisierung zusammengeführt.

Letztgenanntem Problem soll in diesem Beitrag begegnet werden. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 3 angeführten Klassifikationen experimentellen Arbeitens wird im folgenden Kapitel aufgezeigt, wie eine speziell auf die Fassung des Begriffes der Offenheit zugeschnittene Präzisierung erfolgen kann. Zuvor soll jedoch noch verdeutlicht werden, warum eine solche Begriffsbestimmung notwendig ist.

Es muss konstatiert werden, dass in der didaktischen Forschung vielfach ein sehr allgemeiner und unspezifizierter Begriff des offenen Experimentierens verwendet und als Ausgang dafür genommen wird, die Wirksamkeit und den Wert des offenen Experimentierens zu evaluieren. Die in Tabelle 4 von den jeweiligen Autoren angegebenen „Definitionen“ bleiben sehr unpräzise und allgemein (und weisen keinen erkennbaren Bezug zu den bereits vorliegenden Dimensionierungen des Experimentierens der Quellen aus Tab. 3 auf). Insofern können hieraus keine Hinweise zur Präzisierung des Begriffes des offenen Experimentierens gewonnen werden. In allen Beispielen der Tabelle 4 bleibt ferner unklar, auf welche Komponente des offenen Experimentierens der Erfolg bzw. der Misserfolg zurückgeführt werden kann. Meines Erachtens ist aber eine derartige Bewertung ohne eine Differenzierung des Begriffes nicht möglich und nicht sinnvoll. Wie in den Bereichen des offenen Unterrichts und der offenen Aufgaben zeigt sich beim offenen Experimentieren das gleiche Bild: es fehlt eine klare begriffliche Fassung und eine Wirksamkeitsanalyse auf dessen Grundlage. Zu beantworten ist deshalb zunächst die Frage,

welche Dimensionen dem offenen Experimentieren zugeschrieben werden können. Darauf aufbauend kann dann die Wirksamkeit einzelner und das Zusammenspiel mehrerer Dimensionen untersucht werden.

Tab. 4: Beispiele für in der didaktischen Forschung verwendete Definitionen und Bewertungen des offenen Experimentierens

QUELLE	„DEFINITION“ DES OFFENEN EXPERIMENTIERENS	„BEWERTUNG“ DES OFFENEN EXPERIMENTIERENS
Engeln (2004, 40 bzw. 110)	„In dieser Arbeit wird unter Offenheit die Möglichkeit der Schülerinnen und Schüler, eigene Entscheidungen während des Experimentierens zu treffen, verstanden.“	„Das zeitlich begrenzte Erleben der völlig neuen Lernumgebung „Schülerlabor“ scheint die Schülerinnen und Schüler so sehr anzuregen und zu fordern, dass Offenheit weder auf die kognitive Aktivierung noch auf das aktuelle Interesse einen entscheidenden Einfluss hat.“
Hopf (2007, 89 bzw. 232)	„Offenheit: Möglichkeit, im Rahmen von Experimentierstunden eigene Wege zu gehen.“	„Selbst das Einbeziehen verschiedenster Forderungen an erfolgreiche Schülerexperimente wie Offenheit, Authentizität usw. führt immer noch nicht zu verbessertem Lernen oder positiveren Einstellungen der Schülerinnen und Schüler.“
Lewis (2002, 139 bzw. 149)	„These projects are open-ended in that the final direction and outcome are unknown at the start. The student is responsible for developing and planning the work [...]“	„This study identified a number of factors, which influenced both the effectiveness of the mini-projects in preparing students for open ended project work and the extend to which students were left feeling demoralised by the experience.“
Lunetta, Hofstein & Clough (2007, 405)	“When well planned and effectively implemented, science education laboratory and simulation experiences situate students' learning in varying levels of inquiry requiring students to be both mentally and physically engaged in ways that are not possible in other science education experiences.“	“Several studies suggested that although laboratory investigations offer excellent settings in which students can make sense of phenomena and in which teachers can better understand their students' thinking, laboratory inquiry alone is not sufficient to enable students to construct the complex conceptual understandings of the contemporary scientific community.“ <i>Anmerkung:</i> Offenheit beim Experimentieren wird hier indirekt erwähnt.
Kandt (2008, 67 bzw. 263, Hervorhebung im Original)	„Durch die Offenheit des Weges der Aufgabenbearbeitung wird es [den Lernenden] ermöglicht, ihre eigenen Lösungsideen zu verfolgen.“	„In der Bearbeitung aller Aufgaben sind mit den Phasen „Planung“, „Durchführung“ und „Auswertung“ drei wesentliche Merkmale eines nachhaltigen Experimentalunterrichts im Sinne eines „Guided“ Inquiry-Based-Learning sowie bezogen auf den Ansatz predict – observe – explain (POE) zu finden. Insofern scheinen die erprobten Aufgaben bezogen auf eine Auffassung des Lernens als ...

Fortsetzung nächste Seite ...

Fortsetzung Tab. 4:

<p>Kandt (2008, 67 bzw. 263, Hervorhebung im Original)</p>	<p>„Durch die Offenheit des Weges der Aufgabenbearbeitung wird es [den Lernenden] ermöglicht, ihre eigenen Lösungsideen zu verfolgen.“</p>	<p>... integrierte Position zwischen Kognitivismus und Konstruktivismus eine adäquate Balance zwischen Instruktion und Konstruktion zu beschreiben.“ <i>Anmerkung:</i> In den Ausführungen zu den Ergebnissen lassen sich bei Kandt (2008) nur indirekt Bezüge zum Begriff der Offenheit herauslesen. (Dieser wird nicht mehr explizit verwendet.) Meines Erachtens wird Offenheit aber durch die zitierten Lehrkonzepte abgebildet.</p>
<p>Fischer & Draxler (2001, 389 bzw. 390)</p>	<p>„Der Gegenpol zu detailliert angeleiteten Experimenten wäre eine offene, nicht strukturierte Aufgabenstellung.“</p>	<p>„Aber auch hier zeigt sich ein geringer Wissenszuwachs. Schülerinnen und Schüler sind oft wegen fehlenden Vorwissens und geringen Möglichkeiten, das Handeln adäquat zu strukturieren, nicht in der Lage, offene experimentelle Fragestellungen physikalisch angemessen zu behandeln.“</p>
<p>Hof (2010, 31 bzw. 148)</p>	<p>„Offenheit heißt, dass in einem Unterricht mit hohem Offenheitsgrad die Rolle der Lehrkraft wechselt – von der Wissensvermittlung zur Unterstützung und Anleitung von eigenständigen Lernprozessen.“</p>	<p>„Offenes Experimentieren fördert in stärkerem Maße den Erwerb von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen. [...] Fragend-entwickelndes Unterrichtsverfahren ist im naturwissenschaftlichen Unterricht insbesondere an solchen Stellen geeignet, an denen Problemlöse- und Experimentierprozesse angeleitet werden müssen.“</p>

5 Dimensionen des offenen Experimentierens

Im Folgenden wird versucht, den Offenheitsbegriff für das Experimentieren zu präzisieren. Damit ist eine wesentliche Einschränkung verbunden. Es wird nicht angestrebt, offenen Unterricht im Allgemeinen, in dem Experimente auftauchen, genauer zu fassen (vgl. Brügelmann, 1997; Peschel, 2002; Wallrabenstein, 1991). Viel mehr wird dargestellt, welche Voraussetzungen eine offene Experimentierumgebung bietet, um offenen Unterricht zu gestalten. Im Sinne Brügelmanns (1997)

soll damit bei der Strukturierung durch die inhaltliche Gestaltung von Materialien geholfen werden. Aus der Dimensionierung des offenen Experimentierens folgt deshalb auch nicht eine Anleitung zu offenem Unterricht. Das muss die Lehrkraft leisten. Damit spielt es auch keine Rolle, wer für die Offenheit im organisatorischen Sinn gesorgt hat – die Lehrkraft oder die Schülerinnen und Schüler (vgl. Tab. 3 und darin Millar et al., 2002; Hof, 2010). Es wird aber ein Rahmen geschaffen, die grundsätzlich vorhandene Offenheit der Lernumgebung „Experiment“ kategoriengeleitet einzuschätzen. In diesem Sinne

wird der Begriff des offenen Experimentierens verstanden.

Zur Verwendung des Begriffes des offenen Experimentierens ist es notwendig, Dimensionen der Offenheit – also der Komponenten, die sich öffnen lassen – zu spezifizieren und zu graduieren, also die Stärke der jeweiligen Öffnung anzugeben. Dabei beschreiben m. E. sechs Dimensionen die Offenheit einer Experimentieraufgabe (vgl. Abb. 1):

1. der *Fachinhalt*, dem das Experiment zugeordnet werden kann,
2. die *Strategie* des Experimentierens (naturwissenschaftliche Denkweise),
3. die *Methode*, die angewendet wird (naturwissenschaftliche Arbeitsweise),
4. die Anzahl der möglichen *Lösungen*,
5. die Anzahl der möglichen *Lösungswege*,
6. die *Phasen* des Experimentierens.

Die sechs angeführten Dimensionen sind nicht unabhängig voneinander. Wird bspw. ein Fachinhalt mit Strategie und Methode vorgegeben, so liegen damit oft auch der Lösungsweg und die Lösung bereits fest. Dies ist bei rezeptartigen Experimentieranleitungen in der Regel der Fall. Ähnlich eng ist der Fachinhalt und die Phase der Aufgabenstellung bzw. die Strategie mit der Phase der Planung eines Experiments miteinander verknüpft.

Die Charakterisierung des offenen Experimentierens – die im Folgenden näher erläutert wird – fußen z. T. auf den im letzten Abschnitt angeführten Arbeiten. Insbesondere sind das „Profile of Labwork Tasks“ (Millar et al., 2002) und die „Laboratory Instruction Styles“ (Domin, 1999) eingeflossen. Deren Berücksichtigung deckt im Grundsatz weite Teile des dargestellten Ansatzes ab. Der letzten Spalte

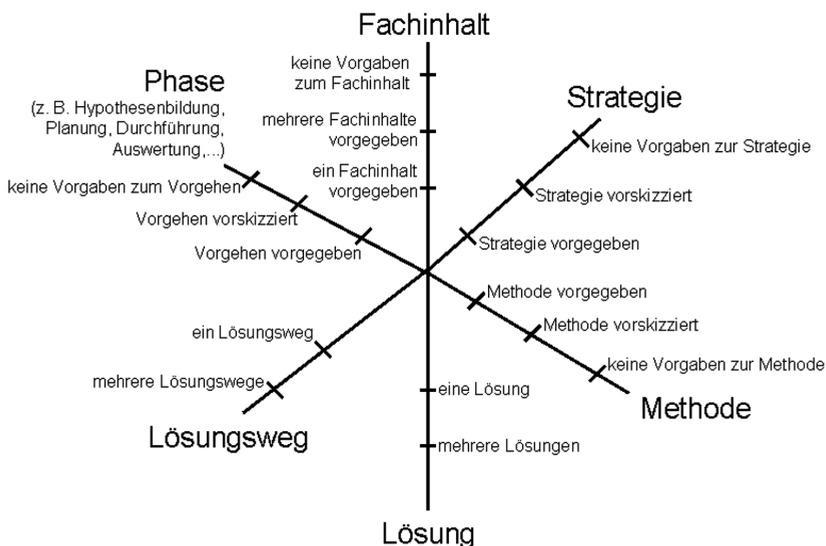


Abb. 1: Die Dimensionierung und Graduierung des offenen Experimentierens im Überblick. Ein derartiges Diagramm kann für jede Phase des Experimentierens die Offenheit widerspiegeln.

der Tabelle 3 kann entnommen werden, wie die in den einzelnen zitierten Arbeiten angeführten Aspekte durch die verschiedenen Dimensionen aufgegriffen werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine solche Zuordnung aufgrund der großen Breite der verwendeten Begriffe und Ansätze der Originalarbeiten z. T. sehr schwierig ist und deshalb nur andeutungsweise geschehen kann. Wenn Fischer und Draxler (2001) z. B. drei Experimentierverhalten von Schülerinnen und Schülern unterscheiden (vgl. Tab. 3), dann berührt das alle sechs oben angeführten Dimensionen gleichzeitig, ohne diese jedoch voneinander zu trennen und einzeln zu graduieren. Ähnliches gilt für die anderen Quellen. Weiterhin lässt sich die Charakterisierung der offenen Aufgaben (vgl. Abschnitt 3) in der Dimensionierung wiederfinden: Die Ausgangsdaten (Anfangszustand) werden durch die Phase der Aufgabenstellung und den Fachinhalt beschrieben, der Lösungsweg (Bearbeitung) entspricht der gleichnamigen Dimension und das Ergebnis (Zielzustand) wird durch die Dimension Lösung berücksichtigt.

1. Fachinhalt

Offenheit lässt sich bzgl. der Wahl des Fachinhalts verwirklichen. Zwischen den beiden Extremen „*Gehe in die Sammlung und experimentiere mit dem Messwerterfassungssystem!*“ und „*Führe das Experiment xy zur g-Bestimmung mit der Fallröhre und dem Messwerterfassungssystem nach Anleitung durch!*“ sind Abstufungen möglich. Die Problemstellung bspw., das Material

einer Münze zu bestimmen (vgl. Forschergruppe Kassel, 2006), kann in unterschiedlichen inhaltlichen Kontexten bearbeitet werden: über den statischen Auftrieb, den elektrischen Widerstand, Elektrolyse und Verbrennung. Hier liegt eine Offenheit des Fachinhalts zu einer experimentellen Fragestellung (vgl. Millar et al., 2002) vor, die in der Arbeit der Autoren (Forschergruppe Kassel, 2006) allerdings nicht intendiert war. Dort wurde durch den Zusatz der „zerstörungsfreien Bestimmung des Materials“ die Offenheit zugunsten des Inhaltsbereichs „statischer Auftrieb“ wieder eingeschränkt. (Ferner wird hier nicht berücksichtigt, dass die dort angegebenen gestuften Hilfen die Offenheit weiter einschränken.)

Die Offenheit bzgl. der Wahl des Fachinhalts lässt sich dadurch graduieren, dass der Fachinhalt entweder genau vorgegeben ist, mehrere Fachinhalte zur Wahl gestellt werden oder dass keinerlei Vorgaben gemacht werden. Beispiele hierfür lassen sich aus der oben bereits angeführten Problemstellung, das Material einer Münze zu bestimmen, anführen (vgl. Forschergruppe Kassel, 2006): Es wird die Vorgabe gemacht, erstens die Aufgabe über den statischen Auftrieb zu lösen oder zweitens aus den Fachinhalten statischer Auftrieb, elektrischer Widerstand oder Elektrolyse einen Inhaltsbereich für die Lösung zu wählen. Oder drittens, es werden keinerlei Angaben zum Fachinhalt gemacht. Experimentieraufgaben mit Offenheit des Fachinhalts haben das Potenzial aufzuzeigen, dass bestimmte Fragestellungen über verschiedene Themengebiete gelöst werden können. Weitere Beispiele sind die Be-

stimmung der Planckschen Konstante, die Bestimmung der Elementarladung und Versuche zu Erhaltungssätzen. Offenheit des Fachinhalts ist in der unterrichtlichen Praxis schwierig zu verwirklichen, da das Spektrum an verschiedenen Themengebieten und Versuchen sehr umfangreich werden kann.

2. Strategie (naturwissenschaftliche Denkweisen)

Bei jedem Versuch stellt sich die Frage, mit welcher Versuchsstrategie bzw. Herangehensweise die Aufgabe gelöst werden soll (vgl. Millar et al., 2002). Offenheit lässt sich hier z. B. in der Wahl qualitativer oder quantitativer Vorgehensweisen oder in der Festlegung des Versuchsdesigns verwirklichen (z. B. Abschätzung der zu erwartenden Ungenauigkeiten bei Verfolgen der Strategie, Festlegung der Anzahl der aufzunehmenden Messwerte, Verfahren der Datenaufnahme und des Umgangs mit den Daten, systematischer und nicht-konfundierender Umgang mit Variablen, Festlegung der notwendigen Experimentierschritte, Prinzip des Auswertungsverfahrens). Auf diese strategische Offenheit zielt das oben angeführte Beispiel zum statischen Auftrieb: Hier soll ein experimentelles Verfahren entworfen und durchgeführt werden, das anhand der Kenntnisse zum statischen Auftrieb das Material einer Münze bestimmt. Ein weiteres Beispiel, das von Priemer und Kirchner (2007) stammt, ist in Tabelle 6 angegeben.

Die Strategie lässt sich graduieren durch die genaue Vorgabe des Versuchsablaufs

anhand einer Anleitung (bzw. durch Instruktionen oder gestufte Hilfen), durch ein lediglich vorskizziertes Vorgehen oder durch keinerlei Vorgaben. Beispiele für detaillierte Anleitungen und den vollständigen Verzicht auf Hinweise sind hinlänglich bekannt. Vorskizzierte Lösungsstrategien können z. B. darin bestehen, dass Schülerinnen und Schüler der Hinweis gegeben wird, bei der experimentellen Untersuchung eines Zusammenhangs auf die Aufnahme ausreichend vieler Messwerte und die Kontrolle der Einflussvariablen zu achten.

Experimentieraufgaben mit strategischer Offenheit sollen in der Regel dazu dienen, experimentelle naturwissenschaftliche Denkweisen – wie z. B. das Aufstellen von Hypothesen oder die Variablenkontrolle – zu vermitteln. Dabei sollte aber bedacht werden, dass die zu Grunde liegende Strategie vermittelt bzw. erlernt werden muss (vgl. Kirchner & Priemer, 2010).

3. Methode (naturwissenschaftliche Arbeitsweise)

Weiterhin bleibt eine Offenheit in der Wahl der Methode(n) zur Verwirklichung der Strategie (vgl. auch Fischer & Draxler, 2001). Gemeint sind damit z. B. Entscheidungen bzgl. bestimmter Geräte (z. B. Wahl und Anschließen des geeigneten Messgeräts, Nutzung eines fertigen Lehrmittelfirmen-Aufbaus oder einer Eigenkonstruktion, handwerkliche Details des Aufbaus).

Zur Graduierung der methodischen Offenheit lässt sich zwischen vorgegebener Methode, lediglich vorskizzierter Me-

thode und dem Verzicht auf Angaben zur Methode unterscheiden. Im Beispiel zum statischen Auftrieb (vgl. Forschergruppe Kassel, 2006) manifestiert sich die methodische Offenheit z.B. in der Wahl geeigneter Gefäße, Flüssigkeiten und Kraftmesser. Sie können genau vorgegeben sein (keine Wahlmöglichkeit), aus einem ausgewählten Pool an Instrumenten gewählt werden (Vorselektion durch die Lehrkraft) oder völlig frei wählbar sein (Zugriff auf eine komplette von der Aufgabenstellung unabhängige Materialsammlung).

Experimentieraufgaben mit methodischer Offenheit zielen damit auf die Vermittlung von Arbeitsweisen wie z.B. handwerklichen Tätigkeiten bzw. Routinetätigkeiten.

4. Lösung und 5. Lösungsweg

Offenheit lässt sich bzgl. der Anzahl der möglichen Lösungen (Graduierung: eine oder mehrere) und bzgl. der Anzahl der möglichen Lösungswege (Graduierung: einer oder mehrere) verwirklichen (vgl. auch Blömeke et al., 2006). Maier et al. (2010) beschrieben dies mit konvergent

Tab. 5: Beispiele für die Variationsmöglichkeiten bei Lösung bzw. Lösungsweg

ANZAHL AN LÖSUNGEN BZW. LÖSUNGSWEGEN (GRADUIERUNG)	BEISPIEL
a. Beispiel für eine Lösung auf einem Weg	Die Bestimmung eines vorgegebenen elektrischen Bauteils (bspw. eines ohmschen Widerstands) durch Strom- und Spannungsmessungen erfolgt auf einem vorgegebenen Weg und führt zu einer experimentellen Lösung. Rezeptartige Versuchsanleitungen folgen in der Regel diesem Ansatz.
b. Beispiel für mehrere Lösungen auf einem Weg	Die Bestimmung verschiedener zu wählender elektrischer Bauteile (bspw. unterschiedliche ohmsche und nicht-ohmsche Widerstände, Spulen usw.) durch Strom- und Spannungsmessungen führt über einen Lösungsweg zu unterschiedlichen Lösungen.
c. Beispiel für eine Lösung auf mehreren Lösungswegen	Die Bestimmung des Materials einer Münze über den statischen Auftrieb, den elektrischen Widerstand, Elektrolysen und Verbrennungen (vgl. Beispiel in a.) ist ein Vertreter dieses Typs.
d. Beispiel für mehrere Lösungen auf mehreren Lösungswegen	Die Konstruktion von Rotorblättern für Modelle von Windenergieanlagen mit möglichst hoher Drehzahl bzw. Leistung lässt unterschiedliche Ansätze mit verschiedenen Lösungen zu (Priemer & Kirchner, 2007; vgl. auch Tab. 6). Weiterhin zählen hierzu so genannte Fermi-Fragen (vgl. Wälti, 2005), die von dem Lernenden verlangen, selbst Rahmenbedingungen festzulegen und Abschätzungen zu treffen. Ein Beispiel ist die Beschreibung des Absorptionsverhaltens von Blättern. Hier muss z. B. die Wahl bzgl. der verwendeten Blätter (unterschiedliche Farben, Formen usw.), der Frequenzen, der experimentellen Methode usw. von den Lernenden getroffen werden.

(eine Lösung) und divergent (mehrere Lösungen) (vgl. auch Domin, 1999 bzgl. der Frage, ob das Ergebnis vorbestimmt oder unbestimmt ist). Allerdings wird die Klassifikation hier erweitert, indem zusätzlich die Zahl der möglichen Lösungswege hinzugenommen wird. (Dass beim Experimentieren aufgrund der empirischen Daten immer unterschiedliche Lösungen vorliegen, soll hier nicht weiter berücksichtigt werden. Es geht vielmehr um das prinzipielle Vorgehen.) Tabelle 5 erläutert die Variationsmöglichkeiten anhand von Beispielen.

Mit diesen beiden Dimensionen kann abgeschätzt werden, wie viele bzw. welche Lösungen und Lösungswege prinzipiell zugelassen werden. Insofern handelt es sich hier um ein „Prüfkriterium“, welches feststellt, ob überhaupt Offenheit besteht. Mit diesem Ansatz können bspw. solche Aufgaben in ihrer Offenheit infrage gestellt werden, denen nur ein Lösungsweg zugrunde liegt. Denn existiert nur ein einziger Lösungsweg, kann nicht mehr im eigentlichen Sinn von Offenheit gesprochen werden. Die Schülerinnen und Schüler haben vielmehr die Aufgabe, den einen bestimmten Weg zu finden. Ist dieser nicht explizit benannt, handelt es sich eher um problemlösendes Arbeiten (mit einer „Scheinoffenheit“). Dies ist z. B. dann der Fall, wenn mit einem bereits fest stehenden Versuchsaufbau eine bestimmte Erklärung gefunden werden soll.

6. Phase (des Experimentierens)

Offenheit lässt sich schließlich in verschiedenen Phasen des Experimentierprozesses

verankern. Zu diesen zählen z. B. Aufgabenstellung bzw. Fragestellung formulieren, Exploration, Hypothesenbildung, Planung, Aufbau, systematische Durchführung (Beobachtung, Datenaufnahme, Protokollieren), Auswertung, Interpretation und Bewertung (vgl. Hof 2010; Mayer & Ziemek, 2006; Millar et al., 2002; Nawrath, Maiseyenko & Schecker, 2011). Wird jede dieser Phasen als eine Teilaufgabe interpretiert (vgl. Abschnitt 3 zu offenen Aufgaben), dann können die Dimensionen Fachinhalt, Strategie, Methode, Lösungen und Lösungswege für jede dieser Phasen einzeln angewendet werden.

Die Phasen lassen sich – ähnlich wie der Fachinhalt, die Strategie und die Methode – durch genaue Vorgaben, das Skizzieren des prinzipiellen Vorgehens oder durch den Verzicht auf Vorgaben graduieren. Ein Beispiel für eine offene Explorationsphase ohne Vorgaben wird in Uhlmann und Priemer (2010) gegeben (vgl. auch Tab. 6): Mit einer handelsüblichen Plasmakugel und verschiedenen Gegenständen wie Kabel und Schlüssel sollen möglichst vielfältige Phänomene beobachtet, beschrieben und zu weiterführenden Fragestellungen entwickelt werden. Es lassen sich aber auch nachfolgende Phasen öffnen: z. B. das Verfahren der Datenauswertung über graphische oder rechnerische Methoden und die Betrachtung der Messgenauigkeiten auf qualitativem oder quantitativem Weg. Das Vorskizzieren einer Phase lässt sich bspw. durch die prinzipielle Angabe, wie Messdaten graphisch ausgewertet werden, verwirklichen. Bei der genauen Vorgabe des Vorgehens bei einer Phase des Expe-

rimentierens werden vorgegebene Anleitungen abgearbeitet.

Ergänzende Bemerkungen zu der Dimensionierung

Die vorgenommene Dimensionierung stellt kein neues Modell des Experimentierens dar. Viel mehr wird – im Kontrast zu den bereits bekannten Kategorien (vgl. Tab. 3) – eine auf die Offenheit beim Experimentieren zugeschnittene, vollständige und präzisierte Formulierung und Klassifizierung angestrebt. Abbildung 1 stellt die vollständige Dimensionierung sowie die Graduierung – gemeint ist damit eine Abstufung in der Offenheit einer Kategorie – zusammenfassend dar. Prinzipiell lässt sich für jede Experimentieraufgabe prüfen (und in einem Diagramm analog zu Abb. 1 veranschaulichen),

auf welchen Dimensionen mit welcher Graduierung Offenheit vorliegt. In Tabelle 6 wird exemplarisch ex post eine Verortung für verschiedene publizierte offene Experimentieraufgaben vorgenommen. (Die Zuordnung wurde von dem Autor dieses Beitrags vorgenommen.) Leider sind die Angaben in den zitierten Originalquellen nicht in jedem Fall so ausführlich, dass die Dimensionen erschöpfend und eindeutig beschrieben werden können. Dennoch ergibt sich ein sehr aufschlussreiches Bild. Auffallend ist z. B., dass bei vielen verwendeten offenen Aufgaben mehrere Dimensionen gleichzeitig geöffnet werden: z. B. ist oft sowohl die Strategie als auch die Methode offen. Zusätzlich besteht vielfach Offenheit während des gesamten Experimentierprozesses. (Auffällig ist weiterhin, dass viele offene Experimentieraufgaben auf eine „bevorzugte“ Lösung zielen.)

Tab. 6: Verortung verschiedener offener Experimentieraufgaben im entwickelten Ansatz

QUELLE	AUFGABE	VERORTUNG IM ANSATZ (mit Graduierung)
Priemer & Kirchner (2007, 13)	<p><i>Windräder.</i> „Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Aufgabe, mit dem bereitgestellten Material Flügel für ein Windrad zu konstruieren, das bei vorgegebenen Versuchsbedingungen (Fön und dessen Abstand zum Windrad) eine möglichst hohe Spannung erzeugt. Die Gestaltung der Rotoren ist den Lernenden vollständig selbst überlassen. Alle notwendigen Arbeitsgeräte werden zur Verfügung gestellt und vorgestellt [...]. Diese umfassen u. a. den auf einem Standfuß montierten Generator, ein Spannungsmessgerät, einen Fön, Geräte zur Erhitzung des Flügelmaterials und mehrere vorgefertigte Sets an Flügeln [...]. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass jeweils nur ein Parameter der Flügelform verändert wurde (z.B. Länge, ...</p>	<p>1. Fachinhalt: vorgegeben (dynamischer Auftrieb, Generatorprinzip, Spannung) 2. Strategie: keine Vorgaben 3. Methode: vorgegeben (Spannungsmessungen) 4. Lösung und 5. Lösungsweg: Es gibt unterschiedliche Lösungen und verschiedene Wege. 6. Phase: Die Aufgabenstellung ist vorgegeben. Offenheit besteht in der Planung, der Durchführung und der Auswertung der Versuche. <i>Anmerkung:</i> Durch die Bereitstellung fertiger Flügelsets und die Thematisierung von Variablenkontrollstrategien lässt sich die Strategie auch vorskizzieren.</p>

Fortsetzung nächste Seite ...

Fortsetzung Tab. 6:

Priemer & Kirchner (2007, 13)	... Breite, Anstellwinkel, Winglet: Verformung der Flügelspitzen usw.)."	
Uhlmann & Priemer (2010)	<p><i>Plasmakugel.</i> „Experimentiere mit der Plasmakugel und finde Phänomene, Erscheinungen, Effekte oder „Merkwürdigkeiten“. Nimm dazu zunächst nur die Plasmakugel selbst (und deine Hand), dann die weiteren gegebenen Gegenstände (Leuchtstoffröhre, Kabel, etc.) und schließlich zusätzliche Gegenstände deiner Wahl. Schreibe alle deine Beobachtungen ohne Erklärungsansätze detailliert auf. [...] Entwickle aus den von Dir beobachteten Phänomenen konkrete physikalische Fragestellungen und schreibe diese auf. Verwende dafür deine Texte.“</p>	<p>1. Fachinhalt: mehrere Fachinhalte zur Auswahl (hauptsächlich aus der Optik)</p> <p>2. Strategie: keine Vorgaben</p> <p>3. Methode: zunächst ohne Vorgaben, dann mit einer Auswahl an Materialien</p> <p>4. Lösung und 5. Lösungsweg: Es gibt unterschiedliche Lösungen und verschiedene Wege.</p> <p>6. Phase: Die Aufgabenstellung ist vorgegeben. Offenheit besteht in der Durchführung der Exploration.</p> <p><i>Anmerkung:</i> Durch die Thematisierung des Vorgehens bei Explorationen können vorskizzierte Strategien verfolgt werden. Die Auswertung und die Klärung weiterführender Fragen können geschlossen erfolgen.</p>
Reinhold (1996, 167)	<p><i>Schwingender Teekessel.</i> „Man hat einerseits ein mit kaltem Wasser gefülltes U-Rohr, dessen Wassersäule – wegen der inneren Reibung – zu stark gedämpften Schwingungen angeregt werden kann, und andererseits zwei mit siedend heißem Wasser gefüllte Teekessel. Was geschieht, wenn man die Kessel nach dem Entfernen der Heizung [...] mit dem U-Rohr verbindet? Man beobachtet, dass die Wassersäule sich zu Anfang zufällig mal etwas in die eine, mal etwas in die andere Richtung bewegt, überlagert von sehr kleinen Schwankungen. Plötzlich entsteht daraus eine periodische Bewegung. Die Amplitude der Schwingung wächst, bis die Wassersäule schließlich über einen längeren Zeitraum mit relativ stabiler Frequenz und relativ konstanter Amplitude ohne irgendeine Beeinflussung von außen schwingt.“</p>	<p>1. Fachinhalt: vorgegeben (Druck, Volumen, Temperatur, Phasenwechsel)</p> <p>2. Strategie: keine Vorgaben</p> <p>3. Methode: keine Vorgaben</p> <p>4. Lösung und 5. Lösungsweg: Es gibt einen prinzipiellen Weg (ggf. mit Variationen), der zu einer Lösung (Erklärung) führt (vgl. Reinhold, 1996, 169 und 204).</p> <p>3. Phase: Die Aufgabenstellung und der experimentelle Versuchsaufbau sind vorgegeben. Offenheit besteht zunächst in allen anderen Phasen des Experimentierens, die jeweils durch geschlossene Reflexionsphasen beendet werden.</p> <p><i>Anmerkung:</i> Dadurch, dass eine feste Lösung vorliegt und die begleitende Instruktion nicht detailliert bekannt ist, ist es schwierig zu beurteilen, inwieweit eine Offenheit in den Dimensionen Strategie und Methode bzw. in den Phasen des Experimentierens vorliegt.</p>

Fortsetzung nächste Seite ...

Fortsetzung Tab. 6:

<p>Hopf (2007, 260)</p>	<p><i>Wetterstation.</i> „Eure Schule will (endlich) eine Wetterstation aufbauen. Leider sind die Geräte, die fertig zu kaufen sind, viel zu teuer. Deshalb wurden die Physikklassen beauftragt, Teile der Wetterstation zu bauen. Eure Klasse ist für die Temperaturmessung zuständig. Macht euch Gedanken, wie man ein Thermometer bauen kann. Da die Wetterstation aber auf dem Dach des Schulhauses installiert werden soll, müsst ihr berücksichtigen, dass man die Temperatur auch weit entfernt ablesen können muss. Daher kommt eigentlich nur eine solche Temperaturmessung in Frage, die auf elektrischen Eigenschaften basiert. Wenn ihr ein Thermometer gebaut habt, führt die Schule einen Test durch, ob eure Anordnung geeignet ist.“</p>	<p>1. <i>Fachinhalt:</i> mehrere Fachinhalte zur Auswahl (Temperaturabhängigkeit elektrischer Größen) 2. <i>Strategie:</i> keine Vorgaben 3. <i>Methode:</i> keine Vorgaben 4. <i>Lösung und 5. Lösungsweg:</i> Es gibt prinzipiell verschiedene Wege und unterschiedliche Lösungen (Thermoelement, Temperaturabhängigkeit von elektrischen Widerständen, „mechanische“ Temperaturmessung mit Video-gestützter Ablesung). Intendiert durch die vorgegebenen Materialien und die Lösungshilfen ist aber der Lösungsweg über die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands (vgl. Hilfekarten, Hopf, 2007, 260). 3. <i>Phase:</i> Die Aufgabenstellung ist vorgegeben. Offenheit besteht in allen anderen Phasen des Experimentierens. <i>Anmerkung:</i> Berücksichtigt man die Lösungshilfen, so erfolgt eine starke Einschränkung der Offenheit in allen Dimensionen.</p>
<p>Braun (2008, 132)</p>	<p><i>Magnet-Kugelkette.</i> „Der Versuchsaufbau in seiner einfachsten Variante besteht aus einer Reihe von Stahlkugeln, die nebeneinander auf einer Schiene liegen. Eine dieser Kugeln ist ein starker [Neodym Eisen Bor]-Magnet. Zu Beginn des Versuchs wird dieser zusammen mit den anderen Kugeln nebeneinander auf die Bahn gelegt. Nun wird die erste Kugel von einer einlaufenden, stoßenden Kugel mit der Geschwindigkeit v_S getroffen und führt einen Stoß mit der Kugelkette aus. Entsprechend dem bekannten Stoßversuch „Klick-Klack“ [...], löst sich nach dem Stoß nur die letzte Kugel. Die anderen bleiben in Ruhe. Jedoch beobachtet man entgegen allen Erwartungen, dass die Geschwindigkeit der gestoßenen Kugel v_G größer ist als die der einlaufenden, stoßenden Kugel v_S.“</p>	<p>1. <i>Fachinhalt:</i> vorgegeben (Stoßprozesse, Energie, Magnetismus) 2. <i>Strategie:</i> keine Vorgaben 3. <i>Methode:</i> keine Vorgaben 4. <i>Lösung und 5. Lösungsweg:</i> Es gibt verschiedene Wege, die zu einer Lösung führen. 6. <i>Phase:</i> Die Aufgabenstellung, der experimentelle Versuchsaufbau und die Auswertung sind vorgegeben. Offenheit besteht in allen anderen Phasen des Experimentierens. <i>Anmerkung:</i> siehe Aufgabe „Schwinger Teekessel“</p>

Fortsetzung nächste Seite ...

Fortsetzung Tab. 6:

<p>Hauke (1993, 14)</p>	<p><i>Licht.</i> „Ihr könnt jetzt versuchen, etwas über Licht herauszufinden. Dazu könnt Ihr diese Versuchsgeräte benutzen. Später sollt Ihr Eure Entdeckungen und Erfindungen den anderen Schülern der Klasse mitteilen.“</p>	<p>1. <i>Fachinhalt:</i> keine Vorgaben 2. <i>Strategie:</i> keine Vorgaben 3. <i>Methode:</i> keine Vorgaben 4. <i>Lösung und 5. Lösungsweg:</i> Es gibt unterschiedliche Lösungen und verschiedene Wege. 6. <i>Phase:</i> Offenheit besteht in allen Phasen des Experimentierens. <i>Anmerkung:</i> durch die Vorgabe von Versuchsmaterialien besteht eine Einschränkung des Fachinhalts und der Methode</p>
-------------------------	--	---

Zu dem Einwand, dass Offenheit häufig die Schülerinnen und Schüler überfordert (vgl. z. B. Fischer & Draxler, 2001), und der Folgerung, dass diese deshalb Hilfen benötigen (Leisen, 2006; Meyer, 2004), kann die vorliegende Dimensionierung Hinweise geben. Denn die Ausprägung der Offenheit einer Experimentieraufgabe kann anhand der Dimensionen beurteilt werden, sodass damit auch erkennbar wird, wo die Schülerinnen und Schüler Hilfestellungen brauchen, um die Aufgabe erfolgreich zu bewältigen. Somit ist auch leicht erklärbar, dass das vollständige Öffnen einer Experimentieraufgabe in allen Dimensionen gleichzeitig ohne begleitende Instruktion schnell zu einer Überforderung führen kann.

Der Ansatz bietet weiterhin die Möglichkeit, mithilfe der Dimensionen das angestrebte Ziel des Experimentierens zu spezifizieren. (Dies gilt nicht nur für offene Experimentieraufgaben.) Die vielfältigen Tätigkeiten des Experimentierens – die durch die Dimensionen abgebildet sind – zeigen z. B. auf, dass rein inhaltliche Ziele – wie sie oft mit dem Experimentieren verbunden werden und die auch

Grundlage begleitender Evaluationen sind – nur einen kleinen Teil darstellen. Insofern hat der Ansatz eine praxisrelevante Funktion. Er bietet einen Kriterienkatalog, mit dem sich experimentelle Aufgaben bzgl. der Offenheit und damit auch bzgl. der erwarteten Anforderungen einschätzen lassen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Dimensionierung versucht, den Begriff des offenen Experimentierens präzise zu fassen. Weitere zusätzliche Aspekte wie organisatorische, soziale und persönliche Offenheit (vgl. Brügelmann, 1997; Peschel, 2002) blieben in dem dargestellten Ansatz unberücksichtigt, um den Fokus auf inhaltliche Aspekte zu beschränken. Die Ausführungen können dabei helfen, Komponenten der Offenheit bei Experimenten zu identifizieren. Letztlich wird damit beabsichtigt, die didaktische Forschung zum offenen Experimentieren präzise und aussagefähig zu machen, ein Desiderat, das auch in den

Bereichen des offenen Unterrichts und der offenen Aufgaben besteht. Die wiederholt vorgebrachte Balance zwischen Offenheit und Lenkung im Experimentalunterricht (z. B. Kandt, 2008, 41 und dort die Verweise auf Engeln, 2006; Mikelskis-Seifert & Euler, 2005; Reinhold, 1997 und Trendel & Fischer, 2007) kann m. E. nur gelingen, wenn klar aufgezeigt wird, an welchen Stellen Offenheit und Lenkung erfolgen kann. Auch Wirksamkeitszuweisungen und Bewertungen sind m. E. erst dann gerechtfertigt, wenn angegeben werden kann, welche Dimension der Offenheit welchen Einfluss hat. Pauschale Folgerungen über den Wert des offenen Experimentierens sind im Lichte der Multidimensionalität des Begriffes deshalb kaum zulässig. Wird hingegen anhand der Dimensionierung systematisch untersucht, welche Wirksamkeit die Offenheit einzelner und mehrerer Komponenten hat, so kann zum einen zur angemessenen Klärung des Wertes des offenen Experimentierens beigetragen werden. Zum anderen können darauf aufbauend viel spezifischer auf die Unterrichtspraxis zugeschnittene Empfehlungen geben werden. Damit ist evident, dass eine differenzierte Erforschung des offenen Experimentierens noch aussteht.

Anmerkungen

Zur Entwicklung und Ausschärfung der Argumente und Betrachtungen, die die Grundlage dieses Textes bilden, hat Stefan Kirchner (Bochum) wesentlich beigetragen. Ihm und den Kollegen Dr. Leon Jablko (Berlin) und Prof. Dr. Andreas Müller (Genf) – die beide beratend bei der

Abfassung des Beitrags tätig waren – gilt mein herzlicher Dank.

Literatur

- Apel, H. J. (2002). Planung und Vorbereitung von Unterricht und Lernumgebungen – Planungstheorien. In H. J. Apel & W. Sacher (Hg.), *Studienbuch Schulpädagogik* (S. 260–283). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Berge, O. E. (1993). Offene Lernformen im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaft im Unterricht – Physik 4, Nr. 17*, 4–11.
- Blömeke, S., Risse, J., Müller, C., Eichler, D. & Schulz, W. (2006). Analyse der Qualität von Aufgaben aus didaktischer und fachlicher Sicht. Ein allgemeines Modell und seine exemplarische Umsetzung im Unterrichtsfach Mathematik. *Unterrichtswissenschaft 34 (4)*, 330–357.
- Bohl, T. (2002). Zwischen reformpädagogischer Tradition und empirischer Unterrichtsforschung. Situation und Perspektiven des offenen Unterrichts an Sekundarschulen. *PädForum 30, 15 Jg., Heft 2*, 135–147.
- Bohl, T. (2003). *Offen unterrichten – geschlossen beurteilen? Ausgewählte Problembereiche einer veränderten Leistungsbeurteilung im offenen Unterricht*. Dokumentation zum Symposium „Leistungsbeurteilung nach PISA“ im Rahmen der Bildungsmesse 2003 Nürnberg, 66–75. <http://www.vds-bildungsmedien.de/veranstaltungen/symposien-zur-didacta/symposien-2003/> (eingesehen am 25.10.11).
- Braun, T. (2009). *Offene Experimente in der Lehramtsausbildung*. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen: <http://due-publico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet?id=20589> (eingesehen am 25.10.11)
- Brügelmann, H. (1997). Die Öffnung des Unterrichts muß radikaler gedacht, aber auch klarer strukturiert werden. In H. Ballhorn & H. Niemann (Hrsg.), *Sprachen werden Schrift. Mündigkeit – Schriftlichkeit – Mehrsprachigkeit* (S. 43–60), DGLS Jahrbuch „Lesen und Schreiben“, Band 7, Lengwil: Libelle.

- Brügelmann, H. (1998). Öffnung des Unterrichts. Befunde und Probleme der empirischen Forschung. In H. Brügelmann, M. Fölling-Albers & S. Richter (Hrsg.), *Jahrbuch Grundschule. Fragen der Praxis – Befunde der Forschung* (S. 8–42). Seelze: Friedrich.
- Buck, L. B., Bretz, S. L. & Towns, M. H. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*, Sept./Oct., 52–58.
- Domin, D. S. (1999). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76, 543–547.
- Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften zu wecken*. Berlin: Logos.
- Engeln, K. (2006). Im Physikunterricht experimentieren. Praktikum, Lernort Labor. In H. Mikelskis (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 167–176). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Fach, M., Kandt, W. & Parchmann, I. (2006). Offene Lernaufgaben im Chemieunterricht. *MNU* 59/5, 284–291.
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2007). Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 639–655). Berlin: Springer.
- Fischer, H.-E. & Draxler, D. (2001). Aufgaben und naturwissenschaftlicher Unterricht. *MNU* 54/7, 388–393.
- Forschergruppe Kassel (2006). Archimedes und die Sache mit der Badewanne. In G. Becker, M. Horstkemper, E. Risse, L. Städel, R. Wernig & F. Winter (Hrsg.), *Diagnostizieren und Fördern. Stärken entdecken – Können entwickeln* (S. 84–87), Friedrich Jahresheft XXIV. Seelze: Erhard Friedrich.
- Fröhlich, I., Bieber, G. & Horn, M. E. (2004). Physiklernen mit offenen Aufgaben – Erfahrungen mit dem BLK-Programm SINUS Brandenburg. *Frühjahrstagung der DPG 2003 in Augsburg*, CD-ROM. Berlin: Lehmann's.
- Fuhrmann, M., Novick, S., Lunetta, V. & Tamir, P. (1978). *The Laboratory Structure and Task Analysis Inventory (LAI)*. Iowa City, IA: Science Education Center, University of Iowa.
- Hauke, B. (1993). Ansätze offenen Unterrichts beim Einstieg in eine Optik-Unterrichtssequenz in einer 7. Realschulklasse. *Naturwissenschaft im Unterricht – Physik* 4, Nr. 17, 12–16.
- Heege, R. & Bruns, B. (1981). Improvisation und Experiment. *Physik und Didaktik* 9/1, 20–29.
- Heege, R. (1978). Begriffsbestimmung der Didaktik der Physik und Konsequenzen für die Offenheit des Lernens: Über Improvisation I, II. *physica didact.* 5, Sonderheft Nr.1, 49–58, 59–64.
- Hegarty, E. H. (1978). Levels of scientific enquiry in university science laboratory classes: implications for curriculum deliberations. *Research in Science Education*, 8, 45–57.
- Heinzel, H. (2006). *Empirische Fallstudie und vergleichender Sachstandsbericht zur Offenheit in Unterricht, Schule und deren Umfeld*. Dissertation an der Universität Siegen: <http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=982671822> (eingesehen am 25.10.11).
- Helmke, A. & Weinert, F.-E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Hg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Bd. 3* (S. 71–175). Göttingen: Hogrefe.
- Herron, M. D. (1971). The Nature of Scientific Enquiry. *School Review*, 79/2, 171–212.
- Hof, S. (2010). *Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen – Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie*. Kassel: University Press.
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente*. Berlin: Logos.
- Jürgens, E. (1994). *Erprobte Wochenplan- und Freiarbeits-Ideen in der Sekundarstufe I*. Heinsberg: Agentur Dieck.
- Kandt, W. (2008). *Offenes Experimentieren im Anfangsunterricht*. Tönning: Der Andere Verlag.

- Kirchner, S. & Priemer, B. (2010). Welche Kompetenzen zeigen Schüler beim Umgang mit Variablen? In D. Höttecke (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009, Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (S. 206–208). Münster: Lit Verlag.
- Kuhn, J. & Müller, A. (2007a). Operationalisierung des Offenheitsgrades am Beispiel authentischer Aufgaben. In D. Höttecke (Hrsg.), *Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2006 in Bern* (S. 148–150). Münster: Lit.
- Kuhn, J. & Müller, A. (2007b). Authentische Aufgaben zur Kompetenzausrichtung. *PdN-PhiS* 6/56. 38–45.
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). *A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills*, Monograph Number One. Kansas State University, Manhattan, Ks: National Association for Research in Science Teaching.
- Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. *MNU* 59/5, 260–266.
- Leuders, T. (2001). *Qualität im Mathematikunterricht der Sekundarstufen I und II*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Lewis, J. (2002). The effectiveness of Mini-Projects as a Preparation for open-ended Investigations. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 139–150). Dordrecht: Kluwer.
- Lipowski, F. (2002). Zur Qualität offener Lernsituationen im Spiegel empirischer Forschungen – Auf die Mikroebene kommt es an. In U. Drews & W. Wallrabenstein (Hrsg.), *Freiarbeit in der Grundschule. Offener Unterricht in Theorie, Forschung und Praxis, Beiträge zur Reform der Grundschule, Bd. 114*. (S. 126–159). Frankfurt am Main: Grundschulverband.
- Luchner, K. (1993). Physikalische Aufgaben – nicht nur Rechnereien! *PhuD* 1, 13–23.
- 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. Ledermann (2007), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 393–442). London: Lawrence Erlbaum.
- Maier, U., Kleinknecht, M., Metz, K., Schymala, M. & Bohl, T. (2010). *Entwicklung und Erprobung eines Kategoriensystems für die fächerübergreifende Aufgabenanalys.* Erlangen-Nürnberg: Universitätsverlag.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59, 14–19.
- Mayer, J. & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. *Forschendes Lernen im Biologieunterricht. Unterricht Biologie*, 317, 1–9.
- Mikelskis-Seifert, S. & Euler, M. (2005). Naturwissenschaftliches Arbeiten von Anfang an. Lernen durch Experimentieren und Modellieren. *PdN-ChiS*, 54,4, 15–22.
- Millar, R., Tiberghien, A. & Le Maréchal, J.-F. (2002). Varieties of Labwork : A Way of Profiling Labwork Tasks. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 9–20). Dordrecht: Kluwer.
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, Heft 6, Jg. 60*, 42–49.
- Neubrand, J. (2002). *Eine Klassifikation mathematischer Aufgaben zur Analyse von Unterrichtssituationen: Selbsttätiges Arbeiten in Schülerarbeitsphasen in den Stunden der TIMSS-Videostudie*. Hildesheim: Franzbecker.
- Peschel, F. (2002). *Offener Unterricht: Idee – Realität – Perspektive und ein praxiserprobtes Konzept zur Diskussion*. Hohengehren: Schneider.
- Priemer, B. & Kirchner, S. (2007). Offenes Experimentieren mit Windrädern – Konstruktion von Rotorblättern zur Spannungs- und Leistungsoptimierung. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 56/3, 11–16.

- Reinhold, P. (1996). *Offenes Experimentieren und Physiklernen*. Kiel: IPN.
- Reinhold, P. (1997). Offenes Experimentieren als Lernform. In H. Berendt (Hrsg.), *Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik* (S. 41–55). Alsbach: Leuchtturm.
- Schönwald, H.-G. (2001). Wollen wir wirklich offene und anwendungsorientierte Aufgaben? *MNU* 54/7, 394–398.
- Schwab, J. J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. In J. J. Schwab & P. F. Brandwein (Eds.), *The Teaching of Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Shimada, S. (1997). The Significance of an Open-Ended Approach. In J. P. Becker & S. Shimada (Ed.), *The Open-Ended Approach: A New Proposal for Teaching Mathematics* (pp. 1–9). Reston, VA: National Council Of Teachers Of Mathematics.
- Staer, H., Goodrum, D. & Hackling, M. (1998). High School Laboratory Work in Western Australia: Openness to Inquiry. *Research in Science Education*, 28 (2), 219–228.
- Trendel, G. & Fischer, H. E. (2007). Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. *MNU* 60/7, 388–394.
- Uhlmann, S. & Priemer, B. (2010). Explorierendes Experimentieren mit der Plasmakugel. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 5/10, Heft 119, 20–25.
- Wallrabenstein, W. (1991). *Offene Schule – offener Unterricht*. Berlin: Rowohlt.
- Wälti, B. (2005). Fermi-Fragen. *Grundschule Mathematik*, H. 4, 34–38.
- Weinert, F. E. (1998). Vermittlung von Schlüsselqualifikationen. In S. Matalik & D. Schade (Hrsg.), *Entwicklung in Aus- und Weiterbildung* (S. 23–43). Baden-Baden: Nomos.

KONTAKT

Prof. Dr. Burkhard Priemer
 Ruhr-Universität Bochum
 Lehrstuhl für Didaktik der Physik
 Universitätsstr. 150
 44801 Bochum
priemer@physik.rub.de

AUTORENINFORMATION

Prof. Dr. Burkhard Priemer ist Professor für Didaktik der Physik an der Ruhr-Universität Bochum.

