

Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung im Rahmen von Laborpraxis: Theorie, Unterrichtspraxis und Kompetenzmodelle

Brigitte Koliander¹

Zusammenfassung

Dieser Artikel befasst sich mit den komplexen Vorgängen, die theoretische Konstrukte mit Daten und Beobachtungen verbinden und in Interaktionen mit der materiellen Welt das Handeln orientieren. Sowohl in Arbeitsanleitungen aus dem Laborunterricht wie auch in den Kompetenzmodellen für den naturwissenschaftlichen Unterricht werden einzelne Schritte benannt, die der Konstruktion von Erkenntnissen oder der Anwendung von Erkenntnissen im Rahmen von Laborpraxis dienen. An typischen Aufgabenstellungen aus dem naturwissenschaftlichen Laborunterricht werden Stolpersteine hinsichtlich eines angemessenen Umgangs mit Daten, Evidenzen und Erkenntnissen aufgezeigt. Aus den Kompetenzmodellen für Naturwissenschaften (Sekundarstufe I, BHS, AHS Sekundarstufe II) werden jene Passagen vorgestellt, die sich mit Erkenntnisgewinnung und Laborpraxis befassen. Abschließend wird diskutiert, inwieweit die vorgegebenen Kompetenzmodelle den Lehrkräften und Lehrplankommissionen als Orientierung hinsichtlich eines angemessenen Verständnisses über Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften dienen können.

Schlüsselwörter:

Laborpraxis
Erkenntnisgewinnung
Kompetenzmodelle
Dateninterpretation

1 Einleitung

Laborpraxis wird von vielen Lehrpersonen als wichtiger Teil naturwissenschaftlichen Unterrichts betrachtet. Die direkte Interaktion mit der materiellen Welt, mit Säuren und Basen, Schnecken und Asseln, Pendeln und Stromkreisen wird von Schülern/Schülerinnen und Lehrpersonen als motivierend beschrieben und oft dem theoretischen Unterricht vorgezogen. Allerdings wird sowohl der Gewinn für das Fach (Singer, Hilton, & Schweingruber, 2005) als auch die motivierende Wirkung (Wellington, 2005) in Studien kritisch gesehen. Besonders umstritten ist, welche Handlungskompetenzen hinsichtlich Erkenntnisgewinnung im Laborunterricht erworben werden können und ob damit ein angemessenes Bild über die Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften gezeichnet wird (Herron, 1971).

In den Naturwissenschaften werden Erkenntnisse konstruiert, welche die materielle Welt betreffen und die in Folge menschliches Handeln im Umgang mit der materiellen Welt orientieren können. Diese Erkenntnisse werden in Form naturwissenschaftlicher Konzepte, Modelle, Gesetze und Theorien dargestellt. Sie sind Erfindungen des menschlichen Geistes. Sie können allerdings nicht frei erfunden werden, sie basieren auf Evidenzen. Diese Evidenzen sind mit Daten zu belegen, die bei Interaktionen mit der materiellen Welt (z. B. bei Beobachtungen und Experimenten) erhoben werden. Die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse sind trotz dieses Bezugs zu Daten und Evidenzen nicht naturgegeben und unveränderbar, sondern sind kreative Konstruktionen der Forscherinnen und Forscher. Sie werden argumentiert und diskutiert, sie müssen in der jeweiligen wissenschaftlichen Community verteidigt und schließlich von dieser angenommen werden, bevor sie den Weg in das gemeinsame „naturwissenschaftliche Wissen“ finden. Die Vorgehensweise bei der Konstruktion

¹ Pädagogische Hochschule Niederösterreich, Mühlgasse 67, 2500 Baden.
Korrespondierende Autorin. E-Mail: b.koliander@ph-noe.ac.at

naturwissenschaftlicher Erkenntnisse wird in der Naturwissenschaftsdidaktik unter dem Begriff „Nature of Science“ verhandelt (Abd-El-Khalick, 2006; Lederman & Lederman, 2014; Ledermann, 2007).

Das Verständnis für die Wege der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften wird als wichtiger Bestandteil naturwissenschaftlicher Bildung eingefordert. Bei Dewey (1910) wird diese Forderung bereits vor über 100 Jahren im Titel eines Artikels sichtbar: „Science as Subject Matter and as Method“. In einem ständigen Auf und Ab wurden seither Begründungen für einen stärkeren Fokus auf solches Metawissen über Naturwissenschaften im naturwissenschaftlichen Unterricht gegeben und wieder verworfen. Das Problem ist die komplexe Vorgehensweise im Bereich naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Es gibt nicht die eine „Scientific Method“, die zu einem sicheren Erkenntnisgewinn führt. Interaktionen mit der materiellen Welt sind komplex und die Interpretationen sind nicht eindeutig. Nicht jede/jeder naturwissenschaftlich Forschende führt Experimente durch, nicht jede/jeder arbeitet an neuen Theorien und Hypothesen. Das eine Forschungsvorhaben konzentriert sich auf die Ausarbeitung mathematischer Modelle, in einem anderen steht die Perfektionierung einer Erhebungsmethode im Fokus, im dritten wird jahrelang ein einziges Experiment vorbereitet. Und doch gibt es einige Bedingungen, die im Rahmen naturwissenschaftlicher Forschung erfüllt sein müssen. Wenn Daten erhoben werden, so muss diese Datenerhebung strengen Qualitätsanforderungen genügen. Wenn neue Konzepte entwickelt werden, so sollen diese im Einklang mit sorgfältig erhobenen Daten und daraus logisch abgeleiteten Evidenzen stehen. Neue Konzepte und Theorien sollen in sich widerspruchsfrei sein und mit bisherigen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen verbunden werden können. Die Ergebnisse der Forschung müssen im Rahmen genauer Vorgaben veröffentlicht und zur Diskussion gestellt werden.

Im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts sollen Schüler/innen eine angemessene Sicht auf die Wege der Erkenntnisgewinnung und die Verlässlichkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse aufbauen. Laborpraxis führt sie in Interaktionen mit der materiellen Welt. Die Schüler/innen wenden Konzepte und Modelle auf die jeweilige Interaktion an und entwickeln dabei ihre Konzepte und Modelle weiter. Die dabei notwendigen Schritte werden in den verschiedenen Lehrplänen und Kompetenzmodellen mit unterschiedlicher Genauigkeit aufgezählt. Die jüngsten Lehrplanentwicklungen in den Naturwissenschaften und die Handreichungen zur Reife- und Diplomprüfung haben sich an den Kompetenzmodellen für Naturwissenschaften orientiert, die in Österreich getrennt nach unterschiedlichen Schultypen (Berufsbildende Höhere Schulen; Sekundarstufe I; Allgemeinbildende Schulen Sekundarstufe II) entwickelt wurden (Abels et al., 2013; bifie, 2011; Faissner et al., 2009). In allen drei Kompetenzmodellen werden Handlungskompetenzen für den Bereich der Erkenntnisgewinnung genannt. Diese Handlungskompetenzen werden in diesem Artikel in Kapitel 4 im Überblick dargestellt und anschließend diskutiert.

Im folgenden Kapitel werden Ergebnisse des Diskurses über den Einsatz von Experimenten und Laborpraxis im Hinblick auf Erkenntnisgewinnung skizziert (Kap. 2). In Kapitel 3 wird der Blick auf die Umsetzung im Unterricht gerichtet. Fragwürdige Herangehensweisen werden an typischen Aufgabenstellungen im naturwissenschaftlichen Laborunterricht illustriert. In Kapitel 4 werden die Kompetenzmodelle für Naturwissenschaften vorgestellt. Zum Abschluss wird diskutiert, inwieweit die vorgegebenen Kompetenzmodelle als Orientierung für den Aufbau eines angemessenen Verständnisses über Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften dienen können.

2 Überlegungen zur Erkenntnisgewinnung im Rahmen von Laborpraxis

Die Durchführung von Laborpraxis wird als Möglichkeit gesehen, Schritte der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften für Schülerinnen und Schüler sichtbar und nachvollziehbar zu machen.

Im Laborunterricht und beim Experimentieren wird am Umgang mit Fragestellungen, Daten und Evidenzen implizit immer ein Bild über Erkenntnisgewinnung gezeichnet (Matthews, 1998). Doch nicht jeder Schülerversuch eignet sich dafür, ein angemessenes Bild entstehen zu lassen. Um Klarheit darüber herzustellen, was im Rahmen dieses Artikels als Laborpraxis und Schülerversuch bezeichnet wird, folgt zunächst eine Begriffsdefinition (Kap. 2.1). Anschließend wird der Blick auf Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften aus der Sichtweise des Pragmatismus skizziert (Kap. 2.2). Der Diskurs über die Ziele von Laborpraxis hinsichtlich Erkenntnisgewinnung wird im dritten Abschnitt vorgestellt (Kap. 2.3).

2.1 Definition von Laborpraxis

In diesem Artikel wird der Begriff „Laborpraxis“ synonym mit „Laborarbeit“ verwendet und umfasst Interaktionen der Schülerinnen und Schüler mit der materiellen Welt im Rahmen von Laborunterricht an den Schulen.

Es wird für den Begriff „Laborpraxis“ auf die Definition von Singer, Hilton und Schweingruber (2005, S. 3) zurückgegriffen:

„Laboratory experiences provide opportunities for students to interact directly with the material world (or with data drawn from the material world), using the tools, data collection techniques, models, and theories of science.“

Durch Verwendung des Begriffs „Laborpraxis“ wird ein umfassenderer Blick auf die Interaktionen von Schülerinnen und Schülern mit der materiellen Welt im Labor möglich als bei der Verwendung des Begriffs „Experimentieren“. Unter „Experiment“ wird (unter anderem von Abrahams und Millar, 2008) ein Eingriff in die materielle Welt verstanden, um eine Hypothese zu testen. Wenig von dem, was Schülerinnen und Schüler im Laborunterricht an der Schule tun, ist solches Experimentieren (Wellington, 1998). Die Bezeichnung „Schülerversuch“ wird in diesem Artikel in gleicher Weise umfassend verstanden wie „Laborpraxis“ und umfasst alle direkten Interaktionen der Schüler/innen mit der materiellen Welt, bei denen sie Werkzeuge, Methoden, Modelle und Theorien der Naturwissenschaften nutzen.

2.2 Schritte der Erkenntnisgewinnung

Im Rahmen von Laborpraxis sind Interaktionen von Schülerinnen und Schülern mit der materiellen Welt zentrales Ziel. In jeder Interaktion wird von den Agierenden auf bisher aufgebaute Konzepte zu Vorgängen in der materiellen Welt zurückgegriffen. Wie ein Stoff auf das Erwärmen reagiert, wie ein Pendel funktioniert – dazu bringen die Schülerinnen und Schüler bereits Präkonzepte mit. Diese sind nicht immer durch die Schüler/innen explizierbar und sie unterscheiden sich oft von den naturwissenschaftlich angemessenen Konzepten, aber sie sind ebenso wie die naturwissenschaftlichen Konzepte zur Erklärung von Vorgängen in der materiellen Welt konstruierte Konzepte und sie haben sich für die Schülerinnen und Schüler im Umgang mit der materiellen Welt bisher bewährt.

Im Laborunterricht sollen Schülerinnen und Schüler durch ausgewählte Versuche und deren Diskussion bei der Konstruktion naturwissenschaftlich akzeptierter Konzepte begleitet werden. Dies geschieht nicht automatisch bei der Durchführung und Beobachtung von Versuchen. Schülerinnen und Schüler sollen über die bloße Durchführung des Versuchs hinaus dazu gebracht werden, sich theoretisch mit den Vorgängen zu befassen. Sie sollen ermutigt werden, ihre bisherigen Konzepte zu explizieren, bewusst anzuwenden und deren Grenzen zu erkennen. Eine Ergänzung und Veränderung dieser Konzepte durch Konfrontation mit Phänomenen, die mit den Präkonzepten nicht erklärbar oder vorhersagbar sind, sowie das Angebot von Konzepten, die den Umgang mit der materiellen Welt besser erklären können, kann zu „Conceptual Development“ führen.

Für die Beschreibung der Schritte, die zu einer Erkenntnisgewinnung über die materielle Welt führen, ist die Position des Pragmatismus, der den konstruktivistischen Erkenntnistheorien zugeordnet werden kann, geeignet (Koliander, 2017). Erkenntnis wird dabei nicht als objektive Repräsentation einer außenstehenden Wirklichkeit gesehen, sondern als Konstruktion betrachtet, die sich für die Akteurinnen und Akteure in ihrem jeweiligen Umfeld als nützlich erwiesen hat (Von Glasersfeld, 1989, S. 124).

Dewey ist ein wichtiger Vertreter des Pragmatismus. Er beschreibt Erkenntnisgewinnung über folgende Schritte (Dewey, 1938, S. 101-120) (zusammengefasst und übersetzt in Koliander, 2017, S. 25) und bezeichnet diesen Weg mit dem Begriff „Inquiry“:

„Es gibt eine unbestimmte Ausgangssituation, etwas an der Situation ist unklar, unsicher, beunruhigend. Die unbestimmte Ausgangssituation wird als Problem wahrgenommen, und es wird erkannt, dass dies eine Untersuchung, eine Erkundigung, eine Ermittlung (Inquiry) benötigt.“

Wichtig ist der Entschluss, das Problem lösen zu wollen.

Es folgt eine Sammlung von Daten und das Hervorbringen von Ideen zur Klärung des Problems, wobei neue Ideen die Sammlung weiterer Daten anregen und neue Daten weitere Ideen ermöglichen.

Im Verlauf des Inquiry ist ein rationaler Diskurs (mit sich selbst oder anderen) notwendig; darunter wird ein auf Daten und Schlussfolgerungen zurückgreifendes Abwägen von unterschiedlichen Ideen im Hinblick auf die erwarteten Auswirkungen verstanden.

Die Ideen werden über Symbole (diese schließen auch sprachliche Zeichen ein) kommuniziert, diese Symbole bekommen Bedeutungen zugewiesen.

Im Verlauf des Inquiry ist es notwendig, Daten einen Sinn zu geben. Daten werden miteinander und mit den Ideen verbunden, um sie als Evidenz zu nutzen, welche die Unbestimmtheit der Ausgangssituation in jenes „geschlossene Ganze“ überführt, welches als Ergebnis des Inquiry angestrebt wird.“

Diese Schritte beschreiben nach Dewey, was naturwissenschaftliche Forscherinnen und Forscher tun.

Dieselben Schritte beschreiben nach Dewey auch, was Menschen bei ihren Erfahrungen mit der materiellen Welt im Alltag oder Schülerinnen und Schüler bei einer naturwissenschaftlichen Untersuchung im Laborunterricht tun. Auch sie entwickeln oder übernehmen Ideen und Theorien darüber, wie die materielle Welt funktioniert und testen diese Theorien auf ihre Bewährung (Brewer, 2008).

2.3 Ziele von Laborpraxis

Ein wichtiges Ziel von Laborpraxis ist „Conceptional Development“ im Hinblick auf das naturwissenschaftliche Wissen. Dies betrifft das Erlernen und Anwenden naturwissenschaftlich angemessener Konzepte zur Erklärung, Voraussage und Beherrschung von Vorgängen in der materiellen Welt. Neben diesem fachlich-inhaltlichen Bereich gibt es zwei weitere Bereiche, zu denen Schüler/innen im Rahmen von Laborpraxis Kompetenzen entwickeln sollen. Als zweites Ziel gilt der Erwerb von Handlungskompetenzen im Bereich des Inquiry durch die Schülerinnen und Schüler, wie z. B. die Fähigkeiten, eine naturwissenschaftliche Fragestellung zu entwickeln und dieser mit naturwissenschaftlichen Methoden gezielt nachzugehen oder eine Schlussfolgerung zu ziehen und ein Argument zu verteidigen. Als drittes Ziel wird die Entwicklung eines angemessenen Bildes über die „Natur der Naturwissenschaften“ („Nature of Science“) genannt (z.B. in OECD, 2016; Hodson, 2014). Dieses Bild wird oft nur implizit vermittelt. Die Schüler/innen konstruieren für sich aus den Herangehensweisen im Laborunterricht und der Darstellung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen im theoretischen Unterricht ein Bild darüber, „wie Naturwissenschaften arbeiten“. Hinsichtlich dieses dritten Ziels liegen Evidenzen vor, dass dies im naturwissenschaftlichen Unterricht oft nicht erreicht wird (Abd-El-Khalick, 2006). Dies ist nicht darauf zurückzuführen, dass explizit die Bedeutung und Verlässlichkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse im Unterricht falsch dargestellt werden. Es ist darauf zurückzuführen, dass Schüler/innen implizit aus dem Vorgehen im Unterricht auf die „Natur der Naturwissenschaften“ schließen. Ein diesbezüglich wenig reflektierter Laborunterricht kann zu Schwierigkeiten beim Lernen und zu einer verdrehten Sicht auf Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften führen.

Damit besser vorstellbar ist, was unter solchem unangemessenen Vorgehen im Laborunterricht verstanden werden kann, werden nun drei solcher Szenarien beschrieben, die im Rahmen von Laborpraxis vorgefunden werden (Koliander, 2017).

- Die Interaktion mit der materiellen Welt ist komplexer als in vielen Aufgabenstellungen sichtbar wird. Es gibt keine direkte „Beweiskraft“ von Experimenten. Die Darstellung von Erkenntnisgewinnung in Form „der Scientific Method“ wird heute als nicht angemessene Vereinfachung angesehen (Lederman & Lederman, 2014). „Die Scientific Method“ kann folgendermaßen beschrieben werden: Man leite aus einer Theorie eine Hypothese ab, definiere abhängige und unabhängige Variable, und verifiziere oder falsifiziere die Ausgangshypothese durch ein Experiment (z. B. in Kruglak, 1951). Wird diese Methode gelehrt oder angewendet, so wird das Experiment in nicht angemessener Weise als eindeutig dargestellt. Doch Experimente funktionieren nicht in dieser Weise. Ergebnisse von Experimenten, die nicht zu den bewährten Theorien passen, werden – oft zu Recht – verworfen und das methodische Vorgehen wird hinterfragt. Im Laborunterricht erfahren Schüler/innen immer wieder von der Lehrperson, dass die Ergebnisse ihrer Experimente nicht „richtig“ sind. Der negative Ausgang des Experiments widerlegt aber nicht die Theorie, sondern stellt zuallererst die angewendete Methode in Frage. Selbst im Forschungsbetrieb dauert es lange, bis experimentelle Ergebnisse, die nicht zu den bis dahin gültigen Theorien passen, als Evidenzen akzeptiert werden, die eine Änderung der Theorie erfordern. Es ist nicht ein Problem von Laborpraxis, wenn Versuche nicht gelingen, sondern es ist ein Problem, wenn Versuche immer gelingen und ausschließlich Versuche gewählt werden, die sicher gelingen. In realen Laborsituationen wird die Erfahrung, dass ein Versuch wegen nicht geeignetem methodischen Vorgehen misslingt, immer wieder auftreten. An dieser Stelle kann die Komplexität der

Interaktion mit der materiellen Welt angesprochen werden und es kann besprochen werden, wie in den Naturwissenschaften durch Wiederholung von Experimenten, Fehleranalysen, Methodenentwicklung und ständigen Diskussionen innerhalb der wissenschaftlichen Community diese Komplexität beherrschbar wird.

- Oft wird unter Anwendung der „Scientific Method“ das *Verifizieren* von dargelegten theoretischen Zusammenhängen als ein Ziel von Laborpraxis gesehen (Beatty und Woolnough, 1982, S. 28). Die Schüler/innen sollen ein dargelegtes Gesetz oder einen Zusammenhang mit einem Experiment verifizieren: die Entstehung von basischen Lösungen aus Metalloxiden, die Erhaltung der Masse bei chemischen Reaktionen. Doch aus einem einzelnen Beispiel kann nicht verlässlich auf eine allgemeine Regel geschlossen werden. Erst wenn ich viele unterschiedliche Metalloxide in Wasser gelöst habe und dies immer eine basische Reaktion ergibt, kann ich die Behauptung wagen, dass es sich hier um einen allgemeinen Zusammenhang handeln könnte. Ein einzelner Fall kann weder als Beweis für den Zusammenhang dienen, noch darf aus einem einzelnen Fall auf das allgemeine Gesetz geschlossen werden.
- In ähnlicher Weise problematisch sind Versuche, aus denen Schülerinnen und Schüler *theoretische Konzepte ableiten* sollen. In den 1960er Jahren wurden in Großbritannien Unterrichtskonzepte entwickelt, die das praktische Arbeiten im Laborunterricht ins Zentrum des naturwissenschaftlichen Unterrichts stellten. Eine genaue Analyse der Materialien und der Sichtweisen der Lehrpersonen kam zum Ergebnis, dass sowohl die Materialien der Kurse als auch die Begleitung durch die Lehrpersonen nicht gewährleisten konnten, Schülerinnen und Schülern einen angemessenen Einblick in die Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften zu ermöglichen (Herron, 1971). Neben Herron kritisieren auch Wellington (1998) und Millar (1998) den in manchen Schulklassen beobachteten naiven Blick auf Erkenntnisgewinnung. Laborpraxis kann zeigen, dass gewisse Phänomene auftreten. Aber die Erklärung, warum diese Phänomene auftreten, emergiert nicht zwingend aus den Beobachtungen. Schülerinnen und Schüler können beobachten, dass Salzlösungen elektrischen Strom leiten, genauer gesagt: Sie können z. B. sehen, dass das Glühlämpchen auch dann leuchtet, wenn ein Teil des Stromkreises aus einer Salzlösung besteht, in welche zwei Kabel, ohne sich zu berühren, eingetaucht sind. Sie werden aber nicht ohne weitere Hilfe aus dieser Beobachtung das Konstrukt „Ionen“ bilden und den Stromfluss damit erklären können. Die Unsichtbarkeit vieler theoretischer Konstrukte erweist sich bei solchem Vorgehen oft als unüberwindliche Herausforderung für die Schüler/innen. Weder Energie noch Entropie, weder Atome, Moleküle noch Elektronen sind im Schülerversuch sichtbar und sollen doch mit dem Versuch und den Beobachtungen in Beziehung gebracht werden (Hodson, 1993). Statt die Macht der naturwissenschaftlichen Konstrukte, die dargelegt werden müssten, für Erklärungen und Voraussagen zu nutzen, wird so getan, als ob diese Konstrukte aus dem Versuch ableitbar wären.

Insbesondere die beiden letzten Szenarien werden immer wieder in Arbeitsanleitungen aufgefunden, die im Laborunterricht ausgegeben werden. Das folgende Kapitel stellt konkrete Beispiele solcher Anleitungen vor, um den aktuellen Praxisbezug der bisherigen Erläuterungen aufzuzeigen.

3 Analyse konkreter Aufgabenstellungen

An aktuellen und üblichen Aufgabenstellungen aus der Laborpraxis im Chemieunterricht wird aufgezeigt, an welchen Stellen bei der Umsetzung von Laborpraxis implizit ein problematisches Bild von Naturwissenschaften vermittelt werden kann. Die folgenden Beispiele für Arbeitsanleitungen sind Berichten von Lehrpersonen über Laborunterricht in Österreich entnommen. Die Berichte wurden von der Autorin in das Programm MAXQDA importiert, die Zitate geben die dort zugewiesene Nummer des Berichts und die Zeile des Zitats an.

3.1 Komplexität der Datenerhebung und Evidenzbildung

In der folgenden Aufgabenstellung wird eine Deutung von Beobachtungen gefordert. An diesem Beispiel kann gezeigt werden, dass Daten und daraus konstruierte Evidenzen nicht einfach bei der Durchführung eines Versuchs von selbst sichtbar werden. Ohne vorherige Konzeptbildung und die Fokussierung auf bestimmte

Fragestellungen kann Unterschiedliches beobachtet werden und selbst gleiche Beobachtungen können mit unterschiedlichen Konzepten logisch erklärt werden.

Beispiel 1

Untersuchung von Tinte

Material:

1 Becherglas 50 mL
 1 Tafelkreide
 2 Spritzen (10 mL)
 1 Kanüle
 schwarze Tinte
 Wasser

Vorbereitung:

Vermische im Becherglas 4 Tropfen schwarzer Tinte (Spritze mit Kanüle) mit 4 mL Wasser! Stelle nun die Tafelkreide in das Becherglas und beobachte, was passiert!

Beobachtung:

Versuche eine Deutung!

Meine Erklärung:

T7/302-318

Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, ihre Beobachtung zu deuten. Was werden sie in diesem Versuch beobachten? Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird ihnen auffallen, dass sich die schwarze Farbe verändert und dass andere Farben sichtbar werden. Sie werden wahrnehmen, dass die Farben in der Kreide nach oben wandern. Sie werden vielleicht auch feststellen, dass sich die Farben ausbreiten und mehr Platz brauchen, dafür aber zumindest an der Front blässer werden. Vielleicht sehen, riechen, hören, messen sie aber auch noch etwas anderes, wenn sie versuchen, alles genau wahrzunehmen. Welche der Beobachtungen oder Messungen sollen sie deuten?

Mit welchen Konzepten sollen sie ihre Beobachtung deuten? Geht es um Reinstoffe und Gemische, soll die schwarze Tinte mit diesem Versuch als Gemisch aus mehreren Stoffen erkannt werden? Welches Konzept wäre noch möglich, um die Veränderung der Farben zu erklären? Könnte die Farbänderung von den Schülern/Schülerinnen als chemische Reaktion gedeutet werden, was fachlich zwar nicht angemessen wäre, aber aus den Beobachtungen durchaus logisch abgeleitet werden könnte? Soll die Chromatographie als Stofftrennung beschrieben und das unterschiedlich schnelle Wandern der Farben erklärt werden? Haben die Schüler/innen dafür bereits irgendwelche Konzepte wie die Verteilung von Stoffen zwischen zwei Phasen etc. erlernt? Was wird die Lehrperson als „richtig“ bewerten: Welche Beobachtung, welche Deutung?

Hilfreich wäre in dieser Anleitung eine Fokussierung durch eine konkrete Fragestellung. Diese könnte sein: Ist die schwarze Tinte ein Gemisch oder ein Reinstoff? Der Fokus wäre damit schon auf das Konzept Reinstoffe/Gemische gelegt, die Beobachtung wäre daraufhin durchzuführen und zu deuten. Wird eine Auftrennung in mehrere Farben sichtbar, so kann sie im Hinblick auf diese Fragestellung als Auftrennung eines Gemisches interpretiert werden.

Wird diese Hilfestellung durch eine Fragestellung nicht gegeben, so könnte an diesem Beispiel mit den Schülern/Schülerinnen erarbeitet werden, wie vielfältig und komplex der Umgang mit Beobachtungen und Evidenzen ist. Die Lehrperson müsste in diesem Fall bereit sein, alle Beobachtungen wert zu schätzen, und die Deutung der Beobachtungen nur auf Grund der logischen Argumentation zu bewerten und nicht im Hinblick auf das bekannte naturwissenschaftliche Wissen über die Auftrennung von Farbstoffen. Die genaue Analyse von Zielen von Lehrpersonen für Laborpraxis zeigt aber, dass die Darstellung der Komplexität und Vieldeutigkeit im Umgang mit der materiellen Welt nicht als Ziel wahrgenommen und verfolgt wird (Koliander, 2017). Daher ist anzunehmen, dass alle Beobachtungen und Deutungen, die nicht in die von der Lehrperson gewünschte Richtung gehen, im besten Fall ignoriert, im schlechtesten Fall als falsch klassifiziert werden. Damit wird die Komplexität, die im Umgang mit der widerständigen Welt erlebbar ist und eigentlich einen wesentlichen Aspekt von Laborpraxis darstellen könnte, nicht expliziert und für die Schüler/innen nicht sichtbar.

3.2 Verifikation eines Zusammenhangs

Die zweite Aufgabenstellung zeigt die Problematik der Verifikationen von Zusammenhängen durch ein Experiment auf. In diesem Beispiel werden die Durchführung und die Interpretation von der Lehrperson vorgegeben.

Beispiel 2

Lauge aus einem Metalloxid

Gib in einen Erlenmeyerkolben einige Zentimeter hoch Wasser und einen Tropfen Phenolphthalein. Halte ein Stück Magnesiumband mit einer Tiegelzange, zünde es an der Gasbrennerflamme an und lass die Asche ins Wasser des Erlenmeyerkolben fallen. Schüttele gut und erwärme ein wenig mit dem Gasbrenner.

Was zeigt die Farbe der Flüssigkeit an?

Die Rosafärbung zeigt eine Lauge an. Metalloxide und Wasser ergeben Laugen.

T5/650-656

Die Rosafärbung kann als Hinweis darauf gedeutet werden, dass sich in diesem Versuch der Indikator Phenolphthalein verändert hat und damit eine basische Lösung angezeigt wird. Somit ist die Schlussfolgerung zulässig: Wenn das Verbrennungsprodukt nach dem Verbrennen von Magnesium in Wasser gelöst wird, entsteht eine basische Lösung (oft als Lauge bezeichnet). Der Versuch ist allerdings nicht sehr zuverlässig, da Magnesiumoxid in Wasser fast nicht löslich ist und daher eine deutliche Rosafärbung oft ausbleibt. In diesem Fall wird die Folgerung nicht sein dürfen: Weil jetzt und hier keine Rosafärbung auftritt, ist belegt, dass es beim Lösen von Metalloxiden in Wasser zu keiner basischen Reaktion kommt.

Die Schlussfolgerung „Metalloxide und Wasser ergeben Laugen“ ist aus diesem einen Versuch nicht zulässig. Dieser Satz sollte klarer als theoretischer Hintergrund sichtbar werden, von dem aus auf den eben durchgeführten Versuch geblickt werden kann und zu dem jetzt ein einzelnes Beispiel gebracht wird. Dieser Satz darf nicht wie eine Folgerung aus dem Versuch aussehen. Der Versuch darf auch nicht als Beweis für diesen Satz betrachtet werden. Der Versuch kann als Evidenz dafür herangezogen werden, dass beim Verbrennen von Magnesium ein Stoff gebildet wird, der beim Lösen in Wasser (unter gewissen Bedingungen) zu einer alkalischen Reaktion führt.

Die Arbeitsanleitung könnte anders aufgebaut werden, um die aufgezeigten Probleme zu vermeiden. Der Zusammenhang: „Nichtmetalloxide bilden beim Lösen in Wasser saure Lösungen. Metalloxide bilden beim Lösen in Wasser basische Lösungen“ wird vor dem Versuch erklärt und als Erkenntnis vorgestellt, die durch viele Versuche mit Metalloxiden und Nichtmetalloxiden von Chemikern/Chemikerinnen gewonnen worden ist.

Dann wird die Frage aufgeworfen: Welche Reaktion erwarten die Schüler/innen, wenn vor ihren Augen Magnesium verbrannt wird und anschließend das entstandene Produkt in Wasser gelöst wird? In diesem Fall dient der vorgestellte allgemeine Fall als Hilfe bei der Voraussage einer konkreten Interaktion mit der materiellen Welt. Die Schüler/innen verwenden die Theorie als Werkzeug, das ihnen bei der Einschätzung hilft, wie die materielle Welt auf eine Interaktion reagieren wird.

3.3 Theoretische Konzepte ableiten

Das dritte Beispiel zeigt auf, dass die Forderung nach einer theoretischen Konzeptbildung im Umfeld von Versuchen nicht immer sinnvoll sein muss.

Beispiel 3

Elementaranalyse

Durch Thermolyse oder Einwirkung aggressiver Chemikalien werden organische Moleküle zerstört.

Anschließend zeigen einfache Reaktionen, welche Atome in den Molekülen enthalten waren.

Alle Proben werden untersucht und die Ergebnisse in die Tabelle eingetragen.

Während des Experimentierens ist wegen der Spritzgefahr unbedingt eine Schutzbrille zu tragen!

Test auf Schwefelatome

In ein 50 mL Becherglas werden eine Spatelspitze Probe zusammen mit 5 NaOH-Plätzchen, einem Siedesteinchen und 5 mL Wasser gegeben.

Zu der mit NaOH gekochten Probe werden 2 Tropfen Blei(II)-nitrat-Lösung gegeben. Färbt sich die Lösung schwarz, so hat sich Blei(II)-sulfid gebildet und in den Molekülen waren Schwefelatome enthalten.

Das Protokoll enthält: Datum, Klasse Experimentator/in, Laborant/in, Protokollführer/in, die Analyseergebnisse, und die Beantwortung folgender Frage:

Wie lautet die Reaktionsgleichung für die Fällung von Blei(II)-sulfid?

T3/631-687, teilweise gekürzt

Die Analyse ist genau nach Anleitung durchzuführen. Für eine erfolgreiche Durchführung sollten die Schülerinnen und Schüler einige Fertigkeiten und Kenntnisse besitzen: Sie müssen wissen, wie mit den gefährlichen Chemikalien NaOH und Blei(II)-nitrat umgegangen werden muss und welche Sicherheitsvorkehrungen dabei zu treffen sind. Sie sollten mit Tropfpipetten umgehen können. Sie sollten eine kleine Menge Flüssigkeit vorsichtig erhitzen können, ohne dass Siedeverzug eintritt. Sie sollten abschätzen können, wie lange sie die Probe erhitzen sollen.

Die Fragestellung, die zur oben beschriebenen Analyse führt, ist Folgende: Enthält die ausgegebene Probe in ihren Molekülen Schwefelatome? Die Beobachtung wird darauf fokussiert, ob die Lösung nach Zugabe von Blei(II)-nitrat-Lösung schwarz wird. Die Interpretation dieser Beobachtung ist, dass eine Schwarzfärbung ein Hinweis auf die Bildung von Bleisulfid sein kann und dass man daher bei einer beobachteten Schwarzfärbung auf die Anwesenheit von Schwefel im Ausgangsmolekül schließen darf.

Aber wie können Schüler/innen auf die gefragte Reaktionsgleichung für die Fällung von Blei(II)-sulfid kommen? Meist sind Reaktionsgleichungen nur fassbar, wenn von der Ebene der Phänomene auf die (nicht sichtbare) Ebene der Teilchen gewechselt wird. Auf dieser Ebene können Ionen und Atome miteinander kombiniert werden, es kann nachvollzogen werden, wie aus Bleinitrat Bleisulfid entstehen kann. Erfahrene Chemikerinnen und Chemiker springen ohne Anstrengung zwischen diesen Ebenen hin und her, aber für Novizen/Novizinnen ist dieser Wechsel zwischen den sichtbaren Phänomenen, den chemischen Formeln und der unsichtbaren submikroskopischen Ebene der Moleküle, Ionen und Atome schwierig (Johnstone, 1982). Die Frage nach der Reaktionsgleichung für die Fällung von Blei(II)-sulfid kann nach dem Lesen der Anleitung von den Schülern/Schülerinnen mit einem Vorwissen über chemische Formeln von Salzen beantwortet werden, ohne dass sie den Versuch je durchgeführt haben. Dazu notwendig sind Konzepte von Atomen und Ionen, die Kenntnis der Formeln von Blei und Blei-Ionen, Nitrat-Ionen und Sulfid-Ionen inklusive der Ionenladung, und ein Verständnis dafür, dass Sulfide bei der Reaktion von Schwefelwasserstoff mit Metallionen aus einer wässrigen Lösung ausfallen. All diese Kenntnisse erwerben sie nicht bei der Durchführung des Versuchs. Die Aufstellung der Gleichung erfordert nicht Datenerhebungen im Rahmen der Analyse, und die Gleichung ist für eine erfolgreiche Durchführung der Analyse nicht notwendig.

Es finden sich wie in diesem Beispiel bei vielen Versuchen nach der Datenerhebung Fragen, die auf Basis der erhobenen Daten gar nicht beantwortet werden können. Das abgefragte Wissen hat etwas mit dem Versuch zu tun. Bisher erlernte Konzepte werden mit dem Versuch in Verbindung gebracht. Aber die Erkenntnisse sind für die Schüler/innen nicht evidenzbasiert und könnten auch in einem reinen Theorieunterricht erarbeitet werden. Dies sollte viel klarer dargestellt werden.

4 Schritte der Erkenntnisgewinnung in den Kompetenzmodellen

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, haben sich die jüngsten Lehrplanentwicklungen in den Naturwissenschaften an den österreichischen Bildungsstandards für Naturwissenschaften orientiert. Diese wurden für folgende drei Schultypen veröffentlicht: Berufsbildende Mittlere und Höhere Schulen (Faissner et al., 2009); Sekundarstufe I (bifie, 2011); Allgemeinbildende Schulen Sekundarstufe II (Abels et al., 2013).

Ein Überblick über Handlungskompetenzen, die von Schülern/Schülerinnen im Rahmen von Laborunterricht im Umfeld ihrer Interaktionen mit der materiellen Welt erworben werden können, findet sich im Framework für Science Education (National Research Council, 2012, S. 42).

1. *Asking questions (for science) and defining problems (for engineering)*
2. *Developing and using models*
3. *Planning and carrying out investigations*
4. *Analyzing and interpreting data*
5. *Using mathematics and computational thinking*
6. *Constructing explanations (for science) and designing solutions (for engineering)*
7. *Engaging in argument from evidence*
8. *Obtaining, evaluating, and communicating information*

In acht Kapiteln wird jeder dieser Schritte vorgestellt, ausführlich beschrieben und mit Beispielen illustriert. So wird der Schritt 7: „Engaging in argument from evidence“ folgendermaßen expliziert (National Research Council, 2012, S. 73-74):

“Young students can begin by constructing an argument for their own interpretation of the phenomena they observe and of any data they collect. They need instructional support to go beyond simply making claims—that is, to include reasons or references to evidence and to begin to distinguish evidence from opinion. As they grow in their ability to construct scientific arguments, students can draw on a wider range of reasons or evidence, so that their arguments become more sophisticated. In addition, they should be expected to discern what aspects of the evidence are potentially significant for supporting or refuting a particular argument. Students should begin learning to critique by asking questions about their own findings and those of others. Later, they should be expected to identify possible weaknesses in either data or an argument and explain why their criticism is justified. As they become more adept at arguing and critiquing, they should be introduced to the language needed to talk about argument, such as claim, reason, data, etc. Exploration of historical episodes in science can provide opportunities for students to identify the ideas, evidence, and arguments of professional scientists. In so doing, they should be encouraged to recognize the criteria used to judge claims for new knowledge and the formal means by which scientific ideas are evaluated today. In particular, they should see how the practice of peer review and independent verification of claimed experimental results help to maintain objectivity and trust in science.”

In den österreichischen Kompetenzmodellen werden ähnliche Handlungskompetenzen wie im Framework for Science Education formuliert, aber ohne die tiefere Klärung. Es geht um Schritte, die das Stellen von Fragen, die Datenerhebungen, die Anwendung von naturwissenschaftlichen Konzepten zur Interpretation dieser Daten und eine Planung und Durchführung von naturwissenschaftlichen Untersuchungen betreffen. In Tabelle 1 werden Handlungskompetenzen aus den Kompetenzmodellen der drei Schultypen zum Bereich „Erkenntnisgewinnung“ aufgelistet. Für die BHS und die Sekundarstufe I gelten diese Handlungskompetenzen für alle Naturwissenschaften, für die AHS Sekundarstufe II wurde der Bereich Chemie als Vergleich gewählt, da keine übergreifenden Handlungskompetenzen für alle Naturwissenschaften formuliert wurden.

Sekundarstufe I, Naturwissenschaften (bifie, 2011, S. 2)	Berufsbildende Höhere Schulen, Naturwissenschaften (Faissner et al., 2009, S.16)	Allgemeinbildende Schulen Sekundarstufe II, Chemie (Abels et al., 2013, S. 17)
<p><i>Ich kann einzeln oder im Team</i> E 2 ... zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen E 3 ... zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren E 1 ... zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben E 4 ... Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren</p>	<p>B.2 Ich kann naturwissenschaftliche Fragestellungen analysieren und Untersuchungsfragen stellen. B.4 Ich kann einfache naturwissenschaftliche Untersuchungen planen, typische naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden anwenden und entsprechende Ergebnisse erhalten. B.5 Ich kann gewonnene Ergebnisse interpretieren und dokumentieren.</p>	<p><i>Ich kann einzeln und im Team ...</i> EO 5 ... zu Vorgängen und Phänomenen in Natur und Technik Fragen stellen, Vermutungen aufstellen und Problemstellungen definieren, die mit Hilfe naturwissenschaftlicher Kenntnisse und Untersuchungen bearbeitet bzw. überprüft werden können. EO 3 ... zu chemischen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment ...) planen. EO 1 ... zu chemischen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment ...) durchführen und protokollieren. EO 2 ... Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren. EO 4 ... naturwissenschaftliche Modelle verwenden, um Daten und Ergebnisse von Untersuchungen sowie Vorgänge und Zusammenhänge zu erklären.</p>

Tabelle 1: Zusammenschau der Kompetenzmodelle.

Die in den Kompetenzmodellen formulierten Handlungskompetenzen sind teilweise sehr allgemein formuliert und lassen damit eine breite Interpretation dahingehend zu, wie sie konkret gemeint sind. So wird im

Kompetenzmodell für die BHS verlangt, dass Schüler/innen die „gewonnenen Ergebnisse interpretieren“ können. Die Bezeichnung „Ergebnisse“ ist mehrdeutig. Dies legt nicht in genügender Klarheit dar, ob eine Interpretation der Daten und eine logische Argumentation auf Grund dieser Daten gemeint ist, oder ob als „Ergebnis“ bereits die Evidenz gemeint ist, die nun in den Rahmen der naturwissenschaftlichen Modelle und Konzepte gestellt werden soll. Mit Blick auf das Beispiel 2 in Kap. 3.2 könnte darunter einerseits eine datenbasierte Evidenzbildung verstanden werden, also dass sich beim Lösen von Magnesiumoxid eine basische Lösung gebildet hat, was über die Verfärbung des Indikators nach dem Lösen des weißen Verbrennungsproduktes in Wasser argumentierbar wäre. Oder es könnte gemeint sein, die Bildung einer basischen Lösung im Hinblick auf Metalloxide und deren Verhalten allgemeiner zu „interpretieren“, was nach der Darlegung im Kapitel 3 nur als beispielhafte Illustration zu bezeichnen wäre.

In den Handlungskompetenzen für die Sekundarstufe I wird unterschieden zwischen einer Analyse von Daten (Vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und einer Interpretation. Was genau mit diesem Unterschied gemeint sein könnte, enthüllt der Blick auf die entsprechenden und teilweise ausführlicheren Formulierungen der Handlungskompetenzen für die Sekundarstufe II. Hier ist einerseits formuliert, dass die Schüler/innen einzeln oder gemeinsam Daten analysieren können. Andererseits wird der Theoriebezug nun folgendermaßen formuliert: „...naturwissenschaftliche Modelle verwenden, um Daten und Ergebnisse von Untersuchungen sowie Vorgänge und Zusammenhänge zu erklären.“ Die in Kapitel 3 beschriebene Aufgabe: „Erstelle eine chemische Reaktionsgleichung“ könnte im Sinne dieser Kompetenzformulierung als „Anwendung naturwissenschaftlicher Modelle auf das Ergebnis einer Untersuchung“ verstanden werden. Doch dies ist im Sinne einer logisch ablaufenden Untersuchung keine evidenzbezogene Erklärung und es ist nicht das Ziel dieser chemischen Analyse, eine Reaktionsgleichung aufzustellen. Das Ziel dieser Analyse ist die Feststellung, ob ein bestimmter Stoff in der Probe enthalten ist. Die Erklärung, auf welchen chemischen Veränderungen die Analyse basiert, steht bereits in der Anleitung: Bei Anwesenheit von Schwefelatomen in der Ausgangssubstanz bildet sich nach der laut Vorschrift durchgeführten Interaktion aus Bleinitrat ein schwarzer Niederschlag aus Bleisulfid. Damit wird erklärt, warum man bei einer Schwarzfärbung auf die Anwesenheit von Schwefel schließen darf. Für das Aufstellen der Reaktionsgleichung ist die Durchführung des Versuchs irrelevant. Das Aufstellen der Gleichung ist ein (durchaus anspruchsvolles) Übersetzen von bereits vorgegebenen Informationen in die chemische Fachsprache, und damit eine Übung, die ohne die Interaktion mit der materiellen Welt und ohne die Datenerhebung lösbar ist.

Eine Anwendung von Konzepten, die tatsächlich Theorie und Praxis verbindet, kann dann geschehen, wenn den Schülern/Schülerinnen geeignete naturwissenschaftliche Zusammenhänge, Konzepte und Modelle schon vor der Interaktion mit der materiellen Welt zugänglich gemacht werden und wenn sie lernen, wie man diese für die Planung des Vorgehens oder für begründete Vorhersagen nutzen kann. Speziell die Eignung von theoretischen Konstrukten für begründete Vorhersagen im Umgang mit der Welt kann Menschen von der Nützlichkeit dieser Konstrukte überzeugen.

5 Fazit

Die Formulierungen in den österreichischen Kompetenzmodellen der Naturwissenschaften zum Thema Erkenntnisgewinnung sind im Hinblick auf das aktuelle Verständnis von „Nature of Science“ nicht angemessen. Doch sie verhindern nicht Formen von Laborpraxis, die zu einem verdrehten Bild auf naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung führen können.

Das ist erstens auf mögliche Missverständnisse bei der Interpretation der Formulierungen zurückzuführen. Die unterschiedliche Verwendung von Begriffen im Bereich der Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Labor wurde bereits an anderer Stelle diskutiert (Koliander, 2017). Die Sprache ist auch in den Kompetenzmodellen nicht einheitlich und nicht von genügender Klarheit. Manche Begriffe werden aus dem Alltag übernommen und sind auf Grund fehlender Definitionen mehrdeutig. Dies trifft z.B. auf den Begriff „Ergebnis“ im Rahmen eines Versuchs zu. Damit sind einmal die Rohdaten gemeint, ein anderes Mal die Interpretation der Daten.

Zweitens ist die Bildung von Evidenz aus Daten nicht klar beschrieben. Der Umgang mit Daten und daraus abgeleiteter Evidenz wird nicht ausreichend von Illustrationen unterschieden. In beiden Fällen wird von „Interpretation“ oder „Deutung“ der erhobenen Daten gesprochen.

Im Gegensatz zu den österreichischen Kompetenzmodellen findet sich im Framework für Science Education in den USA (National Research Council, 2012) für jede Handlungskompetenz eine mehrseitige Erklärung. Begriffe wie Theorie, Hypothese, Daten, Evidenz werden erklärt und an Beispielen erläutert. Eine solche

Explizierung dieser wichtigen Begriffe wäre auch im Zusammenhang mit den Kompetenzmodellen notwendig, um Missverständnisse und Fehldeutungen zu vermeiden. Eine auf die österreichischen Kompetenzmodelle abgestimmte Handreichung könnte für zukünftige Lehrplanentwicklungen in Naturwissenschaft und Technik, aber auch als Grundlage der Lehrerbildung nützlich sein.

Literatur

- Abd-El-Khalick, F. (2006). Over and Over Again: College Students' Views of Nature of Science. In L. B. Flick & N. G. Ledermann (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science*. Springer.
- Abels, S., Becker, R., Kern, G., Kerschbaumer, M., Koliander, B., Langer, E., Steininger, R. (2013). *Die kompetenzorientierte Reifeprüfung Chemie. Richtlinien und Beispiel für Themenpool und Prüfungsaufgaben*. Wien., Online verfügbar unter https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/ba/reifepruefung_ahs_lfch_22323.pdf, abgerufen am 04.12.2017.
- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- Beatty, J. W., & Woolnough, B. E. (1982). Practical work in 11-13 science: The context, type and aims of current practice. *British Educational Research Journal*, 8(1), 23-30.
- bifie (2011). Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe. Online verfügbar unter http://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf, abgerufen am 12.05.2017.
- Brewer, W., F. (2008). In what sense can the child be considered to be a "little scientist"? In R. A. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 38-49). Rotterdam: Sense.
- Dewey, J. (1910). Science as Subject-Matter and as Method. *Science, New Series*, 31(787), 121-127.
- Dewey, J. (1938). *Logic. The Theory of Inquiry*. New York: Holt.
- Faissner, E., Flöry, P., Jaklin, J., Kiss, A., Koliander, B., Lang, O., Dorninger, C. (2009). *Naturwissenschaftliche Bildungsstandards. Berufsbildende Höhere Schulen. Das Kompetenzmodell*. Online verfügbar unter http://www.bildungsstandards.berufsbildendeschulen.at/fileadmin/content/bbs/AGBroschueren/NaturwissenschaftenBHS_Vers.09.pdf, abgerufen am 04.12.2017.
- Herron, M. D. (1971). The Nature of Scientific Inquiry. *The School Review*, 79(2), 171-212.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85-142.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553. doi: 10.1080/09500693.2014.899722.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and microchemistry. *School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Koliander (2017). *Laborpraxis im Chemieunterricht – Ziele und Wege österreichischer Lehrpersonen*. (Dissertation), Universität Wien.
- Kruglak, H. (1951). Some Behavior Objectives for Laboratory Instruction. *American Journal of Physics*, 19(4), 223-225.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. (2014). Research on Teaching and Learning of Nature of Science. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. (pp. 600-620). New York and London: Routledge.
- Ledermann, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Ledermann (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Matthews, M. R. (1998). The Nature of Science and Science Teaching. In B. j. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (Vol. 2, pp. 981-999). Dordrecht: Kluwer.
- Millar, R. (1998). Rhetoric and reality: what practical work in science is *really* for. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science – Which way now?* (pp. 16-31). London, New York: Routledge.

National Research Council. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. *Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education.* Washington, DC: The National Academies Press.

OECD. (2016). *PISA 2015 Ergebnisse (Band I): Exzellenz und Chancengerechtigkeit in der Bildung.* Germany: Bertelsmann.

Singer, S. R., Hilton, M. L., & Schweingruber, H. A. (2005). *America's Lab Report. Investigations in High School Science.* Washington, DC: The National Academies Press.

Von Glasersfeld, E. (1989). Cognition, construction of knowledge, and teaching. *Synthese, 80*, 121-140.

Wellington, J. (1998). Practical work in science – time for a re-appraisal. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science – Which way now?* (pp. 3-15). Oxon and New York: Routledge.

Wellington, J. (2005). Practical work and the affective domain: What do we know, what should we ask, and what is worth exploring further? In W. Cobern (Ed.), *Beyond Cartesian Dualism. Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science.* (pp. 99-109). Dordrecht: Springer.