

Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie

Cornelia Stiller^{1,*}, Tobias Allmers^{2,*}, Annette Habigsberg^{3,*},
Andreas Stockey^{3,*} & Matthias Wilde^{1,*}

¹ Universität Bielefeld

² Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

³ Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Diese Unterrichtseinheit beinhaltet eine Einführung in die Grundprinzipien des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Die Vertiefung der Inhalte erfolgt an einem historischen Beispiel und in einem Experiment zum Fadenpendel, bei dem die Schritte des Experimentierens erarbeitet und angewendet werden sollen und so der hypothetisch-deduktive Erkenntnisgang vertieft werden soll. Die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse bietet eine direkte Anschlussmöglichkeit für das Thema „Energie und Arbeit“ einer potentiellen nächsten Unterrichtseinheit.

Schlagwörter: Erkenntnisgewinnung, Experimentieren, Unterrichtskonzept



1 Einleitung

Von der Kultusministerkonferenz wurde der Bereich der Erkenntnisgewinnung als einer der Kompetenzbereiche für den naturwissenschaftlichen Unterricht definiert; sie legt damit einen Fokus auf den Erwerb dieser Kompetenzen im Unterricht (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). In den Kernlehrplänen für Biologie, Chemie, und Physik für die Sekundarstufe II wird diese Kompetenz als „übergreifende fachliche Kompetenz einer vertieften biologisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung“ betont und die Förderung dieser Kompetenz als grundlegend angesehen (z.B. MSW NRW, 2013). Der Weg der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften erfolgt über grundlegende Methoden der Naturwissenschaften (Beobachten, Vergleichen, Experimentieren), die der Logik des hypothetisch-deduktiven Vorgehens folgen. Empirische Untersuchungen im Sinne eines hypothetisch-deduktiven Vorgehens leisten einen wesentlichen Beitrag zum Erkenntnisprozess der Lernenden (Mayer, 2013) und stehen deswegen im Mittelpunkt des Kurskonzeptes. Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung folgt klaren Grundsätzen, deren Grundprinzipien am Anfang des Kurses in einer Unterrichtseinheit eingeführt und im Verlauf des *Basiskurses Naturwissenschaften* weiter vertieft werden.

2 Grundprinzipien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung

2.1 Grundprinzipien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung – Wie aus einer Hypothese eine Theorie wird

Ziel naturwissenschaftlicher Forschung ist es, für beobachtete Phänomene eine Erklärung zu finden. Diese Zusammenhänge müssen in einem Erkenntnisprozess erst erkannt werden und münden dann in einer Theorie. Theorien sind abstrakte Gedankenkonstrukte, die Zusammenhänge beschreiben und wissenschaftlich begründete Aussagen zur Erklärung bestimmter Phänomene beinhalten (Krüger & Vogt, 2007; Wirtz & Schulz, 2012). Um dabei zu objektiven, reproduzierbaren Aussagen zu gelangen, ist es notwendig, dass diese Aussagen wiederholt und in unabhängiger Weise von verschiedenen Personen getroffen werden können (Bayrhuber, Kull & Linder, 2005). Der wissenschaftliche Erkenntnisprozess, der zu einer Theorie führt, besteht aus einzelnen Schritten, die der Logik entlehnt sind. Relevant sind dabei Prozesse des induktiven und deduktiven Schlussfolgerns. Als Induktion wird ein Schluss bezeichnet, wenn auf Grundlage vieler reproduzierbarer Einzelbeobachtungen allgemeine Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden (Schneider, 1978). Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass sich etwas, das sich bei vielen beobachtbaren Ereignissen als wahr erweist, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei einem Ereignis mit vergleichbaren Umständen beobachtet werden kann. Demnach wird „von Einzelfällen auf allgemeingültige Zusammenhänge geschlossen“ (Schneider, 1978, S. 34). Induktive Schlüsse sind nur gültig, wenn diese aufgrund einer großen Anzahl von Beobachtungen erfolgt sind, die Beobachtungen unter vielfältigen Bedingungen stattgefunden haben und keine der Beobachtungen der allgemeinen Gesetzmäßigkeit widerspricht (Chalmers, 2001). Beispiele für einen induktiven Schluss sind „Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.“ und „Bei allen Reaktionen gibt es eine Hin- und Rückreaktion.“ Die Deduktion dagegen beschreibt das „Schließen vom Allgemeinen, von der übergeordneten Gesetzmäßigkeit“ auf den Einzelfall (Schneider, 1978, S. 34). Die Aussage, dass eine Feder im Vakuum mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ herunterfällt, abgeleitet aus der Aussage, dass alle Gegenstände im Vakuum mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ herunterfallen, wäre ein Beispiel für einen deduktiven Schluss aus der Physik. Deduktive Schlüsse sind wahrheitsgarantierend, d.h., wenn die Verallgemeinerungen wahr sind, dann ist auch der Schluss wahr. Im Gegensatz

dazu ist die Wahrheit eines induktiven Schlusses bei wahren Einzelbeobachtungen lediglich wahrscheinlich. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein induktiver Schluss wahr ist, ist umso höher, je mehr Einzelbeobachtungen vorliegen. Da allerdings nur eine begrenzte Anzahl von bestimmten Beobachtungen möglich ist, ist nicht ausgeschlossen, dass es Fälle gibt, die nicht mit der „allgemeingültigen Aussage“ beschrieben werden können. Dennoch aber werden durch Induktion aus einer begrenzten Anzahl von Beobachtungen allgemeingültige Aussagen aufgestellt (Induktionsproblem; Popper & Hansen, 2010).

Idealerweise besteht der empirische Prozess der Erkenntnisgewinnung aus einer „Abfolge von intuitiven, induktiven und deduktiven Denkweisen und enthält Hypothese und Experiment als notwendige Bestandteile“ (Pfeifer, Lutz & Bader, 2002, S. 94) (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite). Gegenstand von naturwissenschaftlichen Untersuchungen sind immer Beobachtungen (Falkenhausen, 1989), die intersubjektiv und nachprüfbar (objektiv) sein müssen. Ausschließlich subjektiv wahrnehmbare Phänomene, wie z.B. die Erscheinung des verstorbenen Großvaters oder andere dezidiert subjektive Wahrnehmungen, sind nicht widerlegbar und demzufolge nicht Gegenstand von Naturwissenschaften. Die an Einzelbeobachtungen gewonnene Erfahrung kann durch Induktion auf einen „übergeordneten, nicht beobachtbaren Tatsachenbereich“ ausgedehnt werden, so dass eine Erklärung, die allen Einzelbeobachtungen zugrunde liegt, abgeleitet werden kann (Schneider, 1978, S. 29). Diese übergeordnete Gesetzmäßigkeit stellt die zu prüfende Hypothese dar. Häufig spielen bei der Entwicklung einer Hypothese noch weitere Aspekte, wie z.B. bestehendes Vorwissen, eine Rolle. Eine Hypothese muss nicht zwangsläufig die Folge eines induktiven Schlusses sein, sondern kann auch durch intuitive, kreative Überlegungen entstehen (Pfeifer et al., 2002; Schneider, 1978). Hypothesen sind eine vorläufige Vermutung, wie man bestimmte Beobachtungen erklären könnte (Seiffert, 1973). Die entwickelten Hypothesen werden „in einem hypothetisch-deduktiven Schritt auf ihre Gültigkeit [hin] untersucht“ (Pfeifer et al., 2002, S. 94). Von den Hypothesen werden mit einem deduktiven Schluss konkrete Vorhersagen (empirisch prüfbare Hypothesen) abgeleitet. Falls die Hypothese zutreffend ist, müssten sich aus dieser Logik heraus diese Vorhersagen zum Experiment bestätigen. Um einen Erkenntnisprozess vollziehen zu können, ist eine unumgängliche Bedingung für Hypothesen, dass diese überprüfbar und prinzipiell widerlegbar sind. D.h., es muss möglich sein, dass ein Ergebnis einer Überprüfung der Hypothese ist, dass diese Hypothese nicht bestätigt, also falsifiziert, wird (Campbell & Reece, 2009; Pfeifer et al., 2002). So lässt sich z.B. die Aussage „Federn fallen im Vakuum immer mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$.“ testen, da es prinzipiell nicht ausgeschlossen ist, dass diese Hypothese nicht zutreffend ist. Es ist möglich, eine Alternativhypothese, nämlich „Federn fallen im Vakuum nicht mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ “ zu formulieren. Wenn man mit einem Experiment zeigen würde, dass es auch Federn gibt, die nicht mit dieser Beschleunigung im Vakuum fallen, wäre die Hypothese widerlegt. Die Aussage „Federn können im Vakuum mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ fallen.“ ist hingegen immer wahr, egal, wie das Experiment ausfällt. Diese Aussage wird sowohl durch ein exaktes Fallen mit einer Beschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ bestätigt als auch durch größeres oder kleineres beschleunigtes Fallen. Darüber hinaus ist es nicht möglich, einen logisch sinnvollen Satz zu formulieren, der die Gegenhypothese darstellt. Mit einem Experiment werden Bedingungen geschaffen, unter denen ein bestimmter Sachverhalt beobachtet werden kann (Schneider, 1978). Es muss ein Experiment geplant werden, mit dem sich die Hypothese falsifizieren oder bestätigen lässt. Dabei ist es wichtig, einige grundlegende Aspekte bei der Planung zu beachten (Stiller, Stockey, Hahn & Wilde, eingereicht). Die tatsächlichen Ergebnisse aus dem Experiment werden dann mit den vorhergesagten Ergebnissen verglichen. Für den Fall, dass Vorhersage und tatsächliches Ergebnis nicht übereinstimmen, wurde die Hypothese falsifiziert. Bereits eine einzige, objektive Aussage, die sich nicht mit der Hypothese vereinbaren lässt, führt dazu, dass die Hypothese abgelehnt werden

muss (Bayrhuber et al., 2005; Falkenhausen, 1989). Die Hypothese wird daraufhin überarbeitet und es wird nach einer alternativen Erklärung für das Problem bzw. die Fragestellung gesucht. Dazu müssen die bekannten Sachverhalte neu geordnet und der Erkenntnisprozess muss überdacht werden (Schneider, 1978, S. 35). Stimmen Vorhersage und tatsächliches Ergebnis überein, kann die Hypothese als bestätigt angesehen werden (Schneider, 1978). Jeder weitere Befund, der die Hypothese stützt, führt dazu, dass die Hypothese immer wahrscheinlicher wird. Wichtig ist, dass eine Hypothese nie endgültig bewiesen oder verifiziert werden kann (Falkenhausen, 1989), weil es nicht realistisch ist, dass alle theoretisch möglichen Experimente, die die Hypothese widerlegen könnten, tatsächlich durchgeführt werden können. Durch jede Bestätigung der Hypothese steigt lediglich die Wahrscheinlichkeit, dass die Hypothese zutreffend ist (Bayrhuber et al., 2005). Idealerweise sollten zwei oder mehr mögliche, alternative Hypothesen formuliert werden und geeignete Experimente durchgeführt werden, um so alternative Vorstellungen auszuschließen, wodurch sich den realen Gegebenheiten schrittweise immer weiter angenähert werden kann (Bayrhuber et al., 2005; Campbell & Reece, 2009). Aus Hypothesen entstehen Theorien, wenn es gelungen ist, eine Hypothese mehrfach an deduktiven Folgerungen durch entsprechende Experimente zu bestätigen bzw. zu verbessern und objektive Aussagen in diese Hypothese widerspruchsfrei eingefügt werden können (Bayrhuber et al., 2005). Dieser letzte Schritt, in dem aus vielfach wiederholten Einzelbeobachtungen, die empirisch durch Experimentieren gewonnen wurden, auf eine allgemeine Tatsache geschlossen wird, entspricht einem induktiven Schluss. Zusammenfassend sind demnach Theorien als „durch Induktion und Deduktion mehrfach bestätigte und verfeinerte Hypothesen mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit“ zu verstehen (Pfeifer et al., 2002, S. 96).

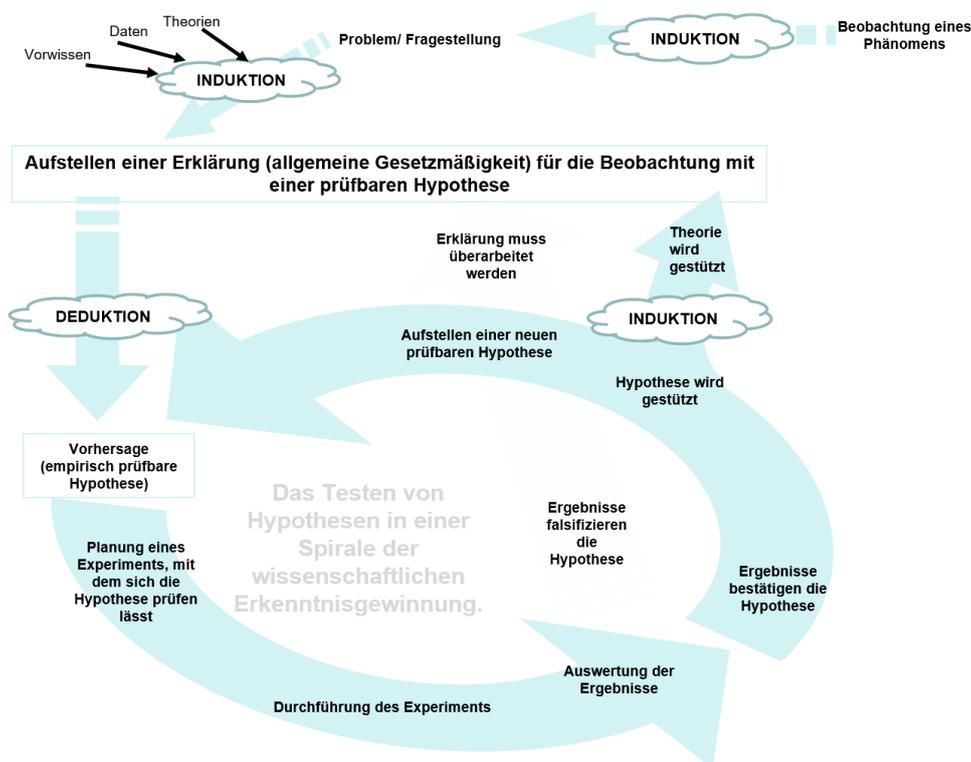


Abbildung 1: Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung: Von der Beobachtung zur Theorie (eigene Darstellung)

2.2 Der wissenschaftliche Erkenntnisprozess am Beispiel des Kindbettfiebers

Die Förderung eines Verständnisses für wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen ist seit vielen Jahren ein Schwerpunkt im naturwissenschaftlichen Unterricht (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). Dabei steht insbesondere der hypothetisch-deduktive Erkenntnisgang im Vordergrund (Mayer, 2013). Ein Verständnis der Arbeitsweise von Wissenschaftler*innen und wie diese zu ihren Erkenntnissen kommen, kann Schüler*innen dabei unterstützen, begründete Entscheidungen im realen Leben zu treffen. Die Verwendung realer Fallbeispiele aus der Wissenschaftsgeschichte gibt Schüler*innen die Gelegenheit, den Weg der Erkenntnisgewinnung nachzuvollziehen (Werner & Kremer, 2010). An dem historischen Fall der Entdeckung der Ursache des Kindbettfiebers lässt sich der wissenschaftliche Erkenntnisprozess gut verdeutlichen (Ströker, Hahn, Neugebauer & Püllen, 1981).

Der Artikel von Noakes, Borresen, Hew-Butler, Lambert und Jordaan (2008) gibt einen guten Überblick über das Thema. Kindbettfieber ist eine oft tödlich verlaufende bakterielle Infektion, die sich Frauen während der Geburt bei mangelnder Hygiene zuziehen können. Bis zur Entdeckung der Ursachen von Infektionskrankheiten ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gab es keine befriedigenden Erklärungen für dieses Phänomen. Im Wiener Gebärhaus, der zu dieser Zeit größten Geburtsklinik weltweit, arbeitete der Arzt Ignaz Semmelweis. Am Anfang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses steht eine Beobachtung bzw. ein Problem, aus dem sich eine Fragestellung ableiten lässt. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde beobachtet, dass in einer Wiener Geburtsklinik die Sterblichkeit an Kindbettfieber in der Abteilung für Ärzte fast doppelt so hoch war wie in der Abteilung für Hebammen. Daraus ergibt sich die Fragestellung, wodurch diese hohe Sterblichkeit in der Abteilung für Ärzte im Vergleich zu der Abteilung für Hebammen bedingt war. Die Beobachtung, dass der Weg des Priesters durch die Abteilung der Ärzte an den gebärenden Frauen vorbei führte, brachte die beteiligten Personen zu der Vermutung, dass die Frauen den vorbeilaufenden Priester mit ihrem möglichen Tod in Zusammenhang brachten und erschrecken. Daraus ergibt sich die Hypothese: „Der vorbeilaufende Priester führt zu einer höheren Sterblichkeit der Frauen.“ Ein hierauf bezogenes Experiment dient der empirischen Überprüfung der Hypothese und muss so konzipiert sein, dass diese Hypothese eindeutig zu stützen oder zu falsifizieren ist. Bei der Planung des Experiments ist zu beachten, dass alle zu beeinflussenden Variablen bis auf die zu untersuchende konstant zu halten sind. Es sollte mehrfach durchgeführt werden, um den Einfluss von Abweichungen möglichst gering zu halten. Die Daten sind zu protokollieren und bezüglich der Hypothese auszuwerten. Im vorliegenden Beispiel wurde eine Untersuchung durchgeführt, bei der der Priester gebeten wurde, fortan einen anderen Weg zu nehmen, der nicht durch die Geburtsabteilung der Ärzte führte. Das Ergebnis dieses Experiments war, dass sich die Sterblichkeit in der Abteilung der Ärzte nicht veränderte. Die höhere Sterblichkeit der Frauen auf der gynäkologischen Station der Ärzte konnte damit nicht mit dem Weg des Priesters erklärt werden. Die Hypothese wurde falsifiziert, und es musste nach einer alternativen Erklärung gesucht werden. Nachdem einige weitere Hypothesen getestet worden waren, beobachtete Semmelweis, dass die Ärzte, nicht allerdings die Hebammen, häufig in den frühen Morgenstunden Sektionen an kürzlich Verstorbenen vornahm, bevor sie die Frauen auf der gynäkologischen Station untersuchten. Aufgrund dieser Beobachtung vermutete Semmelweis, dass Leichensubstanz die Infektionen bei den Frauen verursacht. Außerdem vermutete er, dass diese Leichensubstanz durch das Waschen der Hände mit Chlorkalk unschädlich gemacht werden kann. Aus diesen beiden Vermutungen schlussfolgernd stellte er folgende Hypothese auf: „Durch das Waschen der Hände mit Chlorkalk kann die Leichensubstanz unschädlich gemacht werden.“ Er überprüfte die Hypothese, indem er in der Klinik eine neue Maßnahme verhängte. Es wurde angeordnet, dass sich die Ärzte mit Chlorkalk die Hände waschen sollten, bevor sie die Frauen untersuchten. Als Folge dieser Maßnahme fiel die

Sterberate auf ein vergleichbares Niveau wie in der Hebammenklinik ab. Die Hypothese wurde demnach gestützt.

Die Darstellung historischer Beispiele alleine genügt allerdings nicht, um bei Schüler*innen eine Auseinandersetzung mit der Erkenntnisgewinnung im Sinne von *Nature of Science* anzuregen, sondern es muss explizit zu einer Diskussion und Auseinandersetzung mit den zugrundeliegenden Prinzipien angeregt werden (McComas, 2008).

3 Unterricht und methodische Aspekte

In dieser Unterrichtseinheit (vgl. Abb. 2) bekommen die Schüler*innen einen ersten Einblick in die Grundprinzipien des naturwissenschaftlichen Arbeitens und der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Insbesondere werden sie in das hypothetisch-deduktive Verfahren eingeführt. Dazu soll den Schüler*innen ein erstes Grundverständnis des Vorgehens beim hypothetisch-deduktiven Verfahren über das Experiment vermittelt werden. Zunächst werden dabei die einzelnen Schritte beim Experimentieren und wie diese zusammenwirken vom Lehrenden erläutert (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Dabei wird auch auf die Kriterien eingegangen, welche Aspekte bei der Planung von Experimenten zu berücksichtigen sind. Die weitere Vertiefung der Inhalte erfolgt an einem theoretischen Beispiel (Kindbettfieber), mit dem die Schüler*innen ihr Wissen anwenden können. In einem ersten Experiment aus der Physik (Fadenpendel) sollen die Schritte des Experimentierens praktisch „ausprobiert“ (Stiller, Stockey et al., eingereicht) und so ein Verständnis für den hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgang weiter vertieft werden. Die Schüler*innen werden in die Erstellung einer Datentabelle, die Berechnung von Mittelwerten, das Festlegen von Ausgleichsgeraden und die Erstellung und Beschreibung von Diagrammen eingeführt (Stiller, Allmers, Stockey, & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft). Das Pendelexperiment bzw. direkt die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse stellen eine sinnvolle Anschlussmöglichkeit für das Thema der nächsten Unterrichtseinheit „Energie und Arbeit“ dar.

Die Unterrichtseinheit „Einführung in das hypothetisch-deduktive Verfahren“ ist für ca. drei bis vier Doppelstunden konzipiert. Es wechseln sich theoretische Inputphasen, in denen die Schüler*innen den hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgang kennenlernen, und praktische Arbeitsphasen, in denen sie diesen selbst nachvollziehen können, ab.

<p>fachliche Inhalte</p> <ul style="list-style-type: none"> • hypothetisch-deduktives Verfahren mit Semmelweis als Beispiel • Hypothesenprüfung durch Experiment • Abhängigkeit der Periodendauer beim Fadenpendel 	<p>experimentelle Methoden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anwendung hypothetisch-deduktives Verfahren • Aufbau eines Experiments (Vermeidung von störenden Einflüssen)
<p>Wissenschaftstheorie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prinzipien von empirischen Wissenschaften (insb. Rolle des Experiments) • Experiment vs. Erhebung, Kontrolle vs. Realitätsnähe • Wiederholung als Mittel zur Verringerung der Irrtumswahrscheinlichkeit 	<p>Auswertemethoden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berechnung von Mittelwerten • Erstellen eines Diagramms (Auswahl des Typs) • Interpretation des Diagramms (Ausgleichskurve)

Abbildung 2: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte für die Unterrichtseinheit „Einführung in das hypothetisch-deduktive Verfahren“ (eigene Darstellung)

3.1 Einführung in das hypothetisch-deduktive Vorgehen

Der historische Fall von Semmelweis stellt ein interessantes Beispiel für das hypothetisch-deduktive Verfahren dar. In einem Arbeitsblatt (vgl. Online-Supplement, Material 1) werden die Schüler*innen über den gegebenen Sachverhalt informiert, und sie bekommen die Möglichkeit, das hypothetisch-deduktive Vorgehen anhand eines realen Falles nachzuvollziehen. Weiterhin verdeutlicht dieser Fall, dass in der Realität die Überprüfung einer Fragestellung nicht immer im ersten Anlauf geklärt werden kann. Die Auseinandersetzung mit diesem Thema und eine Diskussion darüber können zu einem aufgeklärten Wissenschaftsverständnis anregen. Die auf dem Arbeitsblatt enthaltenen Aufgaben lassen sich in Einzelarbeit oder in Gruppenarbeit bearbeiten, sollten aber in jedem Fall mit dem Kurs besprochen werden. Mit Hilfe des Textes „Kindbettfieber“ und einer Diskussion der Aufgabe 1 kann ein Tafelbild erarbeitet werden, in dem das im Text beschriebene Problem aufgegriffen wird, eine Fragestellung und Hypothese formuliert werden und die Überprüfung diskutiert wird. Sinnvoll erscheint es, zunächst verschiedene Hypothesen, die sich als falsch erwiesen (also falsifiziert wurden), aufzugreifen, um somit einen mehrfachen „Durchlauf“ des hypothetisch-deduktiven Verfahrens zu simulieren. Im Unterrichtsgespräch sollte unbedingt die Unterscheidung der Begrifflichkeiten „Theorie“ und „Hypothese“ deutlich gemacht werden, da beide im alltäglichen Sprachgebrauch häufig synonym verwendet werden. Dazu werden die Schüler*innen z.B. gebeten, auszuführen, was sie eigentlich meinen, wenn sie sagen „Ich hab da eine Theorie zu.“ Anschließend sollten diese Aussagen dann im Zusammenhang mit der Verwendung der Begriffe im wissenschaftlichen Kontext besprochen werden. Mit der Bearbeitung der Aufgabe 2 werden grundlegende Bedingungen angesprochen, die bei der Planung von Experimenten zu berücksichtigen sind (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Aufgabe 3 kann genutzt werden, um induktiv aus dem spezifischen Beispiel von Semmelweis und dem Kindbettfieber ein allgemeines Vorgehen beim hypothetisch-deduktiven Verfahren abzuleiten. Darüber hinaus werden am Beispiel von Semmelweis neben dem Experimentieren, das den Schüler*innen bereits aus ihrem bisherigen naturwissenschaftlichen Unterricht bekannt ist, weitere Möglichkeiten der Hypothesentestung erarbeitet (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Dabei werden auch Aspekte der Realitätsnähe vs. Kontrolle im Rahmen von Gütekriterien für eine angemessene Hypothesenprüfung thematisiert (Stiller, Stockey et al., eingereicht). Der bzw. die Lehrer*in unterstützt die Entstehung eines Tafelbildes, in dem er oder sie die Wortmeldungen der Schüler*innen strukturiert und an die Tafel schreibt (vgl. Abb. 3 auf der folgenden Seite).

Als weitere Vertiefung zum wissenschaftlichen Arbeiten, insbesondere im Bereich der *Data Literacy*, gibt die Lehrperson eine Einführung in das Erstellen von Graphiken, d.h., welche verschiedenen Arten (z.B. Säulendiagramm, X-Y-Graph) es gibt, welche Art von Daten damit jeweils dargestellt werden kann und wie gute Diagramme erstellt werden können. Die weitere Vertiefung bzw. konkrete Anwendung des Wissens erfolgt mithilfe eines Arbeitsblattes (vgl. Online-Supplement, Material 5), in dem der Fall Semmelweis mit weiteren ergänzenden Daten behandelt wird. Den Schüler*innen werden Datentabellen geboten, die diese unter Berücksichtigung der Kriterien für das Erstellen von Diagrammen (Stiller, Allmers et al., eingereicht) in graphische Abbildungen umwandeln sollen. Dann werden die Schüler*innen von der Lehrperson aufgefordert, für die Daten eine geeignete Darstellung auszuwählen und eine Graphik zu erstellen, die dann im Plenum besprochen werden kann. Die Schüler*innen erhalten so die Gelegenheit, den richtigen Umgang mit Tabellen und Abbildungen zu schulen.

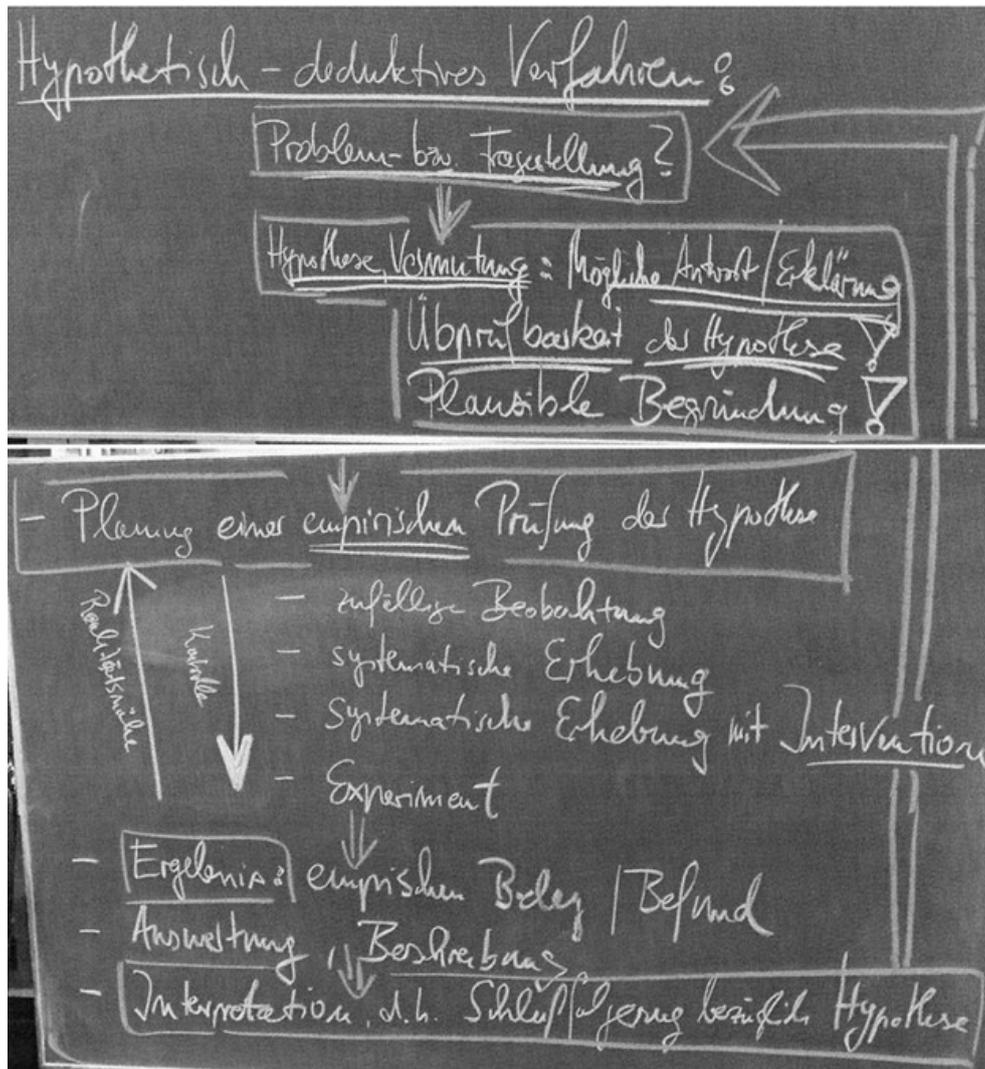


Abbildung 3: Beispiel eines Tafelbildes zum empirischen Prozess der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften (eigene Darstellung Andreas Stockey)

3.2 Vertiefung des hypothetisch-deduktiven Vorgehens am Beispiel des Pendelexperimentes

Im experimentellen Teil dieser Unterrichtseinheit haben die Schüler*innen die Gelegenheit, das hypothetisch-deduktive Vorgehen in einem Pendelexperiment zu erproben. Das Pendelexperiment eignet sich als Einstieg in das experimentelle Vorgehen bei einem hypothetisch-deduktiven Erkenntnisprozess, weil das Thema für Schüler*innen leicht zugänglich ist, sie ohne Schwierigkeiten verschiedene Hypothesen generieren können und die dahinterstehenden physikalischen inhaltlichen Aspekte auch mathematisch leicht zugänglich sind.

Anhand eines konkreten Falls werden die Schüler*innen angeregt, die Forschungsfrage zu untersuchen, von welchen Faktoren die Periodendauer eines Fadenpendels abhängig ist. Dazu wird den Schüler*innen eine Situation geschildert. Ein Zirkus soll ein neues, größeres Zirkuszelt bekommen. Die Artist*innen des Zirkus sind allerdings etwas besorgt, dass die Trapeze in dem neuen Zirkuszelt anders schwingen und sie ihre bisherigen Kunststücke nicht mehr wie gewohnt durchführen können. In einem Unterrichtsgespräch wird aus diesem Problem die allgemeine Forschungsfrage, wovon die Perio-

pendendauer eines Fadenpendels abhängig ist, abgeleitet. Außerdem werden die Schüler*innen aufgefordert, mögliche Parameter zu nennen, die für die Periodendauer eine Rolle spielen können. Das können z.B. die Pendellänge, der Auslenkungswinkel, die Masse des Pendelkörpers, die Beschaffenheit des Pendelkörpers, die Oberflächenbeschaffenheit des Pendelkörpers, die Dichte des Pendelkörpers oder die Erdbeschleunigung sein. Im Unterrichtsgespräch wird dann diskutiert, welche der Parameter im Rahmen eines Schulexperiments sinnvoll untersucht werden können. Die Erdbeschleunigung, zum Beispiel, wäre ein Parameter, der im Unterricht nicht untersucht werden kann, da dieser im Schulkontext nicht beeinflussbar ist. Daraus werden dann Hypothesen abgeleitet, von denen jede Gruppe jeweils eine Hypothese untersucht. Wichtig ist, im Verlaufe des Unterrichtsgesprächs zu thematisieren, welche Kriterien erfüllt sein müssen, damit eine Hypothese sinnvoll untersucht werden kann (Stiller, Stockey et al., eingereicht). In Gruppenarbeit, in Rücksprache mit den Lehrenden und mit Feedback der Schüler*innen untereinander werden dann die Experimentierpläne erarbeitet. Dazu kann den Schüler*innen zur Unterstützung ein Arbeitsblatt mit einer Checkliste zur Planung eines Experiments (vgl. Online-Supplement, Material 2) angeboten werden (als Overheadfolie oder als Infoblatt), oder es kann auf die Besprechung der Aufgabe 2 des Materials 1 verwiesen werden. Bereits in diesem Schritt wird mit den Schüler*innen gemeinsam besprochen, wie eine Rohdatentabelle gestaltet sein muss, damit diese effektiv zum Dokumentieren der Daten genutzt werden kann. Insbesondere ist darauf zu achten, dass angemessene Intervalle für die unabhängige Variable gewählt werden und dass die Tabelle übersichtlich und klar gegliedert ist (Stiller, Allmers et al., eingereicht). Bevor das Experiment von den Schüler*innen durchgeführt wird, kann ein Arbeitsblatt (vgl. Online-Supplement, Material 3) zur Verfügung gestellt werden, mit dem Schüler*innen zur Reflexion ihres experimentellen Vorgehens angeleitet werden. Nach selbstständiger Durchführung der Experimente werden die Schüler*innen in die Berechnung von Mittelwerten eingeführt und berechnen diese für ihre Daten. Anschließend können die Ergebnisse visualisiert werden. Die Schüler*innen erhalten so nochmals Gelegenheit, sich mit der angemessenen Erstellung und Verwendung von Diagrammen zu beschäftigen. Die Graphiken der Gruppen werden dann gesammelt (vgl. Abb. 4 auf der folgenden Seite), und es wird gemeinsam eine Beantwortung der Fragestellung diskutiert. Bei der Auswertung der Daten geht die Lehrperson auf das Einzeichnen von Ausgleichskurven ein und zeigt den Schüler*innen an einem Beispiel, wie diese nach Augenmaß eingezeichnet werden können. Im Folgenden wird darauf eingegangen, wie die Graphiken zu interpretieren sind. Für das Beispiel in Abbildung 4 ergibt sich auf den ersten Blick, dass die Periodendauer nicht von der Masse des Pendels und des Auslenkungswinkels abhängt, sondern lediglich von der Länge des Pendels. Es sollte aber unbedingt darauf eingegangen werden, dass auch in der Graphik zum Auslenkungswinkel eine Abhängigkeit zu erahnen ist. Allerdings ist die Abhängigkeit der Periodendauer vom Auslenkungswinkel für kleinere Auslenkungswinkel nur schwer zu bestimmen, da der Effekt viel kleiner als für die Fadenlänge ist, und deswegen vernachlässigbar, sodass die Periodendauer in der Näherung nur von der Pendellänge und der Erdbeschleunigung abhängt. Für größere Auslenkungswinkel ließe sich eine Zunahme der Periodendauer erwarten. Der Lehrende nimmt an diesem Punkt dann wieder Bezug auf das Fallbeispiel und erläutert mit den Schüler*innen die Konsequenzen für die Zirkusmitarbeiter*innen. Diese müssen sich mit dem neuen Zirkuszelt keine Sorgen machen, wenn sie die gleiche Länge des Trapezes wählen wie beim alten Zirkuszelt.

Anhand der Diskussion der verschiedenen Ansätze zur Durchführung eines Experiments und der Auswertung der Ergebnisse kann mit den Schüler*innen das Vorgehen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess nachvollzogen werden.

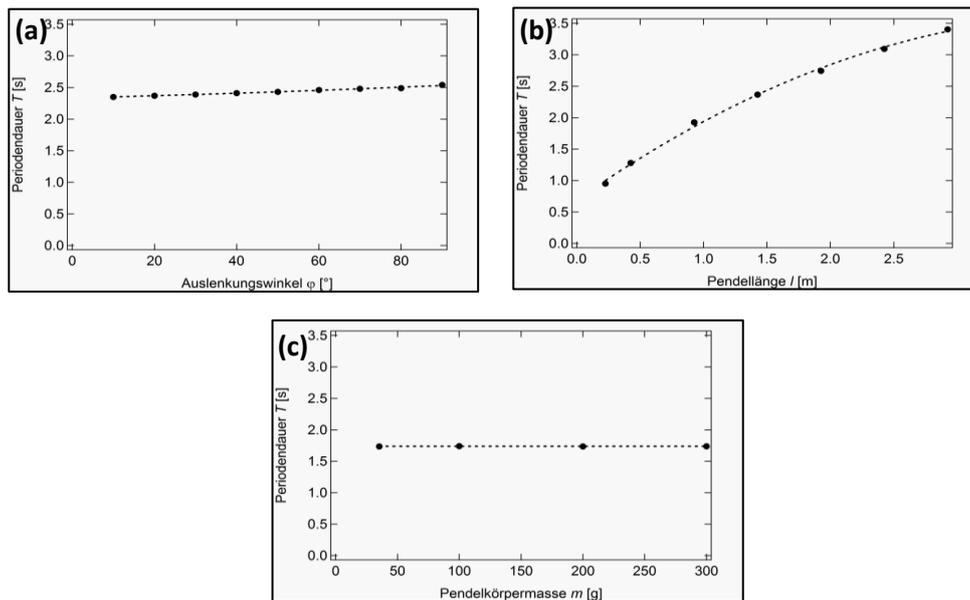


Abbildung 4: Beispiel für die Darstellung der Experimentierergebnisse von vier Gruppen: (a) Periodendauer in Abhängigkeit vom Auslenkungswinkel; (b) Periodendauer in Abhängigkeit von der Pendellänge; (c) Periodendauer in Abhängigkeit von der Pendelkörpermasse. Dargestellt sind jeweils die Datenpunkte und die ausgleichende Kurve. (eigene Darstellung)

Um das Vorgehen bei der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung zu wiederholen und weiter zu vertiefen, eignet sich zum Abschluss der Unterrichtseinheit ein Arbeitsblatt mit einer Abbildung zum hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgang (vgl. Online-Supplement, Material 4), in dem der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Schema dargestellt wird. Mithilfe des Arbeitsblattes können auch die aus den logischen Schlüssen resultierenden Einschränkungen thematisiert werden, z.B. welche Probleme der hypothetisch-deduktive Erkenntnisgang beinhaltet (Induktionsproblem, Sicherheit von Wissen etc.).

4 Anregungen zur Reflexion

Diese Kurseinheit ermöglicht Schüler*innen, ein Grundverständnis für das hypothetisch-deduktive Vorgehen in den Naturwissenschaften zu entwickeln. In den folgenden Kurseinheiten kann dieses Grundverständnis weiter vertieft und um spezifische Aspekte erweitert werden. Im Sinne einer *Scientific Literacy* kann bereits an dieser Stelle des Curriculums eine kritische Auseinandersetzung mit der Hypothesenprüfung, wie sie z.B. in populären Wissenschaftssendungen im Fernsehen häufig vermittelt wird, erfolgen. Die Schüler*innen sollten durch das Grundverständnis für eine hypothetisch-deduktive Erkenntnisgewinnung in der Lage sein, die kritischen Aspekte zu entdecken, zu reflektieren und aus einer neuen Perspektive zu bewerten.

Literatur und Internetquellen

- Bayrhuber, H., Kull, U., & Linder, H. (Hrsg.). (2005). *Linder-Biologie. Lehrbuch für die Oberstufe*. Braunschweig: Schroedel.
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2009). *Biologie*. München et al.: Pearson Studium.
- Chalmers, A.F. (2001). *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-10879-6>

- Falkenhausen, E.V. (1989). *Unterrichtspraxis zum wissenschaftspropädeutischen Biologieunterricht*. Köln: Aulis Deubner.
- KMK (Sekretariat der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- KMK (Sekretariat der Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. München & Neuwied: Luchterhand.
- Krüger, D., & Vogt, H. (2007). Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 1–7). Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3>
- Mayer, J. (2013). Erkenntnisse mit naturwissenschaftlichen Methoden gewinnen. In H. Gropengießer, U. Harms, U. Kattmann, D. Eschenhagen, S. Bögeholz & R. Bühs (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie. Die Biologiedidaktik* (S. 56–61). Hallbergmoos: Aulis.
- McComas, W.F. (2008). Seeking Historical Examples to Illustrate Key Aspects of the Nature of Science. *Science & Education*, 17 (2–3), 249–263. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- MSW NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen) (2013). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Ministerium.
- Noakes, T.D., Borresen, J., Hew-Butler, T., Lambert, M.I., & Jordaan, E. (2008). Semelweis and the Aetiology of Puerperal Sepsis 160 Years on: an Historical Review. *Epidemiology and Infection*, 136 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1017/S0950268807008746>
- Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H.J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Popper, K.R., & Hansen, T.E. (Hrsg.). (2010). *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie. Aufgrund von Manuskripten aus den Jahren 1930–1933*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Schneider, H. (1978). *Hypothese, Experiment, Theorie. Zum Selbstverständnis der Naturwissenschaft*. Berlin: de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110843330>
- Seiffert, H. (1973). *Einführung in die Wissenschaftstheorie I: Sprachanalyse – Deduktion – Induktion in Natur- und Sozialwissenschaften*. München: C.H. Beck.
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.

- Ströker, E., Hahn, R., Neugebauer, H.G., & Püllen, K. (1981). *Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften. Grundzüge ihrer Sachproblematik und Modelle für den Unterricht*. Freiburg i.Br.: Alber.
- Werner, M., & Kremer, K. (2010). Ein Experiment ist das, was der Lehrer macht. Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften. In D. Krüger (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 9* (S. 135–149). Neumünster & Kassel: Univ.-Druckerei.
- Wirtz, M., & Schulz, A. (2012). Modelbasierter Einsatz von Experimenten. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & P. Altenburger (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 58–74). Münster: Waxmann.

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39. <https://doi.org/10.4119/pflb-3302>

Online-Supplement:

Materialien zur Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>