

Georg Trendel und Michael Lübeck

Die Entwicklung experimenteller Kompetenzen

Konstruktion von Aufgaben zur systematischen Kompetenzentwicklung und Kompetenzüberprüfung

Es werden Verfahren und Konstruktionsprinzipien vorgestellt, mit denen gezielt Lernaufgaben und Testaufgaben im Bereich experimenteller Kompetenzen in den Naturwissenschaften erstellt werden können. Damit lassen sich einerseits gezielt bestimmte Kompetenzfacetten des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung ansteuern, andererseits kann auch der kognitive Anspruch von Lernprozessen situationsgerecht variiert werden. Die Verfahren eignen sich als Instrumente für die Planung und Durchführung eines binnendifferenzierten naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Es wird zunächst sehr detailliert beschrieben, was Schülerinnen und Schüler zum naturwissenschaftlichen Experimentieren wissen und können sollten. Es werden außerdem Gesichtspunkte aufgezeigt, nach denen sich die Schwierigkeit von Aufgaben unter Berücksichtigung ihrer Komplexität und der damit verbundenen kognitiven Anforderungen einstellen bzw. einschätzen lässt. Schließlich werden Kriterien zur Beurteilung der Aufgabenqualität entwickelt, die einen Zusammenhang zwischen Funktionen des Experiments, Zielsetzungen des Unterrichts und Lernvoraussetzungen der Lerngruppe herstellen. Die Verfahren der Aufgabenerstellung und die kriterielle Einordnung der Aufgaben werden anhand von Aufgabenbeispielen illustriert.

Die beschriebenen Vorgehensweisen wurden bereits im Rahmen verschiedener Projekte der QUA-LiS NRW zur naturwissenschaftlichen Unterrichtsentwicklung angewendet und haben sich dort als zielführend erwiesen. Die entwickelten Konzepte sollen in der nächsten Phase des SINUS-Projekts von mehreren Teilprojekten erprobt und auf ihre allgemeine praktische Umsetzbarkeit überprüft werden. Analoge Verfahren zur Konstruktion von differenzierten Aufgaben in den weiteren Kompetenzbereichen der Naturwissenschaften *Umgang mit Fachwissen, Kommunikation* und *Bewertung* sind in der Entwicklung.

1. Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht

Die Naturwissenschaften stehen prototypisch für empirische Wissenschaften, die den Anspruch erheben, dass Aussagen zu Gesetzmäßigkeiten, Modellen und Theorien zumindest im Prinzip mit empirischen Verfahren wie Beobachtungen und Experimenten überprüfbar sein müssen (Popper, 1989). Folglich wird praktisches experimentelles Arbeiten auch als notwendiges Element eines authentischen naturwissenschaftlichen Unterrichts angesehen, wobei über die Bedeutung für unterschiedliche naturwissenschaftliche Lernprozesse eine Bandbreite unterschiedli-

cher Ansichten besteht (Höttecke & Rieß, 2015). Als Ziele werden oft genannt, mit Experimenten

- *das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte zu verbessern,*
- *wissenschaftspraktische Fertigkeiten und Fähigkeiten zum Problemlösen zu fördern,*
- *Interesse und Motivation zu wecken,*
- *das Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zu verstärken.*

Die Bildungsstandards und die Kernlehrpläne in NRW räumen dementsprechend Experimenten in den Naturwissenschaften einen hohen Stellenwert ein und beschreiben im Bereich Erkenntnisgewinnung Kompetenzen, die sich auf bestimmte Schritte des Experimentierens beziehen. In fachdidaktischen Lehrbüchern findet man Lehrerhinweise wie Angaben zu Funktionen und zur Organisation von Experimenten im Unterricht sowie zu Zielsetzungen, die man damit erreichen will. Erstaunlicherweise gehen jedoch selbst aktuellere Standardwerke der Didaktik kaum darauf ein, was experimentelle Kompetenzen eigentlich sind, was Schülerinnen und Schüler also bezüglich des Experimentierens wissen und können sollten – und erst recht nicht, wie sie es denn lernen könnten. Es entsteht der Eindruck einer Erwartung, dass sich experimentelle Kompetenz im Verlauf des naturwissenschaftlichen Lernens irgendwie von selbst einstellt. In einer Replik auf Martin Wagenscheins Buch *Die pädagogische Dimension der Physik* etwa konstatierte H. Settler (1967, S. 158) in der Zeitschrift MNU:

„Worin besteht also nun die pädagogische Dimension der Physik? [...] Der Physikunterricht hat nur eine Aufgabe, nämlich dem Schüler die Physik mitzuteilen: Ihren Inhalt (in Auswahl), in der ihr gemäßen Arbeitsweise, Denkweise und Sprache. Diese drei brauchen nicht explizit behandelt zu werden, sie können sich in der Unterrichtstätigkeit zwanglos mitteilen.“

Diese Aussage mag aus heutiger Sicht in mancherlei Hinsicht als kurios erscheinen, aber was hat sich mit Blick auf das Lernen von experimentellen Denk- und Arbeitsweisen in der Praxis seitdem wirklich verändert? Im wohl umfangreichsten und bekanntesten deutschsprachigen Lehrbuch zur Physikdidaktik (Kircher, Girwidz & Häußler, 2015) ist der wesentliche Abschnitt zum Experimentieren im Kapitel *Medien* zu finden und umfasst gerade 13 Seiten, wobei der größte Teil den Funktionen für die Unterrichtsgestaltung gewidmet ist. Der Absatz *Physikalische Denk- und Arbeitsweisen einüben*, der sich am ehesten auf Schülerkompetenzen beziehen lässt, kommt mit einer halben Seite aus. Experimentieren wird eher als Lehrmethode gesehen, nicht so sehr als Kompetenz im Bereich der Erkenntnisgewinnung, die Lernende erwerben sollen und zum Lösen von Problemen nutzen können. Empirische Studien zum schulischen Experimentieren weisen darauf hin, dass vorhandene Potenziale für das Lernen bei Weitem nicht genutzt werden. Kognitive Anforderungen sind als gering einzuschätzen, die Diskrepanzen zu den erklärten Zielen sind groß. Schülerinnen und Schüler sehen den Sinn derartiger Aktivitäten tendenziell darin, Anleitungen wie Kochrezepte abzarbeiten oder das richtige Ergebnis zu erhalten. Sie verstehen aber nicht unbedingt, was sie warum tun, und lernen wenig über das Experimentieren selbst: *„To many students, a lab means manipulating equipment but not manipulating ideas“* (Lunetta, 1997). Einige Studien legen nahe, dass schlecht eingebundene praktische Aktivitäten Lernerfolge sogar behindern können (Kobarg, Altmann, Wittwer, Seidel & Prenzel, 2008; Fischer, Labudde, Neumann & Viiri, 2014).

Das Bildungsziel einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, über das übrigens trotz der breiten internationalen Bedeutung in Deutschland nur wenig diskutiert wurde, beinhaltet als wesentliches Element, dass Heranwachsende nicht nur fertige Ergebnisse der Naturwissenschaften zur Kenntnis nehmen, sondern auch verstehen, woher man das weiß, wie man zu solchen Erkenntnissen kommen kann und nach welchen Kriterien diese zu beurteilen sind. Auch wenn die Wege der Wissenschaften komplex und vielfältig sind und es *die Methode der Erkenntnisgewinnung* nicht gibt, ist eine schülergerechte Rekonstruktion von bewährten Erkenntnisprozessen unverzichtbar. Hier besteht auch seitens der Fachdidaktiken noch deutlicher Handlungsbedarf. Unser Projekt soll einen Beitrag zur Entwicklung und Erprobung diesbezüglicher fachmethodischer Konzepte und Kompetenzen liefern. Wir orientieren uns an sogenannten hypothetisch-deduktiven Erkenntniswegen, deren Grundidee man in einem einfachen Schema folgendermaßen darstellen kann:

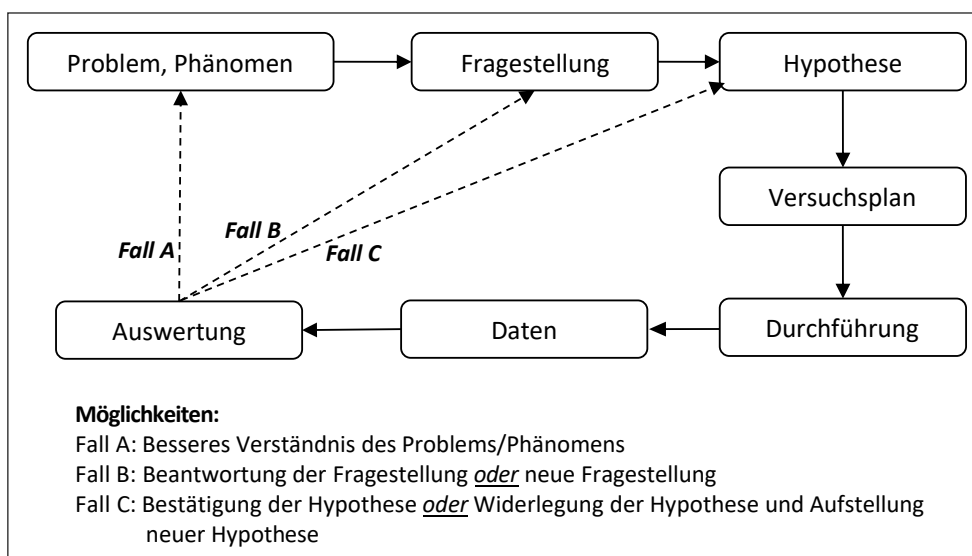


Abbildung 1: Hypothetisch-deduktiver Weg der Erkenntnisgewinnung (Schwerpunkt experimentelle Erkenntnisgewinnung)

Ausgehend von realen Phänomenen, Situationen oder Problemen, die zu einer Fragestellung führen, werden, gegebenenfalls vor dem Hintergrund theoretischer Überlegungen und bereits vorhandenen Wissens, zunächst Hypothesen zur Klärung des Problems bzw. Phänomens generiert. Es werden Möglichkeiten zur Überprüfung der Hypothesen überlegt und geplant (Versuchsplan). Die in der Hypothese formulierten Vorhersagen werden daraufhin auf der Ebene der Realität geprüft (Durchführung). Durch Übereinstimmungen der bei der Durchführung gewonnenen Daten mit der Hypothese kann diese bestätigt, die Fragestellung beantwortet und das Problem bzw. Phänomen besser erklärt und verstanden werden. Aus diesem besseren Verständnis heraus können sich dann durchaus weiterführende Fragestellungen mit weiteren Hypothesen ergeben, die zu neuen Versuchsplänen usw. führen. Treten Diskrepanzen zwischen der Hypothese und den neuen Daten auf, muss die Hypothese entweder angepasst oder sogar verworfen werden. In einigen Fällen (in Abbildung 1 nicht dargestellt) kann sich auch herausstellen, dass der Versuchsplan oder die Durchführung optimiert und wiederholt werden muss. Der Weg der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung ist häufig nicht derart linear und gradlinig, wie hier dargestellt. In aller Regel han-

delt es sich hierbei eher um einen iterativen Prozess, bei dem einige Schritte wiederholt und optimiert werden müssen, bis der Experimentator zu aussagefähigen Daten kommt.

Das vorliegende Projekt geht von der Annahme aus, dass ein erheblicher Entwicklungsbedarf zu Verfahren, Materialien und insbesondere geeigneten Aufgaben besteht, mit denen sich im Unterricht Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung systematisch entwickeln und überprüfen lassen. Es wird erwartet, dass diese Kompetenzen nicht nur fachmethodische Fähigkeiten betreffen, sondern auf alle Bereiche des naturwissenschaftlichen Lernens wirken. Sie ermöglichen in ihrer Verbindung von Handeln und Denken eine vertiefte Auseinandersetzung mit fachlichen Inhalten und ein besseres Verständnis fachlicher Ideen. Das Projekt möchte erkunden, wie sich Potenziale des Experimentierens für das Verstehen erweitern und damit fruchtbare Lernprozesse anstoßen lassen. Dazu sollen allgemeine Prinzipien und Konzeptionen zur systematischen Konstruktion von Aufgaben entwickelt werden, die den Erwerb experimenteller Kompetenzen fördern und sich auf alle drei Naturwissenschaften übertragen lassen. Es ist klar, dass die Erstellung von Aufgaben, seien es Lernaufgaben oder Aufgaben zur Überprüfung des Lernerfolgs, sich nicht nach einem vorgegebenen Schema automatisieren lässt, sondern immer auf die kreativen Ideen der Entwickler angewiesen ist. Dieser Prozess lässt sich jedoch durch Modelle und Prinzipien der Aufgabenentwicklung systemisch unterstützen und dadurch deutlich vereinfachen.

2. Bildungsziele, Aufgaben und die Entwicklung experimenteller Kompetenzen

Nach den für alle Bundesländer verbindlichen Bildungsstandards (KMK, 2005, S. 6) beinhaltet das Ziel einer naturwissenschaftlichen Grundbildung

„Phänomene erfahrbar zu machen, die Sprache und Geschichte der Naturwissenschaften zu verstehen, ihre Erkenntnisse zu kommunizieren sowie sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinanderzusetzen. Typische theorie- und hypothesengeleitete Denk- und Arbeitsweisen ermöglichen eine analytische und rationale Betrachtung der Welt.“

Dieses Ziel wird durch die Angabe von Kompetenzbereichen strukturiert, in Kernlehrplänen werden diese Bereiche dann über die Angabe notwendiger Prozesse weiter ausdifferenziert. In neueren Kernlehrplangenerationen in Nordrhein-Westfalen (MSW, 2013) werden im Bereich Erkenntnisgewinnung folgende Handlungsschritte, die sich dem Experimentieren zuordnen lassen, genannt:

- E1 Fragestellungen erkennen
- E2 Bewusst wahrnehmen
- E3 Hypothesen entwickeln
- E4 Untersuchungen und Experimente planen
- E5 Untersuchungen und Experimente durchführen
- E6 Untersuchungen und Experimente auswerten

Die Kernlehrpläne beschreiben zunächst Kompetenzen, die diesen Handlungen zuzuordnen sind, auf einem recht hohen Abstraktionsgrad. Inhaltliche Konkretisierungen der erwarteten Kompetenzen, die an anderer Stelle geliefert werden, verdeutlichen anhand bestimmter Situationen, in welcher Ausprägung Kompetenzen zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht sein sollten. Es ist jedoch nicht die Aufgabe von Kernlehrplänen, fachliche Inhalte bzw. fachdidaktisch sinnvolle Vorgehensweisen im Detail zu erklären. Mit Blick auf kompetenzorientierten Unterricht besteht damit seitens der Fachdidaktiken Handlungsbedarf.

Jede Art von Kompetenz ist außer durch spezifische Handlungsprozesse auch durch ein notwendiges Grundlagenwissen gekennzeichnet, das bewusstes Handeln (im Gegensatz zum einfachen *Tun* oder *Verhalten*) erst ermöglicht. Handlungsprozesse und Wissen müssen im Unterricht mit Hilfe von Erklärungen und Lernaufgaben explizit thematisiert werden, um Kompetenzen gezielt entwickeln zu können. Für die Konzeptentwicklung zur Aufgabenkonstruktion ergaben sich damit vier Fragen und entsprechende Arbeitskriterien:

a. Welches Wissen und Können müssen Lernende erwerben, um experimentelle Kompetenzen zu besitzen?

Das erforderliche Wissen und Können für die oben genannten Handlungsschritte sollte in ihren wesentlichen Facetten differenziert beschrieben werden. Die Beschreibungen machen für Lehrende und Lernende transparent, was eigentlich gelernt werden muss, und liefern Kriterien für Rückmeldungen.

b. Wie können auf der Basis der Prozessbeschreibungen Aufgaben erstellt werden, mit deren Hilfe gezielt bestimmte Kompetenzfacetten entwickelt oder diagnostiziert werden können?

Dazu sind plausible und übertragbare Konstruktionsverfahren zu finden. Abhängig vom Lernstand sollten dabei Möglichkeiten bestehen, die kognitiven Anforderungen und die Komplexität von Aufgaben und damit ihre Schwierigkeit gezielt zu variieren.

c. Welche qualitativen Anforderungen müssen Aufgaben für verschiedene Funktionen des Experimentierens im Lernprozess erfüllen?

Aufgaben müssten verschiedene Zielsetzungen in Lernprozessen unterstützen, wie z. B. Phänomene erkunden, Begriffe bilden oder Probleme lösen. Diese Unterschiede und Charakteristika entsprechender Aufgaben sind zu beschreiben.

d. Welches Potenzial, den Unterricht zu verändern, besitzen die nach dem entwickelten Verfahren konstruierten Aufgaben?

Es sollte möglich sein, die Aufgaben schrittweise in die bestehende Praxis einzubauen und ihre Wirkungen zu erproben, ohne den Unterricht kurzfristig radikal verändern zu müssen.

3. Prinzipien und Verfahren der Aufgabenkonstruktion

Zum Experimentieren: Erforderliches Wissen und Können

Um detailliertere Beschreibungen von experimentellem Handeln erstellen zu können, wurden in diesem Projekt zahlreiche Quellen von Lehrbüchern bis hin zu fachdidaktischer Literatur ausgewertet. Allerdings werden die Beschreibungen nicht als endgültig oder abgeschlossen verstanden, sondern könnten eine Grundlage für weitergehende Diskussionen und Konsensfindung auf verschiedenen Ebenen bieten. Insbesondere beziehen sich die Beschreibungen auf Unterrichtshandeln und erheben nicht den Anspruch, tatsächliche Forschungsprozesse in den universitären Bezugswissenschaften abzubilden. Sie zeigen vielmehr bewährte Wege auf, wie man vorgehen kann, um Ziele der Naturwissenschaften wie ein immer besseres und präziseres Verständnis natürlicher und technischer Vorgänge zu erreichen. Manche Aspekte sind bereits selbstverständliche Bestandteile traditioneller Unterrichtspraxis, manche werden bisher weniger beachtet. Manche sind für ein bestimmtes naturwissenschaftliches Fach bedeutender, manche für ein anderes.

Kompetenzfacetten

Die folgende Übersicht stellt die Kompetenzfacetten (E1 bis E6) der naturwissenschaftlichen Kernlehrpläne in NRW dar, die im Wesentlichen den experimentellen Handlungsschritten des hypothetisch-deduktiven Wegs der Erkenntnisgewinnung (vgl. Abbildung 1) entsprechen. Jede Kompetenzfacette ist dabei mithilfe von aufschließenden Aussagen stärker konkretisiert, als das in den Kernlehrplänen bisher der Fall ist. Diese Konkretisierung soll zu einem besseren Verständnis der Kompetenzfacetten beitragen und verdeutlichen, welche Fähigkeiten für eine Kompetenz in diesen Bereichen zu berücksichtigen sind:

E1 Fragestellungen erkennen

Schülerinnen und Schüler können den Erklärungsbedarf eines Sachverhalts identifizieren und Fragestellungen formulieren, die naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozessen (Beobachtungen, Experimenten, Modellierungen) zugrunde liegen und dabei prüfen, ob

- *im Prinzip naturwissenschaftliche Methoden zur Klärung beitragen können,*
- *sie zur Klärung des Sachverhalts relevant, passend und zielführend sind,*
- *sie präzise und eindeutig sind,*
- *ihnen naturwissenschaftliche Ideen zugrunde liegen.*

E2 Bewusst (beobachten und) wahrnehmen

Schülerinnen und Schüler können kriteriengeleitet beobachten und dabei

- *Kriterien der Beobachtung benennen und Erwartungen formulieren,*
- *Veränderungen wahrnehmen und beschreiben,*
- *die Beschreibung der Beobachtung von ihrer Deutung abgrenzen,*
- *die Präzision von Beobachtungen durch eine sachgerechte Auswahl und Verwendung von Instrumenten und Messgeräten steigern.*

E3 Hypothesen entwickeln

Schülerinnen und Schüler können Vermutungen als Hypothesen formulieren und

- *diese auf vorliegende Fakten sowie theoretische Überlegungen bzw. Modelle beziehen,*
- *Bezug auf zugrunde liegende Fragestellungen nehmen,*
- *Möglichkeiten zu ihrer Überprüfung (experimentell, logisch-deduktiv) angeben,*
- *diese nach Überprüfung bestätigen, verwerfen oder modifizieren.*

E4 Untersuchungen und Experimente planen

Schülerinnen und Schüler können gegebene und einfache selbst erstellte Versuchspläne erläutern, indem sie

- *Entscheidungen für ein qualitatives oder quantitatives Verfahren begründen,*
- *auf der Grundlage vorhandener Hypothesen zu untersuchende Variablen identifizieren,*
- *Variablen als abhängige, unabhängige oder Kontrollvariablen klassifizieren,*
- *Variablen nach dem Prinzip der Variablenkontrolle systematisch verändern bzw. konstant halten,*
- *Festlegungen für Messbereiche, die Anzahl der Messpunkte, Größen von Stichproben, Messintervalle und Messwiederholungen begründen,*
- *eine vorgenommene Idealisierung begründen,*
- *Kriterien für die Auswahl von Methoden und Geräten angeben,*
- *den experimentellen Aufbau beschreiben, Versuchsskizzen zeichnen und Datentabellen strukturieren,*
- *mit Blick auf die Hypothesen Erwartungen bezüglich des Versuchsausgangs formulieren,*
- *zum Ausschluss systematischer und zufälliger Effekte Kontrollansätze (z. B. Blind- und Doppelblindverfahren, Nulleffektmessung) diskutieren.*

E5 Untersuchungen und Experimente durchführen

Schülerinnen und Schüler können selbstständig Untersuchungen und Experimente hypothesengeleitet und zielorientiert durchführen und dabei

- *Versuchspläne und Verfahrensschritte den Intentionen gemäß umsetzen,*
- *einfache standardisierte technische Verfahren und Geräte verwenden,*
- *Versuche gemäß Vorgaben oder einer Planung aufbauen,*
- *Risiken vermeiden und Sicherheitsmaßnahmen beachten,*
- *Fehlerquellen benennen sowie Fehler minimieren,*
- *die Genauigkeit bzw. Aussagefähigkeit durch Messwiederholungen steigern,*
- *Versuchsabläufe und Daten wahrheitsgemäß und mit angemessener Präzision protokollieren.*

E6 Untersuchungen und Experimente auswerten

Schülerinnen und Schüler können unter Verwendung naturwissenschaftlichen Wissens Schlüsse aus einer Untersuchung oder einem Experiment ziehen und dabei

- *Beobachtungs- und Messdaten sinnvoll ordnen, strukturieren und visualisieren,*
- *qualitative und einfache quantitative Zusammenhänge, Korrelationen sowie einfache funktionale Beziehungen ableiten,*
- *zwischen Korrelationen und Kausalitäten unterscheiden,*
- *Daten bezüglich einer Fragestellung mit interpretieren,*

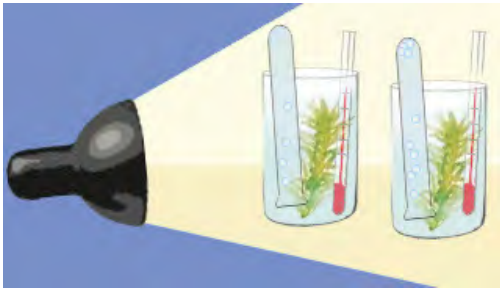
- *die Passung von Ergebnissen zu vorhandenen Hypothesen beurteilen,*
- *den Einfluss von zufälligen und systematischen Fehlern abschätzen,*
- *die Zuverlässigkeit und Aussagekraft von Ergebnissen einschätzen,*
- *Möglichkeiten zur Verallgemeinerung der Ergebnisse beurteilen.*

Auf den ersten Blick dieser Übersicht wird bereits deutlich, dass sich mit Hilfe von einzelnen oder auch von Kombinationen dieser Facetten eine große Vielfalt von Aufgaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten generieren lässt. Außerdem liefern die Facetten Ansatzpunkte für eine Beobachtung von Schülerhandlungen. Sie können als Kriterien für die Einschätzung von Schülerkompetenzen dienen (Diagnose) und ermöglichen damit einerseits die gezielte Aufarbeitung möglicher Defizite (individuelle Förderung) und andererseits eine fundierte und an Kriterien orientierte Leistungsbewertung (Überprüfung und Leistungsbeurteilung). Im folgenden Abschnitt wird gezeigt, wie die Menge an möglichen Aufgabenstellungen für bestimmte Unterrichtsziele reduziert oder erweitert werden kann.

Zur systematischen Konstruktion von Aufgaben

Wie bereits beschrieben, passen die in der Übersicht näher konkretisierten Kompetenzfacetten E1 bis E6 der Kernlehrpläne sehr gut zu den Handlungsschritten einer hypothetisch-deduktiven Vorgehensweise. Das Experimentieren scheint auf den ersten Blick für den naturwissenschaftlichen Unterricht eine Selbstverständlichkeit und gängige Praxis. Wie oben schon angedeutet, stimmt dies allerdings in der Realität nur eingeschränkt. Es gerät langsam ins Bewusstsein, dass mit einer Forderung nach Kompetenzen (im Unterschied zu Fertigkeiten im Sinne eines bloßen „hands on“ oder unreflektierten „Tuns“) auch im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung neue Fachinhalte und fachmethodische Konzepte verbunden sind. Kompetenzen kann man nur erwarten, wenn diese auch gelehrt und entwickelt werden. Dieses gilt nicht nur für den Umgang mit Fachwissen, sondern auch für andere Bereiche wie das Experimentieren. Es muss also explizit unterrichtet und eingeübt werden, was man bezüglich des Experimentierens können und wissen sollte. Das kann über geeignete Aufgaben geschehen. Dazu ein Beispiel:

Die folgende Aufgabe (Variante A) aus einem älteren Lehrbuch (Bömer et al., 2002) enthält eine Arbeitsanleitung von recht konventionellem Typus für ein übliches Experiment zur Photosynthese.



Bestrahle den frisch geschnittenen Trieb einer Wasserpestpflanze mit einer hellen Lampe. Protokolliere die Anzahl der Gasbläschen, die in 2 Minuten an der Schnittfläche aufsteigen. Führe mehrere Messungen bei voller Beleuchtung durch. Schalte dann die Lichtquelle aus. Wiederhole die Zählungen. Vergleiche. Verwende für die nächste Messung dieselbe Lichtquelle, verändere aber die Wassertemperatur. Was stellst du fest?

Messung	Anzahl der Gasbläschen in 2 min			
	Temperatur 20° C		Temperatur 10° C	
	Licht an	Licht aus	Licht an	Licht aus
M1				
M2				
M3				
M4				

Abbildung 2: Grundaufgabe zur Photosynthese

Vorgegeben sind in dieser Aufgabe Hinweise zur Wahrnehmung (E2), ein Plan zum Experimentieren (E4), Angaben zur Durchführung (E5) und eine Tabelle zur Aufnahme der Messdaten. Fragestellungen (E1) und Hypothesen (E3) sind nicht angegeben, nach der Auswertung (E6) wird gefragt. Normalerweise wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler einer Lerngruppe die Versuchsanleitung sorgfältig lesen und schrittweise ähnlich wie ein „Kochrezept“ abarbeiten. Zum Schluss sollen Feststellungen getroffen und wahrscheinlich Schlussfolgerungen gezogen werden, die in Form eines Aha-Erlebnisses zu einer nicht näher beschriebenen Erkenntnis führen sollen. Die Aufgabe erscheint in dieser Form als kognitiv weniger herausfordernd, weil lediglich eine vorgegebene Anleitung abzuarbeiten ist, die zunächst wenig Nachdenken erfordert. Im Vordergrund stehen hiermit eine hinreichende naturwissenschaftliche Lesekompetenz sowie Kompetenzen im Bereich von Labortätigkeiten (Umgang mit Geräten, Ablesen von Messwerten etc.), nicht aber fachmethodische Konzepte und Denkweisen im Bereich der experimentellen Erkenntnisgewinnung.

Die Aufgabe nach der oben angegebenen Ursprungsvariante A lässt sich in ihren Zielen verändern, indem z. B. die Perspektive auf andere Kompetenzfacetten verschoben wird. Folgende völlig unterschiedliche Varianten sind zum Beispiel denkbar:

Variante B: Nenne Fragestellungen, die diesem Experiment zugrunde liegen. Erläutere, wie die Fragestellungen mit den beschriebenen Methoden geklärt werden sollen.

Variante C: Nenne die Hypothesen, die mit den Experimenten überprüft werden sollen.

Variante D: Entwickle eine Messtabelle, in der du die Ergebnisse der Versuche geordnet und übersichtlich festhalten kannst (die Tabelle wäre in der Aufgabenstellung nicht vorgegeben).

Dieses Beispiel zeigt, dass sich die häufig vorzufindende Monokultur experimenteller Aufgabenstellungen über zahlreiche Varianten möglicher Perspektiven und ihrer Kombinationen produktiv aufbrechen lässt. Insbesondere bieten sich Möglichkeiten, bestimmte Fähigkeiten gezielt einzutrainieren und diesbezügliche Lernergebnisse explizit festzuhalten, um in anderen Situationen daran zu erinnern. Dies fördert eine bewusste Begriffs- bzw. Konzeptbildung zum Experimentieren, was häufig allenfalls am Rande geschieht oder vernachlässigt wird. Zunächst soll jedoch festgehalten werden, dass hier schon die Aufgabenvarianten B bis D deutlich höhere kognitive Anforderungen als Variante A stellen, weil die Lösungen mehr Nachdenken und auch mehr Bezug auf vorhandenes Wissen einfordern.

Die folgende Übersichtstabelle stellt die Beispielaufgabe zur Photosynthese und die verschiedenen Aufgabenvarianten schematisch dar. In den Spalten sind die Kompetenzfacetten bzw. Handlungsschritte E1, E2 usw. angegeben. In den Zeilen ist die jeweilige Aufgabenvariante dargestellt. Die Kurznotation gibt an, ob Informationen gegeben sind (x) oder nicht () und zu welchen Schritten eine Lösung erwartet wird (?). Dort, wo ein Fragezeichen steht, werden für die Schülerinnen und Schüler gezielt Handlungssituationen geschaffen, die im Sinne eines handlungsorientierten Lernens („Denken ist Handeln“) in Bezug auf eine oder mehrere Kompetenzfacetten Anforderungen stellen und damit einen Beitrag zum Kompetenzerwerb leisten. Je nach Inhalt und Zielsetzungen könnte die Tabelle für weitere Aufgabenvarianten fortgeführt werden. Es hat sich herausgestellt, dass sich ein solches Schema mit der Möglichkeit, bestimmte Aspekte vorzugeben und andere offen zu lassen, in Kombination mit der Beschreibung von Kompetenzfacetten als ein produktives heuristisches Instrument zur Generierung zielgerichteter Lern- und Testaufgaben nutzen lässt. Es dient damit als Konstruktions- und Analyseraster für kompetenzorientierte Aufgaben im Bereich der (experimentellen) Erkenntnisgewinnung.

Tabelle 1: Raster zur Typisierung von Aufgabenvarianten

Aufgabenvariante	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
A		x		x	x	?
B	?	x		x	x	
C		x	?	x	x	
D		x		?	x	
E	x	?	?	?	?	?
F	x	x		x	x	x
G	x		x	x	x	x
...

Zur Schwierigkeit von Aufgaben

Für verschiedene Lerngruppen und Lernkontexte sind unterschiedliche Arten von Aufgaben erforderlich, wobei insbesondere eine angemessene Schwierigkeit durch den Entwicklungsstand der Gruppe und die zu steuernden Lernprozesse bedingt ist. Wie nun lässt sich die Schwierigkeit von Aufgaben, die mit Hilfe des vorgestellten Konstruktionsschemas entwickelt werden, mit Blick auf die Fähigkeiten der Lerngruppe vorhersagen bzw. anpassen? Variante E in der oben angegebenen

Tabelle wäre z.B. ein Typus, bei dem nur eine Fragestellung vorgegeben ist und alle weiteren Schritte den Lernenden überlassen sind. In der Regel müssten deren Kompetenzen dafür schon weit entwickelt sein. Der Aufgabentypus F (nicht ausformuliert) könnte eher für Anfänger gedacht sein. Es werden alle Schritte (Hypothesen werden hier nicht benötigt) vorgegeben oder vorgemacht, sehr sinnvoll z.B. bei der Einübung des Umgangs mit ungewohnten Geräten. Auch beim Aufgabentypus G (nicht ausformuliert) ist viel vorgegeben. Wenn es sich z.B. um eine Aufgabe zur kritischen Beurteilung eines vorgegebenen Experiments handeln würde, dürfte die Schwierigkeit hoch sein, da hier ein fortgeschrittenes Verständnis und konzeptionelles Denken erforderlich sind. Die Schwierigkeit ist also nicht nur durch die Menge der Vorgaben oder bekannter Einzelheiten gekennzeichnet.

Als Modell für die Einschätzung von Aufgabenschwierigkeiten lassen sich in erster Näherung die Anforderungsbereiche der Bildungsstandards (Fachmethoden beschreiben (I), nutzen (II), auswählen und anwenden (III)) heranziehen. Einschätzungen hängen allerdings stark vom erteilten Unterricht und subjektiven Einschätzungen dazu ab und sind dementsprechend oft unzutreffend. AFB III bedeutet außerdem nicht zwingend eine große, AFB I nicht zwingend eine geringe Schwierigkeit: Auch wenn z.B. im Unterricht Messungen von Stromstärke und Spannung in verzweigten Stromkreisen experimentell durchgeführt und detailliert besprochen wurden, ist eine Testaufgabe, in der das Verfahren beschrieben werden muss, keineswegs als leicht anzusehen. Es sind bei der Beschreibung komplexe, teilweise konzeptuelle Zusammenhänge zu beachten, die ein tieferes Verständnis erfordern.

Als aussagefähiger hat sich für uns ein Kompetenzstrukturmodell erwiesen, das der Entwicklung von Testaufgaben im Ländervergleich 2012 zugrunde lag, das sogenannte ESNaS-Modell (Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I) (IQB, 2013; Kauertz, Fischer, Mayer, Sumfleth & Walpuski, 2010).

Kompetenzstrukturmodell

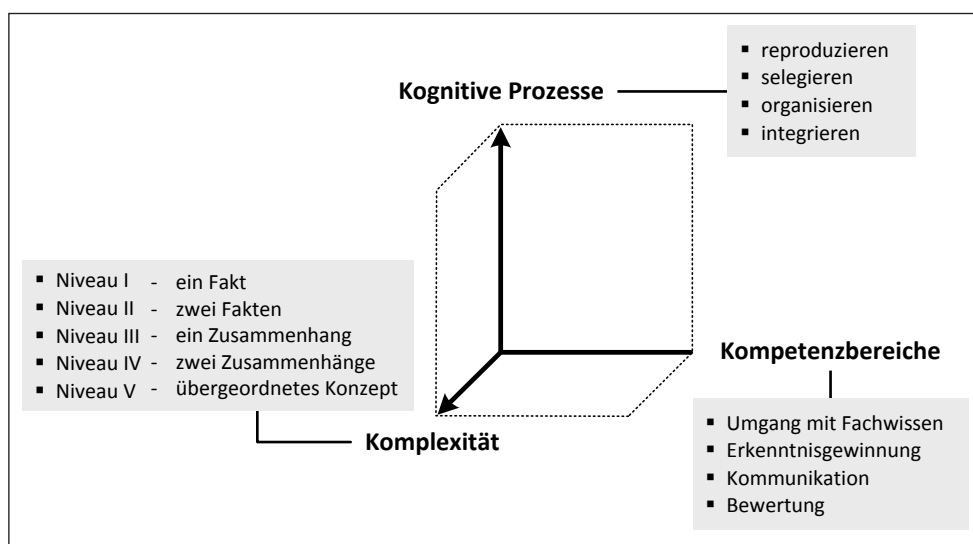


Abbildung 3: Dreidimensionales Kompetenzstrukturmodell der naturwissenschaftlichen Kompetenz im Projekt ESNaS

Die erforderlichen Fähigkeiten zur Lösung von Aufgaben werden hier in drei Dimensionen dargestellt. Die Dimension *Komplexität* beschreibt Abstufungen in Umfang und Vernetzungsgrad der zu berücksichtigenden Inhalte. Es werden die Ausprägungen *ein Fakt*, *zwei Fakten*, *ein Zusammenhang*, *zwei Zusammenhänge* und übergeordnetes Konzept unterschieden.

In der zweiten Dimension werden Niveaus *kognitiver Prozesse* angegeben, die auf kognitionspsychologische Modelle zurückgreifen. Der einfachste, das *Reproduzieren*, verlangt die Identifikation gegebener Informationen. *Selektieren* bedeutet, aus vorhandenen Informationen die jeweils relevanten zu finden und auszuwählen. *Organisieren* verlangt, Informationen anzuordnen und neu zu strukturieren. *Integrieren* als höchste Stufe bedeutet schließlich, neue Informationen mit der eigenen Wissensbasis verknüpfen und vernetzen zu können.

Die dritte Dimension wird durch die unterschiedlichen Kompetenzbereiche gebildet. Hier sind die dem Bereich zuzuordnenden Kompetenzerwartungen zu berücksichtigen, wie sie z. B. in unserer Übersicht der Kompetenzfacetten zum Experimentieren dargestellt sind. Unterschiede ergeben sich vor allem in der Art der Komplexitätsstufen. Beim Experimentieren würde man auf Stufe I und II einzelne Handlungsschritte, auf den Stufen III und IV Handlungszusammenhänge und auf Stufe V Handlungskonzepte betrachten.

Mit Hilfe des Modells lässt sich nun begründen, warum z. B. die Variante B der Aufgabe zur Photosynthese schwieriger ist als Variante A. Es müssen mehrere Zusammenhänge im Blick behalten werden, der Zusammenhang zwischen Sauerstoffproduktion und Lichtmenge bzw. Temperatur, außerdem der konzeptionelle Zusammenhang zwischen Fragestellungen und experimentellem Vorgehen. Kognitive Prozesse reichen bis zur Stufe des *Integrierens*, weil eine Verbindung zwischen Experiment und vorhandenem Wissen über Photosynthese hergestellt werden muss. Noch etwas schwieriger wird Aufgabenvariante C sein, da im Prinzip alle Anforderungen aus Aufgabe 2 weiterbestehen und zusätzlich noch der konzeptionelle Zusammenhang des Versuchsdesigns ausgewertet werden muss. In Variante A dagegen liegt der größte Teil der Anforderungen im Bereich *Reproduzieren*, weil hauptsächlich vorgegebene Informationen identifiziert und abgearbeitet werden müssen. Selbst bei der Auswertung gehen kognitive Anforderungen nicht über *Selektieren* bis *Organisieren* hinaus, weil nur nach Feststellungen zu den Messdaten gefragt wird. Die Schwierigkeit der Aufgabe würde größer, wenn in der Auswertung die Interpretation der Daten in Bezug auf die zugrunde liegende Fragestellung oder die Passung der Daten zu den beiden Hypothesen oder sogar die Passung des experimentellen Designs zur Problemlösung (s. Kompetenzfacetten) thematisiert würden, da hier mehr oder weniger große Anteile eines konzeptuellen Denkens erforderlich wären. Es wäre außerdem denkbar, die einzelnen Teilaufgaben in einer komplexeren Gesamtaufgabe zu kombinieren. Hier bieten sich Chancen zur Differenzierung, weil eben Anteile von unterschiedlicher Schwierigkeit auch unabhängig voneinander bearbeitet werden können.

Zur Qualität experimenteller Aufgaben

Experimente bilden ein wesentliches Element des naturwissenschaftlichen Arbeitens in den Bezugswissenschaften. Bei aller Unterschiedlichkeit experimenteller Strategien sehen Höttecke und Rieß (2015) das gemeinsame Ziel darin, „die Materialität des Experiments, Handeln und theoretische Annahmen in Kongruenz zu bringen“. Experimente sind deshalb für den naturwissenschaftlichen Unterricht

unverzichtbar. Gelegentlich anzutreffende Vorstellungen, nach denen umso besser und umfangreicher gelernt wird, je mehr experimentiert wird, lassen sich jedoch nicht bestätigen. Schon in einer deutschen Begleitstudie zu PISA 2006 (Kobarg et al., 2008) zeigte sich, dass ein stark handlungsbetonter experimenteller Unterricht (nach dem Muster *Globale Aktivitäten*) in den Lernergebnissen einem Unterricht unterlegen ist, der stärker auf kognitive Aktivitäten wie Schlussfolgern, Generieren von Ideen und den Transfer von Konzepten fokussiert. Umgekehrt wirkt sich ein handlungsbetonter Unterricht positiv auf Interesse und Motivation aus, der Unterschied zum kognitiv fokussierenden Unterricht ist in diesen beiden Variablen allerdings gering. In der QuIP-Studie (Fischer et al., 2014) wurde Physikunterricht in Nordrhein-Westfalen, in Finnland und in der deutschsprachigen Schweiz verglichen. In NRW nahmen in den untersuchten Unterrichtsstunden zur Elektrizität praktische Aktivitäten im Mittel etwa zwei Drittel der Unterrichtszeit in Anspruch, in Finnland war der Anteil nicht einmal halb so groß. In Finnland war allerdings der Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler groß, in NRW verschwindend gering. Interessant ist der Ansatz der Studie, nicht nur den Einsatz, sondern auch die Qualität praktischer Aktivitäten zu untersuchen. Qualitätskriterien beziehen sich danach auf praktisches Arbeiten als

kognitive
Aktivitäten

QuIP-Studie

- kontextorientierte Aktivität:
Hier geht es um die inhaltliche Einbettung, Bezüge zum Alltagsleben und um Zielklarheit.
- reflexive Aktivität:
Es werden zwei Aspekte unterschieden, einmal die Ergebnisreflexion und zum anderen die Reflexion von Arbeitsprozessen.
- theoriegeleitete Aktivität:
Im Vordergrund steht hier die Orientierung an Ideen, die Konzepten, Modellen, Theorien und Analogien zugrunde liegen. Es geht außerdem um kognitive Anforderungen und eine angemessene sprachliche Repräsentation.

Gemessen an diesen Kriterien befand sich die Qualität des überwiegenden Teils der beobachteten praktischen Aktivitäten auf einem eher niedrigen Niveau, und zwar in allen drei beteiligten Ländern. Besonders gering ausgeprägt waren die Faktoren Kontextorientierung in ihren drei Perspektiven sowie die Orientierung an Ideen und die Reflexion von Arbeitsprozessen. Lernende dürften somit Schwierigkeiten bekommen, zu verstehen, was sie tun und warum sie es tun. Gründe für diese Befunde könnten in der vor allem in Deutschland stark dominierenden sogenannten *induktiven Methode* liegen. Sie basiert auf veralteten positivistischen Vorstellungen zum Wissenschaftsprozess, nach denen alle Erkenntnis aus der unmittelbaren Erfahrung resultiert (s. auch Trendel & Fischer, 2007). Dabei wird die Bedeutung vorheriger Erkenntnisse und des Vorwissens ebenso wie die Tatsache, dass Erfahrungen nicht zwangsläufig zu naturwissenschaftlichen Konzepten führen, häufig ausgeblendet. Nach der QuIP-Studie ergeben sich daraus zwei hauptsächlich genutzte Funktionen des Experimentierens: Schülerinnen und Schüler sollen Messungen durchführen und sie sollen lernen, Gesetze zu finden, beides kognitiv eher weniger herausfordernde Bereiche auf einer deskriptiven Ebene. Von unseren Beispielen lässt sich die erste Variante der Photosynthese-Aufgabe diesem Ansatz zuordnen. Erst einmal tun, dann nachdenken, ist wohl nur in ganz speziellen Fällen ein rational sinnvoller Ansatz. Zielführender dürfte es sein, Schülerinnen und Schüler zum bewussten und re-

flektierten Handeln anzuleiten und dafür Wissen und Tun unter Verwendung der notwendigen Begrifflichkeiten aufeinander zu beziehen. Das kann über eine angepasste Aufgabengestaltung geschehen, die einerseits den erreichten Stand der Kompetenzentwicklung berücksichtigt und andererseits immer wieder Gelegenheit zur Reflexion bietet.

cognitive apprenticeship

Man findet gelegentlich rigorose Forderungen zum anzustrebenden Niveau experimenteller Lernaufgaben, nach denen solche Aufgaben möglichst komplex und offen sein sollten. Es ist sicherlich richtig, dass der Anteil solcher Lernaufgaben bisher gering ist und gesteigert werden sollte. Es spricht jedoch einiges dafür, die Anforderungen je nach Zielsetzung über das gesamte Schwierigkeitsspektrum zu variieren. Offenheit von Aufgabenstellungen ist kein Wert an sich, an manchen Stellen bleiben auch einfache Anleitungen sinnvoll. Solche Situationen lassen sich gut vergleichen mit Anforderungen eines Meisters an die Leistungen seiner Auszubildenden. In der Anfangsphase wird er bestimmte Handlungen sehr genau vormachen, das notwendige Wissen sowie die zugehörigen Regeln und Vorschriften erklären und die Umsetzung aufmerksam überwachen. Mit zunehmender Expertise wird er sich immer mehr zurückziehen und seine Auszubildenden zunehmend selbstständiger agieren lassen. Im anglo-amerikanischen Raum wird ein analoger didaktischer Ansatz, der zunächst verstärkte Führung und Strukturierung, dann eine allmähliche Rücknahme von Lehrereingriffen beinhaltet, als *cognitive apprenticeship* bezeichnet (vgl. z. B. Reich, 2012).

Basismodelle des Lernens

Im Folgenden sollen einige Vorschläge zur Verbesserung der Passung zwischen Fähigkeiten der Lernenden und Anforderungen der Lernaufgaben diskutiert werden. Ausgangspunkt sind dabei Erkenntnisse der Lernpsychologie, nach denen unterschiedliche Ziele des Lernens teilweise sehr unterschiedliche Abfolgen von Lernschritten erfordern. Die Schweizer Pädagogen Fritz Oser und Franz Baeriswyl klassifizierten insgesamt zwölf sogenannte Basismodelle des Lernens und ordneten ihnen die notwendigen Lernschritte zu (Oser & Baeriswyl, 2001). Drei der Basismodelle, nämlich *Lernen durch Erfahrung*, *Konzeptbildung* und *Problemlösen* sind für den naturwissenschaftlichen Unterricht von besonderer Bedeutung. Empirische Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Qualität des Unterrichts durch zielgerechte Berücksichtigung dieser Basismodelle tatsächlich gesteigert werden kann, wenn die erforderlichen Lernschritte beachtet und vollständig durchlaufen werden. Das Experimentieren kann in allen drei Basismodellen eine Rolle spielen.

Tabelle 2: Drei für die Naturwissenschaften besonders wichtige Basismodelle des Lernens nach Oser

Schritt	Erfahrungslernen	Konzeptbilden	Problemlösen
1	Inneres Vorstellen, Planen	Bewusstmachen des Vorwissens	Generierung des Problems
2	Handeln im Kontext	Elaboration des Konzepts an einem Prototyp	Präzisierung der Ausgangslage und des Lösungsziels
3	Feststellen der Ergebnisse und ihrer Bedeutung	Analyse der wesentlichen Eigenschaften des Konzepts	Suche nach Lösungsmöglichkeiten
4	Generalisierung der Ergebnisse	Aktiver Umgang mit dem Konzept	Testen der Lösungsvorschläge
5	Reflexion von Situationen mit ähnlichen Erfahrungen	Anwendung des Konzepts in verschiedenen Kontexten	Evaluation der Lösungen

In den Naturwissenschaften fordert die Berücksichtigung dieser Zielsetzungen eine Abkehr von allzu eindimensionalen Strukturen der unterrichtlichen Abläufe. Es wird deutlich, dass für unterschiedliche Ziele des Lernens auch völlig unterschiedliche Vorgehensweisen erforderlich sind:

- *Beim Erfahrungslernen etwa sollte der einzuschlagende Weg zu neuen Erfahrungen schon zu Beginn klar sein, das Ergebnis der Erfahrung wird gesucht und ist offen.*
- *Beim Problemlösen stehen umgekehrt Ausgangslage und intendiertes Ergebnis fest, es wird jedoch der Weg dorthin gesucht.*
- *Beim Konzeptbilden steht die Erklärung als mentale Konstruktion fachlicher Konzepte, zu denen nach unserem Verständnis neben inhaltlichen auch methodische Konzepte gehören, im Vordergrund, experimentelles Handeln dient hier als Mittel zur Verdeutlichung.*

Die inhaltlichen Lernvoraussetzungen können beim *Erfahrungslernen* oft relativ gering sein. Dieses Lernmodell ist z. B. angebracht, wenn Schülerinnen und Schüler neue Phänomene erkunden und hypothetische Zusammenhänge herstellen bzw. diese überprüfen sollen oder wenn sie den Umgang mit bestimmten Geräten üben. Je nach Vertrautheitsgrad der angestrebten Handlungswege können Aufgaben hier eng oder sehr offen gestaltet werden.

Erfahrungslernen

Der Aufbau von Konzeptwissen (*Konzeptbilden*) baut auf Erfahrungen und u. a. darauf basierenden Vorstellungen der Lernenden auf. Naturwissenschaftliche Konzepte entstammen allerdings einer gewissen fachlichen Entwicklung, die Schülerinnen und Schüler nicht unbedingt eigenständig durchlaufen können. Bei der Elaboration ist in der Regel eine starke Strukturierung und Führung durch die Lehrperson angebracht. Es geht darum, die wesentlichen Eigenschaften eines Konzepts anhand eines Prototyps so klar und einfach wie möglich herauszuarbeiten, und hier sollten das Ziel der Aufgabe und der Schwerpunkt der kognitiven Belastung auch liegen. Eine unnötig hohe Komplexität bei instruktiven Schüler- oder Lehrerversuchen wäre dabei eher hinderlich. Oft ist ein vergleichsweise kleinschrittiges Vorgehen angebracht. In den Lernschritten 3 bis 5 können dann kognitive Anforderungen und Komplexität zunehmend gesteigert werden.

Konzeptbilden

Selbstständiges *Problemlösen* schließlich ist das Ziel der Kompetenzentwicklung. Es stellt die höchsten kognitiven Anforderungen und ist für Lernende sowohl lernwirksam als auch motivierend. Es erfordert meist offene Aufgabenstellungen, setzt jedoch voraus, dass zur Lösung notwendige inhaltliche und methodische Kompetenzen bereits hinreichend angelegt sind. Es wird Wissen benötigt, um die verfügbaren Informationen zu den Zielsetzungen und zur Ausgangslage analysieren und sich eventuell fehlende Informationen beschaffen zu können. Außerdem müssen Analogien zu bekannten Situationen hergestellt werden, um mögliche Lösungsschritte vorschlagen zu können. Analytisches Problemlösen ist also so etwas wie der anzustrebende Königsweg. Es funktioniert aber leider nicht ohne verfügbare Grundlagen an Erfahrungs- und Konzeptwissen, kann also andere Wege des Lernens nicht ohne Weiteres ersetzen. Die Schwierigkeit problemlösender Aufgaben lässt sich über die Komplexität der Problemstellungen regulieren.

Problemlösen

Basismodelle des Lernens können auch verschränkt werden. Es ist z. B. gut denkbar, dass eine komplette Sequenz vom Typ *Erfahrungslernen* als Schritt 2 oder Schritt 4 von *Konzeptbildung* eingesetzt wird. Eine Aufgabe zum *Problemlösen* könnte Schritt 5 von *Konzeptbildung* sein usw. Wichtig ist stets eine Passung zu den vorhandenen Kenntnissen der Lerngruppe. Eine ausführliche Einführung

in den Gebrauch der Basismodelle des Lernens für die lernprozessorientierte Unterrichtsgestaltung im Fach Physik findet sich in einer Publikation zum Ganz-In-Projekt (Krabbe, Zander & Fischer 2015). Das Dokument lässt sich kostenlos herunterladen.

Zur Veränderung des Unterrichts

Es wäre wahrscheinlich eine unzumutbare Belastung für Lehrerinnen und Lehrer in den naturwissenschaftlichen Fächern, wenn man in kurzer Zeit umfangreiche Veränderungen einer bestehenden Unterrichtspraxis einfordern würde. Lehr-/Lernprozesse verlangen nach einer gewissen Sicherheit und Stringenz der unterrichtlichen Abläufe. Die beschriebenen Verfahren zur Konstruktion von Aufgaben eignen sich zum Ausprobieren und sind wegen ihrer Variabilität gut skalierbar. Sie erlauben bei geeigneten Gelegenheiten ein schrittweises Einarbeiten neuer Aufgabentypen in den eigenen Unterricht und machen diesen abwechslungsreicher. Es ist möglich, in einzelnen Experimentieraufgaben nach und nach den Fokus auf neue Aspekte zu richten, diese mit den Lernenden explizit zu besprechen und die Ergebnisse als Regeln festzuhalten, an die man zu späteren Zeitpunkten erinnern kann. So kann im Laufe der Zeit nutzbares Fachwissen mit einem sicheren Fundus prozeduralen Wissens und der dabei erforderlichen Terminologie verbunden werden.

Es bieten sich weitere Chancen, Wirkungen des eigenen Unterrichts bzw. die Reaktion der Lernenden auf traditionelle oder neue Aufgabentypen empirisch zu erforschen. Durch eine bewusste Fokussierung der Aufgaben erhält man als Lehrperson Informationen, an welchen Stellen sich Lernende schwer tun, was sie interessant finden und zu welchen Leistungen sie fähig sind. Lernprozesse können dann über eine Anpassung der Aufgabenschwerpunkte an die Voraussetzungen besser geplant und gesteuert werden. Es ist zu vermuten, dass Unterricht, der mehr Vielfalt und mehr Gelegenheiten zum Nachdenken und Verstehen bietet, nicht nur bessere Ergebnisse liefert, sondern von den meisten Schülerinnen und Schülern als sinnvoller und motivierender empfunden wird.

Ein dritter Gesichtspunkt ist eine Verbesserung der Unterrichtsökonomie. Forderungen nach Differenzierung, individueller Förderung und Berücksichtigung der Heterogenität von Lerngruppen sind wohl nur über einen stärkeren Anteil materialbasierter Aufgaben zu erfüllen. Bei diesen Bedingungen stoßen einzelne Lehrpersonen, die abends an ihren Schreibtischen sitzen und mehr oder weniger das Gleiche tun müssen, schnell an ihre Grenzen. Es ist eine Kultur der Zusammenarbeit erforderlich, in der Synergien genutzt werden und Verantwortung für Lernergebnisse geteilt wird. Durch Kooperation und Austausch kann eine vielfältige Sammlung von Aufgabenvarianten entstehen, die von allen verwendet und auf der Grundlage von Erfahrungen optimiert werden können. In der gemeinsamen Diskussion über Aufgaben verbinden sich Sachaspekte des Fachs mit Möglichkeiten des Lernens. Dies steigert die Unterrichtsqualität, reduziert die individuelle Arbeitslast der Lehrerinnen und Lehrer und fördert deren professionelle Entwicklung.

4. Beispiele: Entwickelte Aufgaben und ihre Klassifizierung

Die folgenden Aufgaben sollen als Beispiele für die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Prinzipien der Aufgabenkonstruktion dienen. Sie stellen in der Regel lediglich mehr oder weniger schmale Ausschnitte aus einer Unterrichtssequenz dar und bilden die Unterrichtsprozesse nicht vollständig ab. Auf eine explizite Angabe unterrichtlicher Voraussetzungen wird verzichtet, diese ergeben sich allerdings meist aus den Aufgabenkontexten. Es ist insbesondere nicht das Ziel der Beispiele, Maßnahmen zur Lern- und Leistungsdifferenzierung aufzuzeigen. Solche Maßnahmen könnten in dem jeweiligen unterrichtlichen Kontext gegebenenfalls durch bestimmte Lernhilfen wie Hinweiskarten, durch eine kleinschrittigere Strukturierung mit entsprechender Reduzierung der Komplexität oder auch durch alternative (je nach Adressaten leichtere oder schwerere) Lernzugänge und entsprechend anders konstruierte Aufgaben eingeführt werden.

Im Folgenden wird jeweils in einem Kastenfeld eine Aufgabe vorgestellt. Zum Teil werden zu diesen Aufgaben dann auch Möglichkeiten der Variation dargestellt, welche die Aufgaben leichter oder auch kognitiv anspruchsvoller machen. Unterhalb des Aufgabenkastens wird eine Klassifizierung nach den Kategorien *Aufgabentypus*, *Schwierigkeit* und *Einbettung in Lernprozesse* vorgenommen, die der Einschätzung des Aufgabencharakters dienen kann, nicht jedoch als absoluter Maßstab zu verstehen ist.

Aufgabenkomplex 1: Abbildungen mit Linsen (*Erfahrungslernen*)

Naturwissenschaften/Physik Gesamtschule Jahrgangsstufe 6 oder 8

Diese Aufgabe richtet sich an Lernende, die noch nicht viel Experimentiererfahrung besitzen, ist aber in der gezeigten Form insgesamt herausfordernd. Ziel ist zunächst, ein physikalisches Phänomen zu erkunden und dabei Veränderungen sorgfältig zu beobachten und bewusst festzuhalten. In den weiteren Aufgabenteilen geht es darum, aus den Beobachtungen Schlüsse zu ziehen und Hypothesen bezüglich vorliegender Gesetzmäßigkeiten aufzustellen, die dann auch überprüft werden können.

In einer Kamera erzeugt die Linse ein verkleinertes Bild, in einem Projektor dagegen wirft die Linse ein riesengroßes Bild auf die Leinwand. Zwei gegensätzliche Effekte, aber beide Male ist eine Sammellinse daran beteiligt. Unter welchen Bedingungen verkleinert bzw. vergrößert eine Linse? Finde mehr darüber heraus.

Du brauchst eine Kerze, eine Sammellinse, einen Bogen weißen Karton als Bildschirm und eine Messlatte.

- Erzeuge mit Hilfe der Linse zuerst verschiedene verkleinerte scharfe Bilder (Kamerabilder), dann verschiedene vergrößerte scharfe Bilder (Projektorbilder). Notiere dir jedes Mal den Abstand der Linse von der Kerze und vom Karton. Notiere dir auch, was dir sonst noch auffällt.
- Finde eine Regel, mit der du vorhersagen kannst, ob du ein vergrößertes oder verkleinertes Bild bekommen wirst.
- Überprüfe, ob deine Regel zur Abbildung stimmt. Mache dazu Vorhersagen und teste aus, ob sie richtig waren. Überprüfe die Regel auch mit Sammellinsen unterschiedlicher Brennweite.
- Erkläre die Bildentstehung in der Kamera und beim Projektor mit der gefundenen Regel und unter Bezug auf deine Untersuchungen.

Abbildung 4: Aufgabe zur Untersuchung von Abbildungen mit Linsen

Je nach Lerngruppe ließe sich die Schwierigkeit der Teilaufgabe a. weiter reduzieren, indem man bestimmte zu messende Abstände vorgibt und auch die Aufnahme der Daten durch eine entsprechende Struktur (Tabelle, Lückentext) vorbereitet. Teilaufgabe b. könnte vereinfacht werden, indem man dazu auffordert, die Abstände der Kerze und des Kartons von der Linse bei verkleinerten Abbildungen bzw. vergrößerten Abbildungen zu vergleichen. Auch die Formulierung der Regel könnte etwa durch Vorgabe einer Satzstruktur erleichtert werden. (Etwa durch: *Wenn der Abstand zwischen Linse und Kerze _____ ist als zwischen Bildschirm und Kerze, erhält man ein _____ Bild.*) Man reduziert in diesen Fällen die Komplexität, weil nur einzelne Situationen zu vergleichen sind, und man senkt das kognitive Anspruchsniveau, weil eine eigenständige Organisation der gefundenen Ergebnisse nicht verlangt wird.

Aufgabentypisierung:

Tabelle 3: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
a.	x	?	-	x	x	-
b.	x	-	-	x	x	?
c.	x	-	?	?	?	?
d.	x	(x)	(x)	(x)	(x)	?

Schwierigkeit:

- Kognitive Prozesse: Reproduzieren; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)
- Kognitive Prozesse: Organisieren; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: Integrieren; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: Integrieren; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

Einbettung in Lernprozesse:

Überwiegend *Erfahrungslernen* (Erkunden von Phänomenen),
Schritte 1, 2, 3 und 4

Aufgabenkomplex 2: Widerstände (*Konzeptbildung*)

Physik Gymnasien/Realschulen Jahrgangsstufe 8

In der Jahrgangsstufe 8 dürften Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung wohl noch nicht vollständig entwickelt sein. Die unten gezeigte Aufgabenvariante 1 mit ihrer sehr offenen Aufgabenstellung wird bis auf wenige Ausnahmen für eine eigenständige Bearbeitung durch Schülerinnen und Schüler zu komplex sein. Eine Bearbeitung würde eine Beachtung vielfältiger Zusammenhänge und darüber hinaus ein konzeptionelles Verständnis eines Versuchsdesigns mit mehreren Variablen bedeuten. Trotzdem könnte eine solche Aufgabe den Rahmen eines Unterrichts bilden, in dem es um Konzeptbildung zum Experimentieren geht und der von der Lehrperson deswegen eng strukturiert wird. Es müsste z. B. schrittweise erklärt werden, wie man vorgehen kann und warum man das so tun sollte.

Aufgabenvariante 1 (schwierig)

Material:

Netzgerät, Amperemeter, Voltmeter, Stativmaterial, Klammern, Büroklammern

Leiterdrähte: jeweils 3 Rollen mit Querschnitt 0,13 mm²; 0,3 mm²; 0,5 mm²

- Kupferdraht
- Eisendraht
- Konstantandraht

Untersuche, von welchen Größen der Widerstand eines Leiterdrahtes abhängt. Werte deine Ergebnisse aus und beschreibe die funktionalen Zusammenhänge in einer Formel.

Abbildung 5: Widerstände, Aufgabenvariante 1

Deutlich einfacher ist die Aufgabe in ihrer Variante 2, die eine eher kochrezeptartige Arbeitsanleitung enthält und wegen der Vielzahl vorgegebener Handlungsschritte kognitiv weniger herausfordernd ist.

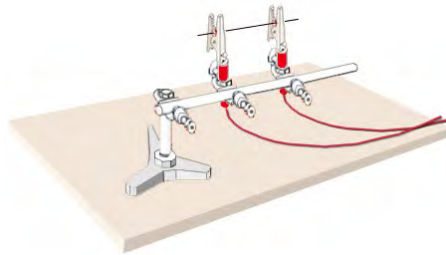
Aufgabenvariante 2 (leicht)

Material:

Netzgerät, Widerstandsmessgerät, Stativmaterial, Klammern, Büroklammern

Leiterdrähte: jeweils 3 Rollen mit Querschnitt 0,13 mm²; 0,3 mm²; 0,5 mm²

- Kupferdraht:
- Eisendraht
- Konstantandraht



- a. Baue eine Halterung auf, wie sie in der Abbildung rechts dargestellt ist. Verwende bei Bedarf einen längeren waagerechten Stativstab.
- b. Stelle den Abstand der Klammern nacheinander auf 25 cm, 50 cm und 75 cm ein. Spanne die Widerstandsdrähte zwischen den Klammern. Bestimme für jedes Drahtstück den elektrischen Widerstand und trage ihn in die Messtabelle ein.
- c. Werte die Messungen aus. Was stellst du fest?

Material	Länge	Querschnitt	Widerstand	Länge	Querschnitt	Widerstand
Kupfer	75 cm	0,13 mm ²		25 cm	0,13 mm ²	
	75 cm	0,3 mm ²		50 cm	0,13 mm ²	
	75 cm	0,5 mm ²		75 cm	0,13 mm ²	
Eisen	75 cm	0,13 mm ²		25 cm	0,13 mm ²	
	75 cm	0,3 mm ²		50 cm	0,13 mm ²	
	75 cm	0,5 mm ²		75 cm	0,13 mm ²	
Konstantan	75 cm	0,13 mm ²		25 cm	0,13 mm ²	
	75 cm	0,3 mm ²		50 cm	0,13 mm ²	
	75 cm	0,5 mm ²		75 cm	0,13 mm ²	

Abbildung 6: Widerstände, Aufgabenvariante 2

Auch hier ließe sich die Schwierigkeit durch einfache Maßnahmen schrittweise modifizieren. Leichter würde die Aufgabe, wenn man die Anzahl zu berücksichtigender Variablen und damit die Komplexität reduzierte, z. B. nur den Widerstand gleichlanger und gleichdicker Kupfer- und Eisendrahte vergliche. Schwerer würde

die Aufgabe, wenn in der Tabelle oben keine Werte vorgegeben wären oder wenn die Tabelle sogar selbst entwickelt werden müsste.

Der Fokus und der kognitive Anspruch ließen sich verschieben, wenn man etwa nach der zugrunde liegenden Fragestellung oder den zu überprüfenden Hypothesen des Experiments fragt. Schwieriger würde es auch, wenn die Aufgabe gestellt würde, die Formel $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ (ρ : Spezifischer Widerstand; l : Leiterlänge; A : Leiterquerschnitt) zu bestätigen.

In der folgenden Aufgabenvariante 3 liegt der Schwerpunkt auf dem Zusammenhang zwischen Hypothesen und einem angemessenen Untersuchungsdesign zu ihrer Überprüfung. Sie ist ein Beispiel für eine sinnvolle Aufgabe zum Experimentieren, bei der nicht notwendigerweise praktisch experimentiert werden muss. Sie würde sich als Übungsaufgabe, für eine Klassenarbeit oder für eine kurze formative Überprüfung bestehender Kompetenzen eignen.

Aufgabenvariante 3 (mittelschwer)

Michael möchte mit einem Versuch untersuchen, wovon der elektrische Widerstand eines Drahtes abhängt. Seine Vermutungen lauten:

- A) Je länger ein Draht (l) ist, desto größer ist der Widerstand.
- B) Je größer die Querschnittsfläche (A) des Drahtes ist, desto kleiner ist der Widerstand.
- C) Der Widerstand ist abhängig vom Material des Drahtes.

Michael misst folgende Widerstände an drei verschiedenen Drahtstücken:

	Draht 1	Draht 2	Draht 3
Länge (l)	2 m	3 m	1 m
Querschnittsfläche (A)	0,5 mm ²	0,13 mm ²	0,3 mm ²
Material	Eisen	Kupfer	Konstantan
Widerstand (R)	2,5 Ω	2 Ω	7 Ω

Michael kann mit den Messungen der Widerstände seine Vermutungen weder bestätigen noch widerlegen.

- a. *Gib an, welches Drahtstück den größten Widerstand besitzt.*
- b. *Nenne anhand der Tabelle für jede der Vermutungen A) und B) ein Beispiel, das nicht zu der Vermutung passt.*
- c. *Gib an, welche Prinzipien des Experimentierens Michael nicht beachtet hat.*
- d. *Beschreibe, wie Michael eine Versuchsreihe durchführen muss, damit er seine Vermutungen eindeutig überprüfen kann.*

Abbildung 7: Widerstände, Aufgabenvariante 3

Aufgabentypisierung:

Tabelle 4: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
Variante 1	x	-	?	?	?	?
Variante 2						
a.	-	-	-	x	x	-
b.	-	-	-	x	x	?
Variante 3						
a.	x	-	x	x	x	?
b.	x	-	x	x	x	?
c.	x	-	x	?	x	-
d.	x	-	x	?	?	?

Schwierigkeit:

Variante 1:

Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

Variante 2:

a. Kognitive Prozesse: *Selektieren*; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)b. Kognitive Prozesse: *Selektieren*; Komplexitätsstufe III (ein Zusammenhang)

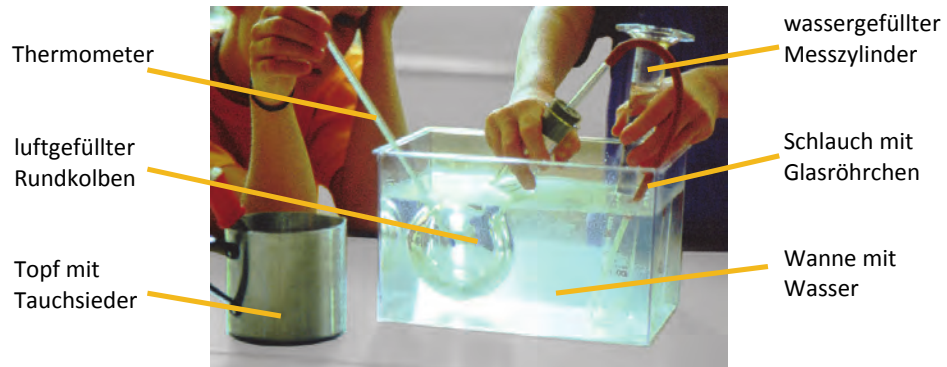
Variante 3:

a. Kognitive Prozesse: *Selektieren*; Komplexitätsstufe I (*ein Fakt*)b. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)c. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)d. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (*konzeptioneller Zusammenhang*)*Einbettung in Lernprozesse:*Überwiegend *Konzeptbildung* (Konzept der Variablenkontrolle), Schritte 4 und 5**Aufgabenkomplex 3: Wärmeausdehnung von Luft (*Problemlösen*)***Wahlpflichtbereich Naturwissenschaften Gesamtschule ca. Jahrgangsstufe 9–10*

Diese experimentelle Aufgabe stammt aus einer Sammlung leichterer und schwererer Aufgaben zum Kontextthema Heißluftballon, bei dem die Funktionsweise eines solchen Ballons untersucht wird und zur Berechnung des Auftriebs die Temperaturabhängigkeit der Luftdichte bestimmt werden soll. Anstatt einfach mit einer Versuchsanleitung loszulegen, sollen die Schülerinnen und Schüler sich zunächst intensiv mit der Idee des Experiments auseinandersetzen. Dafür müssen sie natürlich die verwendeten Geräte aus anderen Zusammenhängen kennen. Sie benötigen aber auch erworbenes Metawissen zum Experimentieren, das sie hier anwenden müssen. Die Aufgabe wird dadurch recht anspruchsvoll und eignet sich als differenzierendes Angebot für leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler.

Kathrin und Paul wollen messen, wie sich die Dichte von Luft bei Erwärmung verändert. Sie haben sich den folgenden Versuchsaufbau ausgedacht:

Ein luftgefüllter Rundkolben befindet sich in einer Wanne mit Wasser. Der Rundkolben ist durch einen Stopfen verschlossen, aber über einen Schlauch und Glasröhrchen kann Luft aus dem Kolben zu einem wassergefüllten Messzylinder geleitet werden. Die Temperatur des Wasserbades kann mit einem Thermometer kontrolliert werden. Ein Alutopf dient dazu, weiteres Wasser zum Einfüllen in die Wanne zu erhitzen.



- Beschreibe die Grundidee, nach der mit diesem Versuchsaufbau die Dichteänderung von Luft gemessen werden kann. Gib an, welche Funktion die genannten Geräte dabei besitzen.
- Gib an, welche Variablen mit dem Versuchsaufbau gemessen werden müssen. Hinweis: Die Dichte der Luft kann bei jeder Temperatur nach der Formel $\rho = m/V$ bestimmt werden.
- Beschreibe die Durchführung und die Auswertung des Experiments.
- Erläutere, welche der Variablen als unabhängige, als abhängige und als konstant zu haltende Variable behandelt werden.

Abbildung 8: Aufgabe zur Messung der Dichte erwärmter Luft

Aufgabentypisierung:

Tabelle 5: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
a.	x	x	-	?	?	-
b.	x	x	-	?	?	-
c.	x	x	-	x	?	?
d.	x	x	-	?	?	?

Schwierigkeit:

- Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

Einbettung in Lernprozesse:

Überwiegend Problemlösen (Messung eines komplexen Zusammenhangs), Schritte 3, 4 und 5

Aufgabenkomplex 4: Verteilung von Tastsinneszellen (Erfahrungslernen)

Wahlpflichtbereich Biologie Realschule Jahrgangsstufe 5–7

Diese Aufgabe richtet sich an Lernende, die noch nicht viel Erfahrung mit naturwissenschaftlichen Experimenten haben. Ziel ist zunächst, ein biologisches Phänomen zu erkunden und Beobachtungen sorgfältig zu protokollieren. In den weiteren Aufgabenteilen geht es darum, aus den Beobachtungen Schlüsse zu ziehen und eine Regel abzuleiten, auf deren Grundlage Vorhersagen bzgl. neuer Fragestellungen getroffen und überprüft werden können. Je nach Lerngruppe lässt sich der Fokus der Aufgabe ausweiten, indem man die aus dem Klassenvergleich gewonnenen Daten (z.B. tabellarisch) organisiert und in einem geeigneten Diagramm visualisieren lässt.

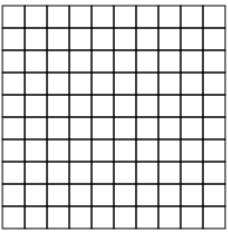
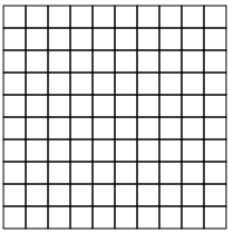
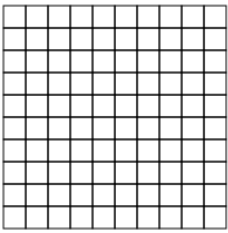
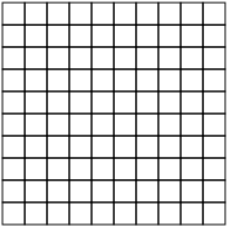
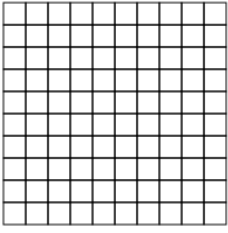
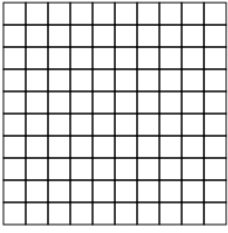
Aufgabe: Verteilung von Tastsinneszellen

Überall in der Haut liegen kleinste Tastsinneszellen, die auf Berührung reagieren. Ihnen ist es zu verdanken, dass wir etwas fühlen bzw. spüren können.

Fühlen Menschen an allen Körperstellen gleich gut oder gibt es Unterschiede zwischen den Körperstellen? Finde mehr darüber heraus. Arbeitet in 3er-Gruppen

Durchführung: Ein kleines 1 cm² großes Gitternetz aus 10 x 10 je 1 mm² großen Kästchen wird mithilfe eines Stempels auf die Haut 6 ausgewählter Körperregionen (siehe Protokollbogen) einer Testperson gestempelt. Der Testperson werden die Augen verbunden. Anschließend wird mithilfe einer Tastborste jedes einzelne der 100 kleinen Testfelder langsam nacheinander berührt. Dabei wird bei den markierten Feldern aller Körperregionen gleich vorgegangen. Die Person, die die Tastborste führt, geht von links nach rechts vor. Sie beginnt immer links oben mit dem ersten Feld und endet stets rechts unten mit dem letzten der 100 Felder. Wenn die Testperson eine Berührung spürt, signalisiert sie dies mit einem deutlichen „Ja“. Eine dritte Person dokumentiert jede wahrgenommene Berührung der Testperson auf dem folgenden Protokollbogen mit einem Kreuz.

Protokollbogen:

		
Protokoll: Stirn	Protokoll: Zehenbeere	Protokoll: Oberarm
		
Protokoll: Unterarm	Protokoll: Handrücken	Protokoll: Fingerbeere

Aufgabenstellung:

1. Führt den Versuch gemäß der Arbeitsanleitung durch.
2. Wertet euren Protokollbogen aus, indem ihr für die Körperstellen die Anzahl von Tastsinneszellen pro cm^2 bestimmt.
3. Vergleicht eure Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Gruppen.
4. Findet eine Regel, mit der ihr vorhersagen könnt, an welchen Körperstellen die Anzahl von Tastsinneszellen pro cm^2 besonders groß ist.
5. Macht auf der Grundlage eurer Regel eine Vorhersage dazu, wie hoch die Anzahl von Tastsinneszellen pro cm^2 ungefähr auf der Lippe ist.
6. Testet eure Vorhersage und überprüft auf der Grundlage dieser Ergebnisse, ob eure Regel tragfähig ist oder ggf. verändert werden muss.

Abbildung 9: Aufgabe Tastsinneszellen

Aufgabentypisierung:

Tabelle 6: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
1.	x	?	-	x	x	-
2.	x	(x)	-	(x)	(x)	?
3.	x	(x)	-	(x)	(x)	?
4.	x	(x)	-	(x)	(x)	?
5.	x	-	?	(x)	(x)	-
6.	x	?	?	(x)	(x)	?

Schwierigkeit:

1. Kognitive Prozesse: *Reproduzieren*; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)
2. Kognitive Prozesse: *Reproduzieren*; Komplexitätsstufe II (mehrere Fakten)
3. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
4. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)
5. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
6. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)

Einbettung in Lernprozesse:

Überwiegend *Erfahrungslernen* (Erkunden von Phänomenen),
Schritte 1, 2, 3 und 4

Aufgabenkomplex 5: Historische Versuche zur Impfung (Konzeptbildung)

Wahlpflichtbereich Biologie Realschule Jahrgangsstufe 8–10

Die im Folgenden dargestellten experimentellen Aufgaben stammen aus einer Sammlung leichter und schwerer Aufgaben zum Kontextthema: Kampf gegen Infektionskrankheiten, bei dem das fachinhaltliche Konzept der Impfung (Immunisierung durch Injektion abgeschwächter Erreger) im Vordergrund steht. Die Schülerinnen und Schüler werden durch die Aufgabenstellung aufgefordert, anhand der bereitgestellten Informationen über das Experiment die Variablen zu identifizieren und zu klassifizieren. In Variante 1 liegt der fachmethodische Fokus auf dem Prinzip der experimentellen Variablenkontrolle mit seinen Teilkonzepten (abhängige Variable, unabhängige Variable, Kontrollvariable). Hier könnten zur Unterstützung zusätzlich Hilfekärtchen mit Erläuterungen und einer Beispielaufgabe zum Prinzip der Variablenkontrolle im Sinne eines aufgabenbegleitenden Scaffoldings angeboten werden. In Variante 2 liegt der fachmethodische Schwerpunkt auf den Konzepten der naturwissenschaftlichen Fragestellung und der naturwissenschaftlichen Hypothese.

Anstelle der Deutung der Ergebnisse sollen die Schülerinnen und Schüler in beiden Varianten auf der Grundlage der Versuchsdurchführung und der Ergebnisse Rückschlüsse auf die Grundlagen, sprich: die zugrunde liegende naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese des Experiments ziehen. Im Gegensatz zum klassischen, „vorwärts“ gerichteten Verständnis des Prozesses der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung wird hier also ein „rückwärts“ gerichteter Denkprozess durch die Aufgabenstellung angesteuert. Dafür müssen die Schülerinnen und Schüler sowohl eine konzeptionelle Vorstellung davon haben, was man unter Impfen versteht, als auch über ein erworbenes Metawissen zum Prinzip der Variablenkontrolle (abhängige Variable, unabhängige Variable sowie Kontrollvariablen) verfügen.

Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 1

Aufgabenstellung:

Schaue dir sorgfältig die unten dargestellte Versuchsdurchführung an und ordne die dort verwendeten Variablen den unten dargestellten Variablen eines naturwissenschaftlichen Experiments zu. Wenn ein Kontrollansatz vorhanden ist, benenne auch diesen. Begründe deine Entscheidungen!

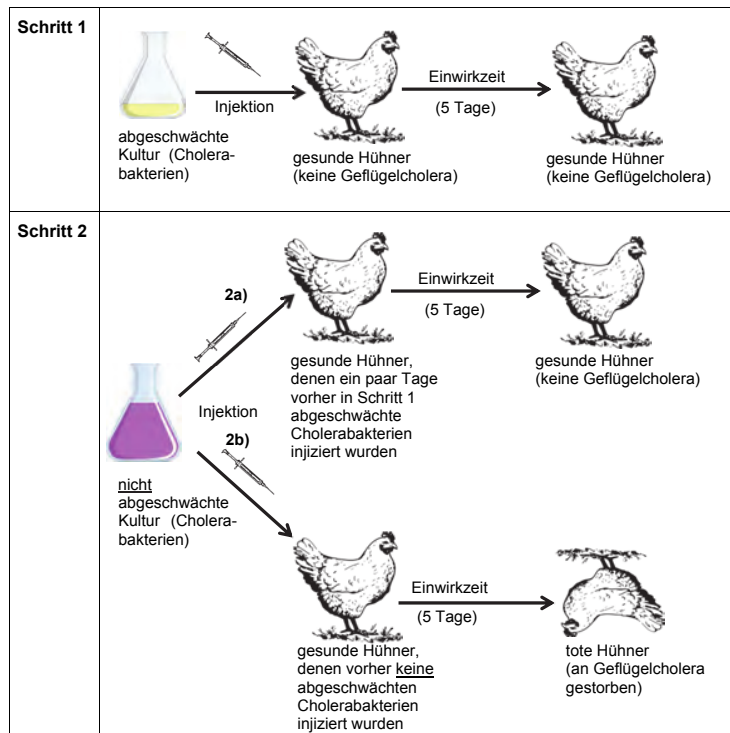
Phänomen: Der französische Chemiker und Mikrobiologe Louis Pasteur hatte gehört, dass Menschen eines englischen Dorfes, die sich zuvor mit den relativ harmlosen Kuhpocken infiziert hatten, nicht mehr an einer Infektion mit den zumeist tödlichen Menschenpocken starben und deutlich schwächere Krankheitsverläufe hatten. Pasteur suchte nach einem Weg, dieses Prinzip auf andere Infektionskrankheiten bei Tieren und Menschen zu übertragen.

Vorwissen: Zufällig stieß Pasteur auf die Beobachtung, dass es möglich ist, die Erreger der Geflügelcholera durch unwirtliche Bedingungen so stark zu schwächen, dass sie nur noch schwach bis gar nicht mehr infektiös sind.

Fragestellung: Werden Hühner, die mit abgeschwächten Cholera-bakterien geimpft wurden, immun gegen die Geflügelcholera?

Hypothese: Hühner, die mit abgeschwächten Cholera-bakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.

Durchführung:



Experimentelle Variablen	Meine Zuordnung und Begründung
Abhängige Variable	
Unabhängige Variable	
Kontrollvariable	
Kontrollansatz	

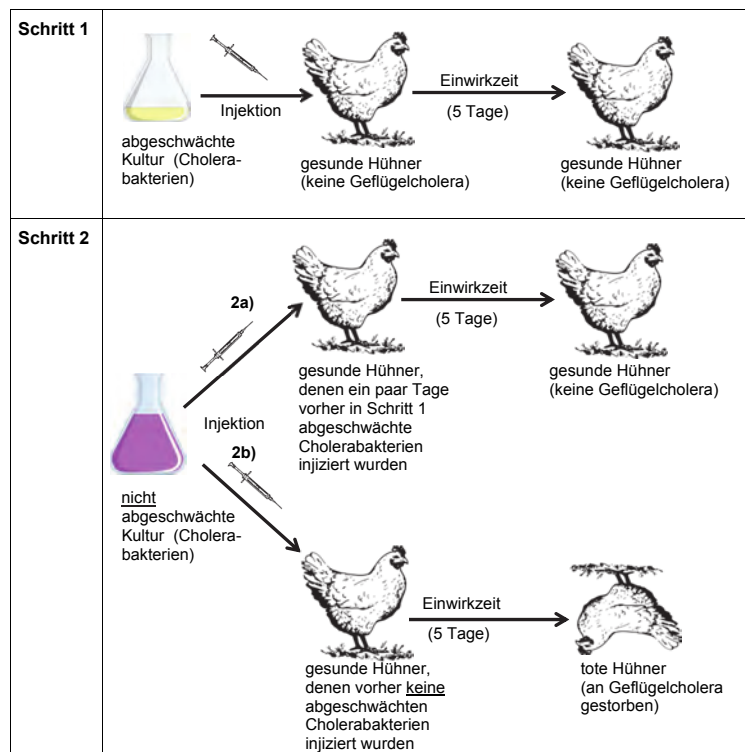
Abbildung 10: Aufgabe Impfung, Variante 1

Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 2

Aufgabenstellung:

Kreuze die zum dargestellten Experiment passende naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese an. Begründe deine Entscheidung (auf der Grundlage der im Experiment manipulierten, gemessenen und kontrollierten Variablen).

Die Geflügelcholera ist eine Infektionskrankheit der Vögel, die sich seuchenartig ausbreiten kann. Die Erreger sind Cholera-bakterien, die vorwiegend durch Körperausscheidungen übertragen werden. Louis Pasteur führte 1880 den folgenden Versuch durch.

Durchführung:**a) Fragestellung**

- Hängt die Gefährlichkeit von Cholera-bakterien von der Einwirkzeit ab?
- Kann man Hühner sowohl mit abgeschwächten als auch mit ungeschwächten Cholera-bakterien impfen?
- Sind Hühner, die bereits eine Infektion mit abgeschwächten Erregern der Geflügelcholera überstanden haben, immun gegen die Geflügelcholera?
- Ist die Geflügelcholera nur für geschwächte oder auch für gesunde Hühner tödlich?

Begründung:

b) Hypothese:

- Auch abgeschwächte Cholera-bakterien führen zum Ausbruch der Geflügelcholera bei Hühnern.
- Hühner, die mit abgeschwächten Cholera-bakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.
- Hühner, die an Geflügelcholera erkrankt sind, werden durch eine Injektion geheilt.
- Ungeschwächte Cholera-bakterien sind gefährlicher als geschwächte.

Begründung:

Abbildung 11: Aufgabe Impfung, Variante 2

Aufgabentypisierung:

Tabelle 7: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
1.	x	x	x	?	x	-
2.	?	x	?	?	x	-

Schwierigkeit:

1. Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
2. Kognitive Prozesse: *Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)

Einbettung in Lernprozesse:

Überwiegend Konzeptbildung, Schritte 4 und 5 (Konzepte: naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese sowie Konzept der Variablenkontrolle)

Aufgabenkomplex 6: Historische Versuche zur Impfung (*Problemlösen*)*Wahlpflichtbereich Biologie Realschule Jahrgangsstufe 8–10*

Die im Folgenden dargestellten experimentellen Aufgaben sind weitere Varianten des in Aufgabenkomplex 4 dargestellten Materials zum Kontextthema: Kampf gegen Infektionskrankheiten, bei dem das fachinhaltliche Konzept der Impfung (Immunisierung durch Injektion abgeschwächter Erreger) im Vordergrund steht. Während in Aufgabenkomplex 4 das Basismodell des Konzeptbildens im Vordergrund steht, geht es hier im Fokus um das Basismodell Problemlösen.

Allen Aufgaben zum Problemlösen ist gemein, dass der Anfangs- und der Endzustand (Ziel) bekannt ist, aber Uneinigkeit darüber besteht, wie man am besten dorthin gelangt. Die Aufgabenstellung und das Aufgabenmaterial geben den Anfangszustand und den Endzustand (einen Versuchsplan, der die Hypothese experimentell untersucht) vor.

Anstatt einfach mithilfe einer vorgegebenen Versuchsanleitung im Sinne eines „Kochrezeptes“ ein Experiment nachzubauen, durchzuführen und auszuwerten, sollen die Schülerinnen und Schüler sich hier intensiv mit der Idee des Experiments und dem Versuchsplan auseinandersetzen. Um dieses Problem lösen zu können, müssen die Schülerinnen und Schüler über das fachliche Konzept „Impfen“ verfügen und ein erworbenes Metawissen zum Prinzip der Variablenkontrolle (abhängige Variable, unabhängige Variable sowie Kontrollvariablen) sowie ggf. zum Konzept Zuverlässigkeit von Daten (durch Erhöhung der Stichprobengröße) anwenden können.

In Variante 3a sind drei Versuchspläne vorgegeben, von denen einer begründet ausgewählt werden muss. Variante 3b ist offener und dadurch recht anspruchsvoll und eignet sich als differenzierendes Angebot für leistungstärkere Schülerinnen und Schüler.

Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 3a

Aufgabenstellung:

Schaue dir sorgfältig die unten dargestellten drei Versuchspläne an und entscheide dich für den Versuchsplan, der deiner Meinung nach die vorgegebene Hypothese am sinnvollsten und zuverlässigsten überprüft. Begründe deine Antwort, indem du schreibst weshalb die anderen drei Versuchspläne nicht geeignet sind.

Fragestellung: Werden Hühner, die mit abgeschwächten Cholera Bakterien geimpft wurden, immun gegen die Geflügelcholera?

Hypothese: Hühner, die mit abgeschwächten Cholera Bakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.

Auswahl möglicher Versuchspläne:

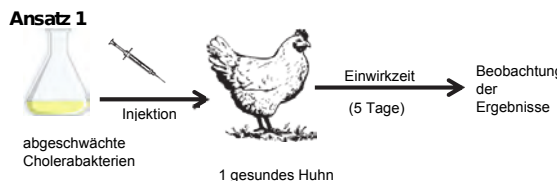
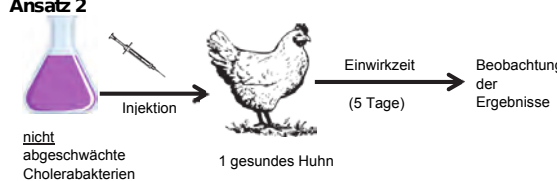
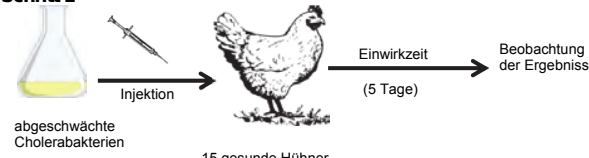
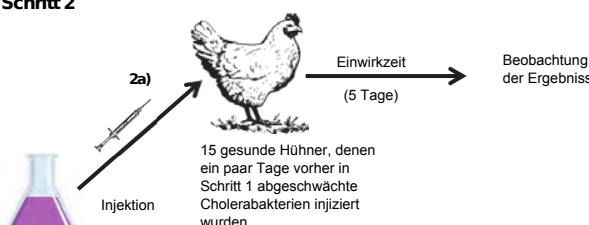
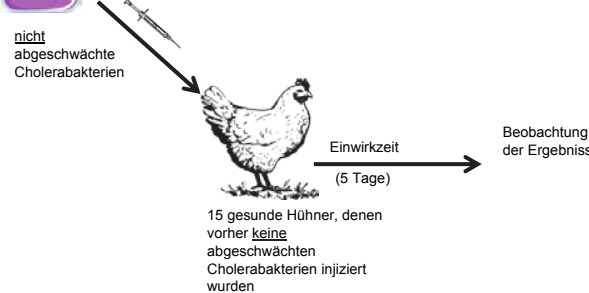
Versuchsplan 1	Meine Notizen
<p>Ansatz 1</p>  <p>abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>1 gesundes Huhn</p> <p>Ansatz 2</p>  <p>nicht abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>1 gesundes Huhn</p>	
<p>Versuchsplan 2</p> <p>Schritt 1</p>  <p>abgeschwächte Cholera Bakterien</p> <p>15 gesunde Hühner</p> <p>Schritt 2</p> <p>2a)</p>  <p>15 gesunde Hühner, denen ein paar Tage vorher in Schritt 1 abgeschwächte Cholera Bakterien injiziert wurden</p> <p>2b)</p>  <p>15 gesunde Hühner, denen vorher <u>keine</u> abgeschwächten Cholera Bakterien injiziert wurden</p>	

Abbildung 12: Aufgabe Impfung, Variante 3a

Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 3a (Fortsetzung)

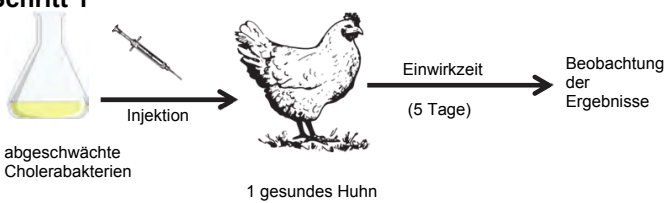
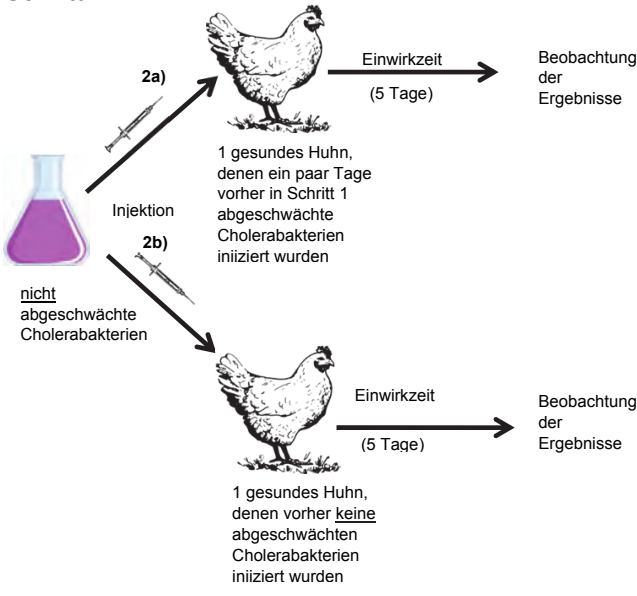
Versuchsplan 3	Meine Notizen
<p>Schritt 1</p>  <p>abgeschwächte Cholera-bakterien</p> <p>1 gesundes Huhn</p> <p>Schritt 2</p>  <p>2a)</p> <p>Injektion</p> <p>2b)</p> <p>nicht abgeschwächte Cholera-bakterien</p> <p>1 gesundes Huhn, denen ein paar Tage vorher in Schritt 1 abgeschwächte Cholera-bakterien iniiert wurden</p> <p>1 gesundes Huhn, denen vorher <u>keine</u> abgeschwächten Cholera-bakterien iniiert wurden</p>	
<p>Meine Entscheidung und Begründung:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	

Abbildung 13: Aufgabe Impfung, Variante 3a (Fortsetzung)

*Das Geflügel-Cholera-Experiment von Louis Pasteur (1880) – Variante 3b***Aufgabenstellung:**

Skizziere auf der Grundlage der Textinformationen und der gegebenen Materialien einen Versuchsplan, mit dem du die dargestellte Hypothese experimentell überprüfen kannst. Wenn nötig, versee den Versuchsplan mit kurzen erläuternden Kommentaren.

Phänomen: Der französische Chemiker und Mikrobiologe Louis Pasteur hatte gehört, dass Menschen eines englischen Dorfes, die sich zuvor mit den relativ harmlosen Kuhpocken infiziert hatten, nicht mehr an einer Infektion mit den zumeist tödlichen Menschenpocken starben und deutlich schwächere Krankheitsverläufe hatten. Pasteur suchte nach einem Weg, dieses Prinzip auf andere Infektionskrankheiten bei Tieren und Menschen zu übertragen. Doch wusste er zunächst nicht wie.

Vorwissen: Zufällig stieß Pasteur auf die Beobachtung, dass es möglich ist, die Erreger der Geflügelcholera durch unwirtliche Bedingungen so stark zu schwächen, dass sie nur noch schwach bis gar nicht mehr infektiös sind.

Fragestellung: Werden Hühner, die bereits eine Infektion mit den Erregern der Geflügelcholera überstanden haben, immun gegen die Geflügelcholera?

Hypothese: Hühner, die mit abgeschwächten Cholerabakterien geimpft wurden, erkranken nicht an Geflügelcholera.

Zur Verfügung stehendes Material:

			
30 gesunde Hühner	Kultur mit ungeschwächten Cholerabakterien	Kultur mit geschwächten Cholerabakterien	Spritzen in unbegrenzter Menge

Skizze des Versuchsplans/der Durchführung:

Abbildung 14: Aufgabe Impfung, Variante 3b

Aufgabentypisierung:

Tabelle 8: Aufgabentypisierung

Aufgabe	Fragestell. (E1)	Wahrnehm. (E2)	Hypothesen (E3)	Planung (E4)	Durchführ. (E5)	Auswertung (E6)
a.	x	x	x	?	?	-
b.	x	x	x	?	?	?

Schwierigkeit:

- Kognitive Prozesse: *Selektieren bis Organisieren*; Komplexitätsstufe IV (mehrere Zusammenhänge)
- Kognitive Prozesse: *Integrieren*; Komplexitätsstufe V (konzeptioneller Zusammenhang)

Einbettung in Lernprozesse:

Überwiegend Problemlösen, Schritte 3 und 4

5. Gesichtspunkte der Evaluation

Auf der Grundlage der vorgestellten Verfahren wurden bereits zielgerichtet einige Aufgaben entwickelt, die das Spektrum der Möglichkeiten experimenteller Aufgaben erweitern und nach den bisherigen Erfahrungen neue kognitive Prozesse bei den Lernenden anstoßen können. Eine umfassendere praktische Erprobung und Evaluation der entwickelten Konzepte und der Wirkung der damit konstruierten Aufgaben steht jedoch noch aus. Dies soll in der Phase des SINUS-Projekts, die mit Beginn des Schuljahrs 2017/2018 startet, geschehen. Von besonderem Interesse sind für uns die folgenden Fragestellungen:

- *Erleichtert das vorgestellte System Lehrpersonen die Konstruktion differenzierter Aufgaben im Bereich des Experimentierens?*
- *Ist es möglich, mit gezielt entwickelten Aufgaben die kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler beim naturwissenschaftlichen Lernen zu steigern?*
- *Welche Wirkungen haben die entwickelten Aufgaben auf das Interesse und die Motivation der Lernenden?*
- *Welche Wirkungen haben die entwickelten Aufgaben bezüglich der Kompetenzentwicklung in den Naturwissenschaften?*

Literatur

- Bömer, B., Fahrenhorst, H., Nötzold, I., Rist, U., Roer, W. & Trendel, G. (2002). *NAWIgator 3/4*. Stuttgart, Düsseldorf, Leipzig: Ernst Klett.
- Fischer, H. E., Labudde, P., Neumann, K. & Viiri, J. (Hrsg.) (2014). *Quality of Instruction in Physics – Comparing Finland, Germany and Switzerland*. Münster: Waxmann.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 21 (1), 127–139.
- IQB (2013). *Kompetenzstufenmodelle Naturwissenschaften*. Verfügbar unter <https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/ksm> [06.07.2017].

- Kauertz, A., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 16 (16), 135–153.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik – Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- KMK = Kultusministerkonferenz (2005). *Vereinbarung über Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) in den Fächern Biologie, Chemie, Physik (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004)*. München, Neuwied: Luchterhand – Wolters Kluwer.
- Kobarg, M., Altmann, U., Wittwer, J., Seidel, T. & Prenzel, M. (2008). Naturwissenschaftlicher Unterricht im Ländervergleich. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.) *PISA 2006 in Deutschland – die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich* (S. 265–296). Münster: Waxmann.
- Krabbe, H., Zander, S. & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht – Materialien zur Lehrerfortbildung*. (W. Bos & H. Wendt, Hrsg.). Münster, New York: Waxmann. Verfügbar unter <http://www.ganzin.de/wp-content/uploads/2015/10/Lernprozessorientierte-Gestaltung-von-Physikunterricht.pdf> [02.05.2018].
- Lunetta, V. N. (1997). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In K. Tobin & B. Fraser (Hrsg.), *International handbook of science education* (S. 249–264) Dordrecht, Niederlande: Kluwer.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). *Kernlehrplan Naturwissenschaften für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Ritterbach.
- Oser, F. & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching* (Handbook o, S. 1031–1065). Washington DC: American Educational Research Association.
- Popper, K. R. (1989). *Logik der Forschung*. Tübingen (Bd. 3). doi: 10.2307/2016612.
- Reich, K. (2012). Methodenpool. Verfügbar unter http://methodenpool.uni-koeln.de/apprenticeship/frameset_apprenticeship.html [08.08.2017].
- Settler, H. (1967). Vom Sinn und Widersinn des Physikunterrichtes. *MNU*, 4, 157–162.
- Trendel, G. & Fischer, H. E. (2007). Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. *MNU*, 60 (7), 388–394.