

Erkenntnisgewinnungskompetenz im Fach Biologie

Bildungsstandards im Fach Biologie für die allgemeine Hochschulreife

Erläuterungen verfasst von: Prof. Dr. Marcus Hammann, Prof. Dr. Jürgen Mayer und Prof. Dr. Annette Upmeyer zu Belzen

1 Allgemeine Einführung

Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung gehören zum Kern naturwissenschaftlicher Bildung. Im Sinne wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen sowie als wissenschaftspropädeutisches Arbeiten haben sie eine lange Tradition im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2004) definieren dafür einen eigenen Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung, der in den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife für alle naturwissenschaftlichen Fächer fortgeführt und weiterentwickelt wird.

Während die Kenntnisse über naturwissenschaftliche Fachinhalte und ihre Anwendung durch den Kompetenzbereich der Sachkompetenz beschrieben werden, umfasst der Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung vor allem Kompetenzen, die sich auf das Verständnis, die Nutzung und die Reflexion naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (wie z. B. das Experimentieren oder Modellieren) und das Wissenschaftsverständnis aus naturwissenschaftlicher Perspektive beziehen. „Die Erkenntnisgewinnungskompetenz der Lernenden zeigt sich in der Kenntnis von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen und in der Fähigkeit, diese zu beschreiben, zu erklären und zu verknüpfen, um Erkenntnisprozesse nachvollziehen oder gestalten zu können und über deren Möglichkeiten und Grenzen zu reflektieren“ (KMK, 2020).

Typisch für naturwissenschaftliche Denkweisen ist das hypothetisch-deduktive Vorgehen bei der Untersuchung naturwissenschaftlicher Phänomene. Kennzeichnend ist dabei die deduktive Ableitung von Hypothesen aus Theorien sowie deren Stützung bzw. Falsifikation mittels empirischer (qualitativer oder quantitativer) Daten. Schritte des wissenschaftlichen Vorgehens sind z. B. die Formulierung von Fragestellungen und Hypothesen, die Planung und Durchführung von Untersuchungen sowie deren Auswertung und methodische Reflexion. Insbesondere bei der Ableitung von Hypothesen sowie der theoriebezogenen Deutung von Evidenzen und deren Generalisierung weisen naturwissenschaftliches Denken und Fachwissen eine enge Verzahnung auf.

Zur Untersuchung von naturwissenschaftlichen Phänomenen im Sinne hypothetisch-deduktiven Vorgehens werden fachspezifische Arbeitsweisen, wie das Experimentieren oder Modellieren, genutzt. Die Erkenntnisgewinnung ist also häufig an die praktische Durchführung von Experimenten zur Datengewinnung gebunden, entsprechend haben Experimente auch für den Unterricht einen hohen Stellenwert. Insbesondere in der Oberstufe spielen (auch mathematische) Modellierungen eine wichtige Rolle für die Erkenntnisgewinnung. Ein Modell kann dabei

ein theoretisches Konstrukt, aber auch ein materielles oder virtuelles Objekt sein. Es entspricht dem ausgewählten naturwissenschaftlichen Untersuchungsgegenstand in bestimmten Eigenschaften oder Relationen und wird häufig anstelle aufwändiger oder nicht durchführbarer experimenteller Untersuchungen für Demonstrationszwecke, theoriebezogene Erklärungen und zur Ableitung von Hypothesen verwendet.

Nicht immer folgt das Vorgehen in der Wissenschaft diesem idealisierten Schema des hypothetisch-deduktiven Vorgehens. Die oben thematisierten Schritte sind also nicht die einzigen Denkweisen der Naturwissenschaften, stellen aber dennoch einen typischen Weg dar, der auf viele naturwissenschaftliche Probleme – vor allem im schulischen Umfeld – anwendbar ist. Weitere Einflussfaktoren, die unter anderem dafür verantwortlich sind, dass in der Wissenschaft auch andere Wege gewählt werden und zum Erfolg führen, sollen daher im Teilbereich „Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren“ eine entsprechende Rolle spielen. So können auf einer Metaebene auch die Merkmale naturwissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisiert und von nicht-naturwissenschaftlichen Aussagen und Methoden abgegrenzt werden.

Die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife umfassen in diesem Kompetenzbereich vier Teilbereiche, die diesen Aspekten Rechnung tragen:

1. Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden,
2. Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen,
3. Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren,
4. Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren.

2 Konkretisierung der Kompetenzteilbereiche durch Standards

Ausgangspunkt von empirisch-naturwissenschaftlichen Untersuchungen in der Biologie ist die Wahrnehmung und Beschreibung einer Situation mit Problemcharakter in einem biologisch relevanten Kontext. Das ist im Unterricht primär ein augenfälliges Phänomen oder eine Beobachtung in der belebten oder unbelebten Natur, kann aber auch ein Widerspruch oder eine Lücke in Forschungsergebnissen, eine falsifizierte Hypothese, ein relevanter Aspekt in Theorien oder entsprechenden Modellen sein (**E 1**). Ein folgender Schritt im wissenschaftlichen Denkprozess ist die Identifizierung und Formulierung von intersubjektiv nachvollziehbaren, wissenschaftlich prüfbar Fragestellungen (**E 2**; Tabelle 1, Zeile Fragestellung). Darauf folgen vorläufige Antworten in Form von Hypothesen (Abb. 1). Diese Hypothesen werden durch Deduktion aus allgemeiner Theorie, aus Modellen oder Vorerfahrungen gebildet und sind die Grundlage für die empirische Bearbeitung von naturwissenschaftlichen Fragestellungen (**E 3**, Tabelle 1, Zeile Hypothesen).

Vor diesem Hintergrund heißt der erste Teilkompetenzbereich:

1. Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien entwickeln.

Zu diesem Teilbereich gehören drei Standards:

Die Lernenden ...

- E 1 beschreiben Phänomene und Beobachtungen als Ausgangspunkte von Untersuchungen;
- E 2 identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu biologischen Sachverhalten;
- E 3 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

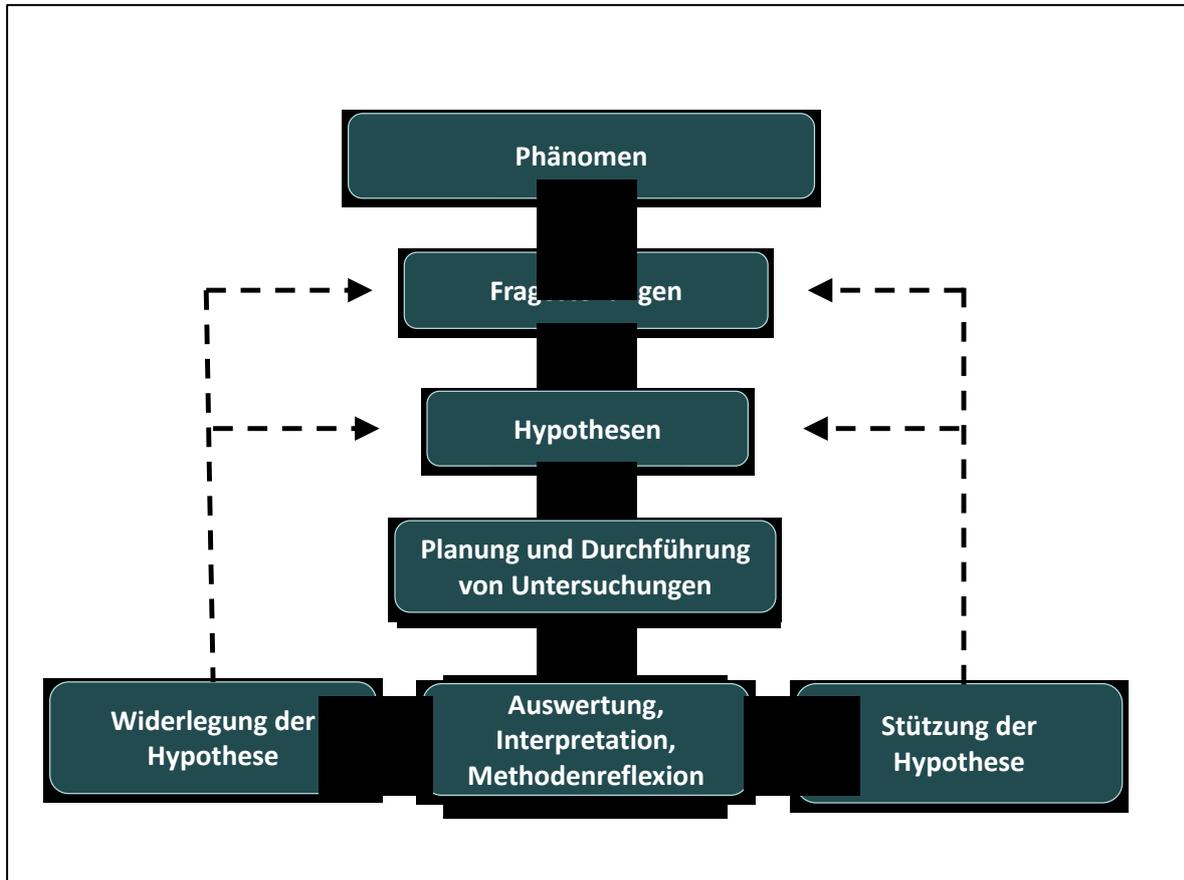


Abbildung 1: Idealisierter Ablauf naturwissenschaftlichen Denkens im hypothetisch-deduktiven Erkenntnisprozess; IQB.

Hypothesen, abgeleitet aus Theorien bzw. Modellen, sind somit der Ausgangspunkt für die Planung von empirischen Untersuchungen (Abbildung 1), die im Zuge der Durchführung, auch unter Nutzung (digitaler) Verfahren, Geräte und Techniken, zur Erfassung von Daten sowie Protokollierung führen (E 4, Tabelle 1, Zeile Planung und Durchführung). Neben theoretischen Kenntnissen über zu untersuchende Variablen sind Kenntnisse über Untersuchungsmethoden sowie deren Anwendung notwendig, die als Arbeitsweisen bezeichnet werden: Beobachten, Vergleichen, Experimentieren und Modellieren (Tabelle 1).

Im hier beschriebenen Ansatz werden Vorgehensweisen, die traditionell als Erkenntnismethoden bezeichnet wurden, in zwei Dimensionen strukturiert: Schritte naturwissenschaftlichen Denkens (Abbildung 1) und Arbeitsweisen als Möglichkeiten der konkreten methodischen Umsetzung. Beide werden in Tabelle 1 aufeinander bezogen.

Im Rahmen der Arbeitsweisen werden die in Hypothesen formulierten Beziehungen zwischen den einbezogenen Variablen entsprechend der Schritte des naturwissenschaftlichen Denkens untersucht (E 5; Abbildung 1; Tabelle 1). Die Arbeitsweisen wiederum unterscheiden sich hinsichtlich ihrer jeweils spezifischen Fragestellungen (Tabelle 1) sowie in ihrer Methodik und sind daher zum Teil charakteristisch für verschiedene biologische Domänen.

Im Folgenden werden die biologiespezifischen Arbeitsweisen charakterisiert (Tabelle 1):

Beschreiben und Beobachten bezeichnet eine systematische Vorgehensweise bei der Untersuchung korrelativer Zusammenhänge von Elementen eines Systems sowie ggf. deren zeitliche Veränderung. Beispiele sind die Beobachtung der Sukzession im Heuaufguss, Absorptionsspektren von Fotosynthesepigmenten, die Beschreibung der Enzymkinetik oder ein Verhaltensversuch zur Konditionierung.

Beim **Vergleichen und Ordnen** steht der kriteriengeleitete Umgang mit Objekten im Vordergrund. Dabei werden zwei oder mehr Objekte in Bezug auf die gleichen Kriterien gegenübergestellt und Gemeinsamkeiten und Unterschiede ermittelt. Durch eine theoriegeleitete Auswahl von Vergleichskriterien, z. B. ökologische oder phylogenetische, können homologe und analoge Merkmale ermittelt und Objekte zu entsprechenden Ordnungsklassen gruppiert werden. Verschiedene Kategorien können wiederum in einem hierarchischen System angeordnet werden, z. B. in die fünf Reiche der Lebewesen oder in der Systematik von Pflanzengesellschaften. Einzelne Organismen oder Lebensgemeinschaften können wiederum unter Anwendung von Bestimmungsschlüsseln als Mitglieder einer Kategorie (z. B. Art, Familie, u. a. Taxa) identifiziert werden.

Beim **Experimentieren** findet eine planmäßige und systematische Variation einer unabhängigen Variablen statt, wobei die Auswirkung dieser Änderung auf eine abhängige Variable beobachtet und kausal interpretiert wird (**E 6**). Störvariablen, die ebenso auf die abhängige Variable wirken können, müssen dabei kontrolliert werden. Beispiele sind der Einfluss des Kohlenstoffdioxids auf die Fotosynthese oder der Temperatureinfluss auf Körperfunktionen.

Beim **Modellieren** werden Eigenschaften eines Originals bzw. Zusammenhänge in Phänomenen mithilfe von ideellen oder materiellen Ersatzobjekten vorhergesagt mit dem Ziel, Erkenntnisse über ein Original bzw. Phänomen zu erhalten. Die empirische Überprüfung der Hypothesen bringt neue Erkenntnisse über das Original und ermöglicht die Bewertung des Modells. In der Folge kann dies zur Änderung des Modells führen.

Die Biologie hat im Laufe ihrer Geschichte diese charakterisierenden Arbeitsweisen entworfen, mit denen qualitative und quantitative Daten erhoben und ggf. digital unterstützt aufgenommen und ausgewertet werden (**E 7**), wie z. B. mikroskopische Untersuchungen, Genanalysen, Verhaltensbeobachtungen und Vegetationsuntersuchungen (**E 8**). Viele dieser Methoden zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie der hohen Komplexität biologischer Systeme Rechnung tragen sowie dem Umstand, dass es sich um lebende Systeme handelt.

In biologischen Laboren hat die Digitalisierung von Arbeitsprozessen schon lange Einzug gehalten. Auch in Schulen nimmt die Verfügbarkeit digitaler Werkzeuge zur Erfassung, Darstellung und Auswertung von Daten stetig zu. Entsprechende Software für Modellierungen und Simulationen ist verfügbar. In Übereinstimmung mit der Strategie zur Bildung in der digitalen Welt (KMK, 2016) sollen Lernende bis zum Abitur daher über entsprechende Kompetenzen zur Nutzung solcher digitaler Werkzeuge verfügen.

Vor diesem Hintergrund heißt der zweite Teilkompetenzbereich:

2. Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen

Die Lernenden ...

- E 4 planen und führen hypothesengeleitete Beobachtungen, Vergleiche, Experimente und Modellierungen durch und protokollieren sie;
- E 5 berücksichtigen bei der Planung von Beobachtungen, Vergleichen, Experimenten sowie Modellierungen das jeweilige Variablengefüge;
- E 6 berücksichtigen die Variablenkontrolle beim Experimentieren;
- E 7 nehmen qualitative und quantitative Daten auch mithilfe digitaler Werkzeuge auf und werten sie aus;
- E 8 wenden Labor- und freilandbiologische Geräte und Techniken sachgerecht und unter Berücksichtigung der Sicherheitsbestimmungen an.

Tabelle 1: Struktur der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im Sinne hypothetisch-deduktiven Vorgehens für die Biologie.

Arbeitsweisen / Denkweisen	Beschreiben / Beobachten	Vergleichen / Ordnen	Experimentieren	Modellieren
Fragestellung	Funktionale Zusammenhänge in und zwischen biologischen Systemen bzw. -elementen	Unterschiede, Gemeinsamkeiten und Kategorien von biologischen Systemen	Kausale (Ursache-Wirkungs-) Beziehungen in und zwischen biologischen Systemen	Zweckbezogene Modellierung über ein Original/ Phänomen
Hypothesen	Zusammenhangshypothesen	Hypothesen zu Gemeinsamkeiten und Unterschieden	Kausalhypothesen	Zusammenhangshypothesen zu Gemeinsamkeiten und Unterschieden oder Kausalhypothesen
Planung und Durchführung	Systematische Beobachtung von Merkmalen und Veränderungen	Kriterien geleiteter Vergleich, Kategorisierung und Systematisierung	Kontrolliertes Experiment (Variablenkontrolle)	Überprüfen von zweckbezogenen Hypothesen mithilfe des Modells im Rahmen von Beobachtung, Vergleich bzw. Ordnung oder Experiment
Ergebnis	Erkenntnis über Merkmale, Strukturen und Veränderungen von Systemen	Erkenntnis über Objekte, Vergleichskriterien und Ordnungssysteme	Erkenntnis über Ursachen eines Phänomens	Erkenntnis über das Phänomen und ggf. Ändern von Modellen nach der zweckbezogenen Testung

Die Auswertung von Daten führt zu Ergebnissen (Tabelle 1; Zeile Ergebnis), die im Sinne theoriebezogener Schlussfolgerungen interpretiert werden (E 9; Abbildung 1). Dabei wird außerdem ein Urteil über die Gültigkeit der Daten sowie eine Reflexion möglicher Fehlerquellen einbezogen (E 10). Stehen die Ergebnisse bzw. Schlussfolgerungen im Einklang mit den

hypothetischen Prognosen, wird die theoretisch begründete Hypothese durch die Versuchsergebnisse gestützt. Mit der Bearbeitung weiterer, ggf. weiterführender oder verfeinerter Fragestellungen beginnt der Prozess erneut (**E 11**; Abbildung 1). Auch im Falle der Falsifikation der Hypothese beginnt der Erkenntnisprozess erneut ausgehend von einer veränderten Fragestellung oder Hypothese (**E 11**; Abb. 1). Wurden Hypothesen aus (theoretischen oder gegenständlichen) Modellen abgeleitet, werden diese datengestützt hinterfragt. Dabei werden ihre Potenziale, aber auch Begrenzungen offengelegt (**E 12**).

Dieser zyklische wissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozess ist in Abbildung 1 sowie Tabelle 1 idealtypisch und in vereinfachter Weise abgebildet. Da Erkenntnisprozesse durch Individuen induziert und gesteuert werden, sind sie mit Blick auf den Erwerb von Erkenntnisgewinnungskompetenz aus persönlicher Perspektive zu reflektieren (**E 13**). Da Naturphänomene und erklärende Theorien und Modelle oft über die Fachgrenzen der Biologie hinausgehen, werden Untersuchungsergebnisse auch in fachübergreifenden Kontexten interpretiert (**E 14**).

Vor diesem Hintergrund heißt der dritte Teilkompetenzbereich:

3. Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren

Die Lernenden ...

- E 9 finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen;
- E 10 beurteilen die Gültigkeit von Daten und ermitteln mögliche Fehlerquellen;
- E 11 widerlegen oder stützen die Hypothese (Hypothesenrückbezug);
- E 12 diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen;
- E 13 reflektieren die eigenen Ergebnisse und den eigenen Prozess der Erkenntnisgewinnung;
- E 14 stellen bei der Interpretation von Untersuchungsbefunden fachübergreifende Bezüge her.

Neben der Durchführung und Reflexion empirischer Untersuchungen kommt auch der Reflexion über naturwissenschaftliches Wissen und über naturwissenschaftliche Methoden eine besondere Bedeutung zu. Entsprechend werden diese Kompetenzen in den Standards des vierten Teilkompetenzbereichs weiter ausdifferenziert.

Zu den Charakteristika der Naturwissenschaften gehört eine auf empirischer Beobachtung basierende, kritische und intersubjektive Weltsicht. Naturwissenschaft unterscheidet sich von anderen Wissenssystemen (z. B. Alltagswissen) durch spezifische Bedingungen der Wissensproduktion sowie Ansprüchen an die Gültigkeit ihrer Konzepte und Theorien. Dazu gehören z. B. die Prinzipien der Falsifizierbarkeit und Reproduzierbarkeit, der Intersubjektivität und Wertfreiheit sowie der logischen Widerspruchsfreiheit. Kompetenzen in diesem Bereich tragen zum Aufbau eines allgemeinen Verständnisses der Naturwissenschaften bei, bei dem die Möglichkeiten und Grenzen der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen reflektiert werden (**E 15**). Darüber hinaus ist naturwissenschaftliche Forschung in einen kulturell-gesellschaftlichen Kontext eingebettet und ihre Theorien und Methoden unterliegen einer historischen Entwicklung. In der Biologie spielt auch der Mensch als Untersuchungsgegenstand eine besondere Rolle. Dies bedeutet, dass die Untersuchungsobjekte der Biologie nur bedingt einer experimentellen Veränderung unterzogen werden können. Im Unterricht bietet sich damit die Gelegenheit, die Grenzen der naturwissenschaftlichen Methode in ihrer Anwendung auf Lebewesen zu erarbeiten, und zwar in wissenschaftspropädeutischer und ethischer Hinsicht. Dabei besteht naturgemäß eine Verzahnung zum Kompetenzbereich Bewerten (**E 16**).

Insbesondere die enge Verflechtung biologischer Forschung mit Grundfragen des Selbstverständnisses des Menschen sowie mit Kultur und Gesellschaft bietet zahlreiche Anlässe, die allgemeinen Charakteristika der Naturwissenschaften an spezifisch biologischen Themen zu erarbeiten. Beispiele sind die Evolutionstheorie, die Phylogenie des Menschen, Neurobiologie, *Human Genom* Forschung, Soziobiologie und Anthropologie. Auch die Vereinnahmung wissenschaftlicher Modelle und Theorien, z. B. durch Sozialdarwinismus, Biologismus, NS-Biologie und Rassenlehre, sind Aspekte, die im Rahmen eines vertieften Wissenschaftsverständnisses der Biologie thematisiert werden können.

Während das naturwissenschaftliche Denken im Sinne des hypothetisch-deduktiven Vorgehens für alle drei Naturwissenschaften gleichermaßen gilt, zeichnen sich die Fächer auch durch jeweils spezifische Aspekte aus. Dies sind beispielsweise in der Biologie die Unterscheidung von funktionalen und kausalen Betrachtungsweisen sowie von proximativen und ultimativen Erklärungen (**E 17**).

Entsprechend heißt der vierte Teilkompetenzbereich:

4. Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren

Die Lernenden ...

E 15 reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z. B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit);

E 16 reflektieren die Kriterien wissenschaftlicher Wissensproduktion (Evidenzbasierung, Theorieorientierung).

E 17 reflektieren Bedingungen und Eigenschaften biologischer Erkenntnisgewinnung.

3 Konkretisierung der Standards in Lernaufgaben

Ergänzend zu den Bildungsstandards und dem vorliegenden, erläuternden Text stellt das IQB auf seinem Internetportal (<https://www.igb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/biologie>) Lernaufgaben zur Verfügung. Diese Aufgaben zeigen, welche Aufgabenstellungen dazu geeignet sein können, die jeweiligen Kompetenzen bei Lernenden im Unterricht zu entwickeln.

In den Einleitungen zu den einzelnen Lernaufgaben wird kurz dargestellt, welche Bildungsstandards sie illustrieren, wie die Aufgaben weiteren Strukturierungsmerkmalen der Bildungsstandards zuzuordnen sind und inwiefern die Aufgaben besonders geeignet sind, die genannten Kompetenzen zu entwickeln.

Die erste Gruppe von Standards (**E 1 bis E 3**) bildet den Kompetenzteilbereich *Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien entwickeln* und spielt daher eine wichtige Rolle z. B. im problemorientierten Unterricht. Entsprechend sind die beispielhaften Lernaufgaben oftmals problemorientiert gestaltet. Bei der Nutzung im Unterricht können im Material bereits vorgegebene Fragestellungen auch gemeinsam mit den Lernenden entwickelt und anschließend auf Basis des Materials bearbeitet werden. Der Standard **E 1** (Die Lernenden beschreiben Phänomene und Beobachtungen als Ausgangspunkte von Untersuchungen.) steht im Unterricht oft am Anfang des Erkenntnisprozesses. Die Lernaufgabe *Ernährung und Genetik* spricht sämtliche Standards dieses Teilkompetenzbereichs an. Ziel der Aufgabe ist es, den Wechsel und die Verknüpfung der Systemebenen in der Biologie für

Erklärungsprozesse einzuüben. Die Teilaufgaben dienen dazu, relevante Information zu sammeln und nach Ebenen zu ordnen. So geht es in Teilaufgabe 1 um die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Methylierungsgrad und der Fellfarbe heterozygoter Agouti-Mäuse. Teilaufgabe 2 zielt auf die Erläuterung des Zusammenhangs zwischen Vitamin B₁₂, Folsäure, und der Methylierung von Cytosin in der DNA, während es in Teilaufgabe 6 um die Beschreibung der Ergebnisse eines Experiments zum Einfluss der Ernährung der Mutter auf ihre ungeborenen Nachkommen geht. Sämtliche Teilaufgaben bilden die Grundlage für die sachbezogene Bearbeitung der Thematik in weiteren Teilaufgaben, z. T. zu anderen Kompetenzbereichen, wodurch Standard E 1 adressiert wird. Teilaufgabe 4, die Ableitung einer möglichen Fragestellung aus den zuvor erarbeiteten inhaltlichen Grundlagen, zielt auf den Standard **E 2** (Die Lernenden identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu biologischen Sachverhalten.). Für die Interpretation der Ergebnisse des o. g. Experiments werden mehrere Systemebenen benötigt. Der Auftrag in Teilaufgabe 7, eine Kausalhypothese zum Zusammenhang zwischen der Nahrung der Mütter und der Fellfarbe ihrer Nachkommen zu formulieren, soll auf der Basis eines Materials zu den Systemebenen in der Biologie erfolgen. Durch diesen expliziten Theoriebezug wird der Standard **E 3** exemplarisch vorgestellt (Die Lernenden stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.).

Die zweite Gruppe von Standards (**E 4 bis E 8**) bilden den Kompetenzteilbereich *Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen*. Die Illustrierung der Standards in diesem Teilkompetenzbereich erfolgt durch die Lernaufgaben *Natürliche Selektion* und *Temperaturabhängigkeit der Zellatmung*. Beide Aufgaben haben ihren Schwerpunkt im Bereich der Erkenntnisgewinnungskompetenz. Die Aufgabe *Natürliche Selektion* trägt zum Kompetenzerwerb des Standards **E 3** bei, wodurch erst die Grundlage für die Planung und Durchführung von empirischen Untersuchungen im Rahmen der Arbeitsweisen geschaffen wird, wie es in den Standards **E 4**, **E 5** und **E 6** gefordert wird. Die Aufgabe befasst sich mit modernen Erläuterungen zu evolutiven Prozessen in der Synthetischen Evolutionstheorie am Beispiel von Farbmustervarianten bei Guppys. Die übergeordnete Problemstellung der vorliegenden Aufgabe folgt der Frage: „Ist Evolution beobachtbar?“ Dabei soll Selektion als Anpassung von Populationen über mehrere Generationen an die jeweiligen Lebensbedingungen verstanden werden. Dies erfolgt im Rahmen einer gedanklichen Modellierung, beispielsweise durch ein Simulationsspiel zur Selektion. Ausgangspunkt ist eine Abbildung zum Verhältnis von Modell und Original sowie zur Rolle des Modellierers bei der zweckbezogenen Modellierung. Ausgehend von einer Korrelation zwischen den Farbmustern der männlichen Guppys und unterschiedlichen Räubern sollen in Teilaufgabe 1 Experimente zur Klärung einer Ursache-Wirkungs-Beziehung geplant werden unter Berücksichtigung von Kontrollexperimenten. Diese Aufgabe stellt somit gleichzeitig Bezüge zu den Standards **E 4** (Die Lernenden planen und führen hypothesengeleitete Beobachtungen, Vergleiche, Experimente und Modellierungen durch und protokollieren sie.), **E 5** (Die Lernenden berücksichtigen bei der Planung von Beobachtungen, Vergleichen, Experimenten sowie Modellierungen das jeweilige Variablengefüge.) und **E 6** (Die Lernenden berücksichtigen die Variablenkontrolle beim Experimentieren.) her. Die Lernaufgabe *Temperaturabhängigkeit der Zellatmung* wurde mit Blick auf die Gruppe der Standards **E 4 bis E 8** entwickelt. Am Beispiel der Samenkeimung entwickeln die Lernenden zu einer aufgestellten Hypothese ein geeignetes Experiment auf der Basis digitaler Mess- und Auswertungsmethoden. Dabei lernen sie hypothesengeleitete Untersuchungen zu planen, durchzuführen und zu protokollieren (**E 4**). Bei der Planung und der Durchführung berücksichtigen sie relevante Variablen und die Variablenkontrolle (**E 5**, **E 6**). Beim Experimentieren nehmen sie unter sachgerechter Nutzung von Laborgeräten und Labortechnik qualitative und quantitative Daten auf, stellen sie dar und werten sie aus (**E 7**: Die Lernenden nehmen qualitative und quantitative Daten auch mithilfe digitaler Werkzeuge auf und werten sie aus. **E 8**: Die Lernenden wenden Labor- und

freilandbiologische Geräte und Techniken sachgerecht und unter Berücksichtigung der Sicherheitsbestimmungen an.).

Die dritte Gruppe von Standards (**E 9 bis E 14**) nimmt das Ergebnis des Erkenntnisgewinnungsprozesses in den Blick und bildet den Kompetenzteilbereich *Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren* ab. In Teilaufgabe 5 der Lernaufgabe *Natürliche Selektion* wird eine durch Material gestützte Modellierung zu den Auswirkungen des Fortpflanzungsverhaltens der weiblichen Guppys auf die Veränderungen des Musters der zur Population gehörenden Männchen gefordert. Damit wird der Standard **E 9** (Die Lernenden finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen.) angesprochen. Der Standard **E 10** (Die Lernenden beurteilen die Gültigkeit von Daten und ermitteln mögliche Fehlerquellen.) wird anhand der Aufgabe *Fotosynthesepraktikum* vorgestellt. Inhaltlich geht es dabei um die Anwendung von Wissen über die Abhängigkeit der Fotosynthese von abiotischen Außenfaktoren. Konkret werden Messwerte zum Volumen von freigesetztem Sauerstoff nach 72 h in Abhängigkeit von der Farbe des Lichts präsentiert. Die Aufgabe fordert zur Formulierung einer Begründung auf zu der Tatsache, dass einer der erhaltenen Werte vom theoretisch erwartbaren Wert abweicht. Der Hypothesenrückbezug ist der sich anschließende Schritt, der in Standard **E 11** (Die Lernenden widerlegen oder stützen die Hypothese, Hypothesenrückbezug.) formuliert wird. Sowohl die Lernaufgabe *Natürliche Selektion* (Teilaufgabe 4) als auch die Lernaufgabe *Temperaturabhängigkeit der Zellatmung* (Teilaufgabe 3) fordern diesen Schritt. Der Standard **E 12** (Die Lernenden diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen.) kommt am Ende der Lernaufgabe *Natürliche Selektion* zum Tragen, indem der Modellierungsprozess analysiert werden soll. Die Lernaufgabe *Temperaturabhängigkeit der Zellatmung* bearbeitet in Teilaufgabe 4 den Standard **E 13** (Die Lernenden reflektieren die eigenen Ergebnisse und den eigenen Prozess der Erkenntnisgewinnung.). Dabei geht es nach der Durchführung des Experimentes um die Bewertung der eigenen Ergebnisse und die Hypothesenrückprüfung, wobei weitere Einflussgrößen berücksichtigt werden sollen. Andere Beispiele dafür sind die Teilaufgabe 6 der Lernaufgabe *Natürliche Selektion*. Der Standard **E 14** (Die Lernenden stellen bei der Interpretation von Untersuchungsbefunden fachübergreifende Bezüge her.) wird mit der Lernaufgabe *Honigbiene in Gefahr* vorgestellt. Die Bekämpfungsmaßnahmen gegen die Bienen-bedrohende Varroa-Milbe erfordert einen Blick über den Tellerrand.

Der vierte Teilbereich *Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren* fokussiert die Merkmale naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und wird durch die Standards E 15 bis E 17 repräsentiert.

Die Lernaufgabe *Evolution bei Anolis-Echsen* behandelt den Standard **E 15** (Die Lernenden reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse – z. B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit.). Auf der Grundlage von Texten und Diagrammen zur „Blitzevolution“ von *Anolis*-Echsen bauen die Lernenden Sachkompetenz, Erkenntnisgewinnungskompetenz und Kommunikationskompetenz auf, indem sie z. B. Untersuchungsergebnisse zusammenfassen und interpretieren sowie die Qualität von unzulässigen Schlussfolgerungen im Hinblick auf finale Betrachtungsweisen oder unangemessene Sprache erläutern. Im Material zu Teilaufgabe 3 werden die Interpretationen von drei Personen zu den Ergebnissen einer Studie vorgestellt. Die Lösung besteht darin, eine fachsprachlich missverständliche Formulierung, die in einer Interpretation enthaltene finale Betrachtungsweise und einen lamarckistischen Erklärungsansatz zu erkennen. Der Standard **E 15** wird auch intensiv in der Lernaufgabe *Malariaerreger* behandelt. Ausgehend von einem Informationstext über Malaria und die Anzahlen Erkrankter und Verstorbener werden Materialien zu Untersuchungen am Erreger *Plasmodium* mit Blick auf Verbreitung, Überlebensstrategien und Fortbewegung vorgestellt. In

Teilaufgabe 2 geht es um die Beurteilung der beschriebenen Untersuchungen bezüglich ihrer Wissenschaftlichkeit. Dafür sollen Kriterien, die naturwissenschaftliche Untersuchungen erfüllen müssen, genannt, mit vorgegebenen verglichen werden, bevor die Untersuchungen nach den genannten Kriterien beurteilt werden sollen. Der Standard **E 16** (Die Lernenden reflektieren die Kriterien wissenschaftlicher Wissensproduktion: Evidenzbasierung, Theorieorientierung.) wird mit der Lernaufgabe *Honigbienen in Gefahr* umgesetzt. In der Aufgabe werden Forschungen zur Varroa-Milbe vorgestellt. In der Lösung soll zunächst das wissenschaftliche Vorgehen beschrieben werden, das anschließend nach fachlichen Kriterien bezüglich der Güte des wissenschaftlichen Vorgehens beurteilt werden soll. Zum Standard **E 17** (Die Lernenden reflektieren Bedingungen und Eigenschaften biologischer Erkenntnisgewinnung.) liegt derzeit keine illustrierende Aufgabe vor.

4 Literatur zum Weiterlesen

- ◆ KMK (2020). Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf (Zugriff am 18.06.2020)
- ◆ KMK (2016). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF_vom_07.12.2017.pdf (Zugriff am 18.06.2020)
- ◆ KMK (2004). Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf (Zugriff am 18.06.2020)
- ◆ Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177-186). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- ◆ Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2019) Modelle und Modellieren im Biologieunterricht: Ein Fall für Erkenntnisgewinnung. *Unterricht Chemie*, 171, 38-41.