

Inhalt

Vorwort	7
Einleitung	9
1. Naturwissenschaften unterscheiden sich von anderen Formen der Welterschließung	13
2. Naturwissenschaftliche Aussagen müssen bestimmten Prinzipien (Gütekriterien) genügen	15
2.1 Das Prinzip der Falsifizierbarkeit.....	15
2.2 Das Prinzip der Vorläufigkeit	16
2.3 Das Prinzip der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit	17
2.4 Das Prinzip der logischen Widerspruchsfreiheit.....	18
2.5 Das Prinzip der Reproduzierbarkeit.....	18
2.6 Das Prinzip der Wertfreiheit	19
3. Biologische Aussagen und Aussagegefüge lassen sich klassifizieren	20
3.1 Fakten, Phänomene, Daten, Belege, Indikatoren	21
3.2 Regeln	23
3.3 Gesetze.....	23
3.4 Prinzipien	25
3.5 Theorien	26
3.6 Modelle und Konzepte	30
3.7 Hypothesen	33
3.8 Vorhersagen (Prädikte) und Retrodikte	37
3.9 Beschreibungen.....	41
3.10 Subsumtionen	42
3.11 Erklärungen.....	43
3.12 Fragestellungen und ihre sprachensible Auflösung	64
4. Viele Faktoren beeinflussen die biologische Wissensproduktion (Erkenntnisgewinnung)	67
4.1 Einfluss von existierendem Wissen (wissenschaftliche Paradigmen) und Kommunikation (Wissenstransfer).....	69
4.2 Einfluss von Kreativität, Intuition und Zufall (Serendipität)	76
4.3 Einfluss von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft	79
4.4 Einfluss von Ideologie und Krieg	80
4.5 Einfluss des technischen Fortschritts	82
4.6 Einfluss von naturwissenschaftlichen Methoden	85

5. Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung kann in eine logische Abfolge von Teilprozessen strukturiert werden.....	88
5.1 Induktive Verfahren.....	88
5.2 Hypothetisch-deduktives Verfahren.....	90
6. Empirische Erkenntnismethoden sichern die Objektivität, Reliabilität und Validität von naturwissenschaftlichen Aussagen	94
6.1 Methode: (kontrolliertes) Experimentieren.....	101
6.2 Methode: (zielgerichtetes) Beobachten	106
7. Erkenntnismethodische Konzepte können mithilfe von kleinen Lernaufgaben und Basismodellen zum Gegenstand des Biologieunterrichts gemacht werden.....	113
7.1 Aufgabenbeispiele zu den Konzepten Fragestellung und Hypothese	115
7.2 Aufgabenbeispiele zur Operationalisierung von Hypothesen in Vorhersage, Planung und Durchführung	124
7.3 Lernaufgaben zur Auswertung und Diskussion von Beobachtungen und Experimenten.....	145
Literatur	153
Abbildungsverzeichnis.....	159
Tabellenverzeichnis.....	160
Verzeichnis der Beispiele.....	161

Vorwort

Die Qualitäts- und UnterstützungsAgentur – Landesinstitut für Schule (QUA-LiS NRW) ist die zentrale Einrichtung für pädagogische Dienstleistungen im Geschäftsbereich des Ministeriums für Schule und Bildung in Nordrhein-Westfalen. Kern ihrer Arbeit ist es, die Schulen und Einrichtungen der gemeinwohlorientierten Weiterbildung des Landes bei der Qualitätssicherung und Qualitätsentwicklung systematisch zu unterstützen. Dies geschieht für die Schulen des Landes u. a. durch die Entwicklung von Kernlehr- und Bildungsplänen, die Bereitstellung von Aufgaben für die zentralen Prüfungen, durch die Qualifizierung und Professionalisierung der Lehrerfortbildung und des Leitungspersonals, aber auch durch Unterstützung in bildungspolitisch aktuellen Handlungsfeldern wie z. B. die inklusive Bildung in der Schule, das gemeinsame längere Lernen im Ganztag oder die interkulturelle Schulentwicklung. Bei allen Angeboten ist es der QUA-LiS NRW ein wichtiges Anliegen, den Schulen für die herausfordernden Prozesse der Schul- und Unterrichtsentwicklung entsprechende Unterstützungsangebote bereitzustellen.

Einen Beitrag dazu stellt die Publikationsreihe „Beiträge zur Schulentwicklung“ dar. Dieses Publikationsformat greift zum einen aktuelle wissenschaftliche, unterrichtsfachliche und fachdidaktische Diskurse auf und stellt diese interessierten Leserinnen und Lesern für die Diskussion zur Verfügung; zum anderen richtet es sich unter dem Label „Praxis“ gezielt an die schulischen Akteure vor Ort und bietet Schülerinnen und Schülern, Lehrerinnen und Lehrern, Eltern und Erziehungsberechtigten konkrete Unterstützungsmaterialien für die Anwendung in Schule und Unterricht an.

Der vorliegende Band stellt ein praxisbezogenes Unterstützungsangebot dar. Er dient der grundlegenden und systematischen Erläuterung der wesentlichen Konzepte der Erkenntnisgewinnung und der Kultur der Naturwissenschaften (nature of science), wie diese in den Kompetenzerwartungen und Beschreibungen der Kompetenzbereiche *Erkenntnisgewinnung* und *Kommunikation* in den Kernlehrplänen NRWs bzw. in den KMK-Bildungsstandards (für die S I und S II) des Unterrichtsfachs Biologie als Schlagworte erscheinen, ohne weiter erläutert zu werden. Überdies dient dieser Band als Handreichung zur Vermittlung von Möglichkeiten, wie diese „Basiskonzepte“ der Erkenntnisgewinnung anhand von kleinen Lernaufgaben zum Gegenstand eines kompetenzorientierten und kognitiv aktivierenden Biologieunterrichts in der Sekundarstufe I und der Sekundarstufe II gemacht werden können. Zahlreiche Aufgabenbeispiele mit Beispiellösungen und didaktischen Kommentaren verdeutlichen dies.

Mit der Reihe „Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS“ möchte die QUA-LiS NRW für alle Akteure in Schule und Weiterbildung ein weiteres Unterstützungsangebot für die vielfältigen und herausfordernden Gestaltungsprozesse im Bildungsbereich bereitstellen.

Eugen L. Egyptien
Direktor der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur – Landesinstitut für Schule
(QUA-LiS NRW)

Einleitung

„In einer Zeit täglich anwachsender Informationen im Bereich naturwissenschaftlicher Forschung, die zudem nicht selten direkte Auswirkungen auf das gesellschaftliche und individuelle Leben besitzen, kann es im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht primär darum gehen, die Inhalte der modernen Naturwissenschaft möglichst umfassend abzubilden. Das zentrale Anliegen sollte vielmehr sein, Lernende mit den grundlegenden Denkprozessen und Konzepten des Fachs vertraut zu machen. Eine auf diese Weise erworbene naturwissenschaftliche Grundbildung befähigt Heranwachsende dann, Naturwissenschaft als einen Weg der Welterschließung anzuerkennen, aber auch kritisch zu hinterfragen und naturwissenschaftliches Wissen sinnvoll in persönliche Entscheidungsfindung sowie in den gesellschaftlichen Diskurs einzubringen“ (Kremer, 2010, S. 7).

Wie das vorangestellte Zitat verdeutlicht, kann es im Schulfach Biologie nicht darum gehen, den aktuellen Forschungsstand der Biologie durch eine umfassende Vermittlung von Fachinhalten abzubilden, sondern vielmehr um eine Vermittlung von wesentlichen naturwissenschaftlichen Denkweisen und Konzepten. Im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung sollten Schülerinnen und Schüler dementsprechend in erster Linie dazu befähigt werden, erkenntnismethodische Konzepte und Strategien zu beschreiben, zu erläutern und selbstständig miteinander zu verbinden. Denn dies sind die Grundlagen, um Erkenntnisprozesse und ihre Ergebnisse verstehen und hinsichtlich ihrer Qualität bewerten zu können sowie sie in variablen Situationen selbst gestalten zu können (vgl. Weinert, 2002, S. 27 f., auch Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2019, auch KMK, 2005, S. 6). Erkenntnisgewinnungskompetenz und die mit ihr verbundenen „Basiskonzepte“ können in einem Rahmenmodell abgebildet werden, das in drei Dimensionen von Standards der Erkenntnisgewinnung untergliedert ist, die mithilfe von drei kognitionspsychologischen Kompetenzkonstrukten modelliert und systematisch in Beziehung zueinander gesetzt werden (vgl. Mayer, 2007, S. 177).

Die erste Dimension „Kultur der Naturwissenschaften (nature of science)“ bzw. sein Kompetenzkonstrukt „Wissenschaftsverständnis (epistemological views)“ beinhaltet sämtliche Konzepte und Denkweisen von Naturwissenschaften als empirische Wissenschaften, welche als Metawissen für ein tieferes Verständnis der charakteristischen Grundsätze naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und den spezifischen Eigenschaften naturwissenschaftlicher Wissensbestände, Aussagen und Methoden erforderlich sind (vgl. Kremer & Mayer, 2013, S. 78). Die zweite Dimension des Rahmenmodells „Biologische Erkenntnismethoden

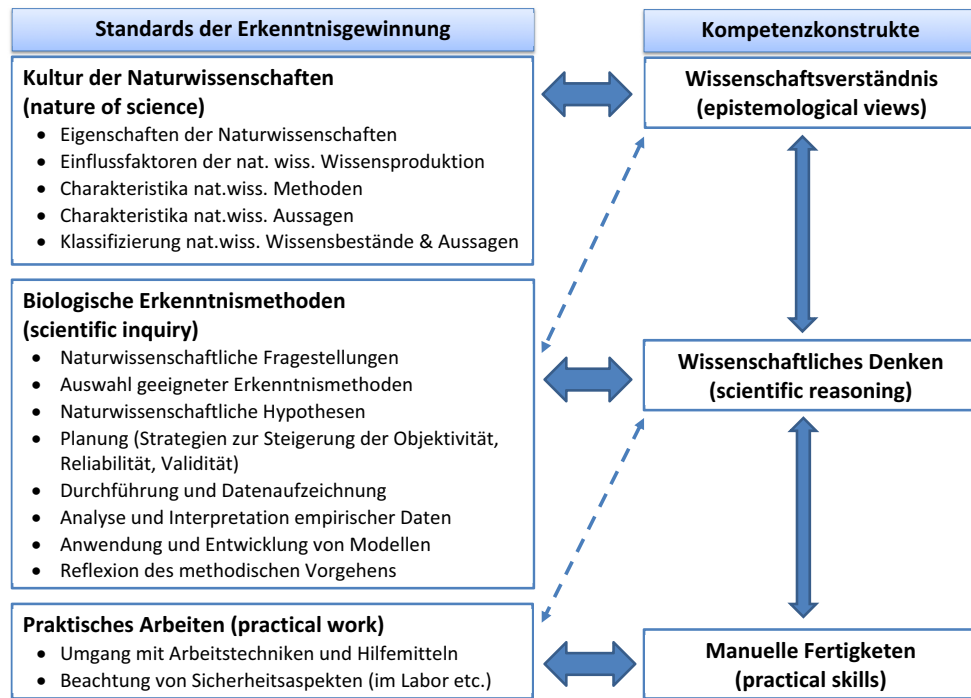


Abbildung 1: Rahmenmodell für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (adaptiert nach Mayer, 2007, S. 178, auch Werner & Kremer, 2010, S. 137, auch Kremer & Mayer, 2013, S. 82, auch Langlet, 2018, S. 80 ff.)

(scientific inquiry)“ bzw. ihr Kompetenzkonstrukt „Wissenschaftliches Denken (scientific reasoning)“ beinhaltet sämtliche Konzepte und Fähigkeiten, die für die Gewinnung biologischer Erkenntnisse mithilfe von empirischen Erkenntnismethoden erforderlich sind. Die Qualität zahlreicher Elemente dieser Dimension (z.B. das Aufstellen naturwissenschaftlicher Hypothesen, die Strategien zur Steigerung der Objektivität, Reliabilität und Validität im Bereich der Planung von Erkenntnisgewinnungsprozessen) dürfte ohne das Verständnis und das konzeptuelle Metawissen der ersten Dimension eher gering ausfallen. Ähnliches gilt wechselseitig für die Beziehung zwischen der zweiten und der dritten Dimension „Praktisches Arbeiten (practical Work)“ und ihrem Kompetenzkonstrukt „Manuelle Fertigkeiten (practical skills)“.

Wirft man einen Blick in einschlägige Schulbücher, Fachdidaktiken oder die Praxis des Biologieunterrichts, so stellt man fest, dass ein Wissenschaftsverständnis und wissenschaftliches Denken sowie vor allem die dafür wesentlichen Konzepte im Biologieunterricht der Gegenwart kaum eine Rolle spielen, obwohl sie Bestandteil der nationalen Bildungsstandards sind.

Denn mit der Bezeichnung „Konzept“ wird im Unterrichtsfach Biologie traditionell ausschließlich auf Fachinhalte rekurriert. Als „Basiskonzepte“ des Unterrichtsfachs Biologie werden ausschließlich „Ansammlungen“ von fachinhaltlichen Prinzipien (wie z.B. das Prinzip der Oberflächenvergrößerung oder das Schlüssel-Schloss-Prinzip) bezeichnet und unter Erkenntnisgewinnung wird häufig jegliche Art des praktischen Arbeitens, die wie ein Kochrezept abzuarbeiten ist, um das richtige Ergebnis zu erhalten. (vgl. Labudde et al., 2014).

Vergessen wird ganz offensichtlich, dass der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ein eigenes „Wissensinventar“, sprich: naturwissenschaftliche Prinzipien, erkenntnistheoretische und -methodische Konzepte und Strategien, be-

inhaltet, auf das die Schülerinnen und Schüler beim Problemlösen in variablen Situationen und beim Bewerten von naturwissenschaftlichen sowie pseudo-wissenschaftlichen Studien und Aussagen zurückgreifen können und müssen (vgl. Weinert, 2002, S. 27f.). Zentrale Konzepte wie „abhängige Variable“, „Validität“ oder „Reliabilität“ sowie die „Variablenkontrollstrategie“ oder die „Test-Retest-Strategie“ sind ebenso Fachwissen wie z.B. die fachinhaltlichen Konzepte „Chloroplast“, „Lotka-Volterra-Regel“ oder „Säugetier“. Doch im Gegensatz zu den fachinhaltlichen Konzepten werden sie häufig nicht als solche wahrgenommen und auch nicht unter eigenen, kompetenzbereichsspezifischen „Basiskonzepten“ systematisch subsumiert. Gleiches gilt für grundlegende erkenntnistheoretische Prinzipien und Denkweisen wie z.B. das „Prinzip der Falsifizierbarkeit“, das „Prinzip der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit“, das „Prüfbarkeitsprinzip“ oder das „Fallibilitätsprinzip“ sowie wissenskategoriale Konzepte wie z.B. „Theorie“, „Gesetz“ oder „Regel“ aber auch die eng damit verbundenen Konzepte spezifischer Aussagentypen wie z.B. „ultimate“, „proximate“ oder „funktionale Erklärung“ und „Fragestellung“, sowie die Konzepte der „Vorhersage“ oder „Hypothese“.

Über 15 Jahre nach Einführung der nationalen Bildungsstandards ist die schulische Praxis immer noch sehr stark auf die Vermittlung und Überprüfung von Fachinhalten ausgerichtet. Die grundlegenden Konzepte und Denkweisen des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung bleiben als „Hilfsmittel für die Vermittlung von Fachinhalten“ im Hintergrund und werden nicht selbst zum Gegenstand des Unterrichts oder der Leistungsüberprüfung gemacht. Wie die bundesweiten Vergleichsstudien des KMK-Ländervergleichs 2012 (vgl. Pant, Stanat, Schroeders, Roppelt, Siegle & Pöhlmann, 2012) oder der IQB-Bildungstrend 2018 (vgl. Stanat, Schipolowski, Mahler, Weirich & Henschel, 2019) offenbaren, besitzen viele Schülerinnen und Schüler in NRW auch am Ende ihres Bildungsgangs keine klare Vorstellung von dem, was die Naturwissenschaft Biologie von anderen Wegen der Welterschließung unterscheidet, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden, welche Faktoren die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beeinflussen oder was für naturwissenschaftliche Methoden und Aussagen charakteristisch ist.

Das Ziel des vorliegenden Buches ist es daher, die wesentlichen Konzepte und Denkweisen der Naturwissenschaft Biologie im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung, die in den Bildungsstandards und den Kernlehrplänen NRWs zu finden sind, systematisch darzustellen, an Beispielen zu erläutern und miteinander in Beziehung zu setzen. Darüber hinaus soll anhand von Aufgabenbeispielen exemplarisch gezeigt werden, wie diese zentralen Konzepte selbst zum Gegenstand eines kognitiv aktivierenden, konzeptbildenden Biologieunterrichts gemacht werden können.

Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung wird in Kapitel 1 die Biologie als Naturwissenschaft von anderen Formen der Welterschließung abgegrenzt. In Kapitel 2 werden daran anknüpfend grundlegende Prinzipien erläutert, die als Charakteristika naturwissenschaftlicher Aussagen gelten, aber auch als Gütekriterien zur Prüfung und Bewertung biologischer Erkenntnisse herangezogen werden können. Kapitel 3 liefert einen Überblick über die wesentlichen biologischen Wissenskategorien und Aussagentypen und erläutert diese anhand von Beispielen. Kapitel 4 gibt einen Überblick über wesentliche Faktoren, die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung beeinflussen können. In Kapitel 4.6, 5 und 6 werden wesentliche Charakteristika und Konzepte naturwissenschaftlicher Methoden erläutert. Kapitel 7 stellt Basismodelle des Unterrichts vor, die

bei der Konzeptbildung im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung hilfreich sein können. Zur Verdeutlichung der Basismodelle und der zahlreichen erkenntnismethodischen und -theoretischen Konzepte werden in Kapitel 8 schließlich Aufgabenbeispiele für Lernaufgaben mit unterschiedlichen konzeptuellen Schwerpunktsetzungen vorgestellt, die verdeutlichen, wie erkenntnistheoretische und -methodische Konzepte selbst zum Gegenstand eines kognitiv aktivierenden und konzeptbildenden Biologieunterrichts gemacht werden können.

1. Naturwissenschaften unterscheiden sich von anderen Formen der Welterschließung

„Verstehen und Erklären sind [...] Ausdruck des menschlichen Grundbedürfnisses nach Erklärungen der Welt, nach Vorhersagbarkeit und Geborgenheit in einer unüberschaubaren Umwelt“ (Pailer, 2005, S. 10).

Neben dem im einleitenden Zitat genannten Grundbedürfnis, die Welt, in der wir leben, besser verstehen, erklären und vorhersagen zu können, welches vor allem der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung zu Grunde liegen dürfte, sind Naturwissenschaftler in den angewandten Naturwissenschaften (z.B. Gentechnik) wohl eher vom Wunsch angetrieben, naturwissenschaftliches Wissen als Werkzeug für die Beherrschung der Welt, ihrer Kräfte und Ressourcen zu benutzen (vgl. Mayr, 2000, S. 68). Während sich die Physik im Wesentlichen mit der unbelebten Natur und Ihren Phänomenen beschäftigt und die Chemie den Aufbau und die Eigenschaften von Stoffen und Ihren Umwandlungen untersucht, erforscht die Biologie die belebte Natur bzw. das Leben auf dem Planeten Erde, welches sich in Systemen abbilden lässt (☞ s. Kap. 3.5 und 3.11.1.1).

Forschungsgegenstände und Ziele der Naturwissenschaften

Generell sind die Naturwissenschaften in ihrem Streben nach Erklärung, Beherrschung und Nutzbarmachung der Welt jedoch nicht in der Lage, alle Fragen beantworten oder alle Probleme lösen zu können. So fallen Fragen der Ästhetik, des Glaubens oder der Moral eher in die Gegenstandsbereiche der Theologie, der Philosophie, der Kunst oder der Musik. Die Naturwissenschaften vermitteln folglich eine begrenzte – aber keineswegs allumfassende – Weltansicht.

Da auch Religionen und Mystik Naturphänomene beschreiben und zu erklären versuchen, reicht die Angabe des Forschungsgegenstandes: „belebte und unbelebte Natur“ jedoch nicht aus, um die Naturwissenschaften von anderen Formen der Welterschließung und -erklärung abzugrenzen. Der wesentliche Unterschied zwischen Naturwissenschaften und Religionen bzw. Mystik liegt v.a. in dem begründeten, was sie als gegeben voraussetzen. Im Gegensatz zu den Naturwissenschaften sind religiöse bzw. mystische Erklärungen metaphysisch, d.h., sie setzen die Existenz und das Wirken übernatürlicher Mächte (Hexerei, Voodoo-Zauber etc.), Wesen (Götter, Dämonen etc.) oder Reiche (das Paradies, den Himmel, das Nirwana etc.) voraus (vgl. Mayr 2000, S. 62). Naturwissenschaften hingegen gehen davon aus, dass sämtliche Naturphänomene auf physisch erfahrbare Ursachen zurückzuführen sind (Prinzip der Kausalität). Sie bauen ihr Wissen in erster Linie auf empirischen Belegen auf, d.h. auf Daten, die durch Beobachtung oder Messung der materiell erfahrbaren Welt gewonnen wurden (vgl. Moore 1993, auch Mayr 2000, S. 62), und darauf aufbauenden theoretischen Überlegungen und logisch widerspruchsfreien Schlussfolgerungen. Daher zählt man die Naturwissenschaften zu den empirischen Wissenschaften (Erfahrungswissenschaften). Davon abzugrenzen sind nicht-empirische Wissenschaften wie

Naturwissenschaften sind empirische Wissenschaften

z.B. Mathematik, Logik oder Theologie, deren Wissen *ausschließlich* auf theoretischen Überlegungen und logisch widerspruchsfreien Schlussfolgerungen basiert.

Allerdings gibt es auch in den Naturwissenschaften Bereiche (z.B. in der Kosmologie, der Quantentheorie, der Evolutionsforschung), in denen die Empirie an ihre Grenzen stößt, weil es nicht oder nur schwer möglich ist, den eigentlichen Forschungsgegenstand physisch erfahrbar zu machen. Hier kommt Modellen und der Modellbildung (☞ s. 3.6) eine besondere Bedeutung bei der Erkenntnisgewinnung und Theoriebildung zu (vgl. Morrison & Morgan, 1999, S. 10 ff., auch Giere et al., 2006, S. 21).

Im Gegensatz zum Alltagswissen, welches ebenfalls auf (z.T. tradierten bzw. überlieferten) Erfahrungen (also Empirie) beruht, sind naturwissenschaftliche Erkenntnisse theorieorientiert und werden überwiegend systematisch-methodisch gewonnen und geprüft. Naturwissenschaften unterscheiden sich von Alltagswissen dadurch, dass Naturwissenschaftler bestrebt sind, verlässliches Wissen zu erzeugen, es der Kritik zugänglich zu machen und durch eine ständige Fehlersuche und -korrektur systematisch zu verbessern (vgl. Langlet, 2018, S. 80 und S. 97).

Die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung unterscheidet sich von der des Alltags insbesondere durch ihre zielgerichteten Methoden, welche durch den systematischen Einsatz von Strategien charakterisiert sind, durch die Genauigkeit (Reliabilität), Personenunabhängigkeit (Objektivität) und Gültigkeit (Validität) der Erkenntnisse gesteigert wird (☞ s. Kap. 6). Darüber hinaus erfahren naturwissenschaftliche Erkenntnisse eine (prinzipiell ständige) kritische Prüfung durch die Fachöffentlichkeit (scientific community), durch die der Einfluss von Zufall, subjektiver Voreingenommenheit und individueller Fehler bei der Beobachtung, Messung und Interpretation der materiell erfahrbaren Welt zusätzlich minimiert wird. Naturwissenschaften beschreiben, erklären, etablieren und verbessern (durch Fehlerausschluss), erweitern, kommunizieren und sammeln naturwissenschaftliches Wissen in systematischer Weise (vgl. Langlet, 2018, S. 80). Insgesamt stehen die Naturwissenschaften daher im Allgemeinen für eine kritische, auf empirischen Methoden aufbauende, intersubjektive und zunehmend objektivierte Weltansicht.

Naturwissenschaftliches Wissen ist theorieorientiert und durch fortlaufende Fehlerkorrektur gekennzeichnet

Naturwissenschaftliche Forschungsmethoden zeichnen sich durch Strategien aus, die Geltung und Tragfähigkeit der Erkenntnisse steigern

Naturwissenschaftliches Wissen wird durch andere Naturwissenschaftler geprüft

2. Naturwissenschaftliche Aussagen müssen bestimmten Prinzipien (Gütekriterien) genügen

Eine Aussage ist die kleinste Grundeinheit einer wissenschaftlichen Erkenntnis (vgl. Moulines, 2008, S. 25). Größere Wissenseinheiten wie Regeln, Theorien aber auch Methoden und Strategien bestehen somit aus mehreren miteinander verknüpften Aussagen. In den Naturwissenschaften haben sich im Verlauf ihrer kulturellen Evolution einige Prinzipien etabliert, die als Grundsätze oder Leitlinien zum Ausdruck bringen, welche Eigenschaften oder Merkmale ihre Aussagen besitzen bzw. erfüllen sollen, um als naturwissenschaftlich gelten zu dürfen. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um die folgenden sechs Prinzipien (vgl. Mayer et al., 2004):

Defintion: Aussage

Definition: wissenschaftliche Prinzipien

- Das Prinzip der Falsifizierbarkeit
- Das Prinzip der Vorläufigkeit
- Das Prinzip der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit
- Das Prinzip der logischen Widerspruchsfreiheit
- Das Prinzip der Reproduzierbarkeit
- Das Prinzip der Wertfreiheit

Diese Prinzipien können auch als Kriterien zur Bewertung der wissenschaftlichen Qualität von naturwissenschaftlichen Methoden und Aussagen z.B. im Rahmen von Gutachtersystemen („Peer Review“) herangezogen werden (☞ s. Kap.4.6). In den folgenden Unterkapiteln werden die Prinzipien erläutert.

2.1 Das Prinzip der Falsifizierbarkeit

„Ein empirisch-wissenschaftliches System muss an der Erfahrung scheitern können“ (Popper, 2005; S. 17).

Das obige Zitat von Karl Popper bringt das Prinzip der Falsifizierbarkeit recht eindrucksvoll auf den Punkt. Denn es bedeutet im Grunde nichts anderes, als dass man eine wissenschaftliche Aussage u. a. daran erkennt, dass es prinzipiell möglich sein muss, sie mit empirischen Mitteln zu überprüfen und zu widerlegen. Aussagen, bei denen dies nicht – zumindest nicht theoretisch – möglich ist, sind lediglich metaphysische Behauptungen, die niemand prüfen und widerlegen kann. Dies gilt grundsätzlich auch für komplexe theoretische „Erklärungsgebäude“ wie Theorien. Wenn es nicht möglich ist, empirisch widerlegbare Aussagen (Beobachtungssätze) aus ihnen abzuleiten, sind sie nicht wissenschaftlich. Das folgende Beispiel verdeutlicht diesen Sachverhalt (vgl. Bak, 2016, S. 15).

Welche der folgenden Aussagen ist eine wissenschaftliche Aussage?

1. Menschen werden niemals einen Fuß auf den Mond setzen.
2. Es gibt Naturgesetze, die nicht von Naturwissenschaftlern entdeckt werden können.
3. Es ist gut möglich, dass in irgendeiner anderen Galaxie gänzlich andere physikalische Gesetze wirksam sind als in unserer.

Beispiel 1: Falsifizierbare und nichtfalsifizierbare Aussagen (vgl. Hewitt, 2007)

Nur Aussage 1 ist eine naturwissenschaftliche Aussage. Erstens, weil sie mithilfe empirischer Mittel (durch Beobachtung) prinzipiell überprüfbar ist, und zweitens, weil sie bereits durch Beobachtung eines einzigen Ereignisses, das ihr widerspricht, widerlegt werden kann, was 1969 ja auch geschah. Aussage 2 ist nicht naturwissenschaftlich, sondern metaphysisch, weil sie die Existenz von etwas voraussetzt, das per Definition mit empirischen Mitteln nicht überprüft werden kann. Jedes neue Naturgesetz, das man entdeckt, würde nicht zu einer Falsifikation der Aussage führen. Sie ist nicht falsifizierbar und daher keine naturwissenschaftliche Aussage. Aussage 3 ist eine Spekulation, die mit empirischen Mitteln zwar grundsätzlich überprüfbar wäre, allerdings nur bestätigt bzw. verifiziert (z. B. durch den Fund einer Galaxie, in der andere Gesetze wirksam sind), nicht aber widerlegt bzw. falsifiziert (z. B. durch den Fund einer Galaxie, in der die gleichen Gesetze wirksam sind,) werden kann. Für ihre Falsifikation müssten alle möglichen Einzelfälle – auch die, die noch nicht entdeckt wurden, – geprüft werden, was als unmöglich gelten darf.

2.2 Das Prinzip der Vorläufigkeit

„Die Bereitschaft, einen allgemein akzeptierten Glauben zu verwerfen, sobald ein neuer, besserer vorgeschlagen wird, stellt einen wichtigen Unterschied zwischen Wissenschaft und religiösem Dogma dar“ (Mayr, 2000, S. 61).

Das vorangestellte Zitat beinhaltet nicht nur ein Charakteristikum der Naturwissenschaften, in Abgrenzung zu religiösen Dogmen, es bringt auch ein zentrales Charakteristikum naturwissenschaftlichen Wissens zum Ausdruck. Denn naturwissenschaftliches Wissen und die aus ihm abgeleiteten Aussagen sind – selbst dann, wenn sie gut begründet, mehrfach geprüft und allgemein anerkannt sind, – nie vollkommen sicher oder von ewigem Bestand. Naturwissenschaftliches Wissen unterliegt einem fortwährenden Entwicklungs- und Veränderungsprozess, der z. B. durch soziokulturelle Strömungen, die Erfindung neuer technischer Hilfsmittel oder durch neue fachwissenschaftliche Erkenntnisse und theoretische Paradigmen¹ – selbst in bereits intensiv beforschten Gebieten – stets in Gang ge-

Definition:
Wissenschaftliches
Paradigma

1 Der Begriff des Paradigmas wurde von Thomas S. Kuhn in die wissenschaftstheoretische Diskussion eingeführt. Damit sind die aktuellen Überzeugungen und das aktuell anerkannte Wissen einer Forschungsgemeinschaft (scientific community) gemeint. Das aktuell vorherrschende Paradigma bestimmt, an was und auf welche Weise zurzeit geforscht wird, welche Phänomene, Probleme und Aussagen als relevant angesehen werden. Die vorherrschenden Paradigmen sind zwar der Motor des wissenschaftlichen Fortschritts, dennoch gibt es einige Beispiele in der Wissenschaftsgeschichte der Naturwissenschaften, bei denen die anerkannten wissenschaftlichen Paradigmen auch den Fortschritt aufgehalten haben (vgl. Langlet, 2018, S. 86) (☞ s. Kap.4.1).

halten wird. Bestehende Theorien und Konzepte sind daher immer als vorläufig zu betrachten und müssen darüber hinaus immer wieder auf Irrtümer hin überprüft und nach Möglichkeit verbessert werden (vgl. Kremer, 2010, S. 50, auch Langlet, 2018, S. 80f.). Die Entwicklungsgeschichte des Gen-Begriffs, die Erforschung des genetischen Codes, der Fotosynthese oder die Entwicklung der Modellvorstellungen zu Biomembranen sind eindrucksvolle Beispiele für den Aspekt der Vorläufigkeit und Veränderbarkeit von biologischem Wissen. Aus dem vorläufigen Status lassen sich die folgenden weiteren Prinzipien für naturwissenschaftliche Erkenntnisse und ihre Gewinnung ableiten:

- **Prüfbarkeitsprinzip:** Jedes Datum, jede Hypothese, jede Methode, jeder Plan und jedes Artefakt muss auf Adäquatheit (d.h. Wahrheit oder Effizienz) geprüft werden.
- **Fallibilitätsprinzip:** Jede Erkenntnis – sei es Datum, Hypothese, Theorie, Methode oder Plan – sowie jede Prüfung ist prinzipiell fehlbar und revidierbar.
- **Melioristisches Prinzip:** Jede Erkenntnis, jeder Vorschlag und jedes Artefakt, das verbesserungsbedürftig ist, darf verbessert werden. (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 113f., vgl. Mayr, 2000, S. 61)

Prüfbarkeitsprinzip

Fallibilitätsprinzip

**Melioristisches
Prinzip**

2.3 Das Prinzip der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit

„Erkenntnisse werden erst dann vollständig verstanden, wenn man weiß, wie sie zustande kamen. Die Kenntnis der Methodik befähigt zum Urteil über den Wert und die Grenzen der damit erzielten Ergebnisse“ (Götz & Knodel, 1980, S. 2).

Folglich müssen neue Erkenntnisse stets so dokumentiert und dargestellt sein, dass der Weg, der zu ihnen geführt hat, für andere, bisher nicht am Forschungsprozess beteiligte (neutralen), sachkundige Dritte prinzipiell nachvollziehbar und überprüfbar ist. Damit gilt das Prinzip der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit als erfüllt, was sich ebenfalls positiv auf die Einschätzung der Güte der Ergebnisse durch die Fachöffentlichkeit auswirkt. Eine dafür erforderliche lückenlose Dokumentation beinhaltet u.a. eine Darstellung der relevanten theoretischen Grundlagen (Theoriebezüge und deren Quellen), der exakten methodischen Vorgehensweise (Planung, Durchführung)², sowie eine Möglichkeit zur Einsicht der gewonnenen empirischen Daten (aufbereitete Daten und Rohdaten) und der daraus gezogenen Schlussfolgerungen (vgl. Ziegele, 2016, S. 260). Ist dies nicht oder nicht hinreichend erfüllt, gelten die Daten und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen als unsicher und fragwürdig. Denn „[d]ie Objektivität der wissenschaftlichen Sätze liegt darin, dass sie intersubjektiv nachprüfbar sein müssen“ (vgl. Popper, 2005, S. 59).

2 Zur Verbesserung der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit wird in der retrospektiven Darstellung des Erkenntniswegs häufig auf etablierte logische Strukturen (hypothetisch-deduktiver Weg der Erkenntnisgewinnung) und bewährte Erkenntnismethoden (Experiment, Beobachtung, Vergleich) sowie Arbeitstechniken und eine allgemein anerkannte Messtheorie zurückgegriffen. Herausgestellt werden dann v. a. diejenigen Punkte, bei denen man von dem Etablierten abgewichen ist.

2.4 Das Prinzip der logischen Widerspruchsfreiheit

„Die Annahme neuer Erkenntnisse hängt auch ab von der Fähigkeit, sie plausibel darzustellen“ (Götz & Knodel, 1980, S. 3).

Die im einleitenden Zitat erwähnte Plausibilität einer Darstellung wird im Wesentlichen durch das Prinzip der logischen Widerspruchsfreiheit erfasst, welches besagt, dass die theoretischen Grundlagen, das methodische Vorgehen, die empirischen Daten und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen in einem sinnvollen inneren Zusammenhang (Kohärenz) stehen müssen und die einzelnen Elemente in keinem logischen Widerspruch stehen dürfen. Es geht hierbei also um die innere Kohärenz und Konsistenz zwischen Fragestellung und verwendeter Erkenntnismethode, zwischen Fragestellung und Hypothesen, zwischen Hypothese und Vorhersage, zwischen Vorhersage und Untersuchungsdesign, zwischen den Daten, ihrer Interpretation und ihrer theoretischen Grundlage. Dies beinhaltet folglich u. a. eine Prüfung

- **der theoretischen Grundlagen** (das jeweilige Begriffs- oder Bezugssystem), bei der keine logischen Widersprüche und inhaltlich-argumentativen Lücken gefunden werden sollten,
- **des methodischen Vorgehens**, welche sowohl die Fragestellung und die Hypothesen als auch ihre Operationalisierung (Validitätsprüfung) im Untersuchungsdesign beinhaltet (☞ s. Kap. 6),
- **der Ergebnisse**, bei der die Daten und ihre Interpretation vor dem Hintergrund der Fragestellung, Hypothese und des theoretischen Kontextes geprüft werden.

Werden die theoretischen Grundlagen, das methodische Vorgehen und die Ergebnisse von der Fachöffentlichkeit nach wiederholter Prüfung als nachvollziehbar und richtig eingeschätzt, gelten die Prinzipien der logischen Widerspruchsfreiheit und intersubjektiven Nachvollziehbarkeit als erfüllt (vgl. Moore, 1993).

2.5 Das Prinzip der Reproduzierbarkeit

„Wissenschaft ist Bestreben, das [menschliche Verständnis] der Welt auf der Grundlage erklärender Prinzipien und unter ständiger kritischer Prüfung aller Befunde zu verbessern“ (Mayr, 2000, S. 356).

Die im einleitenden Zitat von Mayr erwähnte Prüfung aller Befunde beinhaltet in einem letzten Schritt auch die Reproduzierbarkeit der empirischen Daten bzw. Ergebnisse. Eine naturwissenschaftliche Erkenntnis gilt schließlich erst dann als gesichert, wenn es neutralen Dritten gelingt, auf dem gleichen Wege dieselben oder zumindest vergleichbare Ergebnisse zu erzielen (vgl. Moore 1993). Faktoren, die eine Reproduzierbarkeit (Wiederholbarkeit) der empirischen Daten bzw. Ergebnisse erschweren oder gar verhindern und damit die empirischen Daten und Schlussfolgerungen in Frage stellen, sind z. B.:

- Kein oder ein nur lückenhafter Zugang zu Details der methodischen Durchführung und/oder den originalen Rohdaten,
- die Verwendung von nicht, nicht vollständig oder falsch benannten sowie Kreuz-kontaminierten Versuchsorganismen oder Materialien (z. B. Zelllinien oder Mikroorganismen, Nährmedien, Geräte und Arbeitstechniken und standardisierte Verfahren),
- ein unsauberes Untersuchungsdesign (Variablenkontrolle, Kontrollansätze, zu kleine Stichprobengrößen, zu große Messintervalle, zu wenige Messwiederholungen),
- ein unsauberer Umgang mit Geräten, Hilfsmitteln und Arbeitstechniken bei der Durchführung (Laborfertigkeiten),
- ein statistisch unsauberer oder falscher Umgang mit komplexen Datensätzen,
- logische Widersprüche in der Argumentation,
- eine Kultur, die neue Erkenntnisse zurückweist oder Widersprüche zu bestehendem Wissen herunterspielt (vgl. ATCC o.J.).

2.6 Das Prinzip der Wertfreiheit

„Außerhalb der Wissenschaft liegende politisch, theologische oder finanzielle Überlegungen sollten das wissenschaftliche Urteil nicht beeinflussen, tun dies aber oft“ (Mayr, 2000, S. 71).

Aus dem von Mayr hier beschriebenen Grunde wurde das Prinzip der Wertfreiheit als Gütekriterium in die Naturwissenschaften eingeführt. Es verlangt, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Richtigkeit oder Falschheit einer wissenschaftlichen Aussage bzw. Erkenntnis neutral und unabhängig von den eigenen weltlichen Wertvorstellungen, den Interessen ihrer Geldgeber oder anderen nicht wissenschaftlichen Zwängen beurteilen müssen. Außerdem müssen auch die Methoden, die sie verwenden in ihrer Struktur und Anlage so sein, dass durch sie eine persönliche Voreingenommenheit so gut wie möglich auszuschließen ist. Des Weiteren dürfen auch ihre wissenschaftlichen Postulate und ihre Lehre keine Werturteile enthalten und müssen in weltanschaulichen Fragen neutral bleiben (vgl. Büter, 2012, 20–25). In der Geschichte der Biologie gibt es viele Beispiele wie z. B. beim Sozialdarwinismus und der daraus abgeleiteten Rassenlehre, Eugenik und Euthanasie, in denen die naturwissenschaftliche Objektivität und Neutralität (auch von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern) für Urteile über die ‚ethisch richtigen‘ oder sinnvollen Weltanschauungen oder Lebensorientierungen (religiösen, ökonomischen, ethischen, sexuellen) missbraucht wurde (vgl. Weber, 1922, S. 490 ff., auch Büter 2012, S. 33, auch Wuketits, 1999).

Mittlerweile beinhaltet das Kriterium der Wertfreiheit auch Bestrebungen, Auftraggeber und Geldquellen für die eigene Forschung offenzulegen.

Wertfreiheit des wissenschaftlichen Urteils

Wertfreiheit der wissenschaftlichen Methoden

Wertfreiheit wissenschaftlicher Erkenntnisse

3. Biologische Aussagen und Aussagengefüge lassen sich klassifizieren

„Wie sicher und fest Aussagen der Naturwissenschaft auch erscheinen mögen, objektive Wahrheiten zu sein können sie nicht beanspruchen [...] Was Naturwissenschaftler bestenfalls tun können, ist ein Gebäude von Aussagen zu errichten, das hinsichtlich der empirischen Daten und seiner logischen Struktur für eine bestimmte Zeitspanne ein Maximum an Konsistenz aufweist“ (Roth, 1996, S. 350 f.).

„Objektives Wissen“

Neben den Prinzipien der Vorläufigkeit (☞ s. Kap. 2.2) und logischen Widerspruchsfreiheit (☞ s. Kap. 2.4), die in der eingangs zitierten Aussage durchscheinen, begegnet Gerhard Roth hierin einem immer noch häufig anzutreffenden Missverständnis von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen als objektive Wahrheiten. Es gibt kein „objektives Wissen“ oder „Wissen an sich“, das losgelöst von Erkenntnisprozessen oder dem erkennenden Subjekt existiert (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 62 ff.). Wissen ist das Produkt von Erkenntnisprozessen und deren subjektiver Interpretation. Es kann bestenfalls den Status intersubjektiven Wissens erreichen, wenn es von vielen Mitgliedern einer Gemeinschaft, nach mehrfacher kritischer Prüfung, geteilt wird (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 64). In den Naturwissenschaften spricht man daher von Objektivität bzw. von objektiv, wenn ein Stück explizites Wissen

- a. in der wissenschaftlichen Gemeinschaft als intersubjektiv nachvollziehbar und korrekt gilt und
- b. begrifflich (theoretisch, logisch) oder empirisch (praktisch, methodisch) prüfbar ist (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 65).

„Verständnis“

Der naturwissenschaftliche Objektivitätsbegriff ist folglich kein absoluter, sondern stets ein relativer und eingeschränkter. In diesem Zusammenhang wird auch die Verwendung des Wortes „Wissen“ kritisiert, da es sich bei wissenschaftlichem „Wissen“ nicht ausschließlich um Fakten handelt, sondern um deren vorläufige und intersubjektive Interpretation. Dementsprechend könnte die Verwendung des Wortes „Verständnis“ anstelle von „Wissen“ weniger missverständlich sein (Mayr, 2000, S. 50). Im Hinblick auf seine Herkunft im Rahmen von individuellen Erkenntnisprozessen kann man Wissen wie folgt unterscheiden:

Wissen aus erster Hand

- a. Wissen aus erster Hand (direktes Wissen): durch eigene Erfahrung (zufällig oder durch gezielte z. B. Forschung), erworben

Wissen aus zweiter Hand

- b. Wissen aus zweiter Hand (indirektes Wissen): durch Hörensagen, Bücher, Filme (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 64).

Die Bezeichnungen „Fakten“, „Phänomene“, „Daten“, „Belege“, „Indikatoren“, „Regel“, „Gesetz“, „Prinzip“, „Theorie“, „Modell“, „Konzept“, „Hypothese“ verweisen auf unterschiedliche Kategorien oder Klassen von biologischem Wissen bzw. Verständnis, die in biologischen Erkenntnisgewinnungsprozessen immer wieder eine Rolle spielen, aber nicht immer trennscharf verwendet werden. Dabei gibt es in Bezug auf Ihre Eigenschaften, v. a. ihre Entstehungsgeschichte (Wissensgenese), ihren Gültigkeitsanspruch und den Grad ihrer wissenschaftlichen Bewährtheit und ihrer Funktion z. T. große Unterschiede zwischen ihnen, die es möglich machen, sie zu unterscheiden.

Kategorien bzw. Klassen von biologischem Wissen bzw. Verständnis

Darüber hinaus spielt eine Reihe von Aussagentypen wie z. B. „Hypothesen“, „Vorhersagen und Retrodikte“, „Beschreibungen“, „Subsumtionen“, „Erklärungen“ und „Fragestellungen“ eine größere Rolle im Rahmen von Erkenntnisgewinnungsprozessen in der Biologie. Auch sie sind wesentliche erkenntnistheoretische Konzepte bzw. Kategorien der Biologie. Einige von Ihnen sind in den nationalen Bildungsstandards und den Kernlehrplänen NRWs z. T. unterschiedlichen Kompetenzbereichen zugeordnet. So sind in den Bildungsstandards die Konzepte der „ultimaten“, „proximaten“ oder „funktionalen Erklärung“ dem Kompetenzbereich *Kommunikation* zugeordnet, obwohl die konstituierenden Bestandteile einer Erklärung (Explanandum, Explanans) so eng mit anderen zentralen Konzepten der Erkenntnisgewinnung, wie z. B. den Konzepten der Fragestellung (ultimat, proximat, funktional), der Subsumption, der Vorhersage (Projectans, Projectandum), der Hypothese (erklärende, beschreibende) aber auch mit den Konzepten „Regel“, „Gesetzmäßigkeit“ oder „Theorie“ verbunden sind, dass sie alle miteinander nicht nachhaltig verstehbar sind, ohne dass die Verbindungen zwischen ihnen aufgezeigt und ihre Unterschiede systematisch voneinander abgegrenzt werden. In den folgenden Unterkapiteln werden sämtliche dieser Konzepte (Wissenskategorien und Aussagentypen) genauer erläutert.

Aussagentypen

3.1 Fakten, Phänomene, Daten, Belege, Indikatoren

„Alle Wissenschaften sollten mögliche reale Fakten erforschen und sollten Phänomene (Erscheinungen) mithilfe von Fakten erklären und nicht umgekehrt“ (Mahner & Bunge, 2000, S. 36).

Mahner und Bunge spielen mit der einleitend zitierten Aussage auf die in der gesellschaftlichen Diskussion häufiger anzutreffende inkorrekte Bezeichnung „wissenschaftliche Fakten“ an, welche irreführend ist, da hiermit in der Regel bestimmte wissenschaftliche Konstrukte wie z. B. Regeln, Konzepte, Theorien usw. gemeint sind, aber nicht die ihnen zugrundeliegenden Fakten selbst. Außerdem gibt es keine „wissenschaftlichen“ Fakten, sondern nur „reale“. Ein Fakt bzw. Faktum wird definiert als: das Sich-in-einem-bestimmten-Zustand-Befinden eines Dings oder ein gerade ein Ereignis oder einen Prozess durchlaufendes Ding (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 35). Wissenschaftliche Konstrukte wie z. B. Hypothesen, Theorien oder Gesetzmäßigkeiten sind demnach keine Fakten, auch dann nicht, wenn sie wohlbestätigt sind, da es sich hierbei lediglich um intersubjektiv für korrekt gehaltene und empirisch prüfbare Aussagen über Fakten, aber nicht um Fakten selbst, handelt (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 35).

Faktum

Ein Phänomen ist eine wahrnehmbare Erscheinung (z. B. ein Ereignis, ein Gegenstand). Phänomene werden häufig mit Fakten (Tatsachen) gleichgesetzt. Doch das ist nicht richtig, wie das folgenden Beispiel verdeutlicht: Eine Biologin

Phänomen

geht zwanzigmal dieselbe Straße entlang und nimmt keinen Unterschied wahr, beim einundzwanzigsten Mal bemerkt sie plötzlich, dass dort am Straßenrand ein Baum steht und auf seiner Borke eine rote Flechte wächst, die sie noch nie gesehen hat. Fakt ist: Der Baum mit der roten Flechte auf der Borke war schon „immer“ dort, das Besondere (die rote Flechte) an ihm hat sie jedoch erst bei dem einundzwanzigsten Mal bewusst wahrgenommen (Phänomen). Ein Phänomen ist immer nur das, was einer Beobachterin bzw. einem Beobachter als „phänomenal“ erscheint, oder anders: Es gibt kein Phänomen ohne das Subjekt, das es wahrnimmt (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 36). Folglich sind Phänomene immer nur eine kleine Teilmenge der Menge aller Fakten (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 36). Zu berücksichtigen ist dabei außerdem, dass das Staunenswerte oder auch Fragwürdige, das einem Phänomen zugeschrieben wird, grundsätzlich immer von den Vorerfahrungen und dem Vorwissen der Betrachterin bzw. des Betrachters abhängt (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 130f.). Auf das obige Beispiel bezogen bedeutet dies: Dass die Biologin die roten Flecken auf der Borke nicht für bedeutungslosen Schmutz hält, sondern als eine besondere Flechte erkennt, liegt an ihrer Vorbildung. Menschen ohne biologische Vorbildung wären vermutlich auch beim einundzwanzigsten Mal noch daran vorbeigegangen, ohne etwas Besonderes zu entdecken. Dies sollte z.B. bei sogenannten induktiven Unterrichtseinstiegen (☞ s. Kap. 5.1) berücksichtigt werden. Generell ist die Wahrnehmung von Natur stets kulturell geprägt und damit weit davon entfernt, „natürlich“ zu sein (vgl. Höttecke & Rieß, 2015, S. 129).

Datum Ein Datum ist das Ergebnis einer Beobachtung, einer Messung, eines Vergleichs, einer Klassifikation oder eines Experiments. In den Naturwissenschaften sind alle Daten empirisch und werden entweder aktiv gesucht oder produziert (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 71f.). Daten sind dabei jedoch nicht gleichzusetzen mit Fakten. Denn Daten sind stets Aussagen, die sich auf Fakten beziehen (faktische Aussagen). Sie können mehr oder weniger genau sowie mehr oder weniger umfangreich sein. Folglich spiegelt auch die Redensart „die Daten sprechen für sich (selbst)“ ein Fehlkonzept über Daten wider. Denn sie sind keineswegs theoriefrei und müssen immer erst in Bezug auf eine Hypothese (und Fragestellung) interpretiert werden. Insofern dürfen sie auch nicht mit Belegen („Evidenzen“) verwechselt werden, da es auch keine Belege oder Evidenzen an sich gibt, sondern stets nur Belege für oder gegen eine Hypothese oder eine Theorie. Ein Beleg ist folglich ein Datum, das immer in Bezug zu einer Hypothese oder Theorie steht (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 71f.).

Belege

Indikatoren Immer dann, wenn Fakten nicht direkt beobachtbar sind, müssen Naturwissenschaftler von Indikatoren oder diagnostischen Zeichen Gebrauch machen, welche dann als indirekte oder mittelbare empirische Belege zugelassen sind. So kann z.B. die Hypothese: „Es gab Dinosaurier“ nicht direkt überprüft werden, weil es heute keine lebenden Dinosaurier mehr gibt, sondern nur fossile Knochen, Eier oder Fußabdrücke. Im Zusammenhang mit dem riesigen Bestand an Erkenntnissen aus der vergleichenden Morphologie, der Systematik, Evolutionsbiologie, Paläontologie und Geologie ermöglicht es diese Hypothese dann aber, solche Daten als Belege für sie zu interpretieren. In der Biologie sind die meisten wissenschaftlichen Hypothesen und Theorien nur mittelbar über Indikatorhypothesen testbar, weil sie sich auf nicht direkt beobachtbare Fakten beziehen (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 116).

Indikationshypothesen

3.2 Regeln

„Die Ausnahme bestätigt die Regel in den nicht ausgenommenen Fällen.“ (Cicero, 1997, S. 327).

Biologische Regeln sind Verallgemeinerungen eines durch Beobachtung und Vergleich in vielen Einzelbeispielen immer wieder entdeckten „regelmäßigen“ (korrelativen) Zusammenhangs zwischen zwei oder mehr Größen. Sie sind ausschließlich deskriptiv (beschreibend), liefern aber keine Erklärung für die Ursache des entdeckten regelhaften Musters. Getreu des von Ciceros oben zitierten juristischen Aussage abgeleiteten Sprichworts „Ausnahmen bestätigen die Regel“ besitzen naturwissenschaftliche Regeln keinen absoluten oder universellen Gültigkeitsanspruch. Dementsprechend fällt bei ihnen auch das Kriterium der Falsifizierbarkeit nicht derart stark ins Gewicht wie z.B. bei den universellen Naturgesetzen der Physik. Das heißt, sie sind prinzipiell auch dann noch gültig, wenn man Ausnahmen von ihnen entdeckt (vgl. Stäudel, Werber & Freiman, 2002, S. 81). Beispiele für Regeln in der Biologie sind in der folgenden Box dargestellt.

• Mendel'sche Regeln	• Biogenetische Grundregel	• Die RGT-Regel
• Bergmann'sche Regel	• Pflanzengeographische Regeln (Werner'sche Regeln)	• (Insel-)Verzweigung
• Allen'schen Regel	• Herzgewichtsregel (Hesse'sche Regel)	• (Insel- und Tiefsee-) Gigantismus
• Rend'sche Regel	• Färbungsregel (Gloger'sche Regel)	• Dolo'sche Regel
• Oberflächenregel	• Lotka-Volterra-Regeln	• Cope'sche Regel
• Hamiltons Regel	• Abundanzregel	• Chargaff'sche Regeln

Beispiel 2: Auflistung biologischer Regeln

3.3 Gesetze

„The trend in science is to avoid using the word ‘law’ ... this word has its historical origins and meanings ... In the past when people believed that something was right, it should always hold true. But as time goes on, different laws like Newton's laws no longer stand ... Even though we called them laws in the past, they are actually not laws at all“ (Wong & Hodson, 2008, S. 122).

Wie Regeln basieren naturwissenschaftliche Gesetze auch auf der Beobachtung und Messung und sind in der Regel formalisierbare (d.h. in Form mathematischer Formeln darstellbare) Verallgemeinerungen von bestimmten, in der physischen Welt beobachtbaren Zusammenhängen zwischen zwei oder mehreren messbaren Größen (vgl. Stäudel et al., 2002, S. 81, vgl. Reinisch & Krüger, 2014, S. 43). Im Gegensatz zur Regel hat ein naturwissenschaftliches Gesetz prinzipiell den Anspruch, eine universelle Aussage über einen bestimmten Wirkzusammenhang zu sein (vgl. Reutlinger et al., 2019). Nach dem Ideal und Vorbild der

Naturgesetze Physik oder Chemie müssen Naturgesetze universell gültig sein und dulden keine Ausnahmen (Kriterium der Universalität). Das heißt, bereits eine Falsifikation führt dazu, dass das Gesetz verworfen wird (vgl. Mayr, 2000, S. 80). Ferner müssen Naturgesetze dem physikalisch-mathematischen Wissenschaftsideal der quantitativen Exaktheit genügen (vgl. Kyrielis, 1999), sodass es mit ihnen möglich sein muss, bestimmte Zustände und Zustandsänderungen der im Gesetz formulierten Größen quantitativ exakt zu berechnen und vorherzusagen (Kriterium der Prognostizierbarkeit). Genau hier liegt aber das Problem der Biologie. Die hier entdeckten Gesetzmäßigkeiten bieten zwar gute und in ihrem Trend zu meist auch richtige Vorhersagen, sie besitzen aber eine starke quantitative Unschärfe, die nicht dem physikalisch-mathematischen Wissenschaftsideal der quantitativen Exaktheit entspricht (vgl. Kyrielis, 1999). Es stellt sich die Frage, ob es in der Biologie überhaupt möglich ist, Naturgesetze mit derart universeller Gültigkeit und quantitativer Exaktheit zu formulieren. Die Ursache hierfür liegt in den Eigenschaften biologischer Forschungsgegenstände begründet. Die lebenden Systeme der Biologie sind im Vergleich zu den unbelebten Systemen der Physik oder Chemie hochkomplexe Gefüge mit zahlreichen Eigenschaften (z. B. Selbstregulation, Selbstorganisation, nichtlinear-dynamisches Verhalten sowie individuelle und stammesgeschichtliche Entwicklung), die in der unbelebten Natur nicht zu finden sind. Darüber hinaus weisen sie ein hohes Maß an Vielfalt und individueller Verschiedenheit auf und sind unendlich vielen Einflussfaktoren (auch einmaligen Zufällen wie z. B. Mutationen oder Umweltkatastrophen) ausgesetzt. Deshalb sind lebende Systeme und die mit ihnen verbundenen Phänomene vielfach verknüpfte und z. T. auch sich spontan verändernde Ursache-Wirkungs-Gefüge, die sich wegen ihrer großen qualitativen und quantitativen Spielräume bisher nicht universell und mathematisch exakt beschreiben, berechnen oder vorhersagen lassen, sondern unvermeidbar unscharf sind (vgl. Kyrielis, 1999).

Fuzzy laws Einige Autoren vertreten daher die Ansicht, dass man aufgrund der quantitativen Unschärfe besser von „fuzzy laws“ (unscharfe Gesetze) oder sogar von Regeln sprechen sollte als von Naturgesetzen (vgl. Kyrielis, 1999). Andere geben zu bedenken, dass es sich bei den Gesetzmäßigkeiten der Biologie eigentlich nur um sogenannte „Ceteris-paribus-Fälle“ handelt, die immer nur sehr eingeschränkt, d. h. unter „unnatürlichen“, stark idealisierten Bedingungen – also keineswegs universell –, gültig sind (vgl. Reutlinger et al., 2019; vgl. Elgin, 2006; vgl. Mayr, 2000, S. 79). So ist z. B. das Hardy-Weinberg-Gesetz ein idealtypisches Konstrukt, dem keine real vorfindbare Population entspricht. Auch die Lotka-Volterra-Regeln gehen von einer unter natürlichen Bedingungen nicht zu findenden idealtypischen Räuber-Beute-Konstellation aus. Sie beschreiben zwar zutreffend einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen einer Räuber- und einer Beute-Populationen und können starke oder schwache Zu- bzw. Abnahme der Population voraussagen. Ihre Aussagen sind und bleiben aber stets unscharf. Generell sind biologische Gesetzmäßigkeiten daher stets stochastische oder probabilistische Aussagen, d. h., dass sie in ihrem „Wesen“ bzw. ihrer Aussagekraft keineswegs deterministisch und universell sind wie physikalische Naturgesetze (☞ s. Kap. 3.10 und 3.11.1.1). Sie sagen aus, wie etwas mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit sein könnte, aber nicht, wie etwas sein wird. Im Gegensatz zu einem physikalischen Naturgesetz, das sich stets bewahrheitet, handelt es sich hierbei also um Vorhersagen, die sich gelegentlich auch mal nicht bewahrheiten können. Einige Autoren sprechen daher auch von statistischen oder stochastischen Gesetzmäßigkeiten.

Ceteris paribus Fälle

Stochastische bzw. Probabilistische Gesetzmäßigkeiten vs. deterministische Gesetze

Eine Reihe von Gesetzen der Physik und der Chemie spielen auch in der Biologie eine Rolle und tragen dazu bei, das bestimmte Vorgänge (z. B. die Basenpaarung der DNA, Stoffwechselreaktionen und deren Produkte oder Muskelkontraktionen und die daraus resultierenden Bewegungen), zumindest isoliert betrachtet, vollständig beschreibbar und auch erklärbar sind (vgl. Kyrielis, 1999, vgl. Mayr, 2000, S. 59). Für viele der in der Biologie zunächst als Gesetze bezeichneten probabilistischen Aussagen wie z. B. für die von Gregor Mendel 1865 formulierten „Gesetzmäßigkeiten“ der Vererbung oder die von Ernst Haeckel 1866 beschriebenen „Gesetzmäßigkeiten“ in der Individualentwicklung von Lebewesen oder für die von Edward Drinker Cope 1896 entdeckte Tendenz der Größenzunahme von Lebewesen im Laufe ihrer stammesgeschichtlichen Entwicklung sind mittlerweile so viele Ausnahmen bekannt, dass sie inzwischen als Regeln (Mendel'schen Regeln, Cope'sche Regel) bezeichnet werden (vgl. Wong & Hodson, 2008, S. 122; vgl. Ritter, 1974). Ihre Formeln und Diagramme werden dann in der Regel den Modellen (formalisierte Modelle) zugeordnet. Wie die einleitend zitierte Aussage eines Molekularbiologen andeutet, könnte der mittlerweile spärliche Gebrauch des Begriffs „Gesetz“ in der Biologie auch ursächlich mit einem generellen Wandel im wissenschaftlichen Selbstverständnis oder in den erkenntnistheoretischen Paradigmen der Universalität und Wahrheit verbunden sein. Beispiele für biologische bzw. biologisch relevante Gesetze sind in der folgenden Box dargestellt.

- Frank-Starling-Gesetz
- Massenwirkungsgesetz
- Fick'sche Diffusionsgesetz
- Hardy-Weinberg Gesetz
- Mitscherlich-Gesetz
- Gesetz des Minimums

Beispiel 3: Auflistung in der Biologie relevanter Gesetze

3.4 Prinzipien

„Gebildet ist, wer Parallelen sieht, wo andere etwas völlig Neues zu erblicken glauben“ (Graff, 1955, S. 77).

Der hier zitierte Aphorismus lässt sich ebenso gut auf Bildung wie auf biologische Prinzipien beziehen. Denn biologische Prinzipien (von lat. principium = Grundsatz) bringen allgemeine und besonders weitreichende Zusammenhänge (Strukturen, Mechanismen oder Funktionsweisen) zum Ausdruck (vgl. Stäudel et al., 2002, S. 81), die in unterschiedlichsten lebenden Systemen (auch in verschiedenen Organisationsebenen) wiederzufinden sind, sodass Biologen Parallelen sehen, wo andere Menschen völlig Neues entdecken. Biologische Prinzipien entspringen der vergleichenden Beobachtung einer stetig wachsenden Anzahl von Beispielen und sind das Ergebnis einer Reduktion auf eine wesentliche Gemeinsamkeit. Prinzipien vereinfachen das Verständnis von komplexen Vorgängen und erleichtern auch die Kommunikation darüber. In bestimmten Zusammenhängen können sie darüber hinaus auch einen funktionalistisch-erklärenden Wert haben. Beispiele für biologische Prinzipien sind in der folgenden Box dargestellt.

- | | |
|--|--|
| • Prinzip der Plastizität | • Prinzip der negativen Rückkopplung |
| • Boten-Prinzip | • Prinzip der positiven Rückkopplung |
| • Schlüssel-Schloss-Prinzip | • Prinzip der Oberflächenverkleinerung |
| • Gegenspieler Prinzip | • Prinzip der Oberflächenvergrößerung |
| • Gegenstromprinzip | • Prinzip der Kompartimentierung |
| • Kaskaden-Prinzip | • Konkurrenzausschlussprinzip |
| • Prinzip der (inter- bzw. intrachromosomalen) Rekombination | • Konkurrenzvermeidungsprinzip |
| • Prinzip des aktiven Transports | • Prinzip der (natürlichen) Selektion |
| • Prinzip des passiven Transports | • Prinzip der Osmose |

Beispiel 4: Auflistung biologischer Prinzipien

3.5 Theorien

„Naturwissenschaftliche Theorien selbst sind aus Fakten oder Daten logisch nicht ableitbar. Bei ihrer Formulierung spielen vielmehr persönliche Faktoren wie Einfallsreichtum, Kreativität und individuelle Erfahrung eine Rolle, die als Intuition zusammengefasst werden. Grundsätzlich bleiben deshalb alle naturwissenschaftlichen Theorien stets hypothetisch. [...] ‚Ausdenken‘ kann man sich manches Naturwissenschaftliche Theorien und Hypothesen sind aber nicht einfach ‚Denkmöglichkeiten‘. Aus ihnen abgeleitete Folgerungen (Prognosen) müssen durch Beobachtungen oder Experimente widerlegt werden können (Falsifizierbarkeit)“ (Kattmann, 2009, S. 3).

Erklärung

Während Regeln, Gesetze und Prinzipien generalisierte Beschreibungen darstellen, auf deren Grundlage man auch bestimmte Entwicklungen vorhersagen kann, dienen Theorien in erster Linie der Erklärung (Retrospektive) eben dieser (vgl. McComas, 1997, auch Beck & Krapp, 2006, auch Kattmann, 2009, S. 3, vgl. Lederman et al., 2002). In der Alltagssprache wird die Bezeichnung Theorie manchmal verwendet, um eine nicht abgesicherte, spontane Mutmaßung, Spekulation, Idee oder auch eine wirklichkeitsfremde Vorstellung zu kennzeichnen (vgl. Reinisch & Krüger, 2014, S. 43). In der Naturwissenschaft versteht man das genaue Gegenteil darunter. Eine naturwissenschaftliche Theorie ist ein großes, wissenschaftlich fundiertes, in sich stimmiges und zusammenhängendes sowie logisch widerspruchsfreies Erklärungssystem, mit dessen Hilfe man eine Vielzahl von Phänomenen widerspruchsfrei erklären kann. Eine Theorie vereint viele wissenschaftlich gewonnene und gesicherte Erkenntnisse (z.B. experimentell bestätigte Hypothesen, Modelle, Prinzipien, Gesetze etc.) (vgl. Reinisch & Krüger, 2014, S. 43). Während Gesetze und Regeln empirisch entdeckt bzw. gefunden werden können, müssen Theorien – wie das kapituleinleitende Zitat hervorhebt – in einem kreativen „Schöpfungsakt“ erfunden und entwickelt und die aus ihnen abgeleiteten Aussagen empirisch getestet werden (vgl. auch Lederman et al., 2002). In der Fachöffentlichkeit allgemein anerkannte Theorien werden i.d.R. wie Fakten behandelt (vgl. Mayr, 2000, S. 94). Auch wenn Sie den am besten abgesicherten Wissensbestand und den breitesten Geltungsbereich in der Biologie besitzen, verlieren sie strenggenommen nie ihren hypothetischen Charakter

Fakten

(Kriterium der Vorläufigkeit) und sind prinzipiell falsifizierbare Aussagengefüge (vgl. Reinisch & Krüger, 2014, S. 43) (☞ s. Kap. 2.1). Stellen neue experimentelle Befunde die Theorie in Frage und zeigen fundamentale innere Widersprüche auf, muss sie modifiziert oder sogar verworfen und durch eine bessere Theorie ersetzt werden. Dies geschah z. B. mit der Katastrophentheorie von Cuvier oder der Präformationstheorie.

Die synthetische Evolutionstheorie, welche mehrere Einzeltheorien im Umfeld von Darwins Theorie der natürlichen Selektion beinhaltet, und die Systemtheorie haben eine Sonderstellung innerhalb der Biologie.

Evolutionstheorie
Systemtheorie

Exkurs: Systemtheorie in der Biologie

Die Forschungsgegenstände der Biologie werden mittlerweile als hochkomplexe vielfach ineinander integrierte lebende Systeme¹ verstanden, welche emergente Eigenschaften² besitzen. Diese kommen unter anderem dadurch zustande, dass in einem vielzelligen Organismus sämtliche innere Systembestandteile direkt oder indirekt über unterschiedliche neuronale und endokrine Botenstoffe der Nah- und Fernkommunikation miteinander verknüpft sind. Sie beeinflussen sich gegenseitig in vielfältigen positiven und negativen Rückkopplungsschleifen, sodass jeder Prozess sowohl Wirkung als auch Ursache eines anderen Prozesses ist (vgl. Götz & Knodel, 1980, S. 106). Dies kann auch dazu führen, dass direkte, lokale Wechselwirkungen zwischen zwei Bestandteilen (z. B. zwischen zwei benachbarten Geweben) indirekt Auswirkungen auf den ganzen Organismus haben können. Auf allen biologischen Systemebenen gibt es zwar Vorgänge, die isoliert betrachtet mit Hilfe chemisch-physikalischer Prinzipien und Gesetze vollständig beschreibbar und erklärbar sind³, sodass sich die Biologie einige

- 1 Jedes konkrete biologische Ding ist sowohl ein System, welches aus zahlreichen in sich integrierten Bestandteilen besteht, als zugleich auch ein integrativer Bestandteil (Subsystem) eines anderen, größeren Systems (vgl. Götz & Knodel, 1980, S. 111, vgl. Mahner & Bunde 2000, S. 27).
- 2 Emergenz bezeichnet die Fähigkeit lebender Systeme, qualitativ neuartige Eigenschaften hervorzubringen, die durch die Summe der Fähigkeiten ihrer einzelnen Bestandteile nicht erzeugbar sind, sondern erst durch Interaktion ihrer Bestandteile entstehen (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 62, auch Götz & Knodel, 1980, S. 111, auch Mahner & Bunge, 2000, S. 31, auch Mayr, 2000, S. 42f.). Zu den emergenten Eigenschaften lebender Systeme gehören u. a. die Fähigkeit zur Selbstregulation durch innere Regelungsmechanismen (z. B. negatives oder positives Feedback) oder die Fähigkeit zur Selbstorganisation (die Fähigkeit sich selbst zu bilden oder sich eigeninitiativ, d. h. ohne von außen einwirkende Steuerung, weiterzuentwickeln) (vgl. Ludewig & Maturana 2006 S. 40). Beispiele für Selbstorganisation sind: Die spontane Bildung von Mikrotubuli aus globulären Proteinmolekülen in zellfreien Systemen, die Ausbildung von Geweben und Organen aus einer Zygote während der Embryonalentwicklung (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 34), die spontane Bildung eines Augenbeckers durch embryonale Stammzellen in einer Petrischale oder das Phänomen der Schwarmintelligenz in menschlichen Populationen (vgl. Hamann 2019). Auch das Phänomen der Nischenkonstruktion (aktive Veränderung der eigenen Selektionsfaktoren und Evolution durch Konstruktion oder Umgestaltung der eigenen ökologischen Nische) ist ein weiteres Beispiel für die Fähigkeit zur Selbstorganisation (vgl. Laubichler 2005, S. 118, Newman, 2010, S. 295). Beispiele für Nischenkonstruktion sind der Beginn der Milchviehhaltung des Menschen nach Auftritt der mutationsbedingten Lactosetoleranz vor etwa 10.000 Jahren, die Bildung von Insektenstaaten, die durch ihre Bauten abiotische Bedingungen schaffen, welche förderlich für die Aufzucht ihres Nachwuchses sind oder auch Biber, die durch den Bau von Dämmen ihre Umwelt so gestalten, dass sie im Hinblick auf ihre Lebensweise vorteilhaft ist (vgl. Odling-Smee 2010, S. 194).
- 3 Dazu zählen z. B. der Konzentrationsausgleich bei der Osmose, der Transpirationssog (Kohäsion und Adhäsion) beim Wassertransport, die Protonenpumpen bei der Photosynthese, die Einstellung eines Ruhepotenzials, die Hitze-Denaturierung von Proteinen, die Basenpaarung der DNA usw.

Konzepte und erklärende Prinzipien mit der Physik und der Chemie teilt (vgl. Mayr, 2000, S. 59). Dennoch ist es aufgrund der Komplexität nicht möglich, lebende Systeme auf ihre Physik und Chemie zu reduzieren, geschweige denn mathematisch exakt zu berechnen oder ihr Verhalten und ihre Entwicklung mithilfe physikalischer Naturgesetze quantitativ vorherzusagen (vgl. Bertalanffy 1990, S. 159, vgl. Eschenhagen et al. 2003, S. 59 ff., vgl. Mayr, 2000, S. 47). Insgesamt zwingt die Komplexität realer lebender Systeme die Biologie dazu, die Analyse eines Systems in so viele Ebenen wie möglich zu untergliedern. Keine andere Wissenschaft kennt so viele Beschreibungs- und Erklärungsebenen wie die Biologie (vgl. Langlet, 2018, S. 93). So erforscht die Molekularbiologie v.a. die molekulare Ebene einer Zelle, die Zytologie im Schwerpunkt die zelluläre Ebene, die Histologie hauptsächlich die Gewebeebene und die Anatomie die Organismusebene (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 30).

Aufwärtsbetrachtung
Abwärtsbetrachtung

Aufwärtserklärungen

Abwärtserklärungen
Systematische
Erklärung

Will man ein komplexes System (z.B. einen Organismus) analysieren, kann man dabei entweder von „oben nach unten“ (Abwärtsbetrachtung) oder „von unten nach oben“ (Aufwärtsbetrachtung) vorgehen (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 40). Je nach Forschungsansatz findet man in biologischen Theorien daher sowohl Aufwärtserklärungen (Erklärung des Systemganzen durch Deduktion aus Aussagen über einzelne seiner Bestandteile) als auch Abwärtserklärungen (Erklärung eines Systembestandteils durch Deduktion aus Aussagen über das Systemganze) sowie systematische Erklärungen, die beide „Richtungen“ ineinander vereinen (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 104 f.). Generell gilt eine Theorie (aber auch Hypothesen und Erklärungen) als umso tiefer, je mehr Systemebenen sie miteinbezieht (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 102). Generell ist die Fähigkeit, zwischen den Systemebenen zu wechseln, eine der Kernkompetenzen im Biologieunterricht (vgl. Langlet, 2018, S. 93).

Historische
Systeme

Darüber hinaus ist aber auch eine zeitliche Ebene bei der Erforschung lebender Systeme zu berücksichtigen, da alle lebenden Systeme auch als **historische Systeme**⁴ zu verstehen sind, deren aktuellen, charakteristischen Eigenschaften das Ergebnis der Evolution sind. (vgl. Laubichler 2005, S. 115).

Aufgrund der Eigenschaften lebender Systeme können die Forschungsgegenstände der Biologie insgesamt nur in Abhängigkeit von Komplexität (Systemtheorie) und Zeit (Evolutionstheorie) verstanden werden (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 38). Die Pfeilrichtungen in Abbildung 2 verdeutlichen, dass der Verlauf der Evolution nur gegen die Zeitrichtung rekonstruiert aber in keinem Fall vorhergesagt werden kann und, dass lebendige Systeme (Biosysteme) nur analysiert, aber nicht allein aufgrund der Kenntnis isolierter Bestandteile vollständig rekonstruiert werden können (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 38).

4 Historische Systeme zeichnen sich u.a. dadurch aus, dass sie nicht vollständig reversibel sind. Damit ein System nicht altert, müsste es beispielsweise immer zu seinem ursprünglichen Zustand zurückkehren können (vgl. Ludewig & Maturana, 2006, S. 53). Das ist lebenden Systemen aber nicht oder nur sehr begrenzt möglich. So kann z.B. ein Schmetterling seine Metamorphose nicht rückwärts durchlaufen, und auch im Falle von Rückprogrammierten embryonalen Stammzellen wird die Spur des Lebens in Form von erworbenen Mutationen deutlich.

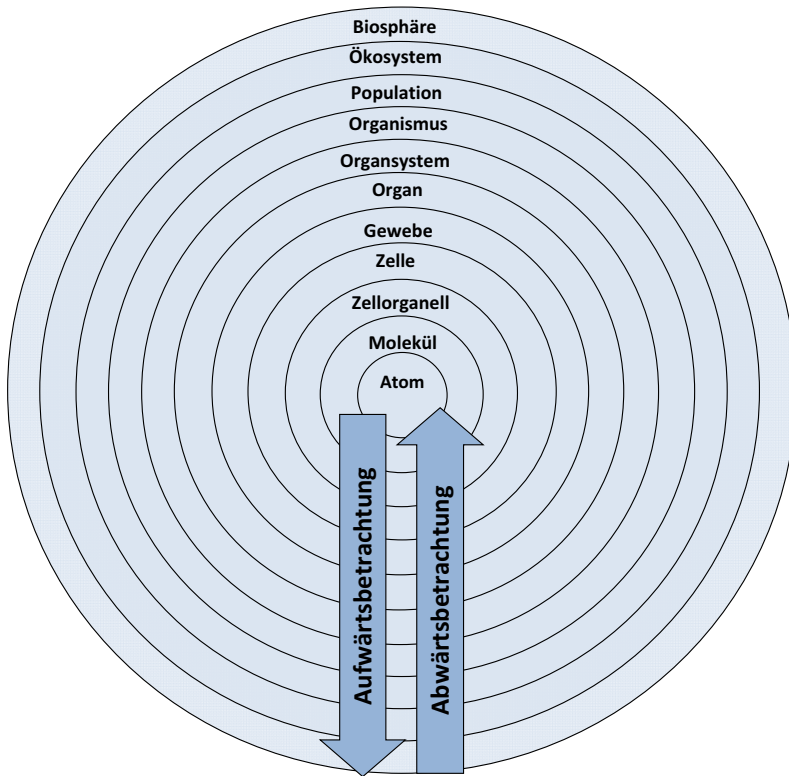


Abbildung 2: Aufwärts- und Abwärtsbetrachtung in lebenden Systemen

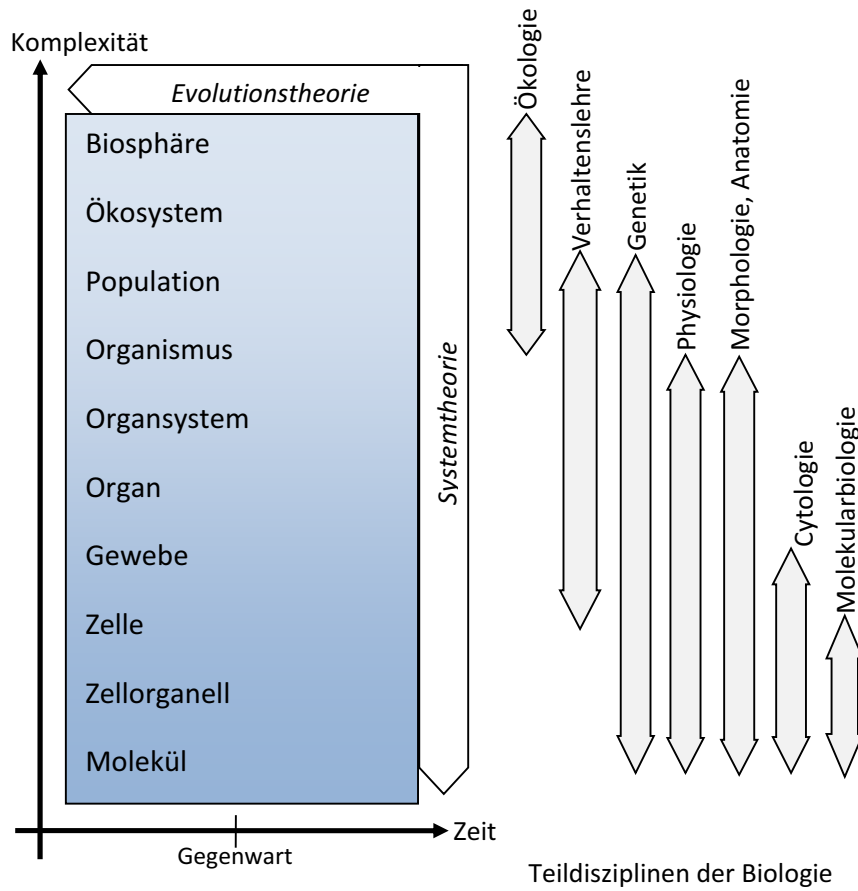


Abbildung 3: Struktur der Naturwissenschaft Biologie (verändert nach Eschenhagen et al., 2003, S. 38)

Beispiele für biologische Theorien sind in der folgenden Box dargestellt.

- | | |
|---|--|
| • Endosymbiontentheorie | • Deszendenztheorie (Abstammungstheorie) |
| • Zelltheorie | • Theorie des genetischen Codes |
| • Chromosomentheorie der Vererbung | • Telomtheorie |
| • Selektionstheorie | • Gleitfilamenttheorie |
| • Neutraltheorien (neutrale Theorie der molekularen Evolution, neutrale Theorie der Biodiversität) | • Druckstromtheorie |
| • Theorie der Inselbiographie | • Kohäsionstheorie der Wasserleitung |
| • Theorie des optimalen Nahrungserwerbs (Optimal-foraging-Theorie) | • Systemtheorie |
| • synthetische Evolutionstheorie | • Nischentheorie |
| • Kontingenztheorie | • Konvergenztheorie |

Beispiel 5: Auflistung biologischer Theorien

3.6 Modelle und Konzepte

„Die Naturwissenschaften sind auch der Versuch, natürliche Phänomene zu beschreiben, zu erklären und vorherzusagen. Eine Zielsetzung von Naturwissenschaften ist es, Erfahrungen des Menschen mit der belebten und unbelebten Natur in eine rational nachvollziehbare Ordnung zu bringen“ (Kremer, 2010, S. 51).

Im Hinblick auf die hier zitierten Zielsetzungen des Beschreibens, Erklärens und Vorhersagens natürlicher Phänomene besitzen Modelle – in den unterschiedlichsten Formen und Einsatzweisen – in den Naturwissenschaften mittlerweile einen sehr hohen Stellenwert.

Modell
Modellobjekt

Modelle sind theoretische Rekonstruktionen eines natürlichen oder theoretischen Originals⁵. Weil es sowohl gedankliche Modelle als auch gegenständliche Modelle gibt, kann es hilfreich sein, auch terminologisch, zwischen der Idee bzw. der gedanklichen Vorstellung von etwas (dem „**Modell**“) und seiner konkreten Erscheinungsform (dem „**Modellobjekt**“) zu unterscheiden (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010, S. 44). Grundsätzlich sind Modelle stets keine exakten Kopien des realen oder theoretischen Originals, da sie immer zweckgebunden und idealisiert sind. Das heißt, sie stellen nur einen verkürzten Ausschnitt, eine überschaubare Anzahl von Aspekten oder Variablen des Originals dar, nämlich jene, die für einen konkreten Einsatzzweck relevant sind (vgl. Terzer et al., 2013, S. 54,

5 Das theoretische Original kann z. B. die erste Lotka-Volterra-Regel sein und das Modell die dazu passende mathematische Formel oder ein Diagramm, welches sie veranschaulicht und sogar konkret für quantitative Hochrechnungen und Vorhersagen nutzbar macht. Es kann aber auch bedeuten, dass ein Modell selbst als Original bzw. Ausgangsobjekt für ein weiteres Modell dient. So kann man mit Kugeln und löchrigen Wänden aus Plexiglas ein Modell der Pfeffer'schen Zelle, sprich: ein Modell vom Modell, bauen (vgl. Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010, S. 42, vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 335).

vgl. Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 42). In der Wissenschaft aber auch im Unterricht werden sie zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt.

In der Funktion als „models of known things and processes“ (models of sth) werden sie zum Zwecke der Vereinfachung und Veranschaulichung komplexer Zusammenhänge oder den menschlichen Sinnen nicht direkt zugänglichen, sehr kleinen oder sehr großen Strukturen (z.B. molekularer Strukturen, vielschichtige Prozesse oder Mechanismen) eingesetzt (vgl. Harré, 1970, S. 40). Sie haben dabei einen beschreibenden und vermittelnden Zweck (Modellzweck: Beschreiben) (vgl. Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 53, auch Eschenhagen et al., 2003, S. 338) oder werden eingesetzt, um korrelative oder kausale Zusammenhänge zu erklären (Modellzweck: Erklären) (vgl. Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 53). Darüber hinaus werden von ihnen aber auch Hypothesen bzw. Vorhersagen über das Verhalten des Modells selbst oder die in ihm modellierte Realität abgeleitet (Modellzweck: Vorhersage), die im anschließenden Erkenntnisgewinnungsprozess getestet werden (vgl. Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 45 ff.). Dabei tritt das Modell dann entweder selbst (z.B. Funktionsmodell der menschlichen Wirbelsäule) an die Stelle des Originals und wird zur Generierung neuer Daten genutzt (z.B. Angaben über ihre Beweglichkeit, quantitative Aussagen über die Statik der Wirbelsäule, oder wenn die Stärke des Beißdrucks eines anhand fossiler Funde exakt rekonstruierten Schädelmodells eines *T. rex* experimentell ermittelt wird, um herauszufinden, ob er ein Räuber oder ein Aasfresser war) (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 251 u. S. 335, auch Langlet, 2018, S. 86), oder das Modell wird durch Vergleich mit empirischen Daten, die am Original erhoben wurden, getestet. Können mit dem Modell alle gewonnenen Daten erklärt werden, dann bestätigt dies die Richtigkeit des Modells. Ist das Gegenteil der Fall, muss das Modell ggf. modifiziert werden (vgl. Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 42 ff.).

models of sth

Modellzweck:
Beschreiben

Modellzweck:
Erklären

Modellzweck:
Vorhersagen

In der Biologie gibt es die unterschiedlichsten Formen von Modellen, welche in der folgenden Auflistung kurz erläutert werden:

- **Modellorganismen:** Ein gut erforschter Organismus, der exemplarisch oder stellvertretend für viele andere, ähnliche Organismen steht. So wird z.B. der Modellorganismus *E. coli* als Modell zur Erforschung und Erklärung zahlreicher Vorgänge in anderen, vergleichbaren Bakterien genutzt. Ähnliches kennen wir auch aus der Biologiedidaktik bzw. dem Biologieunterricht und dem maßgeblich von Wagenschein entwickelten Prinzip der didaktischen Reduktion und Exemplarität (exemplarisches Lernen). Hier werden z.B. die gelben und schwarzen Querstreifen von Schwebfliegen oder Stabheuschrecken zu Modellen bzw. Modellorganismen, an denen stellvertretend für zahlreiche andere Tiere das Phänomen der Mimikry bzw. der Mimese veranschaulicht wird.
- **Tiermodelle:** In der biomedizinischen Forschung treten bestimmte Tierarten oder Zuchtlinien bei der Erforschung von Ursachen oder der Entwicklung von Behandlungsmethoden für bestimmte Erkrankungen an die Stelle des menschlichen „Originals“.
- **Modellversuche:** Bestimmte „Handexperimente“ werden eingesetzt, um bestimmte fachinhaltliche Zusammenhänge phänomenologisch zu veranschaulichen oder bestimmte Charakteristika des Experiments oder einer Arbeitstechnik zu verdeutlichen (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 242).

Modellorganismen

Tiermodelle

Modellversuch

Gegenständliche oder bildliche Modelle

- **Gegenständliche oder bildliche Modelle:** Im Biologieunterricht werden häufig dreidimensionale gegenständliche Modelle⁶ sowie zweidimensionale bildliche Modelle (z.B. Stoffkreisläufe, das Operon-Modell) zur Darstellung von Strukturen, Mechanismen, Prozessen oder theoretischen Konstrukten verwendet, die für das menschliche Auge natürlicherweise nicht direkt zugänglich sind.

Formalisierte Modelle

- **Formalisierte Modelle:** Das sind z.B. Reaktionsgleichungen, Strukturformeln aber auch stochastische Gleichungen (z.B. Hardy-Weinberg-Gleichgewicht), welche Theorien, Gesetze oder Regeln in der Sprache der Mathematik oder Chemie verdeutlichen und für Berechnungen und Vorhersagen bestimmter Aspekte der komplexen Realität eingesetzt werden können. Formalisierte Modelle spielen auch bei **Simulationssoftware** eine Rolle, um z.B. bestimmte Populationsentwicklungen zu simulieren und für die Formulierung von Prognosen zu nutzen.

Simulationssoftware

Analogien

- **Analogien:** Die einfachste Form eines Modells ist eine Analogie, welche auch in Wissenschaftskreisen häufig am Anfang einer Forschungs- oder Entwicklungslinie herangezogen wird, wenn es noch kein konkretes Modell oder keinen klaren Begriff für etwas gibt (vgl. Giere et al., 2006, S. 21). So verwendete Watson, noch bevor er mit Crick die Struktur der Doppelhelix aufgeklärt hatte, die Analogie einer Wendeltreppe und war inspiriert von Linus Paulings α -Helix. In der Chemie diente z.B. das Sonnensystem als Analogie und Inspiration zur Entwicklung der ersten Atommodelle (vgl. Giere et al., 2006, S. 21). Klassische Analogien der Biologiedidaktik sind z.B. der Vergleich einer Zelle mit einem Unternehmen bzw. einer Fabrik oder die Darstellung bestimmter Aspekte der Enzymkinetik mit der Abfertigung an Fahrkartenschaltern an großen Bahnhöfen (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 336).

Wie die naturwissenschaftshistorischen Beispiele für Analogien verdeutlichen, sind Modelle gerade am Anfang neuer Forschungslinien, wenn die Evidenzgrundlage noch gering ist, häufig noch sehr spekulativ und damit eher das Produkt einer „creative imagination“ oder Intuition (☞ s. Kap. 4.2) eines Wissenschaftlers als das Ergebnis einer starken empirischen Evidenz (Hesse, 1953, S. 198). Sie fungieren dann als „Arbeitshypothesen“ oder „models for unknown mechanisms“ (Harré 1970, S. 40) (**models for sth**) und treten damit in einen neuen, prinzipiell nie abgeschlossenen Prozess der Modellbildung ein, in dem sie sich vor dem Hintergrund einer immer größer werdenden Datenbasis sukzessive verändern.

models for sth

Konzepte

In der Biologie haben **Konzepte** (von lateinisch *conceptum* ‚das Zusammengefasste‘) wie z.B. ökologische Nische, adaptive Radiation oder Altruismus einen sehr hohen Stellenwert. Dabei gibt es keine klare Definition von dem, was ein Konzept ist, da alles, von dem man sich eine geistige Vorstellung machen kann, prinzipiell ein Konzept ist (vgl. Mayr, 2000, S. 96). Ähnliches gilt auch für die Physik (z.B. Welle-Teilchen-Dualismus) oder Chemie (z.B. Säure-Base-Konzept nach Brönsted). Selbst die Entwicklung des Genbegriffs oder die Erforschung der Fotosynthese stellen letztlich nichts anderes als eine Ideengeschichte bzw. die Geschichte der Entwicklung einer mehr oder weniger abstrakten oder vereinfachten Modellvorstellung von etwas dar, welche mithilfe von unterschiedlichen gegenständlichen, bildlichen oder formalisierten Analog- und Homolog-

6 hauptsächlich statische Strukturmodelle (z.B. ein vergrößerter Nachbau des Herzens, der DNA, der tierischen Zelle) oder dynamische Funktionsmodelle (z.B. das Donder'sche Modell der Zwerchfellatmung, Die Pfeffer'sche Zelle, Funktionsmodell der Wirbelsäule)

Modellobjekten dargestellt werden können. Auch das Konzept der ökologischen Nische ist im Grunde nichts anderes als das, was das lateinische Wort *conceptum* (s.o.) schon sagt: ein stark vereinfachtes und abstrahiertes Modell der weitaus komplexeren Nischentheorie (☞ s. Kap. 3.5). Beispiele für Modelle in der Biologie sind in der folgenden Box dargestellt.

- Modellorganismus
- Modell des Lac-Operons
- Optimalitätsmodell
- Hardy-Weinberg-Gleichgewicht
- Funktionsmodell der Wirbelsäule
- Modell einer pflanzlichen Zelle
- Donder'sches Modell der Zwerchfellatmung
- Modellexperiment (Modellversuch)
- Modelle der Artbildung (allopatrische, sympatrische oder parapatrische)
- Züchtung von Haus- und Nutztieren bzw. Nutzpflanzen als Analogie-Modelle für natürliche Selektion
- Flüssig-Mosaik-Modell
- Doppelhelix-Modell der DNA
- Reaktionsgleichung
- Modell des Citrat-Zyklus
- Modell des Phosphatkreislaufs
- Abundanz- und Dispersions-Karten
- Pfeffer'sche Zelle
- Tiermodell
- Enzymmodelle
- Analogie von Zelle und Fabrik

Beispiel 6: Auflistung biologischer Modelle

3.7 Hypothesen

„Um Probleme zu lösen, seien es praktische, kognitive oder moralische, müssen wir Vermutungen anstellen: Dass diese Frucht essbar oder jenes Tier gefährlich ist; dass dieser Stein brauchbar ist, um eine Axt daraus zu machen; und dass diese Handlung gut (oder schlecht) ist für mich oder meine Sippe. Jede Fragestellung bringt irgendeine Vermutung hervor, und jede Vermutung stellt die neue Frage, ob sie wirklich adäquat ist d. h. wahr, wirksam oder gut“ (Mahner & Bunge, 2000, S. 76).

Wie dem Zitat zu entnehmen ist, handelt es sich bei der Hypothesenbildung bzw. der hypothetisch-deduktiven Vorgehensweise um einen im Grunde ursprünglichen und tief im Menschen verankertes Vorgehen des Problemlösens. Dabei wurde und wird die Bezeichnung Hypothese in der Geschichte der Naturwissenschaften keineswegs einheitlich verwendet (vgl. McComas, 1997).

Ein Beispiel aus den Anfängen der Molekulargenetik: Als Beadle und Tatum Anfang der 1940er Jahre mit ihren Forschungen am Schlauchpilz *Neurospora crassa* begannen, hatten sie eine vage Idee von dem, was später als Ein-Gen-Ein-Enzym-Hypothese bezeichnet wurde. Bereits 1909 hatte der britische Arzt Archibald Garrod, welcher Patienten mit der angeborenen Stoffwechselstörung Alkaptonurie behandelte, aus seinen Beobachtungen die Vermutung abgeleitet, dass ein Enzymdefekt vorläge, der möglicherweise genetisch fixiert sei. Im Verlauf ihrer Experimente festigte sich diese Idee aufgrund weiterer Beobachtungen und konnte schließlich 1945 (nach vielen Kosten und Mühen) empirisch anhand vom Wachstumsverhalten bestimmter Mangelmutanten von *Neurospora* auf unterschiedlichen Nährmedien empirisch bestätigt werden. Die erst im

Nachgang zu ihrer Veröffentlichung als solche bezeichnete Ein-Gen-Ein-Enzym-Hypothese war geboren und galt auch als Bestätigung der von Garrod in Bezug auf die Alkaptonurie geäußerten Vermutung. Allerdings hatten auch Beadle und Tatum noch keine Erklärung für den von ihnen experimentell bestätigten Zusammenhang. Sie wussten zwar bereits einiges über Enzyme, doch sie konnten noch nicht die Struktur der DNA, geschweige denn der RNA und wussten nichts über den genetischen Code für Proteine. Auch das „Gen“ selbst war dementsprechend eine materiell eher vage Einheit, eine Idee. Kurz und gut: Zu dieser Zeit gab es noch keine Theorie der Proteinbiosynthese, in der ihre Ein-Gen-Ein-Enzym-Hypothese als Lehrsatz einzuordnen gewesen wäre. Sie war daher eine mehr oder weniger **isolierte Hypothese**⁷ (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 80). Eine theoretische Einbettung erfolgte erst sehr viel später, als die Ein-Gen-Ein-Enzym-Hypothese als Teil der Theorie der Proteinbiosynthese den Status einer **systemischen Hypothese**⁸ erlangte (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 80).

Das Beispiel zeigt, dass der Terminus Hypothese mindestens drei verschiedene Status von wissenschaftlichen Aussagen bezeichnen kann, die sich nach ihrem Bewährungs- und Integrationsgrad aufsteigend sortieren lassen.

Begründete Vermutung

(H1) Hypothese als bislang ungeprüfte, aber begründete Annahme, die mithilfe von empirischen Methoden geprüft werden soll (begründete Vermutung).

Isolierte Hypothese

(H2) Hypothese als empirisch geprüfte Aussage, ohne erklärt oder in eine bestehende Theorie eingeordnet werden zu können (isolierte Hypothese).

Systematische Hypothese

(H3) Hypothese als gut begründete, empirisch geprüfte Aussage, die im Rahmen einer Theorie ein Theorem⁹ darstellt (systematische Hypothese).

(leicht verändert nach Woll 2019, auch Mahner & Bunge, 2000, S. 80)

phänomenologische (generalisierende) Hypothese
mechanismische (erklärende) Hypothese

Für alle drei dargestellten Status einer wissenschaftlichen Hypothese gilt: In Bezug auf ihre Herkunft und die Eigenschaften ihrer Aussagen lassen sich zwei Grundtypen unterscheiden, erstens, phänomenologische (auch generalisierende) Hypothesen und zweitens mechanismische (auch erklärende) Hypothesen (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 79, auch McComas, 1997). Die folgende Tabelle stellt beide Grundtypen gegenüber.

7 Eine Hypothese, die nicht unter einer Theorie subsumiert werden kann.

8 Systemische Hypothese: Eine Hypothese, die Bestandteil eines größeren organisierten Wissensbestandes, sprich: einer Theorie, ist. Systemische Hypothesen haben den Vorteil, dass man einerseits aus ihnen gemeinsam mit den anderen Hypothesen des Hypothesensystems durch logisches Folgern weitere Hypothesen generieren kann. Andererseits werden sie im Gegensatz zu isolierten Hypothesen nicht allein durch die empirischen Belege gestützt, die für sie selbst unmittelbar relevant sind, sondern auch indirekt durch die Belege für die anderen Bestandteile des Hypothesensystems (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 80).

9 Ein Theorem ist ein empirisch überprüfter, allgemein anerkannter Lehrsatz einer Theorie, der in keinem logischen Widerspruch zu anderen geprüften und erklärten Aussagen der Theorie steht.

Tabelle 1: Zwei Grundtypen von Hypothesen

	Phänomenologische (auch generalisierende) Hypothese	Mechanismische (auch erklärende) Hypothese
Eigenschaft	Beschreibend (deskriptiv), keinen Mechanismus angehend	Erklärend (explikativ), einen Mechanismus angehend
Herkunft	Entweder <i>induktiv</i> aus Beobachtungen oder <i>deduktiv</i> aus Regeln, Gesetzen usw. abgeleitet	Entweder <i>deduktiv</i> aus Theorien abgeleitet, aber auch <i>kreativ</i> z. B. aus Analogien abgeleitet oder der Intuition entsprungen
Beispiel	<i>Die Stärke einer enzymatischen Reaktion (abhängige Variable) ist abhängig von der Höhe des pH-Werts (unabhängige Variable).</i>	<i>Durch Erhöhung des pH-Werts (unabhängige Variable) ändert sich die Struktur des aktiven Zentrums des Enzyms (abhängige Variable), sodass sich das Substrat nicht mehr an seinem aktiven Zentrum anlagern kann und umgesetzt wird (abhängige Variable).</i>

Wissenschaftliche Forschung beginnt häufig mit phänomenologischen (generalisierenden) Hypothesen, die später sukzessive durch mechanismische (erklärende) Hypothesen ergänzt werden (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 79). Die oben erwähnte Ein-Gen-Ein-Enzym-Hypothese wäre demzufolge eine generalisierende Hypothese, die einen Zusammenhang zwischen zwei Faktoren zwar beschreibt, aber nicht durch Angabe eines Mechanismus erklärt (☞ s. Kap. 3.11.1). Generell gibt es viele unterschiedliche Wege, zu Hypothesen zu kommen. Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele.

Tabelle 2: Herkunft von Hypothesen (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 76)

Hypothesenbildung durch ...	Erläuterung
Induktion ¹⁰	Durch Vergleich einiger Einzelfälle werden übergeordnete Muster oder Gemeinsamkeiten deutlich, die in einer generalisierenden Hypothese zusammengefasst werden.
Assoziation	Beobachtung: A und B treten häufig zusammen oder hintereinander auf. Daraus folgt die Vermutung, dass A und B in irgendeiner Weise korreliert sind. Folgenden Assoziationen sind denkbar: <ul style="list-style-type: none"> – <i>Alle As sind Bs</i> (qualitative Hypothese). – Wenn ich a um 5 erhöhe, verdoppelt sich b (quantitative Hypothese). – <i>50% aller As sind Bs</i> (statistische Hypothese). – <i>Die Wahrscheinlichkeit, dass a am Ort b zur Zeit t auftritt ist > 0,5</i> (probabilistische Hypothese). – Ereignis a führt zu b in C (kausale Hypothese).
Inspiration	In anderen Bereichen des Lebens oder der Wissenschaft werden Konzepte, Mechanismen o.Ä. entdeckt, die für die Lösung eines biologischen Problems hilfreich sein könnten. Diese werden dann auf die Biologie als Analog-Hypothesen übertragen. ¹¹
Intuition	Hypothesen werden durch Nachdenken über wissenschaftliche Probleme gewonnen und sind kreative Ideen (Gedankenkonstrukte), mit denen diese Probleme gelöst werden könnten (☞ s. Kap. 4.2).
Deduktion ¹²	Aus einer bereits existierenden Theorie werden Aussagen über einen noch nicht erforschten Sachverhalt abgeleitet.

10 Induktion: Eine Form des logischen Schlussfolgerns, bei der vom Besonderen auf das Allgemeine geschlossen bzw. aus Einzelfällen eine allgemeine Regel abgeleitet wird.

11 Darwins Hypothese der natürlichen Auslese war inspiriert durch Schriften über ökonomische Konkurrenz und Überbevölkerung des britischen Ökonoms T.R. Malthus (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 77)

12 Deduktion: Eine Form des logischen Schlussfolgerns, bei der vom Allgemeinen auf das Besondere geschlossen bzw. aus Regeln, Gesetzen, Theorien Aussagen über konkrete Einzelfälle abgeleitet werden.

Generell sind wissenschaftliche Hypothesen überlegte (nicht ad hoc formulierte oder geratene) und mit dem wissenschaftlichen Hintergrundwissen (sofern bereits vorhanden) in Beziehung gesetzte (und i.d.R. mit ihm verträgliche), empirisch widerlegbare Aussagen (Kriterium der Falsifizierbarkeit) über einen vermuteten Zusammenhang zwischen zwei Faktoren realer Sachverhalte, die über den Einzelfall hinaus gehen (vgl. Mahner & Bunge, 2000, S. 76, vgl. Tausendpfund, 2018, S. 92, vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 57). Dementsprechend müssen aus ihnen, wenn sie empirisch überprüft werden sollen, noch Folgerungen für den konkreten Einzelfall abgeleitet werden. Das heißt, aus einer allgemeingültigen Hypothese werden deduktiv Aussagen (Folgerungen) abgeleitet, die den Ausgang eines konkreten Experiments, einer konkreten Beobachtung, sprich: das Eintreten oder Nicht-Eintreten von bestimmten Ergebnissen, vorhersagen (vgl. Eschenhagen et al., 2003, S. 57). Eine solche auf den konkreten Einzelfall bezogen operationalisierte (d.h. messbar gemachte) Aussage wird dann als Vorhersage bezeichnet (vgl. McComas, 1997, auch Giere et al., 2006, S. 28 u. 31, auch Arnold et al., 2010, S. 12, auch Arnold et al., 2014, S. 84). Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht den Unterschied zwischen einer Hypothese und einer Vorhersage an zwei Beispielen.

Vorhersage

	Beispiel 1	Beispiel 2
Hypothese	<i>Die Stärke einer enzymatischen Reaktion (abhängige Variable) ist abhängig von der Höhe des pH-Werts (unabhängige Variable).</i>	<i>Durch Erhöhung des pH-Werts (unabhängige Variable) ändert sich die Struktur des aktiven Zentrums des Enzyms (abhängige Variable), sodass sich das Substrat nicht mehr an seinem aktiven Zentrum anlagern kann und umgesetzt wird (abhängige Variable).</i>
Vorhersage	<i><u>Je</u> niedriger der pH-Wert, <u>desto</u> größer ist der Substratumsatz pro Sekunde von Pepsin. Oder alternativ: <u>Je</u> höher der pH-Wert, <u>desto</u> größer ist der Substratumsatz pro Sekunde von Pepsin.</i>	<i><u>Wenn</u> ich die Kristallstruktur von Pepsin bei pH 2 (Optimum) und pH 6 vergleiche, <u>dann</u> a) sind deutliche Unterschiede in der Struktur des aktiven Zentrums zwischen den Enzymen aus beiden Proben erkennbar und b) ist bei pH 2 ein hoher Substratumsatz pro Sekunde messbar und bei pH 6 keiner.</i>

Beispiel 7: Zwei Beispiele für die Ableitung von Vorhersagen aus Hypothesen

Wie die Beispiele zeigen, beinhaltet eine empirisch prüfbare Vorhersage in der Regel die Angabe von konkret beobachtbaren Indikatoren (☞ s. Kap. 3.1, 3.8 und 6) wie Substratumsatz pro Sekunde im Beispiel und wird häufig mithilfe von zwei gängigen Satzmustern formuliert:

Konditionalsatz → Wenn-dann-Hypothese

- Konditionalsatz (Frage: Unter welcher Bedingung geschieht oder gilt es?)
→ Satzmuster: Wenn ..., dann ... → Wenn-dann-Hypothesen

Komparativsatz → Je-desto-Hypothese

- Komparativsatz (Frage: Womit oder wie ist das Ganze verbunden?)
→ Satzmuster: je ..., desto ... bzw. je ..., umso ... → Je-desto-Hypothesen¹³

13 Der Konditionalsatz bzw. Komparativsatz der Vorhersage verdeutlicht die Wirkungsrichtung der unabhängigen Variable (☞ s. Kap. 3.7).

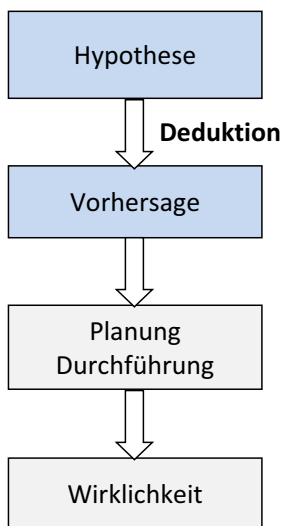


Abbildung 4:
Deduktion einer
Vorhersage (Prognose)
von einer Hypothese

In den Naturwissenschaften wird dieser Schritt zwischen einer Hypothese und ihrer differenzierten Operationalisierung durch die Planung bzw. das Design von Beobachtungen, Experimenten etc. häufig nur implizit – im Sinne einer „versteckten Prämisse“ – vollzogen und tritt häufig erst in der abschließenden Ergebnisdiskussion in Erscheinung, obwohl es sich dabei um das kognitive und namensgebende Kernelement des hypothetisch-deduktiven Erkenntniswegs handelt. Mit Blick auf den Biologieunterricht könnte die Deduktion von einer allgemeinen Hypothese auf die Operationalisierung eines konkreten Einzelfalls (Vorhersage) ein entscheidender kognitiver Schritt bzw. der „missing link“ bzw. das entscheidende Bindeglied zwischen der Hypothese und Planung sein, das Schülerinnen und Schülern hilft, den logischen Zusammenhang zwischen Hypothese und Versuchsdesign besser zu verstehen. Die Bezeichnung als Vorhersage würde zudem eine terminologische „Sichtbarmachung“ der Funktion dieses deduktiven Schritts bedeuten, die auch mit Blick auf einen sprachsensiblen

Fachunterricht lohnenswert sein kann (vgl. Krabbe, 2015, S. 163, auch Arnold et al., 2014, S. 85). Beispiele für Hypothesen (Typ H2 oder H3) in der Biologie sind in der folgenden Box dargestellt.

- RNA-Welt-Hypothese
- Ein-Gen-Ein-Enzym-Hypothese
- Ein-Gen-Ein-Polypeptid-Hypothese
- Lyon-Hypothese
- Out-of-Africa-Hypothese
- Kandelaber-Hypothese

Beispiel 8: Auflistung biologischer Hypothesen

3.8 Vorhersagen (Prädikte) und Retrodikte

„Die Falsifizierbarkeit von Folgerungen (Vorhersagen) ist das Kriterium für eine empirisch-wissenschaftliche Theorie. Dies trifft auch auf naturwissenschaftliche Aussagen über die Vergangenheit zu“ (Kattmann, 2009, S. 3).

Wie das vorangestellte Zitat verdeutlicht, spielen in der Biologie als historischer Naturwissenschaft zwei Typen von Folgerungen bzw. Aussagen eine Rolle. Aussagen über die Zukunft (Prädikte) und Aussagen über die Vergangenheit (Retrodikte). Naturwissenschaftliche Vorhersagen (Prädikte) sind deduktive Schlüsse von einer gegenwärtig beobachtbaren Ausgangsbedingung auf Aussagen (Daten) über ein *unbekanntes* in der Zukunft liegendes Ereignis auf der Grundlage einer bereits bekannten Ausgangsbedingung und einer wissenschaftlichen Verallgemeinerung (vgl. Mahner & Bunge 2000, S. 106). Dabei kann die Verallgemeinerung z. B. entweder eine deterministische Gesetzmäßigkeit (etwas, das immer so ist), eine probabilistische bzw. statistische Gesetzmäßigkeit (etwas, das mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit so ist) oder eine Regel (etwas, das i.d.R. aber nicht immer so ist) sein. Diese Verallgemeinerung (Gesetzmäßigkeit,

Prädikte
Retrodikte