



Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS

Michael Lübeck

›Basiskonzepte‹ der Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht

Ein Nachschlagewerk
mit Aufgabenbeispielen

Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS

herausgegeben von
der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –
Landesinstitut für Schule des
Landes Nordrhein-Westfalen
(QUA-LiS NRW)

Michael Lübeck

„Basiskonzepte“ der Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht

Ein Nachschlagewerk mit Aufgabenbeispielen



Waxmann 2020
Münster • New York

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Beiträge zur Schulentwicklung | PRAXIS

herausgegeben von der Qualitäts- und UnterstützungsAgentur –
Landesinstitut für Schule des Landes Nordrhein-Westfalen
(QUA-LiS NRW)

Print-ISBN 978-3-8309-4261-0
E-Book-ISBN 978-3-8309-9261-5

© Waxmann Verlag GmbH, Münster 2020
www.waxmann.com
info@waxmann.com

Redaktion QUA-LiS: Hermann Meuser, Peter Dobbelsstein, Ulrich Janzen,
Dr. Veronika Manitus und Tanja Webs
Umschlaggestaltung: Pleßmann Design, Ascheberg
Titelbild: © Westend61/Andrew Brooks
Satz: Roger Stoddart, Münster
Druck: Elanders GmbH, Waiblingen

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier,
säurefrei gemäß ISO 9706

Printed in Germany
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

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

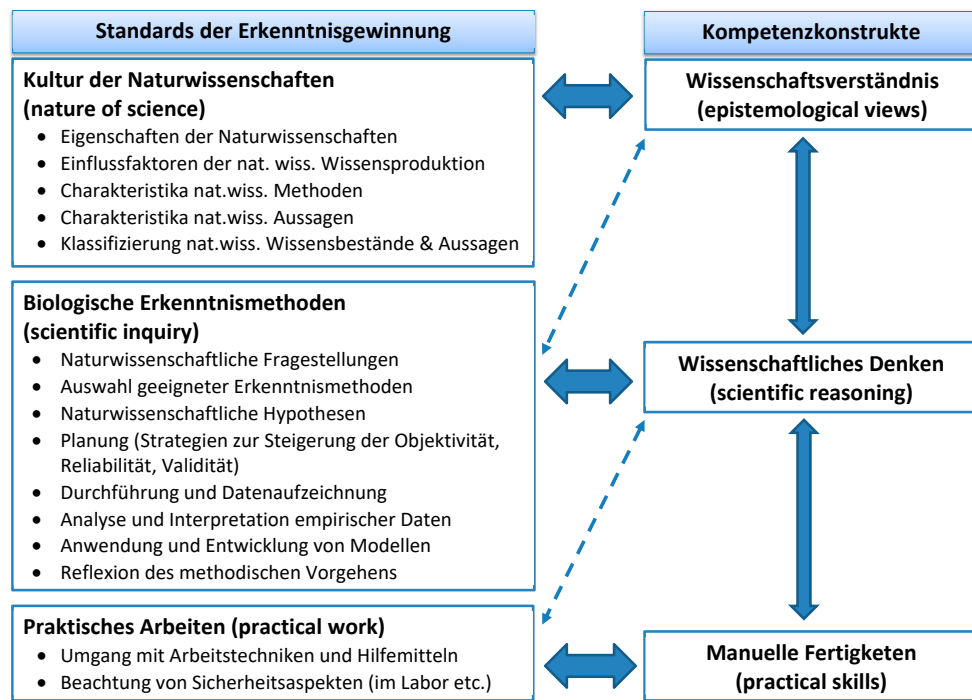


Abbildung 1: Rahmenmodell für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (adaptiert nach Mayer, 2007, S. 178, auch Werner & Kremer, 2010, S. 137, auch Kremer & Mayer, 2013, S. 82, auch Langlet, 2018, S. 80 ff.)

(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 rekuriert. 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. 27 f.). 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).

**Forschungs-
gegenstände und
Ziele der Natur-
wissenschaften**

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 – Weltsicht.

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 begründet, 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

**Naturwissen-
schaften 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 Wissensseinheiten 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. 80 f.). 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. 113 f., 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.