Was ist Naturwissenschaft? 2

In diesem Kapitel wird der Versuch einer Eingrenzung des Begri s Naturwissenscha vorgenommen. Zunächst wird gezeigt, dass die Abgrenzung zwischen Naturwissenscha und Nicht-Naturwissenscha keineswegs einfach gelingt. Ferner werden die Naturwissenscha en, wie wir sie heute kennen, als etwas historisch Gewachsenes knapp nachgezeichnet. Ferner wird die bedeutende Rolle von Wissenscha lergemeinscha en gezeigt, um besser zu verstehen, wie naturwissenscha liches Forschen motiviert ist und vonstatten geht. Ein weiterer Teil dieses Kapitels ist der Frage gewidmet, was Experimentieren als naturwissenscha liche Praxis bedeutet. In Curricula und Schulbüchern erscheint uns Naturwissenscha o als hoch strukturierte Systematik. Daher wird abschließend geklärt, worin die Rolle einer Systematik von Inhalten und Methoden der Naturwissenscha en besteht, aber auch wo Fallstricke für das Lernen entstehen können.

2.1 Was ist Naturwissenschaft und was nicht? – Das Demarkationsproblem

O werden Natur- und Geisteswissenscha en als stark voneinander unterschieden dargestellt. Die starke Unterscheidung geht auf Wilhelm Dilthey zurück, der die Geisteswissenscha en Ende des 19. Jahrhunderts in scharfer Entgegensetzung zu den Naturwissenscha en konzipierte. Die Naturwissenscha en beziehen sich auf Objekte der Natur und Technik und wollen diese mittels Kausalbeziehungen aus Ursachen und ihren Wirkungen erklären (z. B. ein Stein fällt, *weil* er mit dem Gravitationsfeld wechselwirkt). Den Geisteswissenscha en geht es dagegen um Subjekte, den Geist, den Sinn und das Verstehen. Demnach zeichnen sich Naturwissenschaften durch erklärende eorien (z. B. Evolution, Gravitation), die bedeutende Rolle von Konzepten (z. B. Atombindung, Magnetpol, Gen), das Feststellen empirischer

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017
U. Gebhard et al., *P ª dagogik der Naturwissenschaften*,
DOI 10.1007/978-3-531-19546-9_2

ten wie den Kreationismus nicht. Der vertritt basierend auf der Autorität der Bibel die Au assung, alles Leben sei in einem einmaligen Schöpfungsakt entstanden. Selbst wenn der Kreationismus mit wissenscha licher Evidenz aufwartet (z. B. Intelligent Design), bleibt ihm die Autorität der Bibel über jede Kritik erhaben. Gute Wissenscha muss aber in der Lage sein, selbst fundamentale Prämissen der Forschung und eoriebildung zu hinterfragen.
- Kritik und Skepsis erfordern eine Wissenscha lergemeinscha . Naturwissenscha ler können keine Alleinarbeiter sein.
- In den Naturwissenscha en werden eorien favorisiert, die möglichst einfach konstruiert, kohärent sind und möglichst große Erklärungskra entfalten.
- Logisches Schließen, Vernun und Unvoreingenommenheit genießen einen hohen Stellenwert, auch wenn sie Einschränkungen unterliegen.

Als ein weiteres Charakteristikum der Naturwissenscha en wird o das Experimentieren betrachtet, allerdings gibt es wichtige Arbeitsbereiche wie die theoretische Physik oder theoretische Chemie, die, sieht man von Computersimulationen ab, selbst kaum empirisch arbeiten.

In den naturwissenscha lichen Didaktiken werden aktuell Listen von Charakteristika naturwissenscha lichen Wissens kontrovers diskutiert. Nach Lederman (2007) ist naturwissenscha liches Wissen

- vorläu g, wenngleich o recht robust
- empirisch, da auf Beobachtungen beruhend
- subjektiv, da persönliche Hintergründe und Voreingenommenheit von Forschern/innen bedeutsam sind und Wissen immer theorie-geladen ist
- basierend auf schlussfolgerndem, einfallsreichem und kreativem Denken
- sozio-kulturell eingebettet.

Weiterhin hält Lederman für bedeutsam, dass

- Beobachtungen und Schlussfolgerungen als auch
- eorien und Gesetze

zu unterscheiden sind. Diese Liste der „Lederman Seven“ des naturwissenscha lichen Wissens wurde allerdings in mehrfacher Hinsicht kritisiert. Sie ist zunächst einmal recht unspezi sch für Naturwissenscha und könnte auch auf andere Arten des Wissens sinnvoll angewendet werden (van Dijk, 2011). Weiterhin ist sie didaktisch von zweifelha em Wert, da z. B. das schlichte Wissen um die Vorläu gkeit naturwissenscha lichen Wissens keine Kompetenz darstellt, die dazu befähigt,

an aktuellen, wissenscha shaltigen und zugleich kontroversen Debatten zu partizipieren. Das Wissen um Vorläu gkeit leitet ja an sich noch keine Entscheidung darüber an, welchen Vertretern welchen naturwissenscha lichen Wissens im Fall aktueller Kontroversen mehr oder weniger Vertrauen entgegen gebracht und Glaubwürdigkeit zugestanden werden soll (vgl. Allchin, 2011). Aus didaktischer Perspektive muss man wohl in Kauf nehmen, dass das Demarkationsproblem nicht einfach und auch nicht über solche Listen zu lösen ist.

2.2 Einige wissenschaftstheoretische Positionen

Die Wissenscha stheorie als Teil der Philosophie umfasst eorietraditionen, die wissenscha liche Praxis und normative Grundorientierungen unterschiedlich einschätzen. Hier werden einige wissenscha stheoretische Positionen zusammengefasst (vgl. Höttecke, 2008):

Empirismus und Induktivismus: Die beiden eng verknüp en Sichtweisen gehen davon aus, dass empirische Daten, wie man sie durch Beobachtung und Experiment gewinnen kann, die Grundlage der Naturwissenscha en darstellen können. Auf der Basis einer hinreichenden Anzahl von Einzelfällen (die Nicht-Metalle A, B und C sind Nicht-Leiter) wird vom Besonderen auf das Allgemeine (alle Nicht-Metalle sind Nicht-Leiter) induktiv geschlossen. Die Schlussweise birgt ein logisches Problem, denn man kann immer auch Einzelfälle (Graphit ist ein Nicht-Metall und Leiter) nden, die der Regel widersprechen. Die Position wird von der Tatsache geschwächt, dass Beobachtungen kein „reiner“ Anfang der Wissenscha sein können, weil sie immer schon theoretisch vorbestimmt sind. Ferner umfassen eorien o einen empirisch gar nicht abgesicherten Überschuss.

Falsifikationismus: Ein namha er Vertreter ist K.R. Popper (1934). Wissenscha ler/innen stellen Hypothesen auf, um Probleme zu lösen. Mit Experimenten lasen sich Hypothesen zwar widerlegen, aber nicht zweifelsfrei veri zieren. Mit (noch) nicht falsi zierten Hypothesen arbeitet man weiter, bis sie eventuell auch widerlegt werden. Widerlegbarkeit gilt als normatives Kennzeichen guter wissenscha licher Praxis. Problematisch ist, dass Wissenscha ler/innen verständlicherweise wenig daran interessiert sind, die eigenen Hypothesen zu widerlegen. Vielmehr werden falsi zierte Hypothesen o mit ad-hoc aufgestellten Hypothesen „gerettet“ (s. o.).

Realismus: Die Welt ist gemäß dieser Position im Grunde wirklich und erkennbar. Forschung kann sich der Wahrheit zumindest annähern. Problematisch ist, dass selbst die für Naturwissenscha relevanten Beobachtungsaussagen die Dinge nicht einfach wiedergeben können, wie sie wirklich sind.

Instrumentalismus: eorien müssen nicht wahr sein, sondern wie Werkzeuge funktionieren. Wenn man auf der Basis der Gravitationstheorie zum Mond und heil wieder zurück iegt, dann funktioniert die eorie. Entscheidend ist ihr Nutzen und kein nur vermuteter Wahrheitsgehalt.

(Sozialer) Konstruktivismus und Relativismus bezweifeln die Möglichkeit objektiven Wissens, was aber nicht bedeuten muss, dass wissenscha liches Wissen nicht trotzdem erfolgreich und robust sein kann. Die Rolle von Denkzwängen, kulturellen Ein üssen und sozialen Prozessen auf die „Konstruktion" von Wissen wird betont.

2.3 Historische Entwicklungslinien der Naturwissenschaften

Die Ursprünge der modernen Naturwissenscha en werden geographisch mit Europa verbunden und zeitlich in die Renaissance eingeordnet. Ihre Entwicklung basierte bereits auf älteren Wissensbeständen, die aus vielen Teilen der Welt zusammengetragen worden waren (vgl. Fara, 2010; Mason, 1997).

Die vorsokratische griechische Antike hat beispielsweise die Atomlehre entwickelt und damit einen bedeutenden ideengeschichtlichen Anteil an den zentralen Konzepten der Chemie und Physik von einer „körnigen" Struktur der Materie. Die Atomisten, namha v. a. Demokrit, vertraten eine mechanistische Weltsicht, nach der die wahrnehmbare Welt durch eine unendliche Anzahl an unterschiedlichen Atomen konstruiert würde. Die Ordnung der Dinge spiegelte sich auch in der antiken Elementelehre.

Das im antiken Athen erblühende Handwerk führte zu wichtigen Entwicklungen wie Blasebalg, Töpferscheibe, Wasserwage, Lineal, Drehbank oder Schlüssel. Das griechische Wort *sophia* bedeutete damals noch handwerkliche Geschicklichkeit und noch nicht Gelehrsamkeit und Weisheit (Mason, 1997, S. 43). Trotz des hoch entwickelten Standes der griechischen Feinmechanik war die antike Philosophie von einer Geringschätzung alles Praktisch-Handwerklichen gekennzeichnet. Platon, der Schüler des Sokrates, zog eine scharfe und wertende Grenze zwischen Nachdenken und körperlichem Tun. Angesichts der Tatsache, dass die antiken Hochkulturen

Sklavenhaltergesellscha en waren und Sklaven als dienstbare Werkzeuge galten, wundert die Geringschätzung von Handwerk, Technik und körperlicher Arbeit nicht (vgl. Teichmann, 1985). Das antike wissenscha liche Denken lässt sich als hierarchisch, teleologisch, kontemplativ und ästhetisch charakterisieren (Teichmann, 1985, S. 173).

Das hierarchische Denken spiegelt sich in der Bewertung der eologie, die höher als Mathematik und Naturphilosophie stehen sollte. Der Kosmos wurde als Verschachtelung unterschiedlicher, hierarchisch angeordneter Sphären gedacht. Der Fixsternhimmel war in der obersten Sphäre angebracht und galt als ewig. Aristoteles entwickelte eine konsistente Bewegungslehre mit einem „ersten Beweger", der auf dieser obersten, ewigen Sphäre angesiedelt war. Die Rezeption antiker Weltbilder im europäischen Mittelalter identi zierte diesen ersten Beweger mit Gott.

Im Rahmen der aristotelischen Bewegungslehre el ein Stein deshalb zu Boden, weil ihm eine Zweckursache – ein Telos – innewohnte, den Erdboden als seinen natürlichen Ort anzustreben. Erst Galilei untersuchte im 17. Jahrhundert die Gesetzmäßigkeit der Fallbewegung, die den Anfangs- und Endpunkt der Bewegung dezidiert einschloss.[2] Newton konstatierte später die Gravitationskra als äußere Wirkursache des freien Falls.

Das denkende Betrachten, die Kontemplation, galt dem Eingreifen in die Natur gegenüber als überlegen. Entsprechend wurde das Beobachten und nicht das eingreifende Experimentieren favorisiert, denn ein Verständnis der Natur sollte sich nicht ergeben können, wenn man in sie eingrei . Das Denken war ästhetisch in dem Sinne, dass es sich an Harmonie, Symmetrie und Ordnung orientierte. Plato entwickelte z. B. eine eorie des Universums, die auf mathematisch-geometrischen Grundlagen beruhte.

In China hatte sich bereits eine handwerklich-technische Kultur entwickelt, deren Bedeutung und Ein uss auf die Entwicklung der Naturwissenscha en die eurozentrische Wissenscha sgeschichtsschreibung lange unberücksichtigt gelassen hat. Heute gehen wir davon aus, dass technische Innovationen wie Druckkunst, der Magnetkompass und das Schießpulver erstmals in China entwickelt worden sind. Im arabischen Sprachraum bildeten Observatorien und Schulen Einheiten mit namha en Bibliotheken. Diese Zusammenschlüsse fungierten bereits vor der europäischen Renaissance als bedeutende geistige Zentren. Aus der islamischen Welt zur Zeit des europäischen Mittelalters wurden z. B. bedeutende wissenscha liche Erkenntnisse über Optik und Astronomie überliefert. Wichtige Begri e wie Alkohol, Zucker oder Alkali gehen auf Avicenna, einen auch später in Europa anerkannten

2 Vgl. die Fallstudie für den Schulunterricht zum Vergleich des antiken aristotelischen mit dem neuzeitlich Galilei'schen Denken (Höttecke, Henke & Rieß, 2011).

muslimischen Gelehrten, zurück. Die Idee, dass der Sehvorgang auf dem Empfangen von Licht beruht, basiert auf dem islamischen Gelehrten Alhazan (10./11. Jahrhundert). Die seit dem 11. Jahrhundert sich in Mitteleuropa entwickelnden Universitäten förderten den gelehrten Disput, der den Zweifel kultivierte und dadurch zu einer Weiterentwicklung hin zu den späteren Naturwissenscha en beitrug.

Im Mittelalter und bis in das 16. Jahrhundert hinein waren intellektuell-methodische und handwerkliche Ausbildungen und Praktiken voneinander getrennt. Diese Trennung war auch für frühere Kulturen typisch (Mason, 1997). Mit der Renaissance setzt ein Prozess sozialer Ausdi erenzierung ein, in dessen Rahmen Standesunterschiede zwischen Ingenieuren, Ärzten und zun freien Künstlern einerseits und Humanisten und traditionellen Gelehrten andererseits angeglichen wurden. Dieser sozial-historische Prozess ermöglichte es erst, dass intellektuelles Schlussfolgern und Textauslegen und praktisches Experimentieren von den gleichen Akteuren veranstaltet werden konnte (vgl. Felt, Nowotny & Taschwer, 1995). Die Ausdi erenzierung der Wissenscha entsprach einer Entdi erenzierung der Gesellscha (Schimank, 2012).

Die Entwicklung der Naturwissenscha en seit der Renaissance verbindet sich wesentlich mit den Namen Descartes, Bacon und Galilei und führt zur Aufwertung empirisch gestützter, in Experimenten gewonnener Erfahrung und der sich entwickelnden Rolle abstrakt-mathematischer Naturbeschreibung und -erklärung. Sie lässt sich grob in drei historische Phasen unterteilen (vgl. Felt, Nowotny & Taschwer 1995):

Die **Phase der Amateure und Handwerker** 1600-1800 ist davon geprägt, dass Männer von Stand, sogenannte *Gentleman of Science*, experimentelle Naturphilosophie betreiben. Unter ihnen verscha en sich auch einige Lehrer und Instrumentenmacher einen wissenscha lichen Ruf. Während dieser Phase ist die Ausbildung noch nicht formalisiert. Die Elektrizitätslehre entwickelt sich unter großer ö entlicher Aufmerksamkeit v. a. der adligen und aristokratischen Oberschicht zur ersten Wissenscha , die ihre Forschungsgegenstände, Funken, Anziehungs- und Abstoßungsphänomene fast ausschließlich in Experimenten herstellt und untersucht. Experimente werden vorwiegend in privaten Wohnräumen durch- und vorgeführt. Es etabliert sich das Validitätskriterium ö entlicher Zeugenscha durch andere Naturphilosophen, die durch ihren Stand und ihre Expertise ausgewiesen sein müssen (Shapin, 1994). In diese Zeit fällt die Gründung wichtiger wissenscha licher Gesellscha en wie der Royal Society in London (1662) und der Académie de Sciences in Paris (1666), sowie die Gründung erster wissenscha licher Journale. Diese Umstände tragen dazu bei, dass sich ein sozialer Mechanismus wissenscha licher Wahrheits ndung herausbildet, der auf wissenscha liche Ö entlichkeit angewiesen ist. Publikationen über neue Instrumente, experimentelle Befunde oder Naturphä-

nomene müssen in einem Stil verfasst werden, der die ö entliche Zeugenscha z. B. einer Experimentaldemonstration ersetzt. Detailliertes Protokollieren experimenteller Arbeitsschritte und Befunde wird zum Publikationsstandard, wie er noch heute im Schulunterricht in Form von Experimentier-Protokollen eingeübt wird.

Die folgende **akademische Phase** endet etwa mit dem Beginn des Zweiten Weltkriegs. Während des 19. Jahrhunderts di erenzieren sich die Naturwissenscha en stark in Subdisziplinen aus, ein Prozess, der bis heute anhält. Den Universitäten kommt in diesem Prozess eine bedeutende Stellung zu. Sie sind die Orte, an denen formale Ausbildungsstrukturen etabliert werden, wie wir sie noch heute kennen. Glaubwürdigkeit und Expertise werden zunehmend über Abschlusszerti kate und akademische Positionen abgesichert. Glaubwürdigkeit wird nicht mehr über Zeugenscha exponierter Personen, sondern über Institutionen und ihre Angehörigen erzeugt (Franzen, Rödder & Weingart, 2012). Naturwissenscha liche Forschung organisiert sich wesentlich um den Beruf des Universitätsprofessors herum, der für seine Lehrleistung honoriert wird, bezüglich seiner Forschung aber weitgehend frei ist. Der Begri Naturwissenscha löst den der Naturphilosophie ab. Der englischsprachige Begri *scientist* (Naturwissenscha ler) wird von William Whewell (1874-1866) eingeführt und etabliert sich bis heute.

Der Beginn der **industriellen Phase** der Naturwissenscha en datiert mit dem Zweiten Weltkrieg. Zwar hat die an einzelnen universitären Lehrstühlen betriebene Forschung nach wie vor große Bedeutung. Parallel dazu etabliert sich aber eine Art naturwissenscha liche Großforschung, die man als *big science* bezeichnen kann (de Solla Price, 1974). Militärische Großforschung wie das US-amerikanische *Manhattan Project*, das zum Bau und zum Abwurf der ersten Atombomben führte, können nur noch arbeitsteilig in großen Teams durchgeführt werden. Großprojekte, die an Teilchenbeschleunigern wie dem Genfer CERN (seit 1954) durchgeführt werden, sind so ressourcenintensiv, dass sie nur noch von Staatenverbünden nanziert werden können. Dabei kann *big science* auch wesentlich in der großangelegten Koordination internationaler Forschungsaktivitäten bestehen. Die Kartierung des menschlichen Genoms (*Human Genom Project*) von 1990-2003 ist dafür ein Beispiel. Ihren hohen Finanzbedarf speist *big science* zu namha en Teilen aus ö entlichen Mitteln und der Industrie. Entsprechend wird Großforschung im verstärkten Maße von politischen Entscheidungen und Au rägen abhängig und ist weniger autonom als noch in den vorangegangenen Phasen. Dieser Umstand führt einerseits dazu, dass Naturwissenscha ler/innen heute auf Anerkennung und Förderung von politischer Seite angewiesen sind und Lobbyarbeit leisten müssen, um auf Forschungspläne (z. B. der EU) Ein uss zu nehmen. Andererseits müssen sie sich auch der Anerkennung der mittelbar nanzierenden Ö entlichkeit vergewissern, um Forschungsförderung und Nachwuchsrekrutierung zu sichern. Wissenscha skommunikation wird heute

von den Naturwissenscha en zunehmend als wichtige Aufgabe erkannt. Während der industriellen Phase hat sich auch die Bedeutung des deutschsprachigen Raums in der internationalen Forschungslandscha verschoben. Galt Deutschland noch Ende des 19. Jahrhunderts als wichtigster Forschungsstandort, ist diese Rolle spätestens nach dem Zweiten Weltkrieg auf die USA übergegangen. Die dominierende Stellung Europas und Nordamerikas wird aktuell wiederum durch die wachsende Forschungsaktivität in den Schwellenländern, allen voran China, herausgefordert.

Die Naturwissenscha en wachsen gemessen an der Anzahl an Fachkrä en, Publikationen und Fachjournalen in exponentieller Weise. Die Verdopplungszeit der Weltbevölkerung liegt z. Z. bei ca. 60 Jahren, die Verdopplungszeit der Anzahl wissenscha licher Beiträge liegt dagegen lediglich bei 10-20 Jahren. Die rasante Entwicklung naturwissenscha lich-technischer Forschungsaktivitäten lässt sich an der Anzahl ihrer Publikationen gut ablesen. Weltweit wurden in Biologie, Biomedizin, Chemie, Medizin, Geowissenscha en, Ingenieurwesen, Technik, Mathematik und Physik im Jahr 2002 733.305 Fachartikel publiziert, im Jahr 2008 waren es schon 986.099 (Deutsche UNESCO Kommission, 2010). Mit dieser Informationsexplosion geht einher, dass 80-90 % aller Wissenscha ler/innen, die je gelebt haben, in unserer Gegenwart leben (de Solla Price, 1974 [1963]). Wissenscha funktioniert daher der Evolution vergleichbar, indem verschwenderisch zahlreiche Publikationen verfasst werden, von denen nur wenige den Rang und die Bedeutung erlangen, um in die Hand- und Lehrbücher einer Disziplin einzugehen und ihre Weiterentwicklung nachhaltig zu prägen (Schimank, 2012).

2.4 Naturwissenschaften als soziales System

Forscher und Forscherinnen in den Naturwissenscha en kommunizieren miteinander, sie tauschen sich formell und informell aus, sie gründen Institute, bilden Gesellscha en und Verbände, verleihen einander Auszeichnungen und Ehrungen, sie laden einander zur Vorträgen ein oder bilden informelle Netzwerke bis hin zu Zitierkartellen. Mit anderen Worten, die Naturwissenscha en können nicht nur über typische intellektuelle oder experimentelle Praktiken, ihre Naturgesetze, Prinzipien und eoriegebäude charakterisiert werden, sondern auch als eine soziale Praxis. Die Analyse sozialer Praktiken innerhalb der Wissenscha lergemeinscha kann dazu beitragen, die inneren Mechanismen besser zu verstehen, die bewirken, dass Naturwissenscha en sich immer weiter entwickeln und ihre Wissensbestände sich verändern. Ein wissenscha ssoziologischer Blick darauf, wie wir uns wissenscha -

lichen Fortschritt und die Motive von Menschen zur Naturwissenscha denken, zeigt einige treibende Krä e auf.

Als treibende Kra der Naturwissenscha en wird o und gerade in den Selbstattributierungen von Naturwissenscha lern/innen ein Wissens- oder Erkenntnisdrang benannt. Diese Sichtweise ndet man auch in Untersuchungen über Schülervorstellungen über die Motive zur Naturwissenscha wieder (Höttecke, 2001). Dass Naturwissenscha en zu betreiben aber gleichsam eine anthropologische Größe darstellt und eine Kulturleistung ist, wird von Schülern/innen weitgehend bestritten (z. B. Chalmers, 1999), auch wenn man einräumen muss, dass Naturwissenscha ler/innen im besonderen Maße an ihren Forschungsgegenständen interessiert sind. Eine dazu ergänzende Sichtweise legt nahe, dass ein wichtiger „Motor" der Naturwissenscha en in Nützlichkeitserwägungen und Verwertungsinteressen besteht. Tatsächlich hat bereits Francis Bacon im 17. Jahrhundert, ein Ahnherr der experimentellen Methode der Naturwissenscha en, diese Sichtweise vertreten. In seiner Utopie einer wissenscha sorientierten Gesellscha namens „Neu Atlantis" betont er den Zweck der Naturforschung, *„die Ursachen des Naturgeschehens zu ergründen, die geheimen Bewegungen in den Dingen und die inneren Krä e der Natur zu erforschen und die Grenzen der menschlichen Macht so weit auszudehnen, um alle möglichen Dinge zu bewirken*" (vermutl. 1624 [1997], S. 43). Forschung wird heutzutage o von industriellen Abnehmern in Au rag gegeben. Selbst Grundlagenforschung wird durch die Erwartung ihrer Nützlichkeit in der Zukun legitimiert. Das ökonomische Zweckmoment in den Naturwissenscha en ist daher unübersehbar.

Die Wissenscha ssoziologie legt einen weiteren Mechanismus wissenscha lichen Fortschritts nahe. Wissenscha lerinnen und Wissenscha ler streben wie Menschen in anderen Professionen auch nach Anerkennung und Reputation. Anerkennung und Reputation stellen eine Form symbolischen Kapitals dar, das sich in andere Kapitalformen wie z. B. soziales oder ökonomisches Kapital transformieren lässt (Bourdieu, 1971). Wer innerhalb der Wissenscha lergemeinscha besonders anerkannt wird, wird um so leichter in Kommissionen und Beiräte berufen, um dort Beratungs- und Steuerungsaufgaben wahrzunehmen und eigene Interessen durchzusetzen. Reputation unter Kolleginnen und Kollegen führt zu einem höheren Maß an wissenscha licher Glaubwürdigkeit. Sie schlägt sich z. B. darin nieder, dass wissenscha lich hochgestellte Personen, die also über ein hohes Maß an sozialem Kapital verfügen, Direktoren- und Herausgeberposten bekleiden. Sie werden ferner in Beiräte wissenscha licher Zeitschri en eingeladen, sodass die Zeitschri en selbst ihre Reputation über bekannte Namen steigern.

Reputation kann sich positiv auf die Akquise von Forschungsmitteln (ökonomisches Kapital) auswirken, sodass eine angesehene Wissenscha lerin oder ein angesehener Wissenscha ler einen großen Mitarbeiterstab anführt, zahlreiche

Forschungsprojekte betreibt und zentrale Forschungsprobleme de nieren darf. Hier wird sichtbar, dass Ansehen, Macht und Reputation als soziologische Kategorien sich gleichsam mit epistemologischen Kategorien (Vertrauen in naturwissenscha liche Konzepte, Begri e, Modelle und eorien) zu einem Kreislauf verschränken. Wissenscha liche Kreativität und Fähigkeit bedingen erfolgreiche Antragstellung auf Forschungsmittel. Die wiederum sorgen dafür, dass über umfangreichere Ressourcen wie z. B. einem besonders teuren Laser verfügt werden kann, was weitere Forschung ermöglicht, neue wissenscha liche Argumente hervorbringt und die Reputation weiter steigert (vgl. Latour & Woolgar, 1979 [1986]). Ein solcher Kreislauf kann als Mechanismus verstanden werden, innerhalb dessen das symbolische Kapital wissenscha licher Reputation transformiert und akkumuliert wird. Das Produkt dieses Kreislaufes ist aber weder eine irgendwie geartete „pure“ wissenscha liche Wahrheit oder Reputation und Ansehen allein. Vielmehr führt der Kreislauf zu einer Vermehrung der Produktion wissenscha licher Erkenntnisse und zugleich des wissenscha lichen Ansehens. Diesen Akkumulationsprozess könnte man auch als wissenscha lichen Kapitalismus bezeichnen (Hodson, 2008, S 140).

Die Bedeutung wissenscha licher Reputation wird auch im Rahmen der gefürchteten Plagiatsvorwürfe sichtbar. Wird eine Wissenscha lerin oder ein Wissenscha ler des Plagiats bezichtigt, so geht es um mehr als den Vorwurf des Abschreibens. Hier hat sich jemand eines bedeutenden Normverstoßes schuldig gemacht, denn es gilt, dass nur das eigene Gedankengut oder die eigenen empirischen Daten auch die eigene Reputation steigern dürfen. Hätte wissenscha liche Reputation nicht die Bedeutung einer Triebkra der Naturwissenscha en, wären Plagiatsvorwürfe in ihrer o medienwirksam vorgetragenen Schärfe kaum nachvollziehbar. Abschreiben könnte dann nämlich als Maßnahme gewertet werden, wissenscha liches Gedankengut e ektiv zu verbreiten, anstatt es als Diebstahl sogenannten geistigen Eigentums zu brandmarken. Tatsächlich muss beim wissenscha lichen Arbeiten geistiges Eigentum sorgfältig und unter Angaben der Fundstellen exakt zitiert werden. Zitieren dient einerseits dazu, die wissenscha lichen Gedanken und Resultate ihren Urheberinnen und Urhebern eindeutig zuzuordnen. Zugleich sichert korrektes Zitieren die eigene Glaubwürdigkeit ab. Andererseits bedeutet Zitieren immer auch eine Form symbolischer Zahlungsleistung für das „Benützen“ fremder Ideen, ist also selbst eine Form der Belohnung durch Anerkennung (Felt, Nowotny & Taschwer 1995, S. 67).

Die Bedeutung wissenscha licher Reputation wird immer dann besonders sichtbar, wenn in den Naturwissenscha en wichtige Ergebnisse parallel entwickelt werden. Arbeiten zwei Arbeitsgruppen zeitgleich an einem wissenscha lichen Problem, so wird eine der beiden Gruppen ihre Ergebnisse zuerst publizieren und als ihr geistiges Eigentum reklamieren können. Sollte die zweite Arbeitsgruppe

eine gleiche, aber unabhängig entwickelte Problemlösung auch nur Tage später publizieren, dann würden ihre Mitglieder bestenfalls als Verlierer, schlechtestenfalls als Plagiatoren dastehen. Wem es nicht gelingt, seine Resultate zuerst zu verö entlichen, dessen persönlicher Wissensdrang mag zwar dennoch befriedigt sein, die verpasste Chance, seine Reputation zu steigern, ist aber dahin und löst mitunter große Enttäuschung aus. Forschungsergebnisse z. B. einer Forschergruppe sind eben nicht nur für diese selbst, sondern vor allem für die *scienti c community* bedeutsam.

Den vielleicht bedeutendsten Mechanismus der Aushandlung von Bedeutungen stellt die naturwissenscha liche Publikationspraxis dar. Anders als in den Geisteswissenscha en hat die Buchpublikation schon in frühen Phasen der historischen Entwicklung der Naturwissenscha en stark an Bedeutung eingebüßt. An die Stelle des Buchs trat der wissenscha liche Zeitschri enaufsatz, heute auch gern mit dem Anglizismus *paper* bezeichnet. Über die Qualität eines *papers* entscheidet keine zentrale Instanz. Reicht eine Wissenscha lerin oder ein Wissenscha ler ein *paper* bei einer Fachzeitschri ein, so wird es einem doppelblinden Begutachtungsprozess durch andere Wissenscha lerinnen oder Wissenscha ler unterzogen. Im Rahmen dieses sogenannte *Peer-Reviews* sollen Relevanz und Qualität der jeweiligen Forschungsbeiträge abgesichert werden. Die Anonymität der Autoren/innen und Gutachtenden soll gewährleisten, dass der Ein uss einer möglichen Voreingenommenheit der Gutachtenden den Autoren/innen gegenüber möglichst gering bleibt und dass Gutachtende keine Sanktionen fürchten müssen, weil sie vielleicht eine sehr kritische Position zum eingereichten Manuskript eingenommen haben. Gerade in kleineren naturwissenscha lichen Subdisziplinen ist es aber sehr schwer, Anonymität zu wahren. Als Gutachterin oder Gutachter kann man leicht auf die Autorinnen oder Autoren schließen, wenn man z. B. über Forschungsmethoden gutachten soll, die nur an einem bestimmten Standort besonders etabliert sind, oder wenn wissenscha liche Instrumente eingesetzt wurden, über die nur bestimmte Arbeitsgruppen verfügen. Das *Peer-review*-Verfahren stellt eine Art Kommunikation wissenscha licher Ergebnisse auf Probe dar, innerhalb derer wissenscha liche Qualität nicht einfach nur festgestellt wird, sondern durch das Feedback von Gutachtenden und Herausgebern gesteigert werden kann. Zugleich stellt *Peer-Review* eine Art Filter dar, der die Anzahl an Publikationen auf das für den Forschungs- und Entwicklungsstand einer *scienti c community* Angemessene einschränkt und Forschungsergebnisse auf das Lesenswerte reduziert (vgl. Nielsen, 2013). Das klappt zwar nicht auf unfehlbare Weise, denn Gutachtende können fehlerha arbeiten, Manuskripte begünstigen, weil sie ihnen theoretisch oder methodisch nahe stehen, oder sogar Fälschungen übersehen. Dennoch hat sich *Peer-Review* als Mechanismus einer sozialen Wechselwirkung und Steuerung zwischen einzelnen Forschenden oder Arbeitsgruppen und der *scienti c community*

bewährt, weil die Relevanzsetzungen der *scienti c community* über zentrale Forschungsfragen, angemessene eoriebezüge oder geeignete Forschungsmethoden den wissencha lichen Forschungsprozess bereits vor der Publikation beein ussen.

Der Wettbewerb unter Wissencha lern/innen um Anerkennung und Ressourcen stellt einerseits eine produktive Triebkra der Naturwissencha en dar. Andererseits kann Wettbewerb auch zu einer künstlichen Au lähung des Publikationsau ommens führen. Durch den großen Druck, möglichst viele *papers* in möglichst renommierten Fachzeitschri en zu publizieren, werden Forschungsergebnisse zu möglichst kleinen „Päckchen" geschnürt, um die Anzahl an Publikationen bezogen auf die Forschungsleistung in die Höhe zu treiben. Ein solches „leeres" Größenwachstum (Ash et al., 2015) birgt die Gefahr, dass die Forschung sich an den kleinsten publizierbaren Einheiten orientiert, die den Zusammenhang aus einzelnen Erkenntnissen nicht mehr ausreichend sichtbar werden lassen und den Rezeptionsaufwand erhöhen. Weiterhin bewirkt der Wettbewerbsdruck, dass gerade empirische Forschungsergebnisse der Gefahr ausgesetzt werden, vorschnell und nicht ausreichend abgesichert publiziert zu werden. Die Qualität der Forschungsergebnisse ist von Gutachterinnen und Gutachtern allein auf der Basis eingereichter *papers* aber nicht immer leicht zu beurteilen. Starker Wettbewerb in den Naturwissencha en kann also die Qualität der Forschung auch gefährden.

Die Praxis naturwissencha licher Forschung ist wie in anderen gesellscha lichen Subsystemen kaum durch verbindliche Normen reguliert. Es gibt keine Mosaischen Tafeln oder eine Art Grundgesetz der Naturwissencha en, die Qualitätsmaßstäbe von Forschung festlegen könnten. Selbst die Regeln guter wissencha licher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinscha (2013) sind sehr weit gefasst, wenn z. B. davor gewarnt wird, wissencha liche Autorenscha ehrenhalber zu vergeben, oder wenn empfohlen wird, Primärdaten für mindestens zehn Jahre zu konservieren. Normen werden o lokal konstituiert und informell vermittelt. Nachwuchswissencha ler/innen werden mit den für ihre jeweilige Teildisziplin typischen Denkweisen, Fallbeispielen, Techniken, Methoden, Instrumenten und Problemlösemustern, aber auch mit Kommunikationspraktiken wie dem wissencha lichen Publizieren bekannt gemacht. Sie werden dabei in naturwissencha liche Praktiken eingewöhnt. Was gute wissencha liche Praxis auszeichnet, wird an unterschiedlichen Stellen innerhalb der *scienti c community* immer wieder aufs Neue ausgehandelt. Neben der Publikationspraxis über *papers* werden die Maßstäbe guter wissencha licher Praxis über die Zuweisung von Ressourcen, Positionen, Renommee und Ein uss sichtbar, stehen aber nicht auf Dauer fest. Forschungspraktiken gelten v. a. dann als besonders anerkennungs- und nachahmungswürdig, wenn ihre Vertreterinnen und Vertreter herausragen, weil sie z. B. in Kommissionen und Beiräte gewählt oder zu wichtigen Plenarvorträgen eingeladen werden, ihr wissencha licher

Nachwuchs auf Lehrstühle berufen oder ihnen im besonderen Maße Ein uss auf Forschungsrahmenprogramme zugestanden wird.

Die Rolle wissenscha licher Autoritäten hängt von der Verfügung über das oben erörterte symbolische Kapital aus Aufmerksamkeit und Reputation ab. Autoritäten oder auch wissenscha liche „Kapazitäten" spielen auch in den Naturwissenscha en eine wichtige Rolle. Es macht einen großen Unterschied, ob eine junge Nachwuchswissenscha lerin oder ein Nachwuchswissenscha ler, der/die seine jüngsten Forschungsergebnisse auf einer Tagung präsentiert, vom Direktor eines wichtigen Forschungsinstituts gelobt oder kritisiert wird oder nur von einem anderen Doktoranden. Autorität sichert hier Expertise und Vertrauenswürdigkeit qua sozialem Status ab. Dennoch spielt Autorität in den Naturwissenscha en eine weit geringere Rolle als in anderen Institutionen wie z. B. der Kirche oder dem Parlament.

Als sozialem System liegen den Naturwissenscha en Normen sozialen Handelns zugrunde, die Wertmaßstäbe mehr oder weniger guter Praxis festlegen und wissenscha liches Handeln regulieren sollen. Auch wenn solche Normen in der Forschungspraxis schwer zu fassen sind, lassen sie sich normativ festlegen. Einen solchen Versuch unternahm der amerikanische Soziologe Robert Merton (1942 [1978]) unter dem Ein uss problematischer Entwicklungen der Wissenscha während des deutschen Nationalsozialismus, indem er ein System aus Normen guter wissenscha licher Praxis formulierte. Es kann als Versuch verstanden werden, parteiische oder sogar rassistische Einfärbungen wissenscha licher Praxis anhand normativer Prinzipien zu demaskieren (vgl. Felt, Nowotny & Tascher, 1995; Zimann, 2000).

Das Prinzip der **Gemeinschaftlichkeit** bezeichnet die Verp ichtung der Wissenscha ler/innen, ihre Arbeit durch Publikation der *scienti c community* zugänglich zu machen. Man kann allerdings dagegen halten, dass Wissenscha lerinnen und Wissenscha ler unter Wettbewerbsdruck stehen und ihre Resultate daher zeitweise sogar geheim halten. In einigen Forschungsbereichen sind sie stark an der Entwicklung von Patenten und weniger an Publikationen interessiert. Forschungsau räge werden u. U. mit bestimmten Erwartungen verbunden. Sollten die wissenscha lichen Ergebnisse den Erwartungen der Geldgeber nicht entsprechen, kann es durchaus sein, dass Publikationen zurückgehalten oder sogar unterbunden werden.

Das Prinzip des **Universalismus** fordert, dass wissenscha liche Erkenntnisse nicht von Rasse, Geschlecht, Religion, sozialem Status oder Nationalität der Forschenden abhängen dürfen. Dieses Prinzip fordert gleichsam, dass jeder gleich fähige Mensch vor der Wissenscha gleich sein soll. Faktisch ist dies kaum der Fall, denn gerade die „harten" Naturwissenscha en Physik und Chemie gelten noch weitgehend als männliche Domänen. Die erheblichen Anstrengungen in den Didaktiken der Naturwissenscha en, die mitunter unterschiedlichen Interessen von Mädchen und

Jungen im Unterricht zu berücksichtigen (Kap. 8), können als ein Versuch gedeutet werden, nicht nur für den Unterricht, sondern auch für die Naturwissenscha en selbst ein höheres Maß an Geschlechtergerechtigkeit herzustellen.

Gemäß des Prinzips der **Uneigennützigkeit** sollen Naturwissenscha lerinnen und -wissenscha ler am Fortschritt der Wissenscha selbst und nicht am eigenen Fortkommen orientiert sein. Betrachtet man aber die Rolle von Anerkennung, Renommee, Reputation und Wettbewerb als Motoren der Wissenscha , so ist dieses Prinzip kaum geeignet, Naturwissenscha en zu beschreiben, wie sie tatsächlich funktionieren. Als moralische Orientierung kann dieses Prinzip dennoch bedeutsam sein.

Das Prinzip des **organisierten Skeptizismus** besagt, dass Mechanismen systematischer Kritik in den Forschungsprozess integriert sein sollen. Dies ist mit den o. g. Einschränkungen beim *Peer-Review* durchaus der Fall. Auf der anderen Seite gibt es z. B. in der Physik Forschungsergebnisse, die sich auf singuläre Ereignisse, beispielsweise die Beobachtung einer Supernova, beziehen, sodass beispielsweise eine kritisch-skeptische Wiederholung einer Beobachtung gar nicht möglich ist. Faktisch gilt dies auch für Messungen, die an besonders teuren und seltenen Instrumenten der Großforschung vorgenommen worden sind. Publiziert eine Autorengruppe solche Messergebnisse, dann ist eine kritische Wiederholung einer Messung durch außenstehende Forscherinnen und Forscher kaum möglich. Das gleiche gilt, wenn der Erfolg eines Experiments von Wissen und Fähigkeiten abhängen, die nur an einem bestimmten Ort verfügbar sind.

Dem Prinzip des organisierten Skeptizismus liegt die Idee zugrunde, dass über die Geltung einer wissenscha lichen Aussage ein Konsens innerhalb der Wissenscha lergemeinscha hergestellt werden soll. Zumindest über kanonisierte Wissensbestände muss ein weitgehender Konsens hergestellt worden sein. Sie werden von bedeutenden Lehrwerken der Biologie, Chemie und Physik in der Nachwuchsausbildung und in Teilen auch durch Schulbücher repräsentiert. Wissenscha liche Aussage, theoretische Idee oder experimentelle Befunde müssen sich der kollegialen Skepsis innerhalb der Wissenscha lergemeinscha aussetzen und dort bewähren. Dabei wird die Skepsis umso größer sein, wenn die jeweiligen Aussagen etablierte eoriegebäude der Naturwissenscha en im besonderen Maße herausfordern. Als Mitte der 1970er Jahre in einem Experiment angeblich ein magnetischer Monopol gemessen wurde, konnte man am experimentellen Au au keine wesentlichen Probleme erkennen. Hätte man die Existenz eines magnetischen Monopols vorschnell anerkannt, hätte man weite Teile der Physik neu schreiben müssen. Die Befunde konnten schlussendlich nicht reproduziert werden. Dennoch lässt sich nicht mit letzter Sicherheit ausschließen, dass möglicherweise der ganz und gar unwahrscheinliche Fall eingetreten war, einen der wenigen magnetischen

Monopole im Universum gemessen zu haben (Hering, 2007). Nichtsdestotrotz kann ein einzelnes Experiment ein etabliertes eoriegebäude nicht zu Fall bringen.

Skeptizismus sorgt einerseits dafür, dass Naturwissenscha en etwas Konservatives anha et, andererseits unterscheidet es die robusteren Ideen von den weniger robusten. Faktisch betri das Konsensprinzip aber nicht nur die Geltung von Evidenz oder theoretischen Ideen, sondern auch den akademischen Status und das Renommee der jeweiligen Wissenscha lerinnen und Wissenscha ler. Das hat Vorteile, denn die Anerkennung, die sich eine Wissenscha lerin oder ein Wissenscha ler durch positiv evaluierte Forschungsbeiträge erarbeitet hat, lässt ja die begründete Ho nung zu, dass auch die folgenden Beiträge wissenscha lich wertvoll sein werden. Skepsis und Kritik sind daher auch nicht gleich verteilt, sondern tre en weniger etablierte Wissenscha lerinnen und Wissenscha ler stärker als die „großen Namen". Man sieht, auch wenn Geltungsansprüche über ein Konsensprinzip eingelöst werden müssen, kann man Wissenscha deshalb nicht demokratisch nennen.

Auch wenn die tatsächliche Relevanz der Merton'schen Prinzipien der Naturwissenscha en nur eingeschränkt ist, können sie einer moralischen Orientierung an guter naturwissenscha licher Praxis dienen. Als Kriterien zur Abgrenzung von guter Wissenscha von Nicht- oder Pseudowissenscha sind sie aber nur eingeschränkt nützlich.

2.5 Beobachten, Messen, Experimentieren

Naturwissenscha en sind empirisch arbeitende Wissenscha en. Eine entscheidende Innovation des neuzeitlichen Naturwissenscha sverständnisses war das Experiment. Auch im naturwissenscha lichen Unterricht wird häu g experimentiert. Dabei dienen Experimente o dazu, ein Phänomen oder eine Gesetzmäßigkeit zu demonstrieren, wissenscha liche oder wissenscha sähnliche Arbeitspraxen einzuüben. Experimentieren ist zugleich eine wissenscha liche Methode. Empirische Untersuchungen über die Vorstellungen von angehenden Lehrkrä en zeigen, dass das naturwissenscha liche Experimentieren von ihnen nicht ausreichend verstanden wird (Gyllenpalm & Wickmann, 2011). Es wird undi erenziert als etwas herauszu nden, auszuprobieren oder zu testen gedeutet. In der Schule wird das Experimentieren sehr o allein in einem unterrichtspraktischen Kontext als Unterrichtsmethode, aber kaum als eine naturwissenscha liche Methode des Forschens verstanden. Lehrkrä e denken über das Experimentieren eher durch die Brille des Fachwissens und seiner Vermittlung als durch die Brille des wissen-

scha lichen Prozesses nach. In diesem Abschnitt wird daher geklärt, was unter dem empirischen Zugang in den Naturwissenscha en verstanden werden kann.

Selbst in der Wissenscha sphilosophie wurde das Experimentieren gegenüber der Frage der Entwicklung und Rechtfertigung theoretischer Geltungsansprüche lange Zeit vernachlässigt. Erst zu Beginn der 1980er Jahre wird dem naturwissenscha lichen Experimentieren parallel zur eorieentwicklung eine gewisse eigenständige Bedeutung zugestanden (Hacking, 1996). Experimentieren charakterisiert die Naturwissenscha en als eine ihrer wichtigsten Methoden. Von *DER Methode der Naturwissenscha en* kann aber angesichts der zahlreichen unterschiedlichen Arbeitsweisen und Methoden keine Rede sein (Höttecke & Rieß, 2015).

Mit der wissenscha lichen Revolution des 17. Jahrhunderts wird das Experimentieren als Charakteristikum der entstehenden Naturwissenscha en bedeutsam. Der Name des englischen Philosophen Francis Bacon (1561-1626) ist mit dieser Entwicklung prominent verbunden. Nach Bacon besteht das Ziel der Naturwissenscha en darin, Natur zu beherrschen, indem man empirisch fundiertes Wissen über sie erarbeitet. Von Emanuel Kant stammt die Metapher, dass ein Experimentator die Natur wie ein Richter in den Zeugenstand ru , um sie eingehend zu befragen. Auch im Schulunterricht wird das Experiment gern als „Frage an die Natur" eingeführt. Wir gehen heute eher von einem anderen Verständnis des Experimentierens aus. Schließlich wird „Natur" in Experimenten nicht passiv befragt, sondern aktiv hervorgebracht. Ein Blick in ein modernes Labor macht dies schnell klar: Experimentieren bedeutet aktives Eingreifen. Entsprechend kann man Experimentieren weniger als eine Aussage der Natur verstehen, die man ihr abgerungen hat, sondern eher als aktives Tun (Hacking, 1996).

Naturwissenscha licher Fortschritt kann durch vielerlei Faktoren begünstigt werden. Es können neue theoretische Ideen sein, die eventuell schon bekannte empirische Befunde erklären oder neu strukturieren. Einsteins Idee des äußeren Photoe ekts, die Darwin'sche Evolutionstheorie oder die Lavoisiers Oxidationstheorie der Verbrennung sind dafür Beispiele. Der eorieentwicklung können aber auch technische Entwicklungen weit vorangehen. Die Entwicklung der Dampfmaschine und der ermodynamik sind dafür beispielgebend. Die theoretische ermodynamik sattelte hier auf eine weit fortgeschrittene technische Entwicklung von Dampfmaschinen auf. Experimente können auch eorieentwicklung nachhaltig stimulieren. Die Entwicklung der Ampèr'schen eorie molekularer Kreisströme kurz nach der Entdeckung des Oerstedt-E ekts ist dafür ein Beispiel. Daneben können experimentelle und theoretische Entwicklung auf glückliche Weise parallel verlaufen. Die eorie der kosmischen Hintergrundstrahlung entwickelte sich etwa zeitgleich zu den experimentellen Befunden einer merkwürdig quellenlosen Strahlung aus dem Weltraum, die einer Temperatur von 3°K entsprach. Ande-

rerseits können eorien, wie z. B. Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie auch Voraussagen machen, die erst später empirisch geprü werden. So geschehen zum Beispiel vier Jahre nach Einsteins Publikation 1915, als die Ablenkung von Licht in Gravitationsfeldern, die Einstein prognostiziert hatte, veri ziert werden konnte.

Das Verhältnis von eorie und Experiment ist also vielgestaltig und kaum zu ent echten. Experimente können zwar auch weitgehend unabhängig von eorieentwicklung sinnvoll sein, ganz unabhängig sind sie davon aber nie. Der Wissenscha stheoretiker N.R. Hanson formulierte 1959, dass jedwede Beobachtung immer schon theoriebeladen sei. Wir können nicht ohne theoretische Begri e auskommen, um sinnvoll zu beobachten. Wir nehmen die Welt im Lichte von eorien wahr. Dass unser Denken notwendig strukturiert sein muss, macht schon ein einfaches Beispiel klar. Wenn ich einen Baum beobachte, dann muss ich nicht rätseln, was sich dort vor dem Horizont so merkwürdig braun und grün abhebt, sondern ich verfüge über eine mentale Repräsentation des Baumartigen. Sie ermöglicht es mir erst, einen Baum tatsächlich als solchen zu erkennen. Das mentale Schema Baum und meine Netzhauteindrücke gehen ein für mich nicht mehr aufzulösendes Amalgam ein. Es ist also nicht zutre end, dass Beobachtungen in den Naturwissenscha en die Qualität einfach gegebener Sinneseindrücke haben. Selbst wenn man die Sterne betrachtet, sind die Sterne nicht an sich als Sterne beobachtbar, sondern werden im Akt der Beobachtung vom Beobachter je nach kosmologischem Konzept unterschiedlich wahrgenommen. Die gilt erst recht, wenn der Blick in den Kosmos zum Beispiel mit einem Radioteleskop erfolgt. Dann sind es Messreihen und Graphen, die zu den mentalen Repräsentationen unterschiedlicher kosmischer Objekte in Bezug gesetzt werden.

Beobachtungsdaten der Naturwissenscha en sind in aller Regel schon von den Instrumenten, die sie registrieren, in Symbolsysteme transformiert worden. Computer dienen der Erfassung umfangreicher Datenmengen und verfügen über Algorithmen zu ihrer Weiterverarbeitung. Ähnliches gilt selbst für ein analoges Amperemeter, wie man es in der Physiksammlung nden kann. Ein Zeigerausschlag soll die Stromstärke angeben können. Ein Symbol (z. B. ein Zeiger weist auf „20“ während der Messbereich „100 mA“ für Gleichstrom eingestellt ist) wird mit einer theoretischen Idee (Strom einer Anzahl diskreter Trägerteilchen elektrischer Ladung geteilt durch ein Zeitintervall) in Zusammenhang gebracht. Das Wissenscha swirkliche wird von Registrier-Apparaturen hervorgebracht, die selbst schon von theoretischen Ideen durchdrungen sind, die ihren Messprinzipien zugrunde liegen. Wissenscha sobjekte wie eine Gensequenz, ein Orbital oder ein Myon manifestieren sich im Experiment bereits im Rahmen symbolischer Repräsentationen. Ein prominentes Beispiel stellen Aufnahmen von Rastertunnelelektronenmikroskopen dar, die einzelne Atome vermeintlich sichtbar macht.

Den empirischen Kern der Naturwissenscha en macht der Begri der Evidenz aus. Der Evidenz-Begri erschöp sich nicht in rohen Daten, sondern schließt Aushandlung und Anerkennung ihrer jeweiligen Bedeutung vor dem Hintergrund theoretischer Annahmen und experimenteller Expertise ein. Hier kommt die oben diskutierte Rolle der *scienti c community* wieder ins Spiel. Zeigerausschläge, Graphen oder Messwerttabellen repräsentieren wissenscha liche Objekte ja nicht von sich aus und an sich, sondern nur vor dem Hintergrund theoretischer Annahmen, etablierter Experimentierprozeduren, wissenscha licher Instrumente und ihres sachkundigen Gebrauchs und der Anerkennung innerhalb der Gruppe berufener Expertinnen und Experten im jeweiligen Fach.

Das bedeutet noch lange nicht, dass in Experimenten mit beliebigen Instrumenten und beliebigen Hintergrundtheorien auch beliebige Evidenz hervorgebracht werden könnte. Die „Natur" wird zwar nicht befragt, zeigt aber doch im Rahmen des Experiments eine gewisse „Widerständigkeit". Die Problematik naturwissenscha lichen Experimentierens besteht daher darin, dass Interpretationen von Messdaten immer davon abhängen, welche mentalen Repräsentationen vom Objekt bereits vorliegen und wirksam sind, wie die Instrumente verstanden und gehandhabt und wie die zu vermessenden Objekte manipuliert und verändert werden. In Experimenten hervorgebrachte Evidenz lässt sich als das Ergebnis eines Bemühens verstehen, Instrumentverstehen (z. B. eorie der Abbildung mittels optischer Linsen bei einem Mikroskop), eorieverstehen (z. B. eorie des Au aus organischer Materie aus Zellen) und konkrete Manipulationen (ein Objekt auf einem Objektträger wird eingefärbt) in ein kohärentes und sinnbildendes Verhältnis zu bringen (Pickering, 1993). Die Idee, dass naturwissenscha liche Evidenz das Ergebnis solch eines Kohärenzbemühens ist, schränkt die Aussagekra von Experimenten ein. Ein *experimentum crucis*, also ein eindeutig zwischen eorien entscheidendes Experiment, wie es einige Schulbücher immer noch propagieren, kann es so nicht geben. Experimentelle Befunde sind schließlich immer schon das Ergebnis von möglicherweise mehrdeutigen, fehlbaren oder revisionsbedür igen Interpretationen.

eoretische Kerne wichtiger naturwissenscha licher eorien lassen sich gegen empirische Einwände mit Ad-hoc-Hypothesen absichern (Lakatos, 1982). Dabei werden Hilfshypothesen für einen der eorie nicht folgenden Einzelfall ad hoc aufgestellt, um einen „Angri " auf eine eorie abzuwehren. Der widersprüchliche Einzelbefund kann dann erklärt werden, ohne die eorie zu verwerfen (s. o.).

Der Physiker Dürr (2000) hat in Anlehnung an den Astrophysiker Sir Arthur Eddington dieses letztlich erkenntnistheoretische Problem mit einem anschaulichen Gleichnis illustriert: Ein Fischwissenscha ler fängt mit einem Netz Fische und gelangt zu zwei Gesetzen. Das erste Gesetz besagt, dass alle Fische länger als 5cm sind, das zweite besagt, dass alle Fische Kiemen haben. Das zweite Gesetz lässt sich

u. U. widerlegen. Das erste Gesetz ist erkenntnistheoretisch interessanter, denn seine Formulierung hängt o ensichtlich nicht nur von den Fischen selbst, sondern auch von der Maschenweite des Netzes ab. Das Gleichnis zeigt, dass wissenscha liche Objekte wesentlich von den Instrumenten und Maßstäben abhängen, mit denen sie hervorgebracht, manipuliert und vermessen werden. Das wissenscha liche Wissen gleicht einer Projektion, ist eingeschränkt, von seinen Entstehungsbedingungen abhängig und repräsentiert keine objektive Realität und Wahrheit. Zugleich ist das Netz aber ohne Meer und Fische gar nicht denkbar. Dürr spricht hier von einer Rückkopplung, denn das Netz ist weder von der Wirklichkeit unabhängig noch ist es zwingend erforderlich, wenn man Fische erforschen will (man könnte ja auch mit Steinen auf Fische werfen). Vielmehr hat sich das Netz einfach bewährt.

In den Naturwissenscha en kann streng genommen von DEM Experimentieren keine Rede sein. Zu zahlreich sind die verschiedenen Strategien (Höttecke & Rieß, 2015). Dennoch lassen sich einige auch für schulisches Experimentieren bedeutsame Experimentalstrategien benennen:

- Die Ableitung einer Hypothese aus theoretischen Überlegungen oder bereits gesicherten empirischen Befunden und ihre kontrollierte Prüfung. Methoden der Variablenkontrolle sind hier besonders bedeutsam;
- beim explorativen Experimentieren werden experimentelle Bedingungen so variiert, dass empirische Regelmäßigkeiten sichtbar werden;
- Aufspüren systematischer Fehler in einer Apparatur;
- Verwendung unterschiedlicher Instrumente oder Detektortypen, um die Evidenz einer empirischen Aussage abzusichern;
- sich überlagernde Phänomene identi zieren, erwünschte Phänomene verstärken, andere reduzieren oder vermeiden;
- die experimentellen Bedingungen so reduzieren und vereinfachen, dass das Grundlegende an einem Phänomen deutlich zutage tritt.

2.6 Die Rolle der Fachsystematiken in den Naturwissenschaften

Für Lehrkrä e, Schülerinnen und Schüler sind Schulbücher eine wichtige Quelle um im Unterricht zu lehren und zu lernen. O orientieren sich Schulbücher an einem systematischen Au au des für die jeweilige Disziplin bedeutsamen Wissens. Lehrbücher der Hochschule verfahren dabei prinzipiell nicht anders. Dabei zeichnen sie kaum ein authentisches Bild von naturwissenscha licher Forschungspraxis.

Werden dort z. B. Experimente vorgeschlagen, um ein Phänomen zu demonstrieren (z. B. die Zunahme der Masse beim Oxidieren von Magnesium), so dient das Experiment als Medium eines in den Naturwissenscha en bedeutsamen Phänomens oder Sachzusammenhangs (z. B. Oxidationstheorie der Verbrennung). Diese Funktion als Medium muss von der Funktion, naturwissenscha liche Praxis didaktisch zu rekonstruieren, sorgfältig unterschieden werden. Anderenfalls kann es geradezu zur Mythenbildung über naturwissenscha liche Forschungsprozesse kommen (Höttecke & Rieß, 2015).

Schul- und Lehrbücher stellen die disziplinäre Inhaltsstruktur jeweils der Biologie, Chemie oder Physik dar. Die Inhalte sind o systematisch miteinander verzahnt. Inhalte in Schulbüchern sollen im Rahmen eines Spiralcurriculums schrittweise und in ihrem Zusammenhang entwickelt werden. Die Systematik eines Faches ist aber gerade nicht seine Historie. Vielmehr dient eine Fachsystematik der Selbstvergewisserung einer Wissenscha lergemeinscha im Hinblick darauf, welche Begri e, Konzepte, eorien, grundlegenden Experimente, Problemlösemuster und Arbeitsweisen die jeweilige Disziplin konstituieren. Eine Fachsystematik dient den Experten/innen einer Disziplin als ein „Werkzeugkasten" des Problemlösens, mit dessen Hilfe wissenscha liche Probleme identi ziert, kategorisiert und unter Anwendung problemtypischer Prozeduren gelöst werden können. Die Ausbildung zum naturwissenscha lichen Problemlöser umfasst die Einführung in die Kenntnis und Handhabung dieses Werkzeugkastens. Es sei hier angemerkt, dass Lehrkrä e in den Naturwissenscha en nicht unbedingt Probleme lösen, sondern Verstehen fördern sollen. Für sie ist die Kenntnis und Handhabung dieses Werkzeugkastens daher weniger bedeutsam als ein tiefes Verständnis der grundlegenden Ideen, Konzepte, Methoden und Prozesse, die eine naturwissenscha liche Domäne konstituieren, und ihres systematischen und historischen Zusammenhangs.

Den Naturwissenscha en, so wie sie sich in Schul- und Lehrbüchern darstellen, scheint bezüglich ihrer eigenen Entstehungsbedingungen eine gewisse Selbstvergessenheit eigen zu sein. Wie Naturwissenscha en „gemacht" werden, wird kaum sichtbar (vgl. Kap. 6). Dieser Umstand betri bereits die Publikationspraxis in den Naturwissenscha en. In den Naturwissenscha en besteht ein Forschungs-*paper* o aus mehreren geradezu standardisierten Elementen. In einem eorieteil soll der Forschungsstand zum jeweiligen ema geklärt werden. In einem Methoden-Teil werden die Apparaturen dargestellt und bezüglich ihrer Hintergrundannahmen gerechtfertigt. Im Ergebnis-Teil werden schließlich Messergebnisse in ihren jeweiligen Symbolsprachen au ereitet und es wird der Nachweis der Forschungsgüte geführt. Eine abschließende Diskussion demonstriert noch einmal die Stichhaltigkeit und Relevanz der Forschung, bettet die Ergebnisse in größere Zusammenhänge ein und benennt Limitationen und Forschungsdesiderate.

Wie schon oben gezeigt, ist das *paper* eine Kommunikationshandlung an die Wissenscha lergemeinscha , aber keinesfalls ein Abbild dessen, was in Forschungsinstituten und ihren Laboren tatsächlich geschieht. Während ein *paper* Forschungsgüte und Gewissheit demonstriert, sind Prozesse im Labor eher von Praktiken geprägt, ein Phänomen im Rahmen der o. g. Dreiheit *eorie verstehen – Instrument verstehen – konkrete Manipulation* zu stabilisieren. Die Gewissheit über einen empirischen Befund steht daher bestenfalls am Ende langer Forschungsarbeit, das Charakteristikum von Forschung im Prozess ist eher Ungewissheit als Gewissheit. Dies wird besonders deutlich, wenn die Existenz von Messobjekten theoretisch vorhergesagt, selbst aber noch unsicher ist. Ein Beispiel: Einsteins allgemeine Relativitätstheorie prognostiziert 1916 die Existenz von Gravitationswellen. Bis heute wurden unterschiedliche Prinzipien zur terrestrischen Messung von Gravitationswellen entwickelt. Erfolg oder Misserfolg der Experimente wurde kontrovers diskutiert. Das Grundproblem besteht darin, einen Detektor mit bestimmten Eigenscha en (Emp ndlichkeit, Resonanzfrequenz etc.) zu konstruieren, sodass ein Signal sich klar vom immer vorhandenen Messrauschen unterscheidet. Entwicklung, Kalibrierung und Eichung eines solchen Detektors gelingen mit Hilfe de nierter Test-Signale. Ein Test-Signal zu erzeugen, setzt aber eigentlich die Technik voraus, Gravitationswellen mit Bestimmtheit identi zieren zu können. Fast einhundert Jahre nach Einsteins Prognose der Gravitationswellen, im September 2015, gelang es mit zwei unabhängigen Detektoren die vom Kollaps zweier schwarzer Löcher ausgehende Verzerrung der Raum-Zeit zu identi zieren. Die Messapparate bestanden im Wesentlichen aus Interferometern, die die Laufzeitunterschiede unterschiedlicher Lichtstrahlen mit hoher Präzision bestimmen können. Für eine direkte Messung der Gravitationswellen mussten Längenänderungen der Interferometer im Bereich von einem Zehntausendstel eines Protondurchmessers messbar werden.

In der Regel wird Forschung mit etablierten und gut verstandenen Instrumenten betrieben. Das Deutungsproblem empirischer Evidenz bleibt aber im Prinzip bestehen. Forschung ha et prinzipiell ein Moment von Unsicherheit an. Unsicherheit kann dabei selbst Generator des Neuen in den Naturwissenscha en sein, indem immer neue Forschungsfragen aus Gemengelagen aus Sicherheit und Unsicherheit hervorgehen. Der „Werkzeugkasten“ der Fachsystematik der Biologie, Chemie oder Physik demonstriert aber gerade nicht, dass Naturwissenscha en unsicher, vorläu g und kontrovers sein können.

Weiterführende Literatur

Chalmers, A.F. (2001). *Wege der Wissenscha . Einführung in die Wissenscha stheorie*. Berlin u. a.: Springer-Verlag.

Fara, P. (2010). *4000 Jahre Wissenscha* . Heidelberg: Spektrum-Verlag.

Felt, U., Nowotny, H., & Taschwer, K. (1995). *Wissenscha sforschung. Eine Einführung*. Frankfurt, New York: Campus.

Hacking, I. (1996). Einführung in die Philosophie der Naturwissenscha en. Stuttgart: Reclam.

Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenscha liches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenscha sforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegri der Fachdidaktik. *Zeitschri für Didaktik der Naturwissenscha en*, 21(1), 127-139.

Ziman, J. (2000). *Real Science. What it is, and What it means*. Cambridge: Cambridge University Press.