

# Unsere Geschichte der Physik und die Rolle der Fehlerkultur

Susanne Heinicke und Paul Schlummer, Universität Münster

## 1. Das Fortschrittsempfinden und seine historische Rückschau

„Jeder Fehler erscheint unglaublich dumm,  
wenn andere ihn begehen“ – Lichtenberg.

Naturwissenschaft beschäftigt sich mit der Erforschung und Beschreibung der Natur. Ihre Erkenntnisse münden dabei in zahlreichen Fällen in Anwendungen und in Verwendungen eben dieser Natur. Es mag darum naheliegend sein, in den Ereignissen Entwicklung und Fortschritt zu sehen und aus dieser Wahrnehmung von Erfolg heraus rückblickend Geschichte zu konstruieren. Butterfield (1931) bezeichnete diese Art der (v.a. naturwissenschaftlichen) Geschichtsschreibung als “Whig history” - die sich dadurch auszeichne, dass die Vergangenheit der Gegenwart zuliebe erforscht und dargestellt werde. Solche Geschichtsschreibung suche nach Zusammenhängen und Entwicklungen, die zielgerichtet zu einem heute empfundenen Stand und Erfolg der Wissenschaft geführt hätten. Diese vereinfachende und geradlinige Art der Darstellung wird heute vielfach kritisiert.

### Wie entsteht Geschichte?

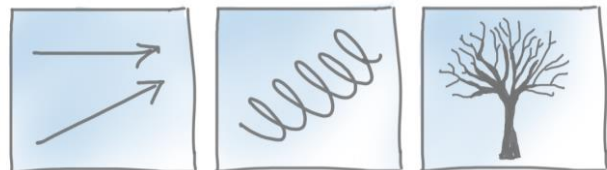
Geschichte ist nicht identisch mit Vergangenheit. Die Vergangenheit bezeichnet eine vergangene Wirklichkeit, die irreversibel und hochkomplex ist. Der Begriff Geschichte bezeichnet dagegen ein *Bild* dieser Vergangenheit, wie eine einzelne Person oder eine Personengruppe bis hin zu einer ganzen Gesellschaft es sich macht. Aufgrund der Individualität dieser einzelnen Menschen bzw. der stetigen Veränderung von Gesellschaft ist dieses Bild fließend und veränderlich. Es entsteht zum einen durch die Auswahl, das Weglassen und manchmal auch Hinzufügen von Aspekten der Vergangenheit und zum anderen durch die Zusammenstellung dieser Aspekte, aus denen sich jeweils Sinn- und Entwicklungszusammenhänge ergeben. Geschichte stellt dadurch eine reduzierende und interpretative Variante unter vielen möglichen Erzählungen dar.

#### Anregung für den Unterricht 0:

#### Zeichenaufgabe und Diskussion um Symbole für naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung

*Aufgabe für die Sek II:* „Zeichnen Sie ein Symbol für die Entwicklung von Erkenntnis in den Naturwissenschaften!“

Diese Zeichenaufgabe wurde von über 300 Physikstudierenden bearbeitet. Die unten dargestellten Abbildungen waren die drei am häufigsten gezeichneten Symbole (Heinicke 2012): ein nach rechts (bzw. aufsteigend nach rechts) gerichteter Pfeil, eine aufwärts drehende Spirale, ein sich nach oben verästelnder Baum.



Geschichte anhand eindimensionaler, zielgerichteter und reduzierter Ereignisketten zu konstruieren, ist eine uns vertraute und plausible Herangehensweise. Sie ermöglicht unterhaltsame, lehrreiche und logische Erzählungen und hat darum auch im Physikunterricht und in den Physikbüchern ihren Platz. Es lohnt allerdings, einmal etwas tiefer in die uns so vertrauten Erzählungen zu stochern und sie auf ihre historische Plausibilität zu prüfen und auch zu fragen, *warum* wir die Geschichte so erzählen. Denn die Art unserer Narrative trägt auch implizit Aussagen über naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und ihren Umgang mit Fehlern und Fehlschlägen, derer wir uns bewusst sein sollten. Dem will dieser Artikel anhand einiger Beispiele nachgehen.

## 2. Besonderheiten der Geschichte der Naturwissenschaften und die Deklaration von Fehlern

In der Tradition der Geschichtsschreibung der Naturwissenschaften meist mehr oder weniger miteinander korrelierte Begebenheiten ausgewählt und zu Narrativen sortiert, die sich wie rote Fäden einer Positiventwicklung der Naturwissenschaft durch die Jahrhunderte hindurch weben lassen. Typische Beispiele für Erzählungen über lange Zeiträume sind beispielsweise die Entwicklung zu Vorstellungen über den Aufbau der Materie, speziell des Atoms, der Wärme oder der Elektrizität. Dabei bedient sich die naturwissenschaftliche Geschichtsschreibung bestimmter grundlegender Aspekte, die wir hier in Form von 5 typischen Narrativen betrachten wollen (Abbildung 1).



Abbildung 1: 5 typische Narrative der naturwissenschaftsgeschichtlichen Erzählung

- Narrativ 1: Priorität und Urheberschaft – Wer es (zuerst) gedacht hat
- Narrativ 2: Bewertung – das Richtige und das Falsche
- Narrativ 3: Korrektur – den Fehler korrigieren
- Narrativ 4: Aushandlung – die Korrektur erfolgt unmittelbar
- Narrativ 5: Objektivität – Bewertung ist personenunabhängig / objektiv

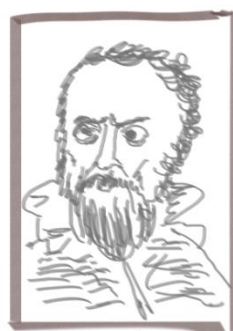
### Narrativ 1: Die Priorität - Wer es zuerst gedacht hat



Naturwissenschaftliche Geschichte beispielsweise in ihrer Darstellung in Schulbüchern schreibt einzelne Erkenntnisse in einer Kette meist einer Person zu, die etwas vermeintlich als erste gedacht, beobachtet oder geschlussfolgert hat. Auf diese Weise entstehen die uns wohlbekannten Ahnengalerien bedeutender (fast durchweg europäischer/nordamerikanischer und männlicher) Wissenschaftler. Abbildung 2 gibt ein typisches Beispiel aus einem Physikbuch zur Geschichte der Mechanik wieder.



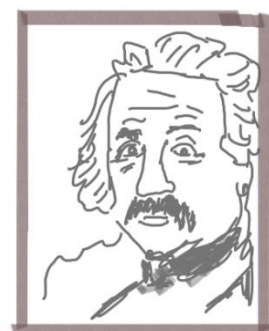
Aristoteles



Galilei



Newton



Einstein

Abbildung 2: Ahnengalerie zur Erkenntnisgeschichte in der Mechanik

Der Tenor einer typischen Schulbucherzählung zu einer Abbildung ähnlich Abbildung 2 ist in der Regel: Jeder der dargestellten Physiker erkennt einen Teil des Wissensgebietes, aber noch nicht das vollständige / korrekte Bild. Der nächste korrigiert einen vorangegangenen Fehler und vervollständigt zur korrekten Darstellung hin. Dabei erscheint das letzte (heutige) Level jeweils vollständig, widerspruchsfrei und abgeschlossen.

Das Herausheben von Urheberschaft und Priorität begegnet uns auch anderswo in den (Natur-) Wissenschaften. Auch die personenbezogenen Mechanismen wissenschaftlicher Anerkennungen wie Veröffentlichungen, Ehrungen oder Preise folgen dieser Perspektive. Es erstaunt daher nicht, dass sich unter dem Stichwort des "Prioritätenstreits" interessanterweise vor allem naturwissenschaftliche Beispiele wie die Infinitesimalrechnung (Newton und Leibniz), die Entdeckung der Jupitermonde (Marius und Galilei), die Methode der kleinsten Quadrate (Gauss und Legendre) oder das Glykogen (Bernard und Hensen) finden lassen. Die heute verbreitete Geschichte der Naturwissenschaften orientiert sich insgesamt stark an Personen und ihren individuellen Beiträgen zur Physik. Dies macht den folgenden Aspekt besonders prekär, denn wenn Erfolge Personen, bzw. Gruppen von Personen zugewiesen werden, so trifft dies auf Fehler und Irrungen entsprechend ebenfalls zu.

#### Anregung für den Unterricht 1:

#### Auswahl und Darstellung zentraler Personen

*Aufgabe:* In einem Exkurs über die Natur der Naturwissenschaften kann im Unterricht der höheren Klassen einmal das Physikbuch daraufhin durchgeschaut werden. Welche Personen tauchen auf? Wie werden sie dargestellt? Arbeiten Physiker (heute) so solitär wie hier dargestellt?

#### Narrativ 2: Die Bewertung – das Richtige und das Falsche



Ein wichtiges Kennzeichen der naturwissenschaftlichen Geschichtsschreibung ist die Narration, dass (bisherige) falsche Annahmen aufgespürt und korrigiert wurden und dadurch eine vollständigere und richtigere Beschreibung der Natur durch die Physik entstände. Ein wichtiges Stilmittel hierfür ist die Bewertung von Erkenntnissen in

den Kategorien des Falschen (z.B. das bisher Gedachte) und des Richtigen (die neue Erkenntnis). Dabei ist diese Bewertung vom Standpunkt der Person abhängig, die die Konstruktion der Geschichte vornimmt. Die Bewertungen wandeln sich daher zum einen je nach Stand der Erkenntnis, zum anderen sind sie abhängig von den Einstellungen, Interessen und Urteilen der wertenden Person - dies gilt für die Wissenschaftler, die neue Erkenntnisse veröffentlichen ebenso wie für Historiker, die die Vergangenheit beforschen und daraus Geschichten schreiben. Genauso gilt es für die Laien, die sie hören; für die Lehrkräfte, die Geschichte(n) im Unterricht berichten und für die Lernenden, die daraus ihr eigenes Verständnis von Physikgeschichte konstruieren. Geschichte berichtet viel über unseren eigenen Standpunkt, unsere Interessen, Perspektiven und Einstellungen - und nicht nur von unseren eigenen: Erzählungen, die wir aus anderen Epochen übernehmen, enthalten konsequenterweise auch die Perspektiven und Interessen damaliger Personen und Gesellschaften.

#### Die Interessen von Renaissance und Aufklärung

Die Art, wie wir naturwissenschaftliche Geschichte heute erzählen, kann tatsächlich nur unvollständig verstanden werden, solange wir nicht die Interessen der Wissenschaftler zur Zeit der Aufklärung und die Aufbruchsstimmung der gewaltigen Entwicklungen in der Naturwissenschaft im 19. bis in die

Mitte des 20. Jahrhunderts in Betracht ziehen. Hier entstehen beispielsweise die folgenden heute noch sehr bekannten Narrative:

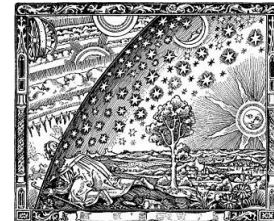
- Galileis vermeintlicher Satz: „Und sie bewegt sich doch.“ Ein Satz, der den Fehler der Argumentation der Gegenseite auf den Punkt bringen und den Wendepunkt zu einem korrigierten naturwissenschaftlichen Weltbild markieren soll.

Auch wenn viele Erzählungen den aufmerksamen Hinweis nachschieben, dass dieser Satz historisch nicht stattgefunden hat - der Satz gehört zu den bekanntesten der populären Physikgeschichte. Er ist Teil des Bildes einer wissenschaftsfeindlichen katholischen Kirche, das Wissenschaftler der Aufklärung entwarfen und pointierten, um ihre Epoche der „Neuzeit“ deutlich von der vorangegangenen abzugrenzen. Dieses Bild zeichnet die Umstände nicht nur verkürzt, sondern verzerrt es auch in vielen Aspekten in unzutreffender Weise.

- „Noch im Mittelalter dachten die Menschen, die Erde sei eine Scheibe.“ Erst die naturwissenschaftliche Forschung der Renaissance habe sich aus dieser fehlerhaften Annahme befreit.

Diese Behauptung gelangte im 19. Jahrhundert zu weiter Verbreitung und hält sich bis heute. Dabei haben Historiker bereits zu Beginn des 20. Jahrhundert festgestellt, dass es sich hierbei um einen historischen Irrtum oder vielmehr eine Diffamierung vorangegangener Epochen handelt. Das Bild der flachen Erde pointierte das angeblich rückständige, religiös geprägte Mittelalter in Abgrenzung einer „aufgeklärten“ Gesellschaft und Naturwissenschaft der Neuzeit. Diese (unzutreffende) Fehlerzuweisung sollte das „aufgeklärte“ Zeitalter überlegen erscheinen lassen. Und dies gelang mit Erfolg: Noch heute hält sich diese Behauptung und der Narrativ über das „finstere Mittelalter“ (als ein wissenschaftlich dunkles Jahrtausends vom 5. bis 15. Jahrhundert, in der das Wissen der antiken Gelehrten völlig verloren gegangen sei) durch den Gegensatz zum „erleuchteten Zeitalter“ der Aufklärung, Renaissance und des Humanismus.

- Der Mensch, der durch den Horizont blickt. Als Sinnbild dieser retrospektiven Fehlerzuweisung hat auch der Holzstich von Flammarions Berühmtheit (Abbildung 2) erlangt. Er zeigt einen Menschen, der am Rande seiner Welt Kopf und Schultern durch den Horizont steckt, um das Dahinterliegende zu betrachten.



Bis heute wird das Bild als eine authentische Darstellung des Mittelalters zitiert und als Sinnbild für den Ausbruch aus einer Epoche der Fehlerhaftigkeit und Unwissenheit in Büchern abgebildet. Tatsächlich erschien der Holzstich erst 1888 und wird aufgrund der Darstellung und Technik von den meisten Historikern auch als eine von Flammarion selbst in Auftrag gegebene Arbeit angesehen.

### *Die Interessen und Perspektiven des 20. Jahrhunderts*

Ab Mitte des 20. Jahrhunderts und vor allem unter dem Eindruck des Weltkrieges entstanden dann anschließend literarische und mediale Werke über Naturwissenschaftler, Mathematiker und vor allem Physiker, die sich auf eine sehr andere Art an ihnen abarbeiteten. Hier sind vor allem Dürrenmatt und Brecht zu nennen, die mit ihren Bühnenstücken beide die Frage der Verantwortung aufwarfen (und Physiker im Irrenhaus beschrieben). Das Bild der Physiker geriet in Verbindung mit den großen Machtapparaten: entweder a) als gutgläubig-naiv ihrem Wissensdurst folgend, b) wider Willen, aber machtlos oder auch c) skrupellos bis aktiv mitgestaltend.

In neuerer Zeit brachten Erzählungen wie *A Beautiful Mind* über die Spannung zwischen Genie, Mensch und Wahnsinn oder die *Big Bang Theory* mit Charakteren zwischen nerdiger Schrulligkeit, sozialer Unbeholfenheit, Weltfremde und unterhaltsamer Absurdität neue Bilder auf. Der Physiker-Nerd wurde zum Kult, aber eben auch zum Nerd.

Diese beiden Varianten des Bildes von Physikern und von Physik enthalten interessanterweise auch neue Aussagen über die personenbezogene Fehlerhaftigkeit. Die Fehler liegen nun weniger im Bereich des Wissenschaftlichen, sondern im gesamten sonstigen Verhalten der betrachteten Personen, allen voran ihren moralisch-ethischen Entscheidungen und ihrem sozial-gesellschaftlichen Verhalten.

#### Anregung für den Unterricht 2:

##### Hinterfragen typischer Erzählungen vor dem Hintergrund der Interessen und Standpunkte der Erzählenden

Zu allen drei oben genannten Beispielen (Galileis vermeintlicher Trotz-Satz, die Flache-Erde-Verleumdung und der Flammarion-Holzstich) lassen sich sehr einfach und verlässlich kritische Stellungnahmen im Internet finden. Sie eignen sich daher gut als Rechercheaufgabe zum Kompetenzbereich *Bewerten*.

##### Mögliche Fragestellungen:

1. Recherchiert, ob die Aussage (1-3) verlässlich ist oder welche Kritiken es an ihrer Darstellung eventuell gibt.
2. Welche Interessen und Absichten könnten hinter einer solchen verzerrten Darstellung stecken?

## Aushandlungsprozesse in den Naturwissenschaften und ihr Umgang mit Fehlern

Erzählungen über Fehler in den Naturwissenschaften und ihrer Erkenntnisgewinnung können einen wichtigen Beitrag dazu leisten, einen produktiven Umgang mit Fehlern in der Geschichte der Wissenschaft zu thematisieren und ihn auch bei den Lernenden zu fördern. Sie können daher sowohl eine pädagogische als auch eine inhaltsbezogene Funktion haben: Erkenntnis entwickelt sich, auch Wissenschaftler irren sich, Fehler gehören zum Erkenntnisprozess dazu, Fehler können korrigiert werden, die Prozesse zu neuer Erkenntnis sind oft mühsam, wie gelangt man an neue Erkenntnis usw.

Populärwissenschaftliche Erzählungen berichten meist nur knapp, dass eine neue Erkenntnis eine alte, überholte ersetzt habe. Selten schließen die Erzählungen auch mit ein, dass einer solchen Etablierung neuer Lehrmeinungen oft ein langwieriger Aushandlungsprozess unterliegt, dass Wissenschaftler mitunter auf keine Einigung kommen oder dass Korrekturen sich im Nachhinein wiederum als falsch herausstellen können. Schwer aufzuspüren sind in der Physikgeschichte auch solche Begebenheiten, in denen die Zeitgenossen eine vorgeschlagene Korrektur (unberechtigterweise?) verwarfen. Insgesamt handelt es im Ringen um die physikalische Erkenntnis um einen nie abgeschlossenen Prozess. Die in Erzählungen stark geglätteten Prozesse erweisen sich schon bei etwas genauerem Hinsehen als deutlich rauher und unebener. Hiermit beschäftigen sich die folgenden drei Narrative.

### Narrativ 3: Die Korrektur – den Fehler korrigieren



Die Korrektur eines Fehlers ist kein Automatismus, sondern ein Prozess der (Aus-)Handlung. Dies lässt sich anhand von bekannten Beispielen im Unterricht gut thematisieren.

Die Beispiele hierzu sind mannigfaltig, daher hier nur exemplarisch:

- Tycho Brahes Annahme der Existenz von Kometen - auch von Galilei noch ein halbes Jahrhundert später als "Tychonische Affenplaneten" verspottet<sup>1</sup>
- Rumfords Messungen an stumpfen Kanonenrohren, die eine Herausforderung für die von Lavoisier formulierte Hypothese des Wärmestoffs darstellte, sie aber nicht unmittelbar ad acta legten<sup>2</sup>
- Millikans und Fletchers Messungen zur Elementarladung eines Elektrons, führten zwar bereits 13 Jahre später zur Verleihung des Nobelpreises an Millikan, ihre Diskussion wurde aber kontrovers und heftig geführt - teils über die resultierende Annahme der Quantelung von Ladung, teils aufgrund widersprechender Messungen beispielsweise von Ehrenfest.
- Die Entwicklung der Speziellen Relativitätstheorie, an deren Anfang meist der gescheiterte Nachweis des Lichtäthers im Jahre 1887 gestellt wird. Tatsächlich war das berühmte Michelson-Experiment weder das einzige Experiment, das Zweifel an der Gültigkeit der Ätherhypothese aufwarf<sup>3</sup>, noch wurde mit dem negativen Ausgang des Experiments die Äthertheorie unmittelbar obsolet.
- Das Einstein-Podolsky-Rosen-(EPR)-Paradoxon und die Bell'schen Ungleichung, legten die Grundpfeiler für die Quantentheorie. Auch wenn heute kaum noch jemand ernsthaften Zweifel an der Vollständigkeit der Quantentheorie hegen dürfte, werden auch weiterhin theoretische Schlupflöcher für lokal-realistische Theorien diskutiert und neue Experimente zu ihrer Widerlegung entwickelt.<sup>4</sup>

Auch wenn der Umbruch von physikalischen Weltbildern also keineswegs so zügig oder eindeutig verläuft, wie es in der rückblickenden Darstellung der Fall zu sein scheint, ist unbestritten ein wesentlicher Aspekt wissenschaftlicher Theorien, experimentell überprüfbare Aussagen zu liefern und sich zu den Ergebnissen dieser Überprüfung zu verhalten.

<sup>1</sup> Galilei ging insgesamt wenig zimperlich mit Hypothesen anderer Wissenschaftler um. Dies bekam neben vielen anderen auch insbesondere Kepler zu spüren, dessen Schmähungen Galileis u.a. die heute unumstrittenen von ihm postulierten Ellipsenbahnen, seine Gezeitentheorie und sein Optikwerk *Dioptrice* trafen.

<sup>2</sup> Hierzu findet sich eine Erzählung in der Story Telling-Datenbank der Physikdidaktik der Universität Flensburg, s.a. Themenheft XX Physik auf der Bühne.

<sup>3</sup> Vgl. Zum Beispiel die in Simonyi geschilderten Experimente von Bradley (1728), Fizeau (???) & Trouton & Noble (1903).

<sup>4</sup> Ein recht aktuelles Beispiel ist beispielsweise die Veröffentlichung von Rauch et al. 2018.

### Anregung für den Unterricht 3:

#### Hinterfragen der unmittelbaren Automatismen der Selbstkorrektur in den Naturwissenschaften

Über den Prozess des wissenschaftlichen Fortschritts sind verschiedene theoretische und die Sachverhalte stark vereinfachende Modelle entwickelt worden. Am bekanntesten sind die Modelle von Popper und Kuhn. In Kürze:

*Popper:* Falsifikationismus - Eine Hypothese kann niemals bewiesen, aber gegebenenfalls widerlegt werden. Erkenntnis vollzieht sich im einem trial-and-error-Verfahren.

*Kuhn:* Paradigmenwechsel - zu großen denkerischen Umwälzungen kommt es in den Naturwissenschaften an Zeitpunkten sogenannter Revolutionen, die einen anderen Denkrahmen (Paradigma) hervorbringen. Antworten sind nur innerhalb ihres Paradigmas zu bewerten (Inkommensurabilität).

Diese beiden Ansätze können Ausgangspunkte für Recheraufgaben sein. Beispielsweise finden sich viele populärwissenschaftlich verständliche Darstellungen zur Diskussion um die scheinbar ultraschnellen Neutrinos (Messung am CERN 2011). Anstelle schriftlicher Texte eignet sich auch ein im Netz zu findendes Radiointerview mit Harald Lesch.<sup>1</sup>

#### Mögliche Fragen für die Sek II:

- Handelt es sich hierbei um einen möglichen Paradigmenwechsel oder eine Falsifikation?
- Wie werden mögliche Fehler im anerkannten Wissensgebäude der Physik kommentiert? (Interessant ist auch hier die personenbezogene Zuweisung in vielen Artikeln: "Einstein widerlegt?", "Einstein doch gerettet.", "Physiker blamiert" usw.)
- Was hat die Wissenschaftler angetrieben, die revolutionär anmutenden Daten zu veröffentlichen? Wie sicher waren sie sich, dass ihnen kein Fehler unterlaufen war, bzw. warum gingen sie das Risiko ein?
- Wie wird im zweiten Teil der Geschichte mit der Aufdeckung des Fehlers in der Messung umgegangen (auf Seiten der Medien / auf Seiten der Wissenschaftler)?

#### **Narrativ 4: Aushandlung – Die Korrektur erfolgt unmittelbar**



Ein Fehler ist "aufgedeckt" und wird gleich verworfen? Nicht notwendigerweise, wie ein genauerer Blick in die Wissenschaft und auch in Schulbücher zeigt. Verwenden wir doch in beiden Fällen pragmatisch auch etablierte Bilder, Modelle und Erklärungen weiter, die im Konflikt mit inzwischen anerkanntem Wissen sind. Da sich Modelle durch die Merkmale der Repräsentation, Reduktion und des Pragmatismus (für wen, wann und mit welchem Ziel) auszeichnen, lässt

sich ihre Verwendung zu einem bestimmten didaktischen Zweck auch in vielen Fällen begründen. Die fachliche Korrektheit und Anschlussfähigkeit sind andererseits Themen, die in der Fachdidaktik der Naturwissenschaften immer wieder diskutiert werden, beispielsweise beim Modell der Elementarmagnete, Teilchen- oder Atommodellen.

Gerade im Schulkontext gilt es daher, den Unterschied zwischen Modellvorstellungen,

#### Anregung für den Unterricht 4:

##### Das Modell und die Realität

Studien weisen darauf hin, dass Lernen über den Umgang mit Modellen am besten explizit erfolgen sollte. Hier bieten sich in unserem Sinne des historisch-kritischen Reflektierens ebenfalls viele Lerngelegenheiten über die Verwendung von fachlich fragwürdigen und zumindest in ihrer Reichweite fachlich eingeschränkten Modellen, wie beispielsweise das Modell der Elementarmagnete, aber auch den Widerspruch zwischen konventioneller Stromrichtung und der Bewegung elektrisch negativer Ladungsträger im Kabel, der Verwendung einfacher Kugel-Teilchenmodellen in der Wärmelehre usw.

mathematischer Beschreibung und physikalischer Realität hervorzuheben. Dass dies nötig ist, zeigt sich auch daran, dass viele falsche Lernendenvorstellungen auf derartigen Missverständnissen beruhen. So glauben Lernende etwa, dass Feldlinien reale Gebilde seien (Schecker 2018) oder dass Festkörper auf Mikroebene Elementarmagnete beinhalten (Barrow 1987).

Auch in der Wissenschaft erweisen sich bekannterweise fehlerhafte Ansätze bisweilen als erstaunlich

fruchtbar. Eine spannende Erzählung zur Geschichte hinter dem Nobelpreis an Franck und Hertz auf dem Fundament einer fehlerhaften Annahme findet sich ebenfalls in der Datenbank Story Telling der Universität Flensburg.

Darüber hinaus gibt es auch Fälle, die noch heute als ‚richtige‘ Beschreibungen physikalischer Phänomene gelten und in der Schule gelehrt werden, aber ursprünglich aus ‚falschen‘ physikalischen Modellvorstellungen erwachsen sind. Wer hätte beispielsweise geahnt, dass das Huygens'sche Prinzip zur Beschreibung und Erklärung von Beugungs- und Interferenzeffekten (Abb. 2), nur sehr entfernt etwas mit der heute üblichen Beschreibung durch im heutigen Sinne zu tun hatte (vgl. Simonyi 2006, S. 276, Kuhn 1970, S. 275+293)? Was wir heute als Welle, also als Ausbreitung einer periodischen Schwingung beschreiben würden, ist bei Huygens noch als mechanischer, nicht explizit periodischer Stoßvorgang gedacht.

Auch brauchte es oft erst eine Zeit der Reife für die neuen Ansätze. So wird dem polnischen Astronomen Nikolaus Kopernikus das Verdienst zugeschrieben, das auf Ptolemäus zurückgehende geozentrische Weltbild durch eine angemessenere, heliozentrische Beschreibung ersetzt zu haben. Jedoch zeigte sich, dass die auf Grundlage des neuen Modells berechneten astronomischen Tafeln nicht zu genaueren Vorhersagen der Planetenbewegungen taugten als die bisherigen ptolemäischen (WEINBERG, KUHN) und somit keinen sichtbaren Vorteil boten. Kopernikus hatte noch perfekte Kreisbahnen um die Sonne zugrunde gelegt. Erst einige Jahrzehnte später konnte Johannes Kepler durch die Einführung von Ellipsenbahnen und veränderlichen Bahngeschwindigkeiten die theoretischen Vorhersagen mit den astronomischen Beobachtungen besser in Einklang bringen.



Vor allem zu Beginn wissenschaftlicher Debatten ist die Entscheidungslage meist wenig evident, so dass sich verschiedene Positionen ergeben. Aber auch bei zunehmender Evidenz oder wachsendem Konsens in der Community der Wissenschaftler ebbt die Diskussionen nicht notwendigerweise mittel- oder auch langfristig ab. Livio (2013) zeichnet in seinem Buch 'Brilliant Blunders' detailliert den Fall des Astrophysikers Fred Hoyle nach, dessen wissenschaftliche Erfolge im Bereich der Astrophysik ihm zunächst viel Anerkennung einbrachten. Mit einigen seiner unkonventionellen Ideen stieß er in der Community aber auch auf Ablehnung. Ende der 1940er Jahre entwickelte Hoyle mit Kollegen die Steady-State-Theory zur Expansion des Universums als Gegenentwurf zur Urknalltheorie. Obwohl auch dieser Ansatz auf Ablehnung stieß, führte Hoyle ihn unbehelligt weiter und veröffentlichte noch über 50 Jahre später weitere Argumente für seine Theorie.

Dies wirft auch die Frage auf, inwiefern Entscheidungen im wissenschaftlichen Kontext nach objektiven Maßstäben getroffen werden oder welche weiteren Aspekte hier eine Rolle spielen.

### **Narrativ 5: Objektivität – Bewertung ist personenunabhängig / objektiv**



Dieser Narrativ schließt den Kreis zu der eingangs diskutierten Rolle unserer Interessen und Einstellungen auf die Bewertungen, die wir vornehmen. Es liegt nahe, dies auch im Bereich naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse nicht auszuschließen. Und entsprechend finden sich viele Anhaltspunkte dafür, dass die Bewertungen von Argumenten und Hinweisen auch hier nicht nach rein objektiven Gesichtspunkten abläuft. Galilei ist schon mehrfach als Beispiel genannt worden und auch hier lohnt sich ein Blick auf diese historische Figur. Eigene *persönliche, politische, wirtschaftliche und karrierebezogene* Interessen schwingen nicht gerade versteckt in seinen Antworten auf Kollegen und Kritiker mit, wenn man in seine Originalschriften hineinliest.

Als ein weiterer pointierter Satz hat Einsteins Ausspruch "Gott würfeln nicht." Berühmtheit erlangt und viele Interpretationen bezüglich seiner Ablehnung der (vermuteterweise stochastischen) Konsequenzen der Quantenphysik hervorgebracht, die auf seinen *philosophischen* Grundüberzeugungen basiert. Wörtlich schrieb Einstein in einem Brief an Born 1926:

„Die Quantenmechanik ist sehr achtunggebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, dass das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, dass der nicht würfeln.“

Etwas weniger bekannt ist die Episode von Edison um seine Entscheidung für die Verwendung von Gleichstrom im amerikanischen Versorgungsnetz, die ihm den später sogenannten "Stromkrieg" mit Westinghouse als Vertreter der Wechselstromversorgung einbrachte. Die von Edisons vorgetragene Argumente für Gleichstrom waren *wissenschaftlicher* und *sicherheitsbezogener* Art. Seine Einstellung basierte allerdings vor allem auch auf *wirtschaftlichen* Interessen: Er hatte bereits große Geldsummen in die weitreichende Entwicklung seiner Produktionskette investiert, und die beiden Gesamtsysteme in ihrer lokalen, bzw. zentralen Versorgungslösung waren technisch kaum

vereinbar. Einstein<sup>5</sup> wie Edison sollen später das Festhalten an ihren Überzeugungen als großen Fehler ihres Lebens bezeichnet haben.

Auch in der aktuellen Forschung kollidiert das Ideal der objektiven naturwissenschaftlichen Methode mit den Realitäten: Forschung ist auf öffentliche Gelder und Drittmittel angewiesen, wird honoriert anhand des Prioritätenprinzips (Narrativ 1), findet in gesellschaftspolitischen Rahmen, oft unter Zeitdruck und auf einem engen Arbeitsmarkt statt. Forschung<sup>6</sup> ist kein interessefreier und dadurch auch kein fehlerneutraler Raum.

#### Anregung für den Unterricht 5:

##### Edison und Westinghouse: Der Stromkrieg \_\_

Zur Rivalität von Westinghouse und Edison gibt es einen etwa 45-minütigen Film aus der Reihe Terra X, der sich für den Unterricht gut eignet.

*Die Lernenden erhielten dazu einen Lückentext und Leitfragen:*

- Worin unterschieden sich die Ansätze von Edison und Westinghouse?
- Was waren ihre Beweggründe für ihren Ansatz?
- Welche Argumente brachten sie öffentlich für ihren Ansatz vor?
- Was bezeichnete Edison im Nachhinein als einen Fehler?

Film und Episode eignen sich außerdem für einen kritischen Blick auf das Schreiben von Populärgeschichte. Wir gaben den Lernenden im Anschluss dafür eine gekürzte Version des gut recherchierten und detaillierteren Wikipediartikels über den "Stromkrieg". Die Aufgabe für die Lernenden bestand darin zu vergleichen, wo der Artikel den Sachverhalt differenzierter beschreibt und inwiefern dies ein anderes Licht vor allem auf Edison wirft, der im Film eher als skrupelloser Rivale gezeichnet wird.

## Geschichte, die (noch) nicht geschrieben wurde

Bitte lesen Sie weiter, hier gibt es nichts zu sehen.

– Schade eigentlich, denn unsere Neigung, aus der Wahrnehmung von Erfolg heraus rückblickend Geschichte zu konstruieren, wie wir am Anfang beschrieben haben, lässt viele mögliche Geschichten unerzählt. Es sind vor allem Geschichten von "Misserfolgen" oder etwas weiter gefasst, von Begebenheiten und Aussagen, die sich (bisher) nicht in den etablierten Kanon des naturwissenschaftlichen Wissens einreihen ließen, die weitgehend unbekannt bleiben. Dies gilt vor allem für weniger bekannte Wissenschaftler, während die "Fehler" bekannter und erfolgreicher Personen der Wissenschaftsgeschichte wie Galilei oder Einstein den Erzählungen gerne anekdotisch hinzugefügt werden.

---

<sup>5</sup> Bei Einstein in Bezug auf sein Hinzufügen der kosmologischen Konstante in der Allgemeinen Relativitätstheorie.

<sup>6</sup> Aktuelle Beispiele dazu zeigen sich beispielsweise in der Debatte um den Klimawandel. Jüngst deckte ein Journalistenteam Verbindungen zwischen Lobbyisten, Politik und Forschergruppen auf (Veröffentlichungen dazu auf sueddeutsche.de).

Erkenntnisgewinnung ist ein andauernder konstruktiver Prozess. Mancher Ruhm braucht Geduld, so wie Kepler seine Hypothese der Ellipsenbahnen in der *Astronomia Nova* mit den Worten kommentierte, es sei ihm gleichgültig, wenn ihm für die nächsten 100 Jahre der Ruhm darauf verweigert würde, habe doch Gott auch 6000 Jahre auf den Betrachter seiner Werke warten müssen. Anderen wurde wissenschaftlicher Ruhm mit Recht verweigert oder zu Unrecht zugedacht.

Die Vergangenheit ist daher mit Sicherheit voll von unkonventionellen Ideen und nicht anerkannten Ansätzen, die inhaltlich, in ihrer Darbietung, zu ihrer Zeit, in ihrem philosophischen Fundament etc. berechtigter oder unberechtigter Weise nicht in den etablierten Wissenskanon eingebunden wurden. Und noch weiter ist zu vermuten, dass die Wege zum Erfolg mit viel mehr Fehlversuchen und Irrwegen gepflastert sind, als die Geschichte gemeinhin gewillt und auch im Stande ist zu erzählen. Wie Edison zusammenfasst:

“Ich habe nicht versagt. Ich habe nur 10.000 Wege gefunden, die nicht funktionieren.”

## **Fazit und didaktische Perspektive**

Die Beschäftigung mit der Vergangenheit anhand eines (kritischen) Blicks in die Geschichte der Physik eröffnet vielversprechende Lerngelegenheiten über die Rolle und Konstruktion von Fehlern im Erkenntnisprozess. Fehler gehören zum Lernen im Physikunterricht und in der Forschung dazu. Die potentielle Fehlbarkeit wissenschaftlicher Hypothesen ist nach Popper gerade ein Aspekt, der die Physik überhaupt zu einer Wissenschaft macht.

Wird im Unterricht Hypothesenbildung über ein Phänomen betrieben, entsteht dadurch die Gelegenheit, die Lernenden ihre (wohlüberlegten) Vermutungen selbst prüfen lassen. Physikalisches Argumentieren lernen und sich selbst und anderen die Grundannahmen des eigenen Argumentes klarmachen, ist eine schwierige Aufgabe, die es sich aber lohnt, im Physikunterricht zu verfolgen. Fehlerkultur im Physikunterricht wird so verstanden auch zur Diskussionskultur.

Indem wir uns mit den historischen Irrungen und Wirrungen wissenschaftlichen Forschens beschäftigen, können wir die Darstellungen von Erfolgsgeschichten in Schulbüchern und anderen Medien differenzierter betrachten. Dadurch können die Lernenden erfahren, dass auch die dort beschriebenen Personen nicht alle Erkenntnis fehlerfrei aus dem Handgelenk geschüttelt haben, dass sie manchmal unverstanden blieben oder manchmal auch aus Sturheit oder Eitelkeit an ihren Fehlern weiter festhielten. All diese Aspekte machen die Geschichte der Physik sicherlich zum lohnenden Thema im Physikunterricht.

## **Literatur**

- Heinicke, S. (2012). *Aus Fehlern wird man klug*. Berlin: Logos.
- Butterfield, H. (1931). *The Whig Interpretation of History*, London: G. Bell.
- Simonyi, K. (2001). *Kulturgeschichte der Physik*. Frankfurt a.M.: Harry Deutsch.
- Kuhn, T. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*.
- Barrow, L. H. (1987). *Magnet concepts and elementary students' misconceptions*.
- Livio, M. (2013). *Brilliant blunders*. New York: Simon & Schuster Paperbacks.