

Für die Sekundarstufe II ergibt sich ein sehr ähnliches Bild: Mit der Kompetenz (E2) wird ein „kriteriengeleitetes [B]eobachten und [M]essen“ erwartet. [2, S. 22] Im Bereich der Inhaltsfelder sollen dann „Beobachtungen an der Elektronenbeugungsröhre“ interpretiert werden. [2, S. 46]

Auffällig ist hierbei, dass im Bereich der Inhaltsfelder die Beobachtung nur äußerst selten und darüber hinaus lediglich in indirekter Form auftritt. Ziel ist keineswegs die Sammlung von Beobachtungsdaten sondern ausschließlich ihre Deutung. Die Herkunft der Daten bleibt somit völlig im Dunkeln.

Es stellt sich nun die Frage, ob eine solche Herangehensweise der historischen und modernen Bedeutung dieser Beobachtungsmethode gerecht wird.

3. Ein Modell des Erkenntnisprozesses der Physik

Um die Bedeutung und die Vielfältigkeit von Erkenntnismethoden im Allgemeinen darstellen zu können, ist zunächst ein geeignetes Modell notwendig, das den Prozess der Erkenntnisgewinnung der Physik (oder der Naturwissenschaften im Allgemeinen) in einer zugänglichen Form darstellt.

Für den vorliegenden Beitrag soll der sog. EJASE-Prozess nach Albert Einstein (1879-1955) Verwendung finden, den dieser im Jahre 1952 in einem Brief an Maurice Solovine (1875-1958) niederschrieb. Zentrales Element des kurzen Briefes ist die in Abb. 1 wiedergegebene Skizze, mit ihren vier Hauptelementen:

- a) Der Ebene (E), die die „Mannigfaltigkeit der unterschiedlichen (Sinnes-) Erlebnisse“ darstellt,
- b) einer geschwungenen Kurve (im Weiteren als Jump (J) bezeichnet),
- c) dem System der Axiome (A) und
- d) den gefolgerten Sätzen (S, S', S'').

Auf diese Elemente soll nun im Einzelnen eingegangen werden. Die Ausführungen folgen dabei dem Wissenschaftshistoriker Gerald Holton, dem die Aufarbeitung und Erweiterung des Modells zu verdanken ist. [3] Ein erster Versuch, das Modell auch für die Didaktik nutzbar zu machen, geht auf Wilfried Kuhn zurück. [4]

Es sei vorab noch angemerkt, dass der gesamte Zyklus i. d. R. nicht von einem Wissenschaftler allein durchlaufen wird. Es handelt sich vielmehr um eine Reihe von Iterationen, die stückweise zum Aufstellen und zur Weiterentwicklung von Theorien sowie zu deren Prüfung von verschiedenen Personen oder Personengruppe über unterschiedlich lange Zeiträume hinweg durchlaufen wird.

3.1. Die Ebene der Sinneserlebnisse

Einstein bemerkt zu den Sinneserlebnissen schlicht, dass uns diese gegeben seien. Man muss sich (E) als

unendlich ausgedehnte Linie vorstellen, auf der sich die Gesamtheit aller möglichen Erfahrungstatsachen und Beobachtungen findet. Dabei muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass Einstein den Begriff der Sinneserfahrungen sehr weit fasst: Für ihn waren etwa die Unmöglichkeit des perpetuum mobile, die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit oder auch die Äquivalenz von träger und schwerer Masse Sinneserfahrungen. Ob man sich einem derart ausgedehnten Begriff der Erfahrung anschließen möchte, soll an dieser Stelle dem Leser überlassen bleiben.

Einstein liefert an anderer Stelle seine Vorstellung von der Aufgabe der Wissenschaft: „Wissenschaft ist der Versuch, die chaotische Vielfalt unserer Sinneserfahrungen in ein logisch einheitliches Gedankensystem einzubauen.“ [5]

Wie aber lässt sich Ordnung in das Chaos bringen?

3.2. Der Gedankensprung

Ein ganz wesentliches Element des Prozesses bleibt bei Einstein selbst ohne eigene Bezeichnung. Es handelt sich um den großen geschwungenen Pfeil, der die Ebene der Sinneserlebnisse mit dem System der Axiome verbindet. Holton bezeichnet ihn (aus dem englischen Original kommend) mit J. Bei diesem gedanklichen Sprung, den der Wissenschaftler auf seiner Suche nach neuen Impulsen für die Weiterentwicklung von Theorien machen muss, handelt es sich um teils wilde Spekulationen, Vermutungen, plötzliche Inspirationen, leise Ahnungen oder eine Art von Vorgefühl. Sie mögen durchaus auch einer verzweifelten Suche entspringen. Es handelt sich bei diesem Umschreiben allesamt um Begriffe, die klassischerweise sicherlich nicht mit einem naturwissenschaftlichen Vorgehen in Verbindung gebracht werden dürften.

Für Einstein ist es ein zentrales Anliegen darauf hinzuweisen, dass eben kein logischer Weg von den Erfahrungen (E) zu den Axiomen (A) führt. Ferner ist darauf hinzuweisen, dass Begriffe – die mit den Axiomen hier auf einer Ebene stehen und die Basis jeder Theorie bilden – nicht identisch mit den Sinnesempfindungen sind. Es handelt sich vielmehr um eine Art von Generalisierungen und Abstrahierungen, die zwar mit den „Observablen verbunden“ [3, S. 120] jedoch nicht direkt aus diesen ableitbar sind. Hierzu wiederum Einstein:

„Zu diesen elementaren Gesetzen führt kein logischer Weg, sondern nur die auf Einfühlung sich stützende Intuition.“ [6, S. 143]

3.3. Sätze und Vorhersagen

Aus den (neuen oder modifizierten) Axiomen und Begriffen werden rein deduktiv Sätze und damit schließlich Vorhersagen abgeleitet. Dabei handelt es sich um einen rein logischen Prozess, der der Domäne der theoretischen Physik entspricht. Hierzu bemerkt Einstein:

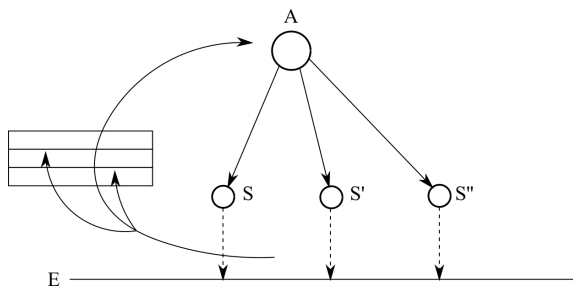


Abb. 2 EJASE-Prozess in der Modifikation nach Gerald Holton.

„Die Ratio gibt den Aufbau des Systems.“ [6, S. 151] Innerhalb des theoretischen Bereichs des EJASE-Prozesses ist naturgemäß kein Raum für Beobachtungen, weshalb er im Folgenden nicht weiter berücksichtigt und als „Theorieteil“ der experimentellen Methode bezeichnet wird.

3.4. Prüfung an der Erfahrung

Die Theorie liefert Vorhersagen, deren Prüfung an den Erfahrungstatsachen notwendig ist, um den Prozess vollenden zu können. Dabei ist eine Reihe von Unsicherheitsfaktoren zu berücksichtigen.

So ist es durchaus möglich, zu richtigen Vorhersagen zu kommen, die sich aus (aus der heutigen Perspektive) falsch gesetzten Axiomen ergeben. Man denke dabei etwa an die Phlogiston-Theorie.

Auch ist die erkenntnistheoretische Einschränkung zu berücksichtigen, nach der Theorien prinzipiell unbeweisbar sind und sich lediglich in der Anwendung als wiederholt nützlich und plausibel zeigen können.

Als dritte Einschränkung sei angeführt, dass experimentelle Ergebnisse und ebenso (instrumentengestützte) Beobachtungen grundsätzlich einer gewissen Unzuverlässigkeit unterliegen und damit häufig nur im Verbund als Testfall für Theorien infrage kommen.

3.5. Erweiterung des Modells

Um zu einem wirklich praktikablen Modell zu kommen, das u. a. auch die Besonderheiten von Beobachtungen adäquat abzubilden vermag, ist eine geringfügige Erweiterung des Modells erforderlich. Gerald Holton merkt zum EJASE-Prozess kritisch an, dass der Gedankensprung dem Wissenschaftler einerseits die Freiheit geben muss, einen solchen Sprung zu machen. Andererseits muss jedoch ebenso eine Beschränkung der Freiheit dafür sorgen, dass nicht jeder beliebige gedankliche Sprung vollführt wird. Wie sonst sollte schließlich in endlicher Zeit ein geeignetes Axiom oder ein neuer Begriff gefunden werden? Nach Holton sind dafür die von ihm so bezeichneten Filter notwendig (Abb. 2), die aufkeimende Ideen aussortieren und nur solche passieren lassen, die gewissen Kriterien genügen. Bei einem solchen Filter könnte es sich etwa um eine Grund-

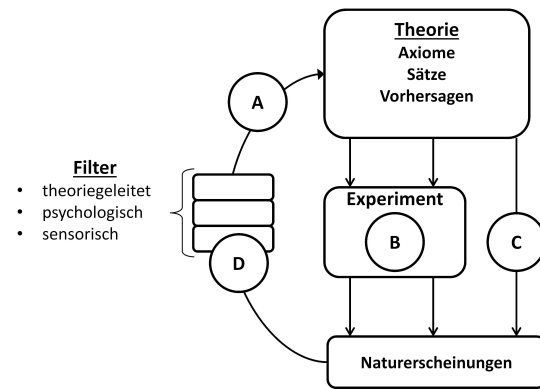


Abb. 3 Formen der Beobachtung innerhalb des EJASE-Prozesses.

überzeugung handeln, die sich etwa mit einem Paradigma nach Thomas Kuhn gleichsetzen ließe. [7] Als historisches Beispiel lässt sich Wolfgang Pauli anführen, dessen Festhalten an dem Prinzip (dem Paradigma) der Energieerhaltung ihn zur Postulierung des bis dahin unbekanntenen Neutrinos brachte.

Neben der persönlichen Überzeugung für die Gültigkeit bestimmter Prinzipien, kommen als mögliche Filter auch psychologische, physiologische (sensorische) oder auch theologische (man denke an Johannes Kepler) Einstellungen in Betracht. Die Aufzählung erhebt bei weitem nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und kann zweifellos deutlich über die genannten Beispiele hinaus erweitert werden.

4. Zur Verortung der Beobachtung im EJASE-Prozess

Nach der theoretischen Vorbereitung soll nun im folgenden Abschnitt aufgezeigt werden, wo sich die Beobachtung als Methode im dargestellten Modell des Erkenntnisgefüges der Physik finden lässt (Abb. 3). Der Theorieteil des Modells (die Axiome und die daraus deduzierten Sätze) ist dabei in dieser Darstellung, wie bereits vorstehend angekündigt, unter dem Begriff Theorie subsumiert. Dazu gehören auch die aus den Sätzen gefolgerten Vorhersagen. Die Darstellung ist dafür um das Experiment, als eine (oder vielmehr: die zentrale) Methode des Abgleichs zwischen Theorie und Erfahrungsebene explizit erweitert.

Naturbeobachtung kann zunächst systematisch erfolgen, um Daten zur Weiterentwicklung von Theorien und Begriffen zu liefern (A). Auch ist die Beobachtung untrennbar mit dem Experiment verbunden und stets Teil experimenteller Untersuchungen (B). Eine Prüfung von Vorhersagen ist jedoch auch denkbar, ohne auf experimentelle Verfahren zurückgreifen zu müssen. Kommt die direkte Beobachtung zur Prüfung theoretischer Vorhersagen zum Einsatz, handelt es sich demnach um eine eigenständige Form der Beobachtung (C), die sich insbesondere in größtem Umfang in der Astrophysik und über lange Zeiträume hinweg auch in der Meteorologie finden



Abb. 4 Hurrikan Katrina über dem Golf von Mexiko. (Quelle: NOAA, gemeinfrei)

lässt. Insbesondere dort also, wo der Untersuchungsgegenstand prinzipiell unzugänglich bleibt bzw. nicht ohne Verlust von wesentlichen Eigenschaften skalierbar ist. Schließlich besteht als vierte Form die Möglichkeit, Beobachtungen speziell zur Schulung der Wahrnehmung, d.h. zur bewussten Modifikation der eigenen Wahrnehmungsfiler anzustellen (D).

5. Historische Beispiele

Anhand der nun folgenden historischen Beispiele sollen einzelne Aspekte der Beobachtung als Methode näher beleuchtet und mit dem vorgestellten EJASE-Prozess abgeglichen werden.

5.1. Beispiel 1: Atlantische Stürme

Bei dem Gedanken an Hurrikans mögen uns heute sofort die damit einhergehenden immensen Verwüstungen, die durch die Verfügbarkeit von entsprechendem Bildmaterial sehr eindringlich sind, vor dem inneren Auge erscheinen. Für viele wird auch die charakteristische Struktur eines solchen Sturms, als ein vertrautes Bild direkt im Gedächtnis aufblitzen (Abb. 4). Das Bild eines Hurrikans, als gegen den Uhrzeigersinn rotierendes und mit einem markanten Auge versehenes System, ist selbstredend im Wesentlichen ein Produkt der modernen Raumfahrt- bzw. Satellitentechnologie. Wie aber ging der Prozess der Erforschung derartiger Ereignisse vor sich, die aufgrund ihres erheblichen Bedrohungspotentials schon immer von gesteigertem Interesse waren und es noch immer sind?

5.1.1. Vorkenntnisse

Das Wissen um meteorologische Phänomene und Prozesse war lange Zeit sehr dürftig. Aufgrund des resultierenden leichten Zugangs zu Originalquellen, stellt dies aus heutiger Sicht jedoch einen willkommenen Vorteil dar.

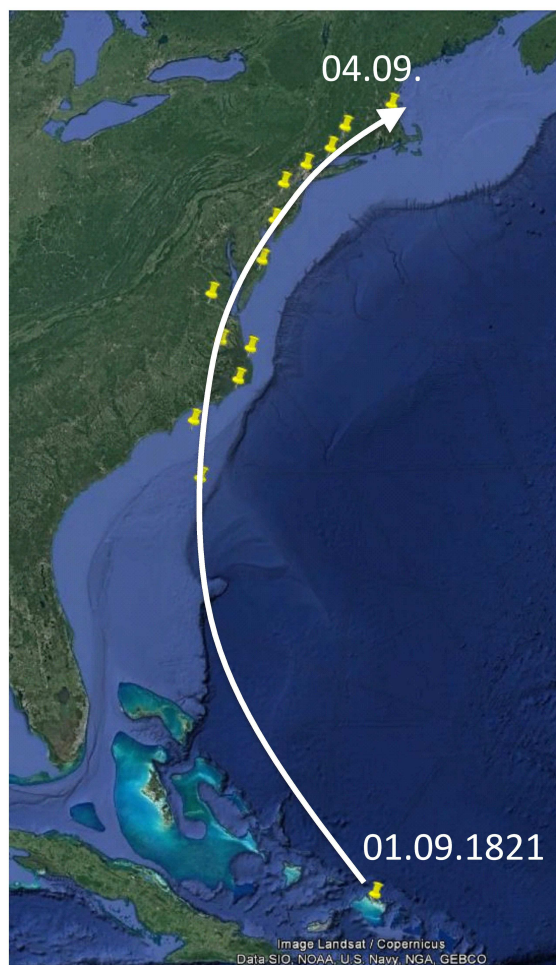


Abb. 5 Rekonstruktion der Route von 1821 aus den Daten von Redfield. (Quelle der Satellitenaufnahme: Google Earth)

Im Hinblick auf Stürme und Windsysteme sind die Passatwinde zwar seit langer Zeit bekannt, jedoch nur aus Sicht der praktischen Anwendung, da sie die Reise über den Atlantik erheblich verkürzen konnten. Stürme hingegen wurden lange Zeit als ein ortsfestes Phänomen aufgefasst. Erst Benjamin Franklin (1706-1790) wird zugeschrieben, erstmals die Zugrichtung eines Sturms nachträglich rekonstruiert zu haben. [8, S. 169] So war für ihn in Philadelphia eine Mondfinsternis, aufgrund eines Sturms und der damit einhergehenden geschlossenen Wolkendecke, unbeobachtbar, während die Finsternis in Boston noch beobachtet werden konnte, bevor der Sturm auch hier eintraf.

5.1.2. Weiterentwicklung durch W. Redfield

Eine deutliche Weiterentwicklung der Meteorologie gelang William C. Redfield (1789-1857) mit seiner Publikation von 1831. [9] Redfield war ausgebildeter Mechaniker und als Betreiber von Dampfschiffen auf dem Hudson-River tätig und hatte demnach keine klassische wissenschaftliche Laufbahn eingeschlagen. An dieser Stelle sei kurz auf Thomas Kuhn verwiesen, der die These aufstellt, dass fundamentale Weiterentwicklungen von Theorien meist solchen



Abb. 6 Elektrostatische Anziehung von Papierstücken durch eine Plexiglasscheibe.

Personen gelingen, die entweder sehr jung oder auf dem Gebiet der Forschung noch sehr neu sind. [7, S. 125]

Im Zuge des Hurrikans von 1821 (man beachte die lange Spanne zwischen dem eigentlichen Ereignis und der Publikation der Arbeit) bemerkte Redfield, dass in angrenzenden Bundesstaaten an der Ostküste der USA die Bäume an verschiedenen Orten in unterschiedliche Richtungen umgestürzt waren.

Er nahm diese Beobachtung zum Anlass, sich intensiver mit dem Sturm zu beschäftigen. Dabei zog er Parallelen zu Tornados, die er wohl völlig zurecht als „*common to most persons who are at all conversant with the subject of meteorology*“ bezeichnete. [9, S. 21] In seiner Publikation stellt er nun die Hypothese auf, dass das Phänomen einer rotierenden Luftmasse als ein skalierbares angenommen werden darf:

„*It is believed that no valid reason can be shown, why much larger masses of the atmosphere may not acquire, and develop, rotative movements [...]*“ [9, S. 22]

Ein rotierendes System allein konnte die Beobachtung jedoch nicht vollständig erklären, da die Bewegung des Systems als Ganzes noch unklar blieb. Redfield griff daher zusätzlich zu seinen eigenen Beobachtungen auf weiteres Material zurück, das ihm u. a. aus öffentlichen Quellen etwa in Form von Zeitungsberichten zur Verfügung stand. Damit war er in der Lage, die Zugrichtung des Sturms ausgehend von den Turks- und Caicosinseln, entlang der nördlichen Ostküste der USA zu rekonstruieren (Abb. 5). Dazu sammelte er insgesamt 39 Datensätze, aus denen jeweils hervorgeht, ob zu einer bestimmten Zeit im fraglichen Gebiet der Sturm spürbar war, aus welcher Richtung der Wind wehte und wie stark man ihn einschätzte.

Seine Annahme eines gewaltigen, rotierenden und sich langsam nach Norden bewegenden Sturmsystems schuf erstmals die Möglichkeit, die Beobachtungen (und nebenbei eine bekannte meteorologische Regel aus der Seefahrt) zwanglos zu erklären.

Es handelt sich bei Redfields Untersuchung um eine deutliche Demonstration, wie eine (direkte und indirekte) systematische Naturbeobachtung die Formulierung von neuen Axiomen und damit die Umformulierung einer Theorie erlaubt (entsprechend der Form A nach dem System in Abb. 3).

5.2. Beispiel 2: Elektrostatik

Ein Beispiel für eine vermeintlich einfache Beobachtung, die Teil jeder Unterrichtseinheit zur Elektrostatik sein dürfte, ist das Phänomen der elektrostatischen Abstoßung (Abb. 6). Führt man eine durch Reibung geladene Plexiglasscheibe an einige Papierschnipsel o. ä. heran, so zeigt sich, dass diese von dem Plexiglas angezogen werden. Einige Schnipsel bleiben an dieser kleben, viele „springen“ jedoch nach einem kurzen Kontakt mit nicht unerheblicher Geschwindigkeit zurück.

Die Erklärung des Phänomens durch die genannte Abstoßung gleichnamiger Ladungen ist mit den Mitteln der Physik der Sekundarstufe I problemlos möglich. Eine exakte Beobachtung des Vorgangs scheint uns die Erklärung geradezu aufzuzwingen.

Frühe Untersuchungen, etwa durch William Gilbert (1544-1603), legten jedoch einen anderen Schluss nahe. Für Gilbert und seine Zeitgenossen war unmittelbar klar, dass es sich beim Zurückprallen von Spreuteilchen von einem geladenen Stab um ein rein mechanisches Phänomen handelt. Die Elektrostatik erlaubte in Gilberts Augen lediglich eine anziehende Reaktion zwischen zwei Körpern. Das durchaus beobachtete Zurückprallen war demnach ein unbedeutender Randeffekt, der keinerlei Beachtung bedurfte.

Dieses knappe Beispiel veranschaulicht die oben erwähnte Schwierigkeit, dass aus einem fehlerhaften gesetzten Axiom („Es existiert lediglich eine anziehende Wirkung.“) eine scheinbar folgerichtige Beobachtung möglich wird (elektrostatische Anziehung gefolgt von gelegentlichem mechanischen Rückprall). Die historischen Beobachtungen dürfen uns aus moderner Sicht jedoch keineswegs Anlass zur Geringschätzung geben! Wiederum soll an dieser Stelle Thomas Kuhn angeführt werden:

„*Was ein Mensch sieht, hängt sowohl davon ab, worauf er blickt, wie davon, worauf zu sehen ihn seine visuell-begriffliche Erfahrung gelehrt hat.*“ [7, S. 153]

Gilbert *konnte* demnach gar nichts anderes beobachten, als das, was uns schließlich überliefert wurde.

5.3. Beispiel 3: Entdeckung der Röntgenstrahlen

Als letztes Beispiel für eine weitere Form der Beobachtung soll die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm C. Röntgen (1845-1923) dienen. Bekanntermaßen widmete sich Röntgen, wie viele andere Physiker zeitgleich, der Untersuchung der Kathodenstrahlen. Im Rahmen seiner Experimente fiel ihm dabei das unerwartete Aufleuchten eines Schirms auf, der abseits des Strahlengangs der Kathodenstrahlen aufgestellt war. In der Folgezeit stellte er rasch Untersuchungen zu den Eigenschaften dieser neuen Strahlen an. Auch Philipp Lenard (und einigen anderen) wird zugeschrieben, das Aufleuchten eines Schirms im Rahmen eigener Experimente gesehen zu haben. [7, S. 86] Nähere Untersuchung durch ihn unterblieben jedoch. Allerdings beschuldigte Lenard später Röntgen des geistigen Diebstahls. [10, S. 380-381]

An diesem knappen Beispiel soll auf zwei Aspekte besonders hingewiesen werden. Innerhalb des EJASE-Prozesses handelt es sich um eine Beobachtung im Rahmen eines Experiments, auch wenn das neue Phänomen hier (im wortwörtlichen Sinne) abseits des experimentellen Aufbaus auftritt.

Wichtiger noch ist der zweite Aspekt: Das Aufleuchten eines Schirms zu sehen ist nicht gleichzusetzen mit einer wirklichen Beobachtung, die zu einer Entdeckung eines neuen Phänomens führt bzw. führen kann. Während auch Lenard etwas sah, so ließ es doch das vorherrschende Paradigma nicht zu, darin auch einen real existierenden Effekt bzw. ein über einen unerwünschten Randeffekt hinausgehendes Phänomen zu sehen.

Das Wirken der zugrundeliegenden Grundüberzeugung („Es kann keine weiteren Arten von Strahlen geben.“) lässt sich leicht in Form eines theoretischen Filters in unserem Modell abbilden. Das mögliche neue Axiom („Strahlen mit neuen Eigenschaften treten aus der Kathodenstrahlröhre aus.“) konnte in der Person Philipp Lenards die Barriere der Filter nicht durchdringen. Dies mag auch damit zusammenhängen, dass durch die Existenz einer neuen Art der Strahlung alle bisher durchgeführten Experimente und die daraus resultierenden Arbeiten nachträglich in Zweifel gezogen worden wären. [7, S. 87-88]

6. Folgerungen

In dem vorliegen Beitrag konnte nur sehr oberflächlich auf die historische und an keiner Stelle auf die moderne Bedeutung der Erkenntnismethode der Beobachtung eingegangen werden. Bereits die hier sehr knapp präsentierten Beispiele mögen jedoch einen ersten Eindruck davon vermitteln, welche immense Bedeutung der wissenschaftlichen Beobachtung in der Vergangenheit zukam.

Der ebenfalls noch unsystematische und kurze Einblick in die Lehrpläne zeigt eine Lage, die der Be-

deutung der Methode kaum Rechnung tragen kann. Zwar erwartet der Lehrplan für Gymnasien des Landes NRW den Erwerb von Kompetenzen auf dem Gebiet der Beobachtung, in den Inhaltsfeldern lassen sich jedoch praktisch keine Beispiele finden, an denen ein solcher Kompetenzerwerb möglich würde. Stattdessen finden sich hier lediglich Aufforderungen, bereits vorhandenes Beobachtungsmaterial zu interpretieren. Die Herkunft der Daten und die Umstände ihres Entstehens bleiben unberücksichtigt. Eine systematische Analyse des Ist-Standes (unter Ausweitung auf Lehrbücher) steht freilich noch aus.

Es ist die Überzeugung des Autors, dass im Schulunterricht die Möglichkeit eröffnet werden muss, sich in systematischer und reflektierter Art mit der Methode der Beobachtung auseinander zu setzen. Dabei sollte im Vordergrund stehen, die Möglichkeiten, Grenzen und den individuellen Charakter jeder Beobachtung zu thematisieren. Auch der unvermeidliche Zusammenhang zwischen (explizit wie implizit vorhandenen) theoretischen Überzeugungen und geistigen Haltungen ist notwendigerweise zu thematisieren. Ohne dies bleiben viele historischen Errungenschaften kaum nachvollziehbar. Irrwege der Geschichte brennen sich leicht als schlichte Unkenntnis oder Unvermögen der beteiligten Akteure in das Gedächtnis ein, wenn nicht die oftmals vorhandene Zwangsläufigkeit der (nur aus der heutigen Perspektive fehlerbehafteten) Schlüsse explizit thematisiert wird.

Auch im Hinblick auf die Lehramtsausbildung bietet sich ein weites Feld möglicher Impulse. Dabei muss über die bloße Beschäftigung mit ausgewählten Beispielen (die äußerst begrüßenswert ist!) eine Einbettung in ein geeignetes Modell der Erkenntnisgewinnung des Faches erfolgen. Nur so wird ein systematischer Blick möglich, der auch die Entwicklung des Faches im Ganzen berücksichtigt, ohne dabei jedoch das Individuum aus dem Blick zu verlieren. Ein für diesen Zweck geeignetes Modell steht mit dem EJASE-Prozess Einsteins zur Verfügung, dessen Anwendungsmöglichkeiten selbstredend über die hier präsentierten weit hinausgehen (Beispiele hierzu finden sich in [11]).

Abschließend soll noch ein weiterer Anwendungsfall des Modells kurz benannt werden: Es erlaubt die zwanglose Erklärung von Präkonzepten. Dabei lassen sich häufig unmittelbare Parallelen in der Geschichte der Physik finden, wo teils sehr bedeutende Wissenschaftler sehr ähnliche Vorstellungen entwickelten und eben auch fast zwangsläufig entwickeln mussten. Das Beispiel der Elektrostatik zeigt, wie naheliegend etwa die Interpretation des Zurückprallens von Spreuteilchen für Gilbert gewesen sein muss. Die vorhandene Vertrautheit mit mechanischen Prozessen leitete Gilbert so, wie es wohl auch bei Lernenden heute der Fall sein kann. Ein entsprechendes Modell mit einer Unterfütterung durch historische Fallbeispiele hat hierbei das Potential, bei Schülern und Studierenden gleichermaßen

ein positives Verständnis von Präkonzepten zu erreichen, die i. d. R. auf (für den Betreffenden) begründeten Vorannahmen basieren und als Basis für ein erfolgreiches Weiterarbeiten angesehen werden sollten.

7. Literatur

- [1] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2008): Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen - Physik.
- [2] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013): Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe II in Nordrhein-Westfalen - Physik.
- [3] Holton, Gerald James (1979): Einsteins Methoden zur Theoriebildung. In: Peter C. Aichelburg, Roman Ulrich Sexl und Peter Gabriel Bergmann (Hg.): Albert Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik. Braunschweig: Vieweg, S. 111–140.
- [4] Kuhn, Wilfried (1983): Das Wechselspiel von Theorie und Experiment im physikalischen Erkenntnisprozeß. In: Scharmann, Hofstaetter und Kuhn (Hg.): DPG-Didaktik-Tagungsband. Gießen, S. 416-138.
- [5] Einstein, Albert (1956): Ideas and opinions. Unter Mitarbeit von Sonja Bargmann. 3. print. London: Redman.
- [6] Einstein, Albert (2005): Mein Weltbild. Unter Mitarbeit von Carl Seelig. Zürich: Europa-Verl.
- [7] Kuhn, Thomas S. (1967): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. 1. - 4. Tsd. Frankfurt a.M.: Suhrkamp (Theorie, 2).
- [8] Moore, Peter (2016): Das Wetter-Experiment. Von Himmelsbeobachtern und den Pionieren der Meteorologie. Unter Mitarbeit von Michael Hein. 1. Auflage. Hamburg: mare.
- [9] Redfield, William C. (1831): Remarks on the Prevailing Storms of the Atlantic Coast, of the North American States. In: American journal of science and arts. XX. (1), S. 17–51.
- [10] Simonyi, Károly (2012): Kulturgeschichte der Physik. Von den Anfängen bis heute. 3. überarb. und erw. Aufl., [Nachdr.]. Frankfurt am Main: Deutsch.
- [11] Krause, Eduard (2017): Das EJASE-Modell als Ausgangspunkt physikdidaktischer Forschungsfragen. In: PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (16), S. 57–66.