



Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften im Schulkontext

WERNER, STRASSER

STRASSERWE@STUD.SBG.AC.AT

Zusammenfassung

In diesem Paper werden wissenschaftstheoretische Aspekte der Physik und die Vermittlung jener Aspekte im Unterricht behandelt. Zunächst werden die theoretischen Grundlagen besprochen und wie diese in die Methodologie der Physik eingebettet sind. Es soll beim Leser ein Verständnis für die Kriterien wissenschaftlichen, physikalischen Arbeitens erzielt, aber auch ein Bewusstsein für die erkenntnistheoretischen Probleme der Naturwissenschaften geschaffen werden. Typische Vorurteile und Präkonzepte werden angesprochen und kritisch analysiert. Als weiterer Punkt wird die Wissenschaftsethik allgemein, aber auch im Schulkontext hinsichtlich der gesellschaftlichen Relevanz besprochen. Abschließend werden beispielhafte Unterrichtssequenzen präsentiert um die Notwendigkeit der Vermittlung eines wahrheitsgetreuen Bildes der Physik im Unterricht zu zeigen.

1 Einleitung

In unserer modernen Gesellschaft wächst man sozusagen im Glauben an die Naturwissenschaften auf und akzeptiert wissenschaftliche Ergebnisse nur allzu gern als „wahr“ und endgültig gesichert. Die Medien, aber insbesondere die Werbung tragen einen großen Teil zu dieser naiven Naturwissenschaftsgläubigkeit bei. Aspekte wie Vorläufigkeit der Wissenschaften und Kriterien der Erkenntnisgewinnung sind den Meisten im Detail unbekannt. Die Physik stellt die Grundlagen für die Anwendungswissenschaften bereit und ist daher für den technologischen Fortschritt der Gesellschaft mitverantwortlich. Das gängigste Vorurteil besteht darin, dass die Physik wahre, bewiesene, universell anwendbare Naturgesetze finde und bereitstelle, die von Ingenieuren genutzt werden um damit neue technische Geräte, Maschinen, etc. zu konstruieren. Das resultierende Urteil zum Wahrheitsgehalt physikalischer Theorien lautet dann mit Lenins Worten:

„Die Praxis beweist die Wahrheit der Physik“

Warum diese Aussagen nicht den Tatsachen entsprechen, wird im Folgenden besprochen.

2 Grundlegendes zu Wissenschaft

„Seit Platon und Aristoteles ist Wissenschaft ihrer Idee nach der systematische Versuch zu entdecken, was alles Wichtiges in der Welt der Fall ist und warum es der Fall ist.“ (Tetens 2013, S. 17)

Als Folge dieser Erkenntnis liegt es nahe zu erkennen, dass zum Zweck der Unterscheidung was „wichtig“ und was „weniger wichtig“ ist in der Welt einige Grundideale wissenschaftlichen Arbeitens gefordert werden sollten. Es wird nach Tetens eine Auflistung allgemein wissen-

schaftlicher Ideale gegeben und kompakt zusammengefasst:

1. Das Ideal der Wahrheit
Der Wahrheitsbegriff ist seit jeher ein umstrittenes und zentrales Thema der Philosophie. Ein Grundsatz ist der Satz vom ausgeschlossenen Dritten: Für zwei Aussagen: „A ist wahr“ und „A ist nicht wahr“, gilt stets, dass eine von beiden Aussagen falsch ist. Wissenschaftler verpflichten sich auf die Wahrheit und damit darauf, keine Mühen zu scheuen, um allen Irrtümern und Lügen, woher sie auch immer stammen und wie immer sie auch entstehen mögen, auf die Schliche zu kommen und sie zu überwinden.
2. Das Ideal der Begründung
Jede Behauptung in der Wissenschaft sollte so hinreichend begründet sein, dass man von ihrer Wahrheit ausgehen darf.
3. Das Ideal der Erklärung und des Verstehens
Es fordert die Wissenschaftler auf, nach Mustern, Regeln, Strukturen zu suchen, wie die Tatsachen in der Welt miteinander zusammenhängen
4. Das Ideal der Intersubjektivität
Die Ergebnisse der Wissenschaften müssen sich intersubjektiv von hinreichend vielen kompetenten Wissenschaftlern nachvollziehen und überprüfen lassen.
5. Das Ideal der Selbstreflexion
Wissenschaft kann und muss sich selbst thematisieren. Unabhängig vom jeweiligen Wissensgebiet soll sich jede Wissenschaft Fragen der folgenden Art stellen: „Gehen wir eigentlich richtig vor, um die Gegenstände unseres Forschungsinteresses so zu erkennen, wie sie tatsächlich sind? Gibt es

Alternativen zu unserer Vorgehensweise, die uns diese Gegenstände besser oder überhaupt erst richtig erkennen lassen?

(vgl. Tetens, 2013)

Diese fünf Ideale repräsentieren die Idee von Wissenschaften. Die Tatsache, dass diese Ideale derart abstrakt formuliert sind, hängt damit zusammen, dass sie den Versuch darstellen einen gemeinsamen Nenner für Möglichkeiten des Erkenntnisgewinns der verschiedenen Wissenschaften bereitzustellen. Gleichwohl man Natur-, Geistes-, Sozial-, Kultur, Rechts- oder Formalwissenschaften (wie die Mathematik) betrachtet, sollten sie sich alle an diesen Idealen messen. Wie aber grenzen sich die verschiedenen Wissenschaften zueinander ab?

3 Wie funktioniert Naturwissenschaft?

Die Physik, aber auch Naturwissenschaft ganz allgemein, sucht nach strukturierten Erklärungen für Phänomene der Natur und versucht dies durch methodisches Gewinnen (Beobachtung) und dem Verstehen (Theorie) von Daten zu erreichen. Die Art und Weise wie dieses Ziel erreicht werden kann und soll wird in der Methodologie¹ einer Wissenschaft festgelegt und diskutiert. Die Methodologie ist an der Erfüllung der Ideale von Wissenschaft orientiert und be ruht sich wiederum auf philosophische Überlegungen. Im Speziellen: ontologische² und epistemologische³ Strömungen. Die Schwierigkeit Wissenschaftstheorie (und Philosophie allgemein) zu lernen und zu verstehen ist, dass sehr viele Themenbereiche ineinander greifen und oft gar keine allgemeine Gliederung angegeben werden kann. Entwicklungen in Methodologie, Ontologie und Epistemologie sind keineswegs mehr lineare Prozesse, die auf das jeweilige Gebiet beschränkt sind, sondern entstehen vielmehr aus der Vernetzung. Das führt unweigerlich für Laien zu einem gedanklichen Chaos. In dieser Arbeit soll versucht werden einen Ausschnitt der Philosophie zu behandeln, der für das physikalische Arbeiten als notwendig oder brauchbar erachtet wird. Bevor im Anschluss die Methoden der Physik besprochen werden, müssen zuerst einige Grundkonzepte der Philosophie behandelt werden.

3.1 Erkenntnistheorie und Ontologie

Im Wesentlichen gibt es jeweils in der Erkenntnistheorie, als auch in der Ontologie zwei ver-

schiedene Grundpositionen aus denen sich viele verschiedene Kombinationen bzw. Variationen an Sichtweisen ableiten. Um den Überblick zu wahren und uns nicht im „Dschungel der Philosophie“ zu verirren, wollen wir uns zunächst auf die Grundströmungen in Erkenntnistheorie und Ontologie beschränken.

Erkenntnistheorie

„Erkenntnistheorie, oder auch Epistemologie beschäftigt sich mit den Fragen: Was und Wie kann der Mensch wissen/erkennen?“

(Strahl 2014, S. 6)

Die Wahrnehmung, die Erfahrung und die Erkenntnis werden vorrangig thematisiert. Es gibt zwei sich gegenüberstehende Positionen:

1. Rationalismus

Als Rationalismus wird eine Perspektive bezeichnet, die davon ausgeht, dass Erkenntnis nicht allein aus den empirischen Gegebenheiten hervorgeht, sondern durch intellektuelle Leistungen hervorgebracht wird. Descartes (1596-1650), als einer der wichtigsten Vertreter, entkoppelte die Erkenntnistheorie von ihren bis dahin üblichen theologischen Prämissen und revolutionierte dadurch den Rationalismus. (vgl. Schüle in & Reitze, 2012) Der bekannteste Satz von ihm: „Je pense, donc je suis.“ (frz. Ich denke, also bin ich) spiegelt die Auffassung des Denkens als Fixpunkt der Erkenntnis wider. (vgl. Strahl, 2014)

2. Empirismus

Der Empirismus bildet die Gegenposition zum Rationalismus. Die einzige Quelle neuer Erkenntnis ist die Erfahrung, das Experiment und das Wahrnehmbare bzw. Beobachtbare. Als Hauptvertreter sind John Locke (1632-1704) und David Hume (1711-1776) zu nennen. (vgl. Strahl, 2014)

Rationalismus und Empirismus schließen einander streng aus und beziehen damit extreme Positionen in der Epistemologie. Eine Mischform bildet der Kritizismus nach Kant. Immanuel Kant (1724-1804) gilt als der Philosoph, der die Leistungen von Rationalismus und Empirismus in einer großartigen Synthese zusammengeführt hat und dabei zu einer Konzeption kommt, die in gewisser Weise heute noch richtungsweisend ist. (Schüle in & Reitze, 2012) Der Kern seiner Argumentation war, dass dem menschlichen Bewusstsein bestimmte Denkformen vorgegeben sind, die überhaupt erst die Erfahrung ermöglichen. Diese Denkformen be-

¹ Methodologie: Die Lehre der Vorgehensweisen

² Ontologie: Die Lehre vom Seienden

³ Epistemologie: Die Lehre der Erkenntnis, synonym: Erkenntnistheorie

schreibt Kant als a priori⁴ „Kategorien des Denkens“, die es ermöglichen empirische Beobachtungen a posteriori⁵ zu ordnen und erst so zu neuer Erkenntnis führen. (vgl. Strahl, 2014)

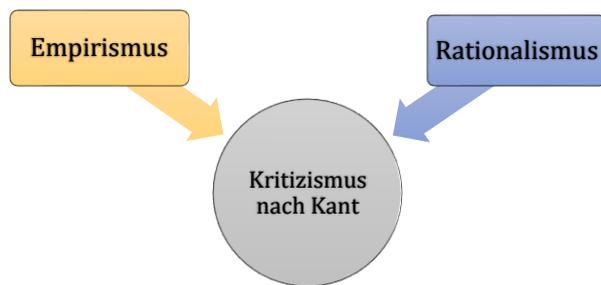


Abb. 1 - Übersicht zur Erkenntnistheorie

Ontologie

Die Ontologie beschäftigt sich mit der Beschaffenheit der Welt und ihrer Existenz. Man unterscheidet allgemein zwei Strömungen⁶:

1. Idealismus
Im Idealismus geht man davon aus, dass das Seiende, die Welt, erst durch ein betrachtendes Bewusstsein entsteht.
2. Realismus
Der Realismus hingegen setzt eine unabhängig vom Bewusstsein eines Betrachters existierende Außenwelt voraus. Der Realismus spielt in der Wissenschaftstheorie (v.a. in den Naturwissenschaften) eine wichtige Rolle. Dies spiegelt sich auch in den Idealen experimenteller Tätigkeit wieder (vgl. Kapitel 4.1).

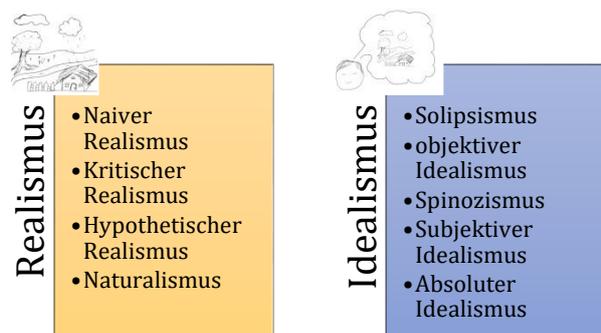


Abb. 2 - Übersicht zur Ontologie

4 Methodologie der Physik

Jedweder Erkenntnisgewinn sollte konsistent sein mit den Forderungen der in der Methodo-

logie festgelegten Regeln. Werden diese Annahmen nicht hinreichend beachtet, spricht man mitunter von unwissenschaftlichem Arbeiten. Speziell im Lehrberuf begibt man sich aus diesem Grund immer wieder auf dünnes Eis. Die Methodologie der Physik ist äußerst umfangreich und man könnte ganze Semester damit verbringen sie in ganzer Fülle zu behandeln. Da in dieser Arbeit der Schulkontext im Fokus steht, habe ich versucht die für die Schule wichtigsten Arbeitsweisen der Physik herauszupicken und zu besprechen.

4.1 Die stillen Annahmen

Unter den stillen Annahmen versteht man „Glaubenssätze“ der Physik, die zwar begründet, aber nicht empirisch überprüfbar sind. Das Adjektiv „still“ rührt daher, weil diese Annahmen in den Darstellungen der Physik so gut wie nie erscheinen. Aufgrund ihrer Selbstverständlichkeit werden sie zumeist nicht näher erläutert. In diesem Sinne stellen sie das a priori physikalischer Erkenntnis dar. Grundsätzlich gliedert man diese Annahmen in drei Bereiche:

1. Ontologische Annahmen
2. Ideale experimenteller Tätigkeit
3. Grundlagen der physikalischen Theoriebildung

Ontologische Annahmen

- Es gibt einen wahrnehmungs- und bewusstseinsunabhängigen Teil der Welt, zusammenfassend auch als Außenwelt, gegenständliche oder externe Wirklichkeit bezeichnet, der unabhängig von irgendwelchen experimentellen und theoretischen Untersuchungen existiert.
- Diese Außenwelt ist strukturiert, d.h. es gibt wahrnehmungs- und bewusstseinsunabhängige Strukturen, die ebenso real sind wie Gegenstände, auch wenn sie nicht direkt wahrnehmbar, sondern nur durch konstruktive Denkleistungen feststellbar sind.
- Die Außenwelt als Gesamtheit von Gegenständen und Strukturen ist erkennbar.

Diese Annahmen setzen den Realismus als ontologisches Konzept voraus. Weiter wird angenommen, dass Strukturen ebenso real sind wie Gegenstände und damit rückt die Auffindung dergleichen ins Zentrum. Und schließlich soll diese Außenwelt im Prinzip erkennbar und damit der Erkenntnis zugänglich sein.

Ideale experimenteller Tätigkeit

- Das in Raum und Zeit einmalige und nichtseparable Weltgeschehen kann in wiederholbare, isolierbare Element zerlegt werden.

⁴ a priori (lat. der frühere, erste (von zweien): Urteile a priori können ohne Basis der Erfahrung gefällt werden.

⁵ a posteriori (lat. der spätere, folgende): Urteile a posteriori werden auf der Basis der Erfahrung gefällt.

⁶ Es gibt noch eine dritte Strömung in Opposition zu Realismus und Idealismus, namentlich der Materialismus, der hier aber aus Zeitgründen nur beiläufig erwähnt bleiben soll.

- Ein unter den gleichen Randbedingungen wiederholtes Experiment muss dasselbe Resultat liefern (Reproduzierbarkeit) und das beobachtende Subjekt gehört nicht zu diesen Randbedingungen (Intersubjektivität).
- Ein Laborexperiment als „konstruiertes Phänomen“ hat denselben Status und dieselbe Aussagekraft wie ein natürliches Phänomen.
- Unter den an einem System gemessenen physikalischen Eigenschaften gibt es welche, die diesem System selbst, d.h. unabhängig von experimentellen Untersuchungen zukommen (starke Objektivierbarkeit).
- Unter den verschiedenen mathematischen Beschreibungen der Strukturen der Natur ist die einfachste vorzuziehen (Ökonomieprinzip).
- Es gibt eine einheitliche begrifflich-theoretische Beschreibung („Universaltheorie“) der subjektunabhängigen Wirklichkeit. (vgl. Grodzicki, 1993)

„Das gemeinsame Merkmal dieser Annahmen ist die mathematische Darstellbarkeit der Erkenntnis: Physik ist die mathematisierte Form der Naturbeschreibung.“

(Grodzicki, 1993)

Punkt eins und drei liefern die Voraussetzung für die sinnvolle Durchführung von Experimenten und ordnen den experimentellen Ergebnissen Bedeutung zu. Weiter wird angenommen, dass an jedem Ort die Natur denselben Gesetzmäßigkeiten folgt wie in einem Labor auf der Erde. Reproduzierbarkeit, die damit verbundene quantitative Vorgehensweise, die Unabhängigkeit der Messung vom Experimentator und die Objektivierbarkeit sind die wesentlichsten Differenzierungsmerkmale empirischer Wissenschaften in Bezug auf die Gesamtheit der Wissenschaften.

Vor Allem das Prinzip der starken Objektivierbarkeit wurde (und wird zum Teil auch heute noch) in der Diskussion zum quantenmechanischen Messprozess angezweifelt.

Grundlagen der physikalischen Theoriebildung

- Die Natur „gehört“ Gesetzen, d.h. die als objektiv existent (siehe Ideale experimenteller Tätigkeiten, letzter Punkt) angenommenen Strukturen der Wirklichkeit können durch streng gültige, mathematisch formulierbare Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden.
- Alles ist erklärbar, d.h. zu jedem beobachteten Effekt lässt sich ein „Mechanismus“ konstruieren, aus dem der Effekt deduziert werden kann.
- Sind zwei oder mehr Ereignisse korreliert, d.h. treten sie überwiegend gleichzeitig oder nacheinander auf, existiert ein Mechanismus (z.B. in Form einer physikalischen Wechselwirkung), der als Ursache dieser Korrelation gedacht werden kann.
- Die Art der zulässigen Mechanismen ist dadurch beschränkt, dass sie mathematisch darstellbar sein müssen und teleologische, göttliche, magische, animistische (übersinnliche) und anthropomorphe Interpretationen von Effekten und Korrelationen zu vermeiden sind.

4.2 Methoden der Erkenntnisgewinnung in der Physik

Die Entwicklung der Methoden des Erkenntnisgewinns beschränkte sich, bis der Empirismus auf die Bildfläche trat, zunächst auf die Kategorien des Denkens, also die Art und Weise wie man durch das Denken zu neuer Erkenntnis gelangt. Eine ausgearbeitete Theorie zur Erfassung der Wirklichkeit gab es bis dahin nicht. (vgl. Schüle & Reitze, 2012) Der Empirismus führte dann zu einer Revolution der Methodik, indem die Sammlung zuverlässiger Daten aus Beobachtungen und in weiterer Folge das Experimentieren in den Mittelpunkt gerückt wurden. Mit dieser Entwicklung ging eine Metrisierung der Daten einher und begründete so die Messung dergleichen. Dies führte allgemein zu quantitativer Wissenschaft. In der Weiterentwicklung dieser Herangehensweise wurde das sogenannte Induktionsprinzip entwickelt.

Induktion

Durch das Sammeln von Einzeldaten wird über den induktiven Schluss auf allgemeine Zusammenhänge geschlossen. (vgl. Strahl, 2014) Das Problem beim induktiven Schließen ist, dass erst dann eine generelle Aussage hinsichtlich ihres Wahrheitsgehalts entscheidbar wird, wenn unendlich viele Messungen durchgeführt worden sind. Außerdem lassen sich induktiv gewonnene Hypothesen durch singuläre Ereignisse widerlegen. Damit kann Induktion als einzige Methode zur Auffindung allgemein gültiger Aussagen nicht ausreichen. Diese Tatsache wurde als Induktionsproblem⁷ bekannt.

Deduktion

In der einfachsten Form geht man bei der Deduktion von allgemeinen, als gültig akzeptierten

⁷ Das Induktionsproblem war der Ansatzpunkt des kritischen Rationalismus bzw. Falsifikationismus nach Karl R. Popper (1902-1944)

Voraussetzungen (Prämissen) aus und schließt damit auf ein spezielles Problem (Konklusion). Allgemein gültige Prämissen können aber empirisch nicht überprüft werden, weshalb die Deduktion zur hypothetisch-deduktiven Methode ausgebaut wurde. Dabei werden Theorien zu hypothetischen Aussagensystemen und in diesem Sinne vorläufig, sodass sie sich der Prüfung durch die Empirie stellen müssen.

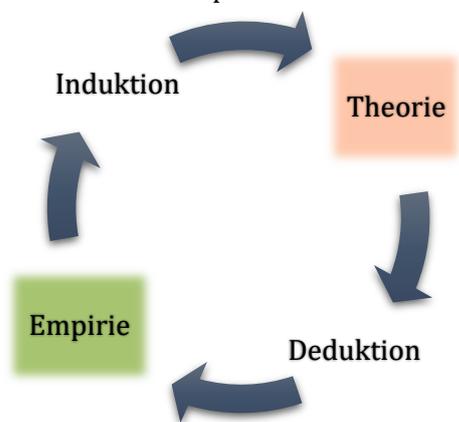


Abb. 3 – Methoden der Erkenntnisgewinnung

Konsistente Anpassung von Theorie und Erfahrung

In der Geschichte der Physik trifft man immer wieder auf Fälle, bei denen ein zunächst zur Theorie widersprüchliches, empirisch ermitteltes Ergebnis schlussendlich einen Beitrag zur Theorieentwicklung liefert. Der Glaube an die Theorie kann so stark sein, dass die empirische Evidenz dagegen nicht ausreicht um die Theorie aufzugeben (vgl. Falsifikationismus). Induktion und Deduktion haben eine lineare Struktur, d.h. entweder wird versucht von singulären Ereignissen auf das Allgemeine zu schließen oder umgekehrt. Prinzipiell lässt sich nicht DIE physikalische Methode finden, welche immer zu wahrer Erkenntnis führt und universell gesicherte Erkenntnis liefert. Vielmehr ist es notwendig die beiden Bereiche Empirie und Theorie stets konsistent abzugleichen. Ein ausschließlich empirisches oder theoretisches Stadium der Wissenschaft ist eine Fiktion, die aufgegeben werden sollte, weil sie zu einem falschen Bild physikalischer Methodologie und der Beziehung zwischen Theorie und Erfahrung führt. Die Gewinnung physikalischer Erkenntnis erfolgt vielmehr durch Theoriebildung und Experimentieren, den beiden autonomen und gleichermaßen wichtigen Bestandteilen physikalischer Methodologie. (vgl. Grodzicki, 1993)

5 Wahrheit

Der allgemeine (Aber-)Glaube, dass die Naturwissenschaften wahre und universell gültige

Naturgesetze finden, die die Welt um uns beliebig genau beschreiben, ist in der Gesellschaft stark verbreitet. Dies ist nicht verwunderlich, denn wir leben in einer wissenschaftlich-technischen Zivilisation, charakterisiert durch folgende Postulate:

„Es sind die Wissenschaften und nur die Wissenschaften, die uns die Wirklichkeit immer besser erkennen und verstehen lassen.

Indem wir die Ergebnisse wissenschaftlicher Weiterkenntnis technologisch anwenden und für die industrielle Produktion von Waren und Dienstleistungen ökonomisch nutzen, verbessert sich die Welt, weil allmählich immer mehr Übel und Leiden aus ihr verschwinden.“

(Tetens 2013, S. 9)

Das Wahrheitsproblem wird in der Philosophie gerne diskutiert, sprengt aber leider den Rahmen dieser Arbeit. Ich möchte dennoch die Ergebnisse in Bezug auf die Wahrheitsfähigkeit physikalischer Theorien thematisieren, weil sie für den Schulalltag wichtig sind.

Es ist grundsätzlich unmöglich von einer absoluten Wahrheit im Sinne von einer wahren Aussage bezüglich der externen Wirklichkeit durch physikalische Theorien zu sprechen. Dies äußert sich schon einfach dadurch, dass die Physik Modelle benutzt um die Wirklichkeit zu beschreiben. Diese Modelle sind per definitionem vereinfachte Abbildungen der Wirklichkeit und erheben daher nicht den Anspruch eine Wahreitsaussage über die externe Wirklichkeit selbst zu treffen. Das Beste was die Physik uns anbieten kann in dieser Hinsicht ist gesicherte Erkenntnis. Nicht mehr, aber auch nicht weniger. Das heißt gemessen an der Methodologie der Physik sind die von physikalischen Theorien getroffenen Aussagen wahr, liefern aber keinen Beweis, dass Natur tatsächlich so ist, wie sie durch diese physikalische Theorien beschrieben wird. Viel wichtiger als sich der Diskussion hinzugeben, wie wahr denn nun Physik wirklich sei, ist es, sich die Frage zu stellen: Was kann Physik leisten und welche Auswirkungen hat das auf die Gesellschaft?

6 Wissenschaftsethik

Der technologische Fortschritt, der durch die Grundlagenforschung der Naturwissenschaften vorangetrieben wurde, hat weitreichende Folgen für unsere Welt und unsere Gesellschaft. Den Naturwissenschaften kommt diesbezüglich eine aufklärende Rolle zu. Naturwissenschaft ist verpflichtet Grenzen für die moralische Vertretbarkeit aufzuzeigen, aber auch auf Auswirkungen der bereitgestellten Forschungsergebnisse

aufmerksam zu machen. Das Selbstkonzept des Menschen ist in der Moderne nicht mehr auf einem religiösen, sondern auf einem philosophisch wissenschaftlichen Fundament aufgebaut. (vgl. Strahl, 2014) Der Glaube an die Wissenschaft wird daher immer größer und gleichermaßen steigt die Verantwortung der Gesellschaft gegenüber. Es gibt eine große Anzahl an Ethiken. Zwei Extrempositionen und für die Naturwissenschaften relevante seien an dieser Stelle erwähnt:

„Ökologische Sicht: Nur das ist erlaubt, was ethisch vertretbar ist. Zwischen Mensch und Natur wird ein harmonisches Zusammenleben angestrebt.“

Technokratische Sicht: Alles ist erlaubt was technisch möglich ist. Der Mensch macht sich die Natur untertan.“

(Strahl 2014, S. 8)

Handlungen nach technokratischen Intentionen führen oftmals zur ökologischen Sichtweise. Als Beispiel sei an dieser Stelle die FCKW Produktion und das damit entstandene Ozonloch der Atmosphäre in den 1970ern erwähnt.

6.1 Wissenschaftsethik in der Schule

Wie bereits erwähnt kommt den Naturwissenschaften die größte Rolle bei der Vermittlung von moralisch sinnvollem Handeln in Bezug auf wissenschaftliche Erkenntnisse und Technologien zu. Da wir als Lehrer die Aufgabe haben reflektierte, kritisch-denkende Mitglieder unserer Gesellschaft heranzubilden, tragen wir einen Teil dieser Verantwortung, welche den Naturwissenschaften zugeschrieben wird, mit. Nachfolgend sollen einige Beispiele aufgezählt werden, die sich für eine wissenschaftsethische Betrachtung im Unterricht anbieten:

- Atomkraft/waffen
- Alternative Energien
- CO₂-Entsorgung, Klimawandel
- LHC - Sinn und Zweck von teurer Forschung?
- Elektrosmog

Eine besondere Stellung nimmt natürlich die Diskussion der Nachhaltigkeit bei diesen Beispielen ein.

7 Wissenschaftstheorie in der Schule

Allem voran stelle ich die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist Wissenschaftstheorie in der Schule zu thematisieren. Ist die Behandlung dieser Inhalte im Unterricht dem Verständnis der Physik zuträglich? Und wenn ja, welche Aspekte genau und wie sollte ein derartiger Unterricht aussehen? Ich bin der Meinung, dass man

als Physiklehrer über die Arbeitsweise der Physik und ihre Grenzen Bescheid wissen sollte um das Fach angemessen zu repräsentieren. Reduziert man die Physik im Unterricht auf die praktische Anwendung physikalischer Erkenntnis, so wirkt das so vermittelte Bild dieser Wissenschaft stark verzerrt. Nicht zuletzt sollte die Lehrperson eine Antwort auf die folgenden Schülerfragen liefern können: Was ist Physik/Was macht ein Physiker? Was sind die Ziele der Physik? Was ist ein physikalisches Gesetz? Ist die klassische Mechanik nicht eigentlich eine falsche Theorie hinsichtlich der Relativitätstheorie?

Schlussendlich kommt es aber darauf an, ob es auch für S/S⁸ einen Unterschied macht, wenn sie mit wissenschaftstheoretischen Inhalten konfrontiert werden. Man könnte dann argumentieren, dass der Großteil der S/S keinen größeren Nutzen aus der philosophischen Diskussion für den weiteren Lebensweg zieht. Ich denke aber dass man zum einen einige S/S in der Klasse gezielt mit philosophischen Inhalten anspricht und zum anderen darf nicht vergessen werden, dass S/S ein Anrecht darauf haben zu erfahren, wie man zu gesicherter Erkenntnis in der Physik kommt. Dies hat auch gesellschaftlichen Mehrwert, indem S/S zu kritisch-reflektiertem Denken angeregt und auf einen weiteren Aspekt bei der Betrachtung sozioökonomischer Probleme in Zusammenhang mit der Physik oder Technologie hingewiesen werden. (vgl. Kapitel 6) Nachfolgend wird ein Vorschlag möglicher Lernziele zur Erkenntnistheorie im Unterricht von Höhle et al. (2004, S.10f) zitiert:

„Schülerinnen und Schüler verstehen,

- *dass sich erkenntnistheoretische Aspekte mit dem Verhältnis Naturwissenschaften und Wirklichkeit befassen.*
- *dass erkenntnistheoretische Auffassungen die Arbeit der Naturwissenschaftler und damit auch die Interpretation fundamentaler naturwissenschaftlicher Theorien beeinflussen;*
- *dass bei Entscheidungsprozessen innerhalb der Naturwissenschaften (Bestätigung oder Widerlegung einer Hypothese) experimentelle Tatsachen einen hohen Stellenwert haben, (insbesondere wenn durch verschiedene Messanordnungen und Messmethoden das gleiche experimentelle Resultat erzielt wird), aber Theorien weder endgültig beweisen noch widerlegen.*

⁸ Schülerinnen und Schüler

- *dass naturwissenschaftliche Theorien in einer bestimmten Epoche „im Wahren“ ihrer Disziplin sind. Sie sind daher prinzipiell vorläufig.*
- *dass die prinzipielle Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Theorien keine Willkür bedeutet.*
- *dass durch die Naturwissenschaften gesicherte experimentelle Tatsachen hinreichen können, um grundlegende Erkenntnistheorien zu modifizieren und Anlass und wichtiges Argument für einen Paradigmenwechsel in den Naturwissenschaften sein können. Auch solche wichtigen experimentellen Tatsachen können grundlegende naturwissenschaftliche Theorien und grundlegende Erkenntnistheorien weder endgültig beweisen noch endgültig widerlegen.*
- *dass auch ihr eigenes Verständnis der Physik, Chemie oder Biologie von erkenntnistheoretischen Auffassungen beeinflusst wird.*
- *dass erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Auffassungen nicht immer zu trennen sind.“*

Wie sollte man den Unterricht gestalten um den S/S wesentliche erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Aspekte mitzugeben ohne gleichzeitig in eine rein philosophische Diskussion abzurutschen? Wie soll die Wissensvermittlung bei diesem Themengebiet aussehen, wo es doch subjektiv sehr unterschiedliche Interpretationen geben kann? Fakt ist jedenfalls, obgleich die Methodologie der Physik und damit ihre Arbeitsweise kein abgeschlossenes Konstrukt darstellt, sondern vielmehr eine Ansammlung von Zahnrädern die fein säuberlich ausgewählt und falls notwendig, ausgetauscht werden, so gibt es doch gewisse Grundsätze an die sich jeder, der diese Wissenschaft betreiben will, in einem gewissen Ausmaß halten muss. Ich denke, dass der sinnvollste didaktische Zugang ein exemplarischer ist. Durch das Vorleben der physikalischen Arbeitsweisen wird mit minimalem Mehraufwand an Zeit ein Einblick in die Methodologie der Physik erreicht. Natürlich ist es sinnvoll einige theoretische Erläuterungen bei Gelegenheit einzustreuen um gewisse Begriffe „in medias res“ zu klären. Abschließend möchte ich beispielhaft einen solchen Unterricht skizzieren.

7.1 Beispiel: Ein reales mathematisches Pendel?

Wir möchten ein Experiment zum Fadenpendel vorführen und interessieren uns dafür wie schnell das Pendel schwingt, aber auch von wel-

chen physikalischen Größen dies abhängt. Dazu messen wir die Länge eines Seils und schreiben den gemessenen Wert mitsamt Messfehler auf, wie das der Experimentalphysiker eben macht. Danach befestigen wir das Seil an der Decke des Klassenzimmers und messen die Masse der verwendeten Kugel (wieder mit Angabe des Messfehlers). Wir versuchen uns zu allererst an einer Hypothese und nehmen an, dass die Periodendauer von der Länge des Fadens abhängen wird. Wir machen eine Vorhersage indem wir die Formel der Periodendauer (in harmonischer Näherung, d.h. approximativ für kleine Auslenkungen) aus den Newton'schen Axiomen (und/oder aus dem Energieerhaltungssatz) deduzieren und kommen so auf eine hypothetische Periodendauer T . Im Glauben an die Physik möchten wir nun dieses Ergebnis empirisch überprüfen. Das Experiment beginnt:

Die Kugel wird ausgelenkt und losgelassen. Wir stoppen die Zeit bis die Kugel nach einer Periode wieder am Ausgangspunkt ist. Wir schreiben die Ergebnisse auf und stellen mit Entsetzen fest, dass die ermittelten Ergebnisse nicht innerhalb der Messtoleranz der theoretisch vorhergesagten Werte liegen. Wie erklären wir das den S/S?

- Zunächst könnte man die Näherungslösung der Differentialgleichung verantwortlich machen. Wir nehmen die Taylorreihenentwicklung bis zum Term 5. Grades und berechnen die Periodendauer erneut. Es ist keine wesentliche Verbesserung feststellbar.
- Als nächstes könnte die Reibung ein Problem darstellen, da der Aufhängepunkt an der Decke nicht völlig reibungsfrei und die Luftreibung an der Kugel vielleicht doch nicht zu vernachlässigen ist. Doch auch diese Beiträge erklären die Diskrepanz nur unzureichend.

Wo also „liegt der Hund begraben“? Liegt die Physik falsch? Haben wir soeben eine (sehr gut überprüfte) theoretische Hypothese falsifiziert? Oder sogar die Klassische Mechanik?

Natürlich nicht. Das Problem muss im Experimentaufbau liegen, denn gerade dieses Experiment wurde bereits oft erfolgreich geprüft und gilt somit als gesichert. Eine einzige widersprüchliche Beobachtung kann nicht über die Theorie richten. Den Glauben an die Physik sollte man bei dieser Gelegenheit auch an die S/S kommunizieren. Das Fadenpendel ist eine Realisierung des theoretischen Modells des mathematischen Pendels. Die theoretischen Modellannahmen geben vor, dass die Masse des Seils vernachlässigt werden kann. Dies gilt aber nur

genau dann wenn gewährleistet wird, dass die Seilmasse sehr viel kleiner ist als die Masse der Kugel. Bei der Konzeption eines Experimentaufbaus ist deswegen immer daran zu denken, dass das Experiment möglichst den Vorgaben des theoretischen Modells entspricht.

Experimente wie diese sollten auf jeden Fall im Unterricht thematisiert und vorgeführt werden, da diese zum einen physikalische Arbeitsweisen transparenter machen und zum anderen das Thema „Modell der Wirklichkeit“ behandeln. Im gleichen Zug können Begriffe wie: Beweise, Naturgesetze, usw. geklärt werden, ohne allzu sehr von der eigentlichen, forschenden Tätigkeit abzuschweifen.

8 Literatur

- Grodzicki, M. (1993): Physikalische Wirklichkeit - Konstruktion oder Entdeckung. LIT Verlag, Wien, in press
- Hößle, C., Höttecke, D. & Kircher, E. (2004): Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Schneider Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler
- Schüle, J. & Reitze, S. (2012): Wissenschaftstheorie für Einsteiger. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien
- Strahl, A. (2014): Einführung in die philosophischen Grundlagen der Natur der Naturwissenschaften. Physik in der Schule, Heft 8/63. JAHRGANG
- Tetens, H. (2010): Wissenschaftstheorie: Eine Einführung. C.H. Beck, oHG München