

Historische Experimente in die Lehrkräftebildung integrieren

Michelle Mercier & Peter Heering

Die Geschichte der Physik ist schon seit geraumer Zeit als ein Bestandteil für schulische Bildungsprozesse akzeptiert, wenn auch eher mit ergänzendem denn strukturierendem Charakter. In der Qualifikation von Physiklehrkräften an der Europa-Universität Flensburg hat sie aber eine konstitutive Rolle. Dies zeigt sich bereits darin, dass schon im ersten Semester ein Modul zur Geschichte der Physik im Curriculum verankert ist. In diesem Modul spielen historische Experimente eine zentrale Rolle. Das Teilmodul *Historische Experimentalpraxen* zielt darauf ab, dass die Studierenden noch vor ihrer fachlichen Sozialisation die Gelegenheit erhalten, experimentelle Praxen verschiedener Zeiten kennenzulernen und damit ein Verständnis von physikalischer Erkenntnisproduktion und Physik als kulturelle Aktivität zu entwickeln. Insofern leistet dieser Kurs einen zentralen Einstieg in die Entwicklung eines angemessenen Verständnisses der Physik im Speziellen und der Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science, NOS) im Allgemeinen.

Dieser Beitrag stellt vor, auf welchen Überlegungen die Planung dieser Veranstaltung basiert und wie das Konzept umgesetzt wird. Hierbei werden zunächst die Struktur und die zugrundeliegenden Überlegungen dargestellt, ehe exemplarisch an einem der Versuchstermine diskutiert wird, welche Aspekte des historischen Experiments für dessen Einbindung in das Modul wesentlich sind, wie die Studierenden mit den entsprechenden Apparaturen umgehen und welche Erfahrungen sie machen.

1. Vorbemerkung

Die Geschichte der Physik wurde wiederholt als sinnvolle Ergänzung der Lehrkräftebildung vorgeschlagen.¹ Insbesondere an der Universität Oldenburg wurden im Rahmen eines schulbezogenen Laborpraktikums auch einige historische Experimente durchgeführt. Diese Ansätze wurden in der Lehrkräftebildung an der Europa-Universität Flensburg im Bereich der Physik weitergeführt.

Mit einem eigenständigen Modul zur Geschichte der Physik wird einer Forderung der KMK Rechnung getragen: „Die Studienabsolventinnen und -absolventen [...] kennen die Ideengeschichte ausgewählter physikalischer Theorien und Begriffe so-

1 Insbesondere der Einbezug historischer Experimente in Bildungsprozesse war in den letzten beiden Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts im deutschen Sprachraum sehr populär (vgl. Heering, 2014).

wie den Prozess der Gewinnung physikalischer Erkenntnisse (Wissen über Physik) und können die gesellschaftliche Bedeutung der Physik begründen“ (Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2019, S. 50). Unser Modul hat ein spezifisches innovatives Potential in zwei Aspekten: Einerseits ist der Anspruch, dass die Studierenden ein grundlegendes Verständnis im Bereich NOS entwickeln, andererseits sollen sie Physik als kulturelle und damit zeitlich gebundene menschliche Aktivität verstehen und nicht als zeitlosen und vom Menschen abgekoppelten Wissensbestand. Dieses Verständnis soll gerade in der punktuellen, exemplarischen Auseinandersetzung mit der historischen Wissensproduktion und den damit verbundenen Methoden entwickelt werden. Beide Aspekte erscheinen aus unserer Sicht zentral für eine Qualifikation angehender Physiklehrkräfte.

2. Die Studienstruktur

Das Physik-Lehramtsstudium an der Europa-Universität Flensburg ist ein Studium sui generis; die meisten Studierenden planen, im Bereich der Sek. I als Lehrkräfte tätig zu sein.² Außerdem zeichnet sich die Physiklehrkräftebildung an der Europa-Universität Flensburg durch zwei weitere Kennzeichen aus: den expliziten Einbezug der Geschichte der Physik und die Betonung von NOS-Aspekten. Beide Elemente werden in den fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Modulen integriert, beide werden aber auch explizit in eigenen Modulen angeboten: Im fünften Semester gibt es das Modul „Naturwissenschaftliche Grundbildung“ mit einer Vorlesung für Studierende aller drei naturwissenschaftlichen Teilstudiengänge zum Thema NOS. Im ersten Semester wird das Modul „Geschichte der Physik“ verpflichtend angeboten, das im Folgenden diskutiert wird.³

3. Das Modul Geschichte der Physik

Das Modul Geschichte der Physik setzt sich aus zwei Teilen zusammen: einer Vorlesung, in der grundlegende konzeptionelle Entwicklungen aus der Geschichte der Physik in ihren sozialen, kulturellen, philosophischen und historischen Kontext diskutiert werden. Zentral für diesen Beitrag ist das zweite Teilmodul: *Historische Experimentalpraxen*, in dem verschiedene Experimente aus der Geschichte der Physik von Studierenden durchgeführt werden.

2 Es gibt auch wenige Studierende aus dem berufsbildenden Lehramtsstudiengang, die Physik als allgemeinbildendes Fach gewählt haben und an dem Modul teilnehmen – auf diese wird hier nicht explizit eingegangen.

3 Es werden auch immer wieder Themen für Abschlussarbeiten angeboten, in denen diese Aspekte zentral sind; hierauf kann im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter eingegangen werden (siehe Hagendijk et al., 2020 – hier werden auch Experimente in der Chemie diskutiert).

4. NOS und Historische Experimentalpraxen

Als Standard zur Orientierung naturwissenschaftlichen Unterrichts an NOS-Aspekten⁴ lassen sich nach Lederman sieben typische Bereiche identifizieren, die auch für die Konzeption des Moduls wesentlich sind. Verkürzt lassen sich diese mit den folgenden Labeln identifizieren:

1. Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens
2. Beobachtungen, Schlussfolgerungen und theoretische Einheiten in den Naturwissenschaften
3. Theoriebezogenheit von naturwissenschaftlichem Wissen
4. Kreativität und Vorstellungskraft als Element naturwissenschaftlichen Wissens
5. Soziale und kulturelle Eingebundenheit von naturwissenschaftlichem Wissen
6. Mythos der einen Methode
7. Differenzierung von Theorien und Gesetzen

Zwei Aspekte seien an dieser Stelle noch einmal betont: Zum einen sind die einzelnen Termine an den Studierenden orientiert, d. h. es werden dann explizit NOS-Aspekte reflektiert, wenn von den Studierenden entsprechende Beobachtungen kommuniziert werden. Zum anderen zielt dieses Teilmodul gerade auch auf das kulturelle Verständnis, insofern werden in jeder Sitzung auch explizite historische Verortungen vorgenommen. Es gibt also in der Sitzung jeweils Phasen, in denen experimentiert wird, während in anderen reflektiert bzw. durch die Lehrperson kontextualisiert wird.

Die Inhalte sind daher so ausgewählt, dass verschiedene Aspekte des Experimentierens, aber auch die kulturelle Prägung der jeweiligen Praxis für die Studierenden zugänglich gemacht werden. Damit bildet dieses Modul nicht nur einen Einstieg in die fachliche Sozialisation angehender Physiklehrkräfte, sondern es schafft gerade auch eine erste Möglichkeit zur Reflexion von vermeintlich selbstverständlichen Zugängen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Die Kombination der beiden Teilmodule ermöglicht es den Studierenden, dass sie die kulturelle Bedeutung und Bedingtheit physikalischer Forschung erfassen können.

5. Historische Experimentalpraxen

Das Teilmodul besteht aus fünf zweistündigen Sitzungen. Die folgende Tabelle gibt einen groben Überblick über die Inhalte sowie die für die jeweilige Sitzung zentralen NOS-Bereiche.

Nicht explizit angesprochen wird die Differenzierung zwischen Theorien und Gesetzen; dies wird in der Vorlesung thematisiert. Die fünfte Sitzung dient dann dazu, einen Zugang und Vergleich zu aktueller Forschung zu ermöglichen, der Mythos der einen Methode wird gerade auch im Vergleich der fünf Sitzungen thematisierbar.

4 Für einen Überblick zu entsprechenden Ansätzen siehe Heering und Kremer (2018), ergänzend noch McComas (2020).

Tab. 1: Grober Überblick über die Inhalte der jeweiligen Sitzungen

Sitzung	Thema	Zentrale Aspekte	Zentrale Literatur, NOS-Label
1	Bau eines Gnomons und Bestimmung des wahren Mittags	Verhältnis Instrument und Intention, Notwendigkeit der zielgerichteten Herstellung, Abhängigkeit der Beobachtung	(Evans, 1988), 2, 3
2	Galileis Experiment mit der Fallrinne (Abbildung 1)	Voraussetzungen für Messungen, außerwissenschaftliche Kompetenzen	(Rieß et al., 2006), (Drake, 1975), 2
3	Der elektrische Salon	Kulturelle Einbindung experimenteller Praxis, soziale Prägung, Begriffsbildung, Genderaspekte	(Meya & Sibum, 1987), 1, 3, 4, 5
4	Oersteds und Ampères Arbeiten zur Elektrodynamik	Wird im Folgenden detailliert vorgestellt	(Steinle, 2005), 4
5	Aktuelle physikalische Forschung	Gespräche mit Forschenden, Einblick in Laborpraxis des 21. Jahrhunderts, aktuelle Praxis in historische Perspektive setzen	Exkursion zum Mads Clausen Institute Sønderborg an der Syddansk Universität

Die Inhalte dieses Teilmoduls sind eng mit denen der Vorlesung verknüpft; so werden etwa in der zeitlich auf die Salonexperimente folgenden Vorlesung die sich Ende des 18. Jahrhunderts entwickelnde Kultur der Präzisionsmessung ebenso angesprochen wie die Romantische Physik, die sich im deutschen Sprachraum als Gegenentwurf zur Mathematisierung entwickelte. Gerade aus diesem Spannungsfeld heraus wird deutlich, dass die jeweils in der historischen Situation akzeptierte Form des Experimentierens keineswegs ‚natürlich‘ ist, sondern Resultat eines Diskurses, in dem sowohl innerwissenschaftliche Argumente wie auch soziale Faktoren oder soziologische, philosophische und religiöse sowie weltanschauliche Aspekte eine Rolle spielten.

6. Vierte Sitzung: Anfänge der Elektrodynamik

Die Geschichte der Anfänge der Elektrodynamik zeigt experimentelle Arbeiten, in welchen noch nicht auf stabilisierte Grundbegriffe und Konzepte, wie etwa den Stromkreis, zurückgegriffen werden konnte. Es bedurfte zu Beginn dieses Forschungsbereichs zunächst der Erarbeitung einer ‚Sprache‘, die es ermöglichte, weitergehende experimentelle Fragen zu formulieren, verallgemeinernde physikalische Aussagen zu treffen, generiertes Wissen zu kommunizieren und Instrumente (materialisierte Konzepte) zu konstruieren. Unterschiedliche Experimentierweisen gingen damit einher und veränderten damit auch die Rolle des Experiments in den Arbeiten. Eine The-



Abb. 1:
Experimentieren mit der Fallrinne.
Foto: M. Mercier

matisierung dieser historischen Entwicklungen bietet den Studierenden die Möglichkeit, experimentelles Arbeiten im Hinblick auf unterschiedliche Erkenntnisziele zu untersuchen, Probleme der Kommunikation experimenteller Befunde zu reflektieren und erneut den Zweck eines Experiments zur Erkenntnisproduktion differenzierter zu betrachten.

Es wurde sich im Rahmen dieser Sitzung auf die beiden Fallstudien vom dänischen Naturforscher Hans Christian Ørsted im Juli 1820 und den anschließenden Untersuchungen vom französischen Mathematiker André-Marie Ampère beschränkt. Strukturell ist die Seminarsitzung in drei Phasen unterteilt. Diese Aufteilung erfolgte primär im Hinblick auf die unterschiedlichen Erkenntnisziele, welche in den experimentellen Arbeiten von Ørsted und Ampère verfolgt wurden und diese in methodischer Hinsicht prägten (vgl. Steinle, 2005). Im Folgenden werden die für die Seminargestaltung zentralsten historischen Aspekte der jeweiligen Fallstudien in Bezug auf das experimentelle Arbeiten skizziert, die konkrete Seminargestaltung beschrieben und gesammelte Erfahrungen bei der Implementierung diskutiert.

6.1 Seminarphase I:

Ørsteds Entdeckung einer elektromagnetischen Wirkung

Ørsted hatte 1820 erstmalig eine Wirkung von Elektrizität (Galvanismus) auf Magnetismus nachgewiesen. Einen Bericht seiner experimentellen Untersuchungen versandte er an viele renommierte Forscher in ganz Europa. In den darin beschriebenen Experimenten untersuchte er die elektromagnetische Wirkung auf eine Magnetnadel und variierte neben der Stromrichtung insbesondere die räumliche Konstellation von

Draht und Nadel. Ørsted wollte keinen Strombegriff verwenden, da er die Wirkung auf eine Magnetnadel im Raum um den Draht untersuchte und argumentierte daher mit der Polarität der Batterie. Zudem konnte er die Auslenkung der Magnetnadel nur in Bezug zu Himmelsrichtungen beschreiben, was keine allgemeinen Aussagen über die Wirkung zuließ.

Nach einer kurzen historischen Kontextualisierung führen die Studierenden die Experimente auf Grundlage einer deutschen Übersetzung des originalen Berichts Ørsteds durch.⁵ Diesen bekommen sie im Vorfeld zur Verfügung gestellt mit der Aufgabenstellung, eine ‚moderne‘ Versuchsanleitung zu formulieren. Neben Fragen, welche auf die Bedingungen für eine Wiederholbarkeit der von Ørsted beschriebenen Experimente abzielen (mögliche Störfaktoren und Bedingungen für die Beobachtung und Stabilisierung des Effekts), sollen die Studierenden in der ersten experimentellen Arbeitsphase der Frage nachgehen, wie Ørsted die Geometrie vom Verhalten der Magnetnadel beschrieb. Die Orientierung an Himmelsrichtungen ist für die Studierenden zunächst ungewohnt und ein Verständnis wird in der Regel erst beim Experimentieren gewonnen. Die Schwierigkeiten liegen zum einen darin, zu verstehen, wie die Apparatur – damit sind alle Bestandteile und auch ihre Konstellation im Raum gemeint – aufgebaut werden muss. Zum anderen ist eine Beobachtung der von Ørsted beschriebenen Phänomene eben auch nur dann möglich, wenn der experimentelle Aufbau wie bei Ørsted erfolgt, da er auch die Wirkung in Bezug zu den Himmelsrichtungen beschrieb und damit nicht unabhängig von der Apparatur. Dass die Studierenden erfahren, dass es sich bei Ørsteds Beschreibungen der Wirkung nicht um allgemeine Aussagen handelt und im Fehlen von Konzepten zur räumlichen Orientierung und Begreifen begründet liegt, stellt eines der zentralen Erkenntnisziele in der ersten Phase dieser Sitzung dar und wird im Anschluss an die experimentelle Phase diskutiert.

6.2 Seminarphase II: Ampères Vorversuche (Teil I)

Die Befunde Ørsteds stellten die damaligen Naturforscher in Frankreich vor große Herausforderungen. Dass die Orientierung der Wirkung nicht in Richtung des Drahtes verlief, sondern senkrecht zu dieser, widersprach der in Frankreich damals vorherrschenden Theorie von Zentralkräften (bspw. die Gravitationskraft oder die von Coulomb mathematisierte elektrostatische Wechselwirkung) – hier spielte nur die Entfernung eine Rolle. Es fehlte sowohl ein theoretisches Konzept zur Erklärung der experimentellen Befunde als auch eine Sprache zur Formulierung phänomenologischer Regeln. André-Marie Ampère war Mitglied der Pariser Akademie der Wis-

5 Der Bericht Ørsteds ist in Oersted (1895) zu finden. Eine Durchführung der Versuche stellt auf apparativer Ebene keine großen Herausforderungen dar. Hierfür werden lediglich eine herkömmliche Spannungsquelle (DC; 3V), Kabel, eine Magnetnadel und ein Nadelhalter (ggf. reicht auch ein einfacher Kompass) sowie zwei Isolierstäbe (z. B. Holtzsche Klemmen) benötigt.

senschaften und widmete sich nach Kenntnis von Ørsteds Befunden diesem neuen Forschungsfeld. Seine ersten experimentellen Arbeiten waren auf eine nähere Untersuchung der von Ørsted beschriebenen Phänomene gerichtet und die Suche nach allgemeinen phänomenologischen Regeln. Dies verfolgte er experimentell durch systematisches Variieren möglichst vieler Parameter, wie beispielsweise das Material und die Größe der Nadel. Um die Phänomene sprachlich allgemeiner und eindeutig beschreiben zu können, erarbeitete und stabilisierte er zudem experimentell Begriffe wie die Stromrichtung, rechts und links vom Strom, sowie den Stromkreis. In dieser experimentellen Arbeitsperiode Ampères spielten theoretische Erkenntnisziele keine Rolle.⁶

In der zweiten Seminarphase wird den Studierenden Ampères experimentelle Erarbeitung der Begriffe und damit verbundene konzeptionelle Entwicklungen vorgestellt. Seine beim Experimentieren verfolgten Erkenntnisziele (Erarbeiten von Begriffen und Konzepten; Formulierung allgemeiner phänomenologischer Regeln), sein methodisches Vorgehen (systematisches Variieren vieler Parameter) und die Rolle des Experiments (konstruktiv) werden dabei insbesondere diskutiert. In dieser Seminarphase wird auf ein experimentelles Arbeiten der Studierenden verzichtet, da es methodisch nicht wesentlich zum Verständnis dieser Entwicklungen beiträgt und aus zeitlichen Gründen hier am ehesten auf den Einsatz von Experimenten verzichtet werden kann.

6.3 Seminarphase III: Ampères Vorversuche (Teil II)

Ampère führte seine experimentellen Arbeiten fort, nun aber mit einem anderen Erkenntnisziel. Er entwickelte die Hypothese, dass magnetische Effekte auf elektrische Kreisströme in den Magneten zurückgeführt werden könnten und folgerte, dass sich dann auch zwei stromdurchflossene Leiter wie zwei Magnete verhalten müssten. Die folgenden experimentellen Arbeiten Ampères waren mit einem theoretischen Konzept verknüpft und dem Ziel, einen experimentellen Nachweis für die Hypothese zu erbringen. Dies prägte sowohl die hierfür konstruierte Apparatur als auch das Laborgeschehen. Zentraler Bestandteil der Apparatur waren zwei Spiralen oder Spulen aus Draht, in Analogie zu Magneten. Bei seinen Untersuchungen veränderte er die Windungsrichtung der Spiralen, die Anzahl und Form der Windungen (Spirale oder Spule), die Art der Aufhängung der Spiralen, die Stromrichtung und die Größe der Batterie (Stromstärke). Diese experimentelle Arbeitsphase Ampères war durch viele Veränderungen einzelner Bestandteile der Apparatur gekennzeichnet, wenngleich der

6 Steinle beschreibt die experimentelle Arbeitsweise Ampères in dieser Phase, in der das Ziel in einer Erarbeitung von ‚Begriffen‘ und experimentellen Techniken bestand, als exploratives Experimentieren. Im Gegensatz hierzu erfolgen Ampères spätere Arbeiten theoriegeleitet – beide Begrifflichkeiten werden auch den Studierenden gegenüber eingeführt.

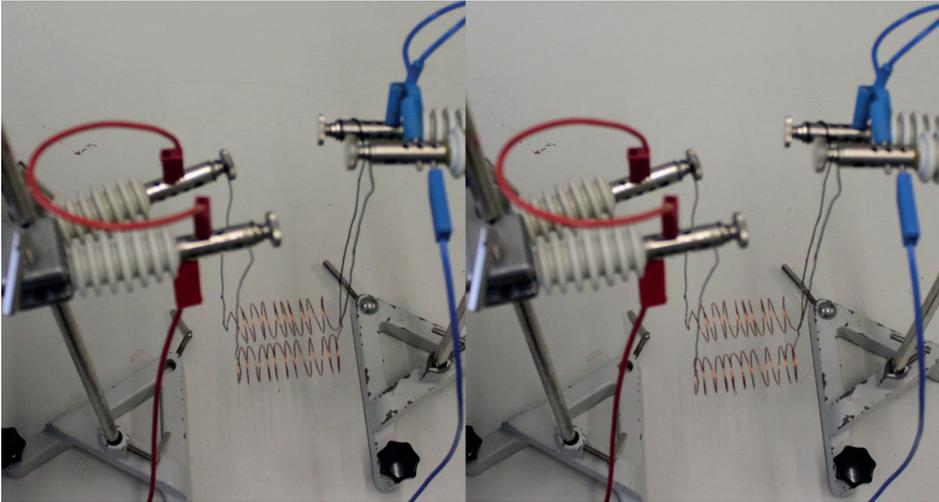


Abb. 2: Wechselwirkung der Spulen (links ohne Stromfluss, rechts mit). Foto: R. Stachowitz

Grundtyp dabei im Wesentlichen unverändert blieb – die Apparatur stellte eine Materialisierung seiner Hypothese dar.

Zu Beginn dieser dritten Seminarphase wird Ampères Idee einer Kreisstromhypothese skizziert, um den Studierenden die Möglichkeit zu geben, seine Konstruktion der Apparatur als eine Materialisierung eines Konzepts zu verstehen. Anschließend werden ihnen verschiedene Spiralen und Spulen zur Verfügung gestellt sowie ein Netzteil (30A). Die Studierenden sollen zunächst verschiedene Parameter der Apparatur systematisch variieren und Bedingungen ausfindig machen, welche eine Beobachtung des gewünschten Effekts ermöglichen bzw. begünstigen. Ein möglicher Aufbau ist in Abbildung 2 zu sehen.

Abschließend wird die Frage gestellt, wie die beobachtbaren Phänomene zu erklären sind. Die Wechselwirkungen mit theoretischen Konzepten zu erklären bereitet den Studierenden meist Schwierigkeiten. Dies liegt nicht im Fehlen eines adäquaten physikalischen Konzepts begründet, sondern in der komplexen geometrischen Anordnung und Wechselwirkung vieler Ströme. Die Ampèresche Stromwaage, welche Ampère im Anschluss an diese Phase experimentellen Arbeitens konstruierte und eine Demonstration der Wechselwirkung mit zwei geradlinigen Leitern ermöglichte, wird abschließend vorgestellt.

Schlussbemerkungen

Zwei Aspekte erscheinen aus unserer Sicht wesentlich, um mit einer derartigen Veranstaltung zur Entwicklung eines angemessenen Verständnisses über Physik beizutragen: Zum einen ist dies die angemessene Auseinandersetzung mit der historischen Entwicklung, die gerade nicht auf der Ebene von Pseudogeschichte oder Anekdoten verbleibt. Durch die Kombination aus differenzierter historischer Kontextualisierung

und Auseinandersetzung mit materiellen Objekten und performativen Aspekten der Praxis (und der Kommunikation über Praxis) kann eine explizite Reflexion der Entstehungsbedingungen physikalischer Konzepte und Gesetze gelingen.

Auch wenn derartige Einsichten in die historische Entwicklung zu einem angemessenen Verständnis über Physik im Sinne der NOS-Ansätze beitragen, so ist dies aus unserer Sicht nicht hinreichend, um die Zielsetzungen des Moduls zu erreichen. Es gibt eine Reihe von Studien, die belegen, dass für die Entwicklung eines angemessenen Verständnisses im Bereich NOS die explizite Reflexion der jeweiligen Sachverhalte erforderlich ist (vgl. Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002). Insofern ist auch die explizite Reflexion der historischen Inhalte nicht hinreichend, um hier das zweite zentrale Ziel des Teilmoduls zu erreichen. Aus diesem Grund haben die Studierenden nach den ersten drei experimentellen Sitzungen ein kurzes Essay zu verfassen, in dem bestimmte Aspekte des Versuchstermins thematisiert werden sollen, wobei diese Themenstellung gerade auch Aspekte aus dem Bereich NOS beinhaltet. Diese Essays werden mit den Studierenden besprochen, so dass hier die erforderliche explizite Reflexion sichergestellt ist.

Entsprechend ist dann auch die Modulprüfung konzipiert, die Studierenden schreiben ein Essay über ein ihnen fremdes historisches Objekt, das sich in einem Museum befindet. Im Rahmen des Essays werden sowohl das Objekt selber und dessen Funktionsweise beschrieben, dessen Bedeutung in der Geschichte der Physik diskutiert und auch die Inszenierung in der Ausstellung thematisiert. Die meisten Studierenden erstellen ihr Essay im Rahmen einer einwöchigen Exkursion an das Deutsche Museum München, alternativ können Objekte im Steno Museet Aarhus oder im Hauchs Physiske Cabinet in Sorø als Grundlage für ein Essay verwendet werden.

Literatur

- Drake, S. (1975). The Role of Music in Galileo's Experiments. *Scientific American*, 232(6), 98–104. <https://doi.org/10.1038/scientificamericano675-98>
- Evans, J. C. (1998). *The History & practice of ancient astronomy*. Oxford University Press.
- Hagendijk, T., Heering, P., Principe, L. M., & Dupré, S. (2020). Reworking Recipes and Experiments in the Classroom. In M. Stols-Witlox, J. Kursell, P. S. Lulof, A. Harris, & S. Dupré (Hrsg.), *Reconstruction, replication and re-enactment in the humanities and social sciences* (S. 199–224). Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1b0fvx7.11>
- Heering, P. (2014). Historical Approaches in German Science Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10, 229–235.
- Heering, P., & Kremer, K. (2018). Nature of Science. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_7
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 551–578. <https://doi.org/10.1002/tea.10036>
- McComas, W.F. (2020). *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6>

- Meya, J., & Sibum, H. O. (1987). *Das fünfte Element*. rororo.
- Oersted, H. C. (1895). Versuche über die Wirkung des elektrischen Conflicts auf die Magnethadel. In A. J. v. Oettingen (Hrsg.), *Zur Entdeckung des Elektromagnetismus: Abhandlungen von Hans Christian Oersted und Thomas Johann Seebeck* (S. 3–8). Wilhelm Engelmann.
- Rieß, F., Heering, P., & Nawrath, D. (2006). *Reconstructing Galileo's Inclined Plane Experiments for Teaching Purposes* [Online]. Proceedings der Eighth International History, Philosophy, Sociology & Science Teaching Conference. https://www.researchgate.net/publication/254334167_Reconstructing_Galileo%27s_Inclined_Plane_Experiments_for_Teaching_Purposes
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz (2019). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019). https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf
- Steinle, F. (2005). *Explorative Experimente. Ampère, Faraday und die Ursprünge der Elektrodynamik*. Steiner.