

Ein neuartiger Zugang zu Implementierung historischer Geräte und Experimente im Unterricht

Überlegungen zu Konzeption, Umsetzung und Evaluation

Sören Asmussen*, Peter Heering**

* Institut für integrative Studien, Leuphana Universität Lüneburg, asmussen@leuphana.de

**Institut für mathematische, naturwissenschaftliche und technische Bildung, Abteilung für Physik und ihre Didaktik und Geschichte, Universität Flensburg,
peter.heering@uni-flensburg.de

(Eingegangen: 05.05.2013; Angenommen: 14.11.2013)

Kurzfassung

Im Rahmen des Aufsatzes werden die Ergebnisse des Projektes Galilei, einer Initiative der Abteilung Physik und ihre Didaktik und Geschichte am Institut für mathematische, naturwissenschaftliche und technische Bildung an der Universität Flensburg vorgestellt. Im Fokus stehen dabei theoretische Begründungszusammenhänge der Projektarbeit, konzeptionelle Merkmale der Implementierung, die Ergebnisse der Evaluation und sich ergebende Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Theoretisch wird dabei wesentlich auf den Ansatz der naturwissenschaftlichen Elementarerfahrungen [1] und den Ansatz des historisch-genetischen Unterrichts [2] verwiesen. Zur Implementierung wird ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen, in dessen Kontext die Geräte zunächst gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern gebaut und sowohl theoretisch als auch historisch reflektiert werden. Darauf aufbauend stehen die fertigen Geräte für den Regelunterricht der Sekundarstufe I zur Verfügung. Im Rahmen der Projektevaluation zeigten sich sowohl aus der Perspektive der Schülerinnen und Schüler als auch aus der Sicht der beteiligten Lehrkräfte weitgehend positive Ergebnisse. An einigen Stellen ergibt sich aber auch Modifikationsbedarf, der in folgenden Projektphasen umgesetzt werden soll. Weiterführende Ideen beziehen sich unter anderem auf das Konzept der narrativen Didaktik [3], welches einen konzeptionellen Rahmen zur theoretischen und historischen Reflexion der Geräte im Anschluss an deren Bau bieten kann.

1. Einleitung

Gegenstand dieses Beitrages ist die Vorstellung eines neuen Ansatzes zur Implementierung historischer Geräte und Experimente in den schulischen Physikunterricht der Sekundarstufe I. Unter dem Titel „Projekt Galilei“ wurde an der Universität Flensburg eine Konzeption entwickelt, in deren Rahmen Schülerinnen und Schüler historische Geräte zunächst nachbauen und anschließend historisch sowie physikalisch kontextualisieren. Diese Geräte stehen in der Folge für den Regelunterricht zur Verfügung. Im Schuljahr 2010/2011 wurde das Projekt als Pilotstudie an unterschiedlichen Schulen in Schleswig-Holstein erprobt und evaluiert.

In diesem Beitrag werden zunächst die theoretischen Ausgangspunkte des Projekts skizziert. Anschließend werden die wesentlichen konzeptionellen Merkmale des Vorhabens beschrieben. In einem weiteren Schritt sollen die Ergebnisse der durchgeführten Evaluation dargestellt werden, um auf dieser Basis abschließend perspektivische Überlegungen zur Weiterentwicklung des Projekts abzuleiten.

2. Theoretische Einbettung

Das Projekt Galilei lässt sich auf zwei etablierte fachdidaktische Ansätze zurückführen: Zum einen ist dies der Ansatz der Elementarerfahrungen, der

beispielhaft in dem Projekt MINIPHÄNOMENTA realisiert wurde ([1], [4]). Konzeptionell lässt sich der von Fiesser entwickelte Ansatz insbesondere auf die Arbeiten Wagenscheins (zum Beispiel [5]) zum individual-genetischen Lernen zurückführen. In dem Projekt MINIPHÄNOMENTA werden Schulen für zwei Wochen Experimentierstationen zur Verfügung gestellt, so dass die Schülerinnen und Schüler frei an ihnen arbeiten können. Anschließend bauen Eltern selbst ausgewählte Stationen nach, die der Schule dadurch weiterhin zur Verfügung stehen. Dieser Ansatz zielt auf Kinder in der Primarstufe und soll deren Interesse an naturwissenschaftlich-technischen Fragestellungen bis zum Eintritt in die Sekundarstufe I aufrechterhalten und fördern. Die Wirksamkeit dieses Ansatzes ist dabei in einzelnen Studien untersucht worden. Dabei hat sich gezeigt, dass ein entsprechender Einsatz der Stationen zu einem Erhalt des naturwissenschaftlich-technischen Interesses bei Schülerinnen und Schülern der Primarstufe führt [6]. Offen bleibt bei diesem Ansatz allerdings die Frage, wie die Schule in der Sekundarstufe I diesem Interesse gerecht werden kann. Konkrete, hierzu anschlussfähige Ideen liegen bislang nicht vor.

Zum anderen bezieht sich das Projekt Galilei auf den experimentell betonten historisch-genetischen Ansatz, wie er in der von Rieß etablierten Oldenburger

Gruppe entwickelt worden ist (vgl. [7], [8]), der sich an Pukies [2] Weiterentwicklung des Ansatzes von Wagenschein anschließt. Hierbei ist genetisch – im Gegensatz zum genetischen Lernen bei Wagenschein – nicht mehr auf das Individuum bezogen, sondern vielmehr auf die Entwicklung der wissenschaftlichen Teildisziplinen, Konzepte oder Wissensbestände. Ein zentrales Kennzeichen dieses didaktischen Ansatzes besteht in dem Einbezug historischer Experimente, die mit quellengetreu rekonstruierten Geräten durchgeführt werden. Dieser Ansatz fand bislang insbesondere in die Praxis universitärer Lehrerbildung Einzug. Daneben existieren aber auch punktuelle Erprobungsversuche in der Sekundarstufe I und II. Kritisch lässt sich gegen einen derartigen Ansatz einwenden, dass die jeweiligen Geräte für die Realisierung entsprechender Unterrichtsansätze an Schulen in der Regel nicht vorhanden sind. Außerdem bleibt unklar, wie die Lehrkräfte gerade auch über die historischen Hintergründe der jeweiligen Geräte und Experimente informiert werden können, da der geschichtliche Aspekt in der Regel in der Ausbildung nur in sehr begrenztem Umfang thematisiert wird.

Ziel des im Folgenden vorgestellten Projekts Galilei ist, die Stärken beider Ansätze zusammenzuführen und gerade dadurch auch die jeweils zu konstatierenden Desiderate aufzulösen. So soll es gelingen, die Motivation der Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I aufrechtzuerhalten und gleichzeitig ein weitergehendes Verstehen über die „Natur der Naturwissenschaften“ durch den Einbezug von deren Geschichte zu ermöglichen (vgl. [9], [10], [11]).

3. Das Projekt Galilei: Die Grundidee¹

Das Projekt Galilei lässt sich grundsätzlich in zwei zentrale Phasen unterteilen. In einer ersten Phase bauen die Schülerinnen und Schüler historische Geräte selbst nach. Danach stehen die Geräte in einer zweiten Phase im Regelunterricht der Schule zur Verfügung. Vorgeschaltet ist den beiden schulischen Phasen eine Fortbildung für die Lehrkräfte, die die Schülerinnen und Schüler im Kontext der ersten Phase betreuen.

Die zentrale Idee zur Realisierung des Nachbaus der Geräte orientiert sich an dem im Projekt MINIPHÄNOMENTA (vgl. oben) verwendeten Ansatz: Geräte werden an Schulen ausgeliehen und können dort zwei Wochen lang von den Schülerinnen und Schülern ausprobiert werden. Gleichzeitig, und dies bildet einen ersten Unterschied, sollen die Geräte so weit analysiert werden, dass sie anschließend nachgebaut werden können. Dabei ist der Anspruch nicht die Quellentreue der nachzubauenden Geräte. Vielmehr besteht die Idee darin, dass die Schülerinnen und Schüler ihre eigene Version des Geräts konzipieren und anschließend realisieren,

also einen funktionellen Nachbau anfertigen. Insofern können sowohl Größe wie auch Materialien variiert werden. In diesem Zusammenhang soll jeweils hinterfragt werden, welche Konsequenzen diese Änderungen für die Funktionsfähigkeit des Geräts haben können. Parallel zum Nachbau der Geräte sollen diese sowohl physikalisch als auch historisch analysiert werden. Diese Kombination aus verschiedenartigen Aufgaben ermöglicht es, unterschiedlichen Schülerinnen und Schülern, mit ihren jeweiligen Kompetenzen, zum Gelingen des Gesamtprojekts beizutragen. So können gerade handwerklich geschickte oder interessierte Jugendliche in diesem Bereich Erfolgserlebnisse sammeln, während andere ihre Kompetenzen beispielsweise bei der Erstellung eines Posters zu den historischen oder physikalischen Hintergründen einbringen können.

Das materielle Ergebnis dieser ersten Phase ist das Gerät, das in der Schule mit seinem Funktionsprinzip und seinem historischen Kontext präsentiert werden kann. Dieses ist aber nicht die eigentliche Zielsetzung der ersten Phase: Sie besteht vielmehr darin, dass die beteiligten Schülerinnen und Schüler erleben, wie sie ihre Kompetenzen im Bereich der Physik erfolgreich einbringen können. Sie haben mit einer Gruppe etwas realisiert und letztlich ein Gerät erschaffen, das funktioniert wie das historische Vorbild. Diese Selbstbestätigung und ein derartiges Positiverleben können dazu führen, dass die individuelle Wahrnehmung des Faches sich verändert. Möglicherweise kann eine solche Erfahrung auch den Problemen der häufig anzutreffenden Inkommensurabilität vom Selbstkonzept der Schülerinnen entgegenwirken (vgl. [13]). Die im Kontext der Schülerevaluation erhobenen Daten liefern hierfür erste Hinweise (vgl. Abschnitt 6).

Das entstehende Gerät ist ein eher willkommenes Nebenprodukt, das die zweite Phase des Projekts ermöglicht. In dieser können die Geräte dann – in Anlehnung an den Oldenburger Ansatz – im Regelunterricht eingesetzt werden.² Zu den Geräten wird eine Webseite aufgebaut, in der weitere Hintergrundmaterialien, insbesondere zum historischen Kontext der Geräte, bereitgestellt werden. Außerdem bietet diese Plattform die Möglichkeit des Austausches der Lehrkräfte untereinander sowie die des Einstellens von bereits erprobten Unterrichtsmaterialien. Eine solche Materialsammlung deckt gerade die Bereiche ab, in denen Physiklehrkräfte häufig die größten Unsicherheiten verspüren.

¹ Für eine knappe Darstellung der Konzeption siehe auch [12].

² Die Verwendung funktioneller Nachbauten historischer Geräte in der physikalischen Ausbildung hat in Deutschland bereits eine längere Tradition (vgl. [14], [15], und [16]). Im Unterschied zu diesen Arbeiten sind die im Projekt Galilei verwendeten Geräte aber von Schülerinnen und Schülern gebaut, stammen also aus der gleichen ‚Peergroup‘.

4. Die Geräte

In der Pilotphase stand eine Reihe von Geräten zur Verfügung. Die Lehrkräfte bzw. die Schülerinnen und Schüler konnten auswählen, welche sie in ihrem Unterricht nachbauen wollten. Ausschlaggebend für die Auswahl der zur Verfügung gestellten Geräte waren verschiedene Kriterien: So sollten einerseits nur Geräte verwendet werden, die mit einem für Schulen realisierbaren technischen und finanziellen Aufwand nachzubauen waren. Daneben durfte der Bau auch keine speziellen Maschinen erfordern. Die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 8/9 sollten die zum Bau erforderlichen Fähigkeiten grundsätzlich besitzen oder im Rahmen der Bauphase entwickeln können. Außerdem sollten die Geräte für die Unterrichtsinhalte in der Sekundarstufe I relevant sein, da nur so die zweite Phase des Projekts sinnvoll realisiert werden kann.

Als Geräte kamen beispielsweise Nachbauten einer Camera obscura mit Linse von Brander zum Einsatz, eine weitere, aber sehr viel kleinere Camera obscura aus dem Besitz von Goethe, eine Sprungschanze nach Musschenbroek, ein Wasserprisma nach Goethe sowie zwei Reibungselektroskopmaschinen. Neben diesen vier Gerätetypen, die von Schülerinnen und Schülern im Rahmen der Pilotphase an Schulen realisiert worden sind, standen in der Pilotphase weitere 14 Geräte zur Verfügung, darunter unter anderem ein Elektrometer nach Henley, ein Galvanometer, ein Elektrophor, ein Sonnenofen nach Mouchot, ein Hydrometer nach Sikes sowie eine Camera lucida.

Die beiden letztgenannten Geräte sind besonders herauszustellen: Bei beiden handelt es sich um Originale aus dem 19. Jahrhundert. Diese können allerdings aus kuratorischer Sicht in einem derartigen Projekt eingesetzt werden, da sie historisch Standardgeräte waren und auch heute noch in großer Stückzahl existieren.

Die Camera obscura bietet die Möglichkeit, bei einem Einsatz im Regelunterricht diesen mit dem Kunstunterricht zu verknüpfen, da das Gerät häufig in der Malerei verwendet wurde.³ Daneben bildete es im 18. Jahrhundert ein Modell für das Sehen mit dem Auge (vgl. [18]). Besonders günstig erschien im Fall dieses Geräts die attraktive Praxis mit dem Gerät: Es ist einfach faszinierend, die mit der Camera obscura entstehenden Bilder zu sehen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil dieses Geräts: Es lag in zwei sehr unterschiedlichen Größen vor, so dass die Schülerinnen und Schüler an diesen beiden Geräten sehen konnten, dass das Funktionsprinzip nicht an die Dimensionierung gebunden ist.

³ Für einen anderen Ansatz, den Bau einer *Camera obscura* im schulischen Rahmen zu ermöglichen, siehe [17]. In seinem Beitrag ist auch eine Vielzahl historischer Hintergrundinformationen zu finden.

Die Elektrifiziermaschine ist das zentrale Gerät zur Behandlung der Elektrostatik anhand von historischen Experimenten (vgl. [19]) – in Schulen sind häufig nur leistungsstärkere Geräte wie ein Bandgenerator oder eine Wimshurst-Influenzelektroskopmaschine vorhanden, die sich für derartige Unterrichtsreihen nicht eignen. Auch hier lagen wieder die Nachbauten zweier Geräte vor: Eine Scheibenelektroskopmaschine, wie sie grundsätzlich zu Lehrzwecken im frühen 19. Jahrhundert verwendet wurde, und eine Zylinderelektroskopmaschine nach Adams, die vor allem für medizinische Zwecke im späten 18. Jahrhundert verwendet worden sein dürfte. Durch die unterschiedliche technische Realisierung kann für die Schülerinnen und Schüler deutlich werden, dass das Funktionsprinzip weder an die Scheibe noch an den Zylinder gekoppelt ist.

Das Goethe'sche Wasserprisma ist zentral für dessen Farbenlehre, die gerade im Gegensatz zur von Goethe kritisierten Newton'schen Theorie in der historischen Situation nicht akzeptiert wurde und auch in der Regel nicht im Physikunterricht behandelt wird. Ein entsprechender Einbezug erscheint aber durchaus sinnvoll, da an den Experimenten deutlich wird, dass Theorien nicht als steter Fortschritt entwickelt werden und dass physikalische Theorien kontrovers diskutiert werden können. Gleichzeitig lässt sich anhand des Prismas fragen, wie die Farbentstehung zustande kommt. Dieser Effekt lässt sich zwar auch im Rahmen der Newton'schen Theorie beschreiben, allerdings scheint es auf den ersten Blick ein anderes Phänomen zu sein, wenn Farbeindrücke durch ein Prisma an der Grenze zwischen einem weißen und einem schwarzen Bereich wahrgenommen werden können.

Die Sprungschanze schließlich wurde ausgewählt, da sie nicht aus einem Forschungsexperiment stammt, sondern aus einem frühen Lehrversuch. Insofern können Schülerinnen und Schüler an diesem Beispiel erfahren, dass wissenschaftliche Geräte durchaus unterschiedliche Funktionen haben können.

5. Die Umsetzung

Die Pilotphase des Projekts Galilei wurde im Schuljahr 2010/2011 durchgeführt. Mit Beginn des Schuljahres wurde an einer Gemeinschaftsschule eine Arbeitsgruppe ‚Physik lernen an historischen Geräten‘ gestartet. An dieser Arbeitsgruppe nahmen insgesamt 16 Schülerinnen und Schüler teil, die in vier Gruppen arbeiteten. Parallel hierzu wurden – mit dem Ziel einer weiteren Streuung der Projektidee – Schulen angeschrieben und die Physiklehrkräfte zu einer Fortbildung eingeladen.

Die Fortbildung war zweitägig konzipiert. Einleitend wurde den teilnehmenden Lehrkräften kurz das Konzept des Projekts und der Veranstaltung vorgestellt. Darauf aufbauend stand der eigene Nachbau eines Gerätes im Mittelpunkt. Dazu befand sich im Raum eine Reihe von Geräten, die als Vorlage zur

Verfügung standen. Auf dieser Basis konnten die Lehrkräfte im Rahmen eines Nachmittages jeweils ein Gerät nachbauen. Zum Schluss erhielten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer historische Hintergrundmaterialien zu den einzelnen Geräten mit der Bitte, diese im Laufe des Abends oder am nächsten Morgen noch durchzusehen. Am nächsten Vormittag wurden zunächst die Erfahrungen des vergangenen Tages reflektiert. Anschließend wurde ein Input zu dem konzeptionellen Hintergrund gegeben und sowie Fragen der Umsetzbarkeit im schulischen Alltag diskutiert. Hier war es von besonderem Vorteil, dass die die Arbeitsgruppe leitende Lehrkraft, die zu diesem Zeitpunkt bereits seit etwa drei Monaten das Konzept umsetzte, von ihren Erfahrungen berichten und ein von ihren Schülerinnen und Schülern angefertigtes Video präsentieren konnte. Abschließend wurden kurz weitere Geräte präsentiert, die ebenfalls im Rahmen des Projekts zur Verfügung standen, aber am Nachmittag zuvor nicht aufgebaut worden waren.⁴

Da die Fortbildung aus organisatorischen Gründen erst im November stattfinden konnte, war es nicht möglich, dass unmittelbar im Anschluss daran mit der Umsetzung in der Schule begonnen werden konnte. Allerdings gelang es einem teilnehmenden Lehrer, mit Wechsel des Halbjahres einen entsprechenden Kurs einzurichten. In diesem arbeiteten die Schülerinnen und Schüler an verschiedenen Geräten. Dagegen wurde an der zweiten untersuchten Schule, einer Gemeinschaftsschule, von den vier Gruppen jeweils das gleiche Gerät gebaut.

6. Evaluation⁵

Die Pilotphase des Projekts Galilei wurde im Rahmen von zwei Teilstudien (*Teilstudie I*: [21] und *Teilstudie II*: [22]) evaluiert. Nachfolgend werden das forschungsmethodische Arrangement und wesentliche Ergebnisse der beiden Untersuchungen dargestellt. Der Fokus liegt dabei – entsprechend eigener Schwerpunktsetzungen im Forschungsprozess – auf der *Teilstudie I*.

6.1. Fragestellungen

Im Fokus der Gesamtevaluation standen drei Themenkomplexe: die konzeptionellen Merkmale des Projekts Galilei, die durchgeführte Fortbildung inklusive der sich anschließenden Unterstützungsangebote und die Perspektive der Schülerinnen und

Schüler auf das Projekt. Entsprechend wurden die folgenden drei Forschungsfragen formuliert:

- Wie praktikabel sind die konzeptionellen Merkmale, inhaltlichen Grundüberlegungen und die ausgewählten Geräte des Projekts Galilei für die schulische Praxis der Sekundarstufe I?
- Wie bewerten die Lehrkräfte das Fortbildungs- und Unterstützungsangebot im Rahmen des Projekts Galilei?
- Wie schätzen die von dem Projekt erreichten Schülerinnen und Schüler das Projekt insbesondere hinsichtlich seiner Attraktivität und seines Bildungspotentials ein?

6.2. Forschungsmethodische Konzeption

Diese drei Fragestellungen wurden, wie bereits oben skizziert, in zwei Teilstudien untersucht.

Im Rahmen der *Teilstudie I* [21] wurde nach Antworten auf die ersten beiden der genannten Fragestellungen gesucht. Im Fokus der Analyse steht damit die Sichtweise der Lehrkräfte auf das Projekt Galilei. Bezug nehmend auf das Design handelt es sich bei dieser Untersuchung um eine zweistufige qualitativ ausgerichtete Interviewstudie mit einem Hauptinterview und einer telefonischen Nachbefragung.

Als Datenbasis wurde auf alle an dem Projekt beteiligten Lehrkräfte zurückgegriffen. Damit stellt die Evaluation eine Vollerhebung dar. Der Gesamtstichprobenumfang beträgt N=5 Lehrkräfte. Zur ersten Fragestellung wurde eine Lehrkraft befragt. Zum Zeitpunkt der Erhebung hatte sie die wesentlichen konzeptionellen Merkmale des Projekts Galilei knapp ein Schuljahr lang erprobt. Im Kontext der zweiten Forschungsfrage wurden die vier Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Fortbildung einbezogen⁶. Als Erhebungsinstrument kamen in Bezug auf beide Fragestellungen leitfadensbasierte Einzelinterviews zum Einsatz (vgl. [24]). Zur Itemgenerierung wurde auf der Basis der Fragestellungen und der wesentlichen Projektmerkmale zunächst eine Dimensionierung des Erhebungsgegenstandes vorgenommen ([25], S. 43–46). Das Ergebnis dieses Schrittes sind übergeordnete Inhaltsbereiche, die in der folgenden Tabelle wiedergegeben werden:

Die einzelnen Inhaltsbereiche wurden in einem nächsten Schritt durch Einzelitems operationalisiert. Bei allen Items handelt es sich ausschließlich um „Primärfragen“ ([26], S. 56). Die Reihenfolge der Fragen im Interviewverlauf wurde, um einen flüssigen Gesprächsverlauf zu gewährleisten, individuell an die jeweilige Interviewsituation angepasst ([27],

⁴ Es schien nicht sinnvoll, am ersten Nachmittag bereits alle Geräte zu zeigen, daher wurden nur die *Camera obscura*, das Goethe'sche *Wasserprisma*, das *Galvanometer* und die *Tassenkrone* als nachbaubare Geräte zur Verfügung gestellt. Ausschlaggebend für die Auswahl war, ob es realistisch erschien, dass die Geräte innerhalb von drei Stunden durch die Lehrkräfte gebaut werden konnten.

⁵ Das Design der Evaluation und einige der Ergebnisse wurden bereits veröffentlicht in: [20].

⁶ Auch wenn geringe Stichprobenumfänge im Kontext der qualitativen empirischen Sozialforschung nicht unüblich sind (vgl. [23]), schränkt die hier vorliegende Konstellation die Möglichkeiten der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse ein. Entsprechend behutsam sollte daher deren Interpretation erfolgen.

S. 174). Die Formulierung der Items berücksichtigt gängige forschungsmethodische Standards, wie

Inhaltsbereich	Forschungsfrage 1	Forschungsfrage 2
I	Historische Geräte	Erste Einschätzung der Fortbildung
II	Projektideen und -struktur	Inhalte, Aufbau und Setting der Fortbildung
III	Beteiligung an der Fortbildung	Genauerer Blick auf die einzelnen Phasen der Fortbildung
IV	Unterstützungsangebote im Anschluss an die Fortbildung	Historische Geräte
V	Unterrichtliche Erprobungsphase	Unterstützung im Anschluss an die Fortbildung
VI	Zusammenfassende Bewertung	Zusammenfassende Bewertung

Tab 1: Übergeordnete Inhaltsbereiche der Interviewleitfäden, leicht modifiziert übernommen aus [21], S. 5

beispielsweise die Vermeidung unnötig komplizierter Formulierungen oder auch mehrdeutiger Fragen ([28], S. 63 f.). Zur weiteren Explikation des methodischen Vorgehens soll hier auf einige Beispielitems für beide Fragestellungen verwiesen werden:

Fragestellung 1: „Historische Geräte

1. Welches der Exponate ist Ihr Lieblingsgerät? Bitte begründen Sie Ihre Antwort kurz.
2. Wie sollte ein gutes Gerät beschaffen sein? Bitte nennen Sie einige Kriterien.“

Fragestellung 2: „Erste Einschätzung der Fortbildung

1. Bitte denken Sie an die Fortbildung. Was kommt Ihnen als Erstes in den Sinn?
2. Haben Sie die Fortbildung in guter Erinnerung behalten?
3. Bitte vergleichen Sie diese Fortbildung mit anderen Angeboten, die Sie besucht haben. Wie beurteilen Sie vor diesem Hintergrund das Fortbildungsangebot?“
4. ([21], S. 14 und 15)

Die einzelnen Interviews fanden im Arbeitsumfeld der Lehrkräfte statt und dauerten jeweils etwa 60 Minuten. Zur Dokumentation wurde zum einen ein Tonbandmitschnitt⁷ angefertigt, zum anderen wurden durch den Interviewer die wesentlichen Aussagen stichwortartig protokolliert.

Die Auswertung der verbalen Daten orientiert sich an dem Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse, verstanden als ein regelgeleitetes Verfahren der Textanalyse ([29], S. 13). Gropengießer hebt die Bedeutung des Verfahrens für den fachdidaktischen Kontext hervor und benennt drei wesentliche Vorteile der Auswertungsmethode: die Möglichkeit, Vorstellungen der Kinder zu erfassen, wesentliche

fachwissenschaftliche Konzepte zu explizieren und schließlich beide Aspekte miteinander in Beziehung zu setzen ([30], S. 188). Das Verfahren wird aber auch im spezifisch physikdidaktischen Zusammenhang eingesetzt. Verwiesen sei hier exemplarisch auf die Untersuchung von Bruggmann et al. [31] zur Erhebung von Unterrichtskonzepten.

Dem pragmatischen Ansatz von Evaluationsforschung folgend ([32], S. 130), soll hier ein vereinfachtes Verfahren zum Einsatz kommen. In einem ersten Schritt der Analyse wurde der vorliegende Datenbestand überblicksartig gesichtet. Darauf aufbauend, folgte eine detaillierte, fallweise Auswertung. Das Ziel der Analyse bestand darin, die Kernaussagen der an der Untersuchung teilnehmenden Lehrkräfte zu den einzelnen übergeordneten Inhaltsbereichen herauszuarbeiten. Dazu wurden jeweils sequenziell drei Arbeitsschritte durchlaufen:

1. Herausarbeiten der wesentlichen, das heißt inhaltsbedeutsamen verbalen Daten
2. Streichen von redundanten Passagen
3. Zusammenfassen inhaltlich ähnlicher Aussagen

Die so entwickelten Kernaussagen wurden in einem Auswertungsbogen dokumentiert und zur Qualitätssicherung der Erhebungs- und Auswertungsmethodik (vgl. [33]) den Lehrkräften im Rahmen eines Telefoninterviews erneut präsentiert. In Anlehnung an das „Forschungsprogramm subjektive Theorien“ [34], aber auch an den Ansatz der „focus groups“ ([35], S. 47 f.), bestand das Ziel darin, die wesentlichen Ergebnisse widerzuspiegeln, um so eine Rückmeldung zu den erhobenen Ergebnisse zu erhalten. Darüber hinaus bestand auch die Möglichkeit, unklare Aspekte und gegebenenfalls auch vorhandene Widersprüche zu thematisieren und schließlich im gemeinsamen Gespräch auszuräumen.

In einem abschließenden Auswertungsschritt wurden die Ergebnisse beider Interviews personenweise im Rahmen von Fallbeschreibungen zusammengefasst. Sie geben das individuelle Antwortverhalten der befragten Lehrkräfte im Hinblick auf die übergeordneten Inhaltsbereiche wieder. Im Folgenden wird, zur Explikation der methodischen Vorgehensweise beispielhaft auf einen Ausschnitt aus der Fallbeschreibung von Lehrer 2 (L 2) verwiesen, der im Kontext der zweiten Fragestellung befragt wurde. Der Ausschnitt der Fallbeschreibung nimmt Bezug auf die übergeordneten Inhaltsbereiche I und II (vgl. Tabelle 1):

„(...) habe ihm die Fortbildung, so L 2, sehr gut gefallen. Besonders positiv gewichtet er den Bau der Geräte. Es sei sehr schön gewesen, selber etwas Konkretes tun zu können. Auch der Theorieteil war aus der Perspektive von L 2 weitgehend gelungen. Dennoch gebe es in Bezug auf diesen Modifikationsbedarf. So hätte der Theorieteil Redundanzen und „Längen“ gehabt, sodass aus der

⁷ Aufgrund technischer Probleme liegt in einem Fall kein Tonbandmitschnitt vor.

Perspektive von L 2 eine „Straffung“ sinnvoll erscheint. Darüber hinaus sei die „Reihung der Fortbildung“ wenig sinnvoll. Bau- und Theoriephase sollten durchmischt und nicht als zwei Blöcke sequentiell abgearbeitet werden. Trotz dieser Defizite bewertet L 2 die Fortbildung in Relation zu anderen besuchten Veranstaltungen als sehr positiv. Besonders positiv fallen in diesem Vergleich die Bauphase und die sehr geringe Gruppengröße ins Gewicht. Aber auch die Organisation der Fortbildung und der eingeplante kollegiale Austausch seien vorbildlich gewesen.“ ([21], S. 8–9)

Im Fokus der *Teilstudie II* [22] steht die Bearbeitung der dritten Fragestellung. Zentral ist in diesem Zusammenhang die Perspektive der beteiligten Schülerinnen und Schüler auf das Projekt, insbesondere hinsichtlich dessen Attraktivität und Bildungswirksamkeit. Der Autor bediente sich dazu eines weitgehend standardisierten Fragebogens (vgl. [36]). Diesen gab er in den zwei an dem Projekt beteiligten Schulen an insgesamt 23 Schülerinnen und Schüler aus. Der Fragebogen enthält insgesamt 21 Items, wovon 18 geschlossen und drei offen formuliert sind. Auf eine Skalierung der Items wurde in Anbetracht des explorativen Charakters der Untersuchung verzichtet. Die Auswertung erfolgte damit auf der Ebene der Einzelitems. Zum Einsatz kamen hierbei deskriptive Verfahren, hauptsächlich die Bestimmung von Kategorienhäufigkeiten. Die Antworten zu den offenen Items wurden qualitativ im Sinne einer Kategorisierung ausgewertet.

6.3. Ergebnisse

In Bezug auf die erste Fragestellung ergibt sich ein geteiltes Bild. Auf der einen Seite stehen sehr positive Erfahrungen zum Nachbau der Geräte in der Schule. Nach Wahrnehmung der Lehrkraft bauen die Schülerinnen und Schüler mit viel Freude und Engagement – das geht so weit, dass in einer Gruppe die Geräte in der Freizeit fertiggestellt wurden, da der Kurs aus organisatorischen Gründen im anschließenden Schuljahr nicht fortgesetzt werden konnte. Die entstehende Unterrichts Atmosphäre wird von ihr als außerordentlich angenehm beschrieben. Der Lehrkraft sagt aber nicht nur die Unterrichtssituation bei der Realisierung der Nachbauten zu. Auch die Geräte selbst gefallen ihr gut. Als relevante Kriterien beschreibt sie einen interessanten durch die Geräte hervorgerufenen experimentellen Effekt, die Möglichkeit eines unkomplizierten Nachbaus und ein für Schülerinnen und Schüler im Kontext der Sekundarstufe I einfach zu verstehender physikalischer Hintergrund. Besonders bewährt haben sich aus ihrer Sicht die Camera obscura und das Wasserprisma.

Neben diesen positiven Erfahrungen gibt es aber auch kritische Aspekte. Diese betreffen zum einen die theoretische Analyse der physikalischen Phäno-

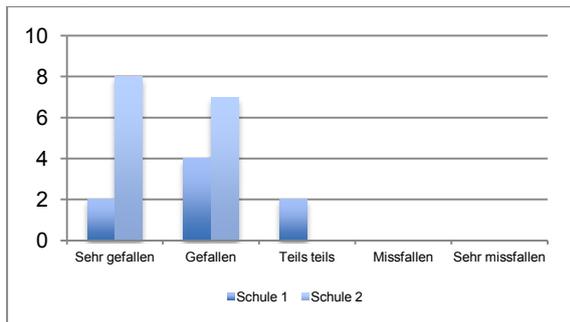
mene. Hier zeigten sich bekannte physikdidaktische Problemfelder. Die Lehrkraft verweist auf zu geringen Lebensweltbezug oder auch auf Schwierigkeiten im Rahmen von Modellbildungsprozessen. Zum anderen bereite den Schülerinnen und Schülern die historische Kontextualisierung der Geräte Probleme. Der letzte Punkt betrifft aus der Perspektive der Lehrkraft sowohl die zeitliche als auch die räumliche Distanz zum Entstehungskontext der jeweiligen Geräte. Beides sei für die Schülerinnen und Schüler nur schwer vorstell- und fassbar gewesen. Die Fortbildung sowie die Unterstützungsangebote für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Fortbildung, an denen die betreffende Lehrkraft ebenfalls mitgearbeitet hat, haben sich aus ihrer Sicht bewährt.

Gegenstand der zweiten Fragestellung ist die Bewertung der Fortbildung sowie der sich daran anschließenden Betreuung aus der Sicht der teilnehmenden Lehrkräfte. Die Fortbildung wurde von den teilnehmenden Lehrkräften als angenehm und gewinnbringend charakterisiert. Als besonders positive Merkmale der Veranstaltung heben die Lehrkräfte die Chance des eigenen Nachbaus der Geräte hervor, des Weiteren die zur Verfügung gestellten weiteren Exponate, den Veranstaltungsort – die Phänomena Flensburg – sowie die sehr gute gemeinsame Arbeit im Rahmen der Fortbildung. Neben diesen positiven Aspekten wurde aber auch Kritik geäußert. Diese betraf zum einen, wie in dem bereits wiedergegebenen Auswertungsbeispiel zu L 2 angedeutet, strukturelle Aspekte. Insbesondere wurde ausgeführt, dass Bauphase und theoretische Aufarbeitung in didaktischer Hinsicht besser integriert werden könnten. Zum anderen verwiesen die Physiklehrkräfte auf eine zu geringe Thematisierung von bestehenden Sicherheitsbestimmungen für den Nachbau der Geräte durch Schülerinnen und Schüler. Um dies etwas konkreter zu formulieren: Es besteht beispielsweise eine offensichtliche Unklarheit darüber, in welcher Schulstufe eine elektrische Bohrmaschine, eine Stichsäge oder ein Akkuschauber verwendet werden dürfen.

Die beteiligten Lehrkräfte begrüßen die Möglichkeit einer Unterstützung bei der unterrichtlichen Umsetzung der wesentlichen Merkmale des Projekts Galilei über die Fortbildung hinaus. Diese Unterstützung sollte sich insbesondere auf ein Onlineangebot beziehen. In diesem Rahmen könnten Hintergrundinformationen zu den Geräten und dem didaktischen Ansatz sowie die Möglichkeit eines Austausches über ein Forum angeboten werden. Weitere Unterstützungsangebote, wie beispielsweise Anschluss-treffen oder auch Netzwerke erscheinen den Lehrkräften sinnvoll aber nicht zwingend notwendig.

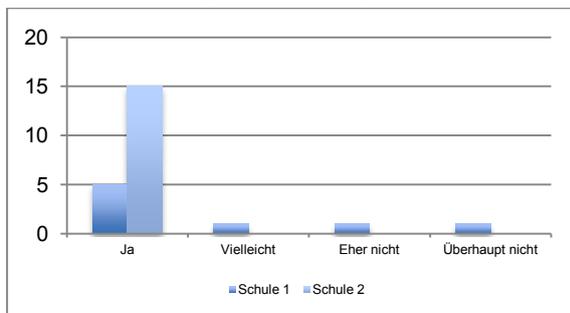
Bezug nehmend auf die dritte Fragestellung, die Sichtweise der Schülerinnen und Schüler auf das Galilei-Projekt, lässt sich aus der Untersuchung von Schubert [22] ein positives Fazit ziehen. Diese Einschätzung kann beispielsweise durch die Bewertung der ausgewählten Experimente durch die Schülerin-

nen und Schüler untermauert werden. So hat einem Großteil der beteiligten Jugendlichen die Auswahl der Experimente gefallen:



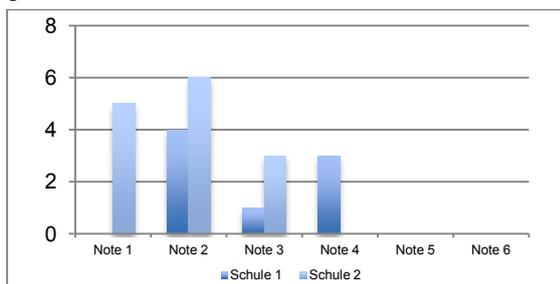
Grafik 2: Wie hat dir die Auswahl der Experimente gefallen? Entnommen aus: ([22], S. 53)

Diese Sichtweise wird durch das Antwortverhalten der Schülerinnen und Schüler bei dem folgenden Item bestätigt. So würde der weitaus überwiegende Teil von ihnen Mitschülerinnen und Mitschülern die Teilnahme am Projekt Galilei empfehlen:



Grafik 3: Würdest du einem deiner Mitschüler empfehlen auch einmal am Projekt teilzunehmen? Entnommen aus: ([22], S. 69)

Über das bloße Gefallen des Projekts konnten durch die Teilnahme auch kognitive Effekte im Sinne einer Lernerleichterung evoziert werden. So gab der überwiegende Teil der Schülerinnen und Schüler an, dass der Einbezug der Experimentierstationen ihnen geholfen hat, neues Wissen leichter zu verstehen:



Grafik 4: Hat dir der Einbezug der Experimentierstationen insgesamt geholfen, neues Wissen leichter zu verstehen? Entnommen aus: ([22], S. 54)

6.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Evaluation offenbaren ein im Wesentlichen positives Bild der Pilotphase des Projekts Galilei: Die konzeptionellen Merkmale haben

sich weitgehend bewährt. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Fortbildung waren zufrieden und die an dem Projekt beteiligten Schülerinnen und Schüler äußerten sich ebenfalls positiv.

Die über die konkrete Projektbewertung hinausgehenden Ergebnisse lassen sich stimmig in den bestehenden Forschungsbestand einordnen. In diesem Zusammenhang soll insbesondere auf drei Punkte hingewiesen werden:

1. Das große Interesse der Schülerinnen und Schüler am Bau der Geräte und dem experimentellen Umgang mit eben diesen ist vor dem Hintergrund der „Merkmale interessensfördernder Lernumgebungen“ ([37], S. 58) stimmig.
2. Die beschriebenen Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler bei der historischen Einordnung der Nachbauten finden sich auch in empirischen Ergebnissen der Geschichtsdidaktik. Verwiesen sei hier beispielsweise auf die Arbeit von Günther-Arndt, Sauer [38].
3. Was die physikalisch-theoretische Einordnung der Geräte angeht, kann hier auf Ergebnisse von Conrads [39] verwiesen werden, die die großen Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern sowohl bei der Bildung von Modellen als auch bei der Entwicklung eines angemessenen Meta-Verständnisses des Prozesses beschreibt ([39], S. 2 f.).

Auffällig sind im Rahmen der dritten Fragestellung die deutlichen Unterschiede im Antwortverhalten der Schülerinnen und Schüler zwischen den beiden Schulen. So fällt das Urteil von Schule 2 in allen drei Fällen im Sinne der Schlüsselrichtung des Items deutlich positiver aus. Hier wird jedoch die These vertreten, dass die Gründe für die Unterschiede im Antwortverhalten der Schülerinnen und Schüler der beiden Schulen nicht inhaltlicher Natur sind, sondern auf einem methodischen Artefakt beruhen. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang ein struktureller Unterschied in der Projektrealisation: In der Schule 2 hatten die Schülerinnen und Schüler bereits Geräte gebaut und so erste Erfolge erzielt. Ganz anders in Schule 1: Hier hatten die Schülerinnen und Schüler zum Erhebungszeitpunkt erst mit der Arbeit an den Geräten begonnen.

Insofern scheint der Erfahrung, erfolgreich ein Gerät realisiert zu haben und dieses auch als funktionsfähig zu erfahren, eine wesentliche Bedeutung für die Wahrnehmung des Projekts durch die Schülerinnen und Schüler zuzukommen. Gerade das Erleben des erfolgreichen Fertigstellens eines funktionsfähigen Objektes mit der damit verbundenen Wertschätzung (innerhalb der Peergroup) würde nach dieser Interpretation eine wesentliche Rolle bei der retrospektiven Bewertung des Projekts spielen. Hier scheinen sich Parallelen zu einer bereits durch Metz und Stinner in einem Ansatz, der Ähnlichkeiten zu dem hier dargestellten aufweist, aufzutun: „(...) we prefer that students build their own apparatus. By

becoming the instrument maker students have a similar experience to replicating the experiment. They take ownership of their apparatus, it is dependent on their attention and technique, and often requires some kind of ‘tweaking’ or modification to maximize its efficiency” ([40], S. 618). Gerade diese als ‘ownership’ bezeichnete Wahrnehmung des Objektes scheint hier auch eine wesentliche Rolle zu spielen – es entsteht ein Stolz auf das eigene Werk, das als solches gesehen werden kann und insofern auch emotional entsprechend besetzt wird.

Weiterhin ermöglicht unserer Auffassung nach ein derartiger Zugang die Schaffung, authentischer Forschungssituationen für Schülerinnen und Schüler. Dies gilt sowohl für die Untersuchung der Geräte, die als Vorlage für den eigenen Nachbau dienen sollen, als auch für Fragen nach der technischen Umsetzung für die eigene Version des Gerätes und schließlich für die Herstellung der Funktionsfähigkeit dieses Gerätes. Insofern wird mit einem derartigen Ansatz auch eine Unterrichtssituation geschaffen, in der die Tätigkeit der Schülerinnen und Schüler forschend im Sinne eines ‚Inquiry-based learning‘-Ansatzes gestaltet ist [41]. Gleichzeitig ist aber durch die historische Eingebundenheit der dieser Tätigkeit zugrunde liegenden Geräte ein sehr spezifischer Zugang gegeben. Inwieweit hierdurch weitere motivationale Aspekte generiert werden, wird zukünftig zu untersuchen sein.

7. Perspektiven

Die erzielten Evaluationsergebnisse bescheinigen eine in weiten Teilen erfolgreiche Projektdurchführung. Dennoch ergibt sich, auch dies zeigen die vorliegenden Ergebnisse, punktueller Modifikationsbedarf. Dieser betrifft insbesondere die folgenden Aspekte:

1. In der Pilotphase hat sich unterrichtskonzeptionell der Nachbau der Geräte bewährt. Problematisch war jedoch deren theoretische und historische Einordnung. Hier müssten den Lehrkräften konkrete methodische Ausgestaltungsversuche benannt werden. Um sowohl das historische als auch das theoretische Element aufzugreifen, bietet sich möglicherweise eine Herangehensweise im Sinne einer narrativen Didaktik an. Dabei kann zum einen auf die Arbeiten von Kubli ([42], [3]), zum anderen aber auf einen nordamerikanischen Diskurs zurückgegriffen werden. Hier ist in den letzten zehn Jahren eine ganze Reihe vielversprechender Arbeiten entstanden. Für den hier vorliegenden Kontext erscheinen insbesondere die folgenden drei Stränge lohnend: Arbeiten zur konzeptionellen Einbindung von Geschichten in den Unterricht (vgl. beispielsweise [43]), umfangreiche Hinweise für die Konstruktion von Geschichten (vgl. beispielsweise [44] und empirische Untersuchungen zur Wirksamkeit von Geschichten in naturwissenschaftlichen Lehr-Lern-Settings (vgl. beispielsweise [45]). Vor diesem Hintergrund erscheint es hilfreich, die Fortbildung in zwei Teile zu splitten. Gegenstand der ersten Fortbildung wäre dann die erste schulische Phase, also der Nachbau sowie die theoretische und historische Einordnung der Geräte. Die zweite Fortbildung würde dann etwa sechs Monate, nachdem die erste Phase an einer Schule angelaufen ist, durchgeführt werden und auf den Einsatz der Geräte im schulischen Regelunterricht fokussieren. Ein zusätzlicher Mehrwert eines solchen Vorgehens bestünde darin, dass die Lehrkräfte zu einer kontinuierlichen Auseinandersetzung mit den Projekthaltungen ermutigt werden würden. Gleichzeitig hätten sie auf diese Weise eine strukturierte Möglichkeit zum Austausch erster Erfahrungen. Dieses Element könnte die Austauschmöglichkeiten über die Webseite hinaus sinnvoll ergänzen.
2. Im Rahmen der Fortbildung müssen die rechtlichen Aspekte der Sicherheit beim Bauen durch Schülerinnen und Schülern explizit thematisiert werden. Insbesondere muss in diesem Zusammenhang auf bestehende Vorgaben für den schulischen Technikunterricht hingewiesen werden, die auf die angestrebte Unterrichtssituation übertragbar, aber offenkundig den Physiklehrkräften nicht geläufig sind. In diesem Zusammenhang kann bei der allgemeinen Handhabung dieser Fragen auf die „Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht“ verwiesen werden ([46], insbesondere S. 47 – 50 und 64 – 71). Konkretere Hinweise finden sich in den Handreichungen der Unfallkassen. So nimmt die Unfallkasse Nord in ihren „Empfehlungen zur Sicherheit im Technikunterricht“ beispielsweise eine „Zuordnung von Maschinen und Jahrgangsstufen in den allgemein bildenden Schulen“ vor ([47], S. 11).
3. Die Bauphase sowie die theoretische und historische Aufarbeitung sollten bei zukünftigen Fortbildungen nicht sequentiell, sondern stärker integrativ bearbeitet werden. Hier streben wir ein explizites Kontextualisieren des gewählten Gerätes durch die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Fortbildung in Verbindung mit dessen Bau an. Diese Auseinandersetzung mit dem Gerät auf mehreren Ebenen soll gegen Ende der Fortbildungsmaßnahme explizit reflektiert werden, um so auch Potentiale und

mögliche Probleme in der Gruppe zu thematisieren.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen soll in einem nächsten Schritt eine lokale Umsetzung mit Schleswig-Holsteiner Schulen angestrebt werden. Auf der Basis der gesammelten Erfahrungen kann dann in einer nächsten Phase mit einer großflächigeren Umsetzung begonnen werden.

8. Dank

Unser Dank gilt der NORDMETALL-Stiftung für die finanzielle Förderung der Pilotphase. Ebenfalls möchten wir uns bei zwei anonymen GutachterInnen für die hilfreichen Hinweise bedanken.

9. Literatur

- [1] Fiesser, L. (2005): MINIPHÄNOMENTA – 52 spannende Experimente für den Schulflur und das Klassenzimmer. Hamburg: Eigenverlag
- [2] Pukies, J. (1979): Das Verstehen der Naturwissenschaften. Braunschweig: Westermann
- [3] Kubli, F. (2005): Mit Geschichten und Erzählungen motivieren: Beispiele für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Köln: Aulis
- [4] Sauer, F. (2005): Der Einfluss offener Experimentierstationen auf das naturwissenschaftliche Lernen im Primarbereich. Tönning: Der andere Verlag
- [5] Wagenschein, M. (2010): Verstehen lehren. Weinheim: Beltz
- [6] Holst, S. (2005): Entwicklung und Evaluation interaktiver Experimentierstationen – Eine Studie zur Überprüfung der Bildungswirksamkeit erfahrungsfördernder Experimentierstationen in der Primar- und Orientierungsstufe. Tönning: Der andere Verlag
- [7] Rieß, F.; Schulz, R. (1994): Naturwissenschaftslernen als Textverstehen und Geräteverstehen – Naturwissenschaftsdidaktik in hermeneutischer Absicht und die Rekonstruktion historischer Experimentierpraxis. In: Misgeld, W.; Ohly, K. P., Rühaak, H.; Wiemann, H. (Hrsg.): Historisch-genetisches Lernen in den Naturwissenschaften. Weinheim, DSV, S. 185 – 204
- [8] Heering, P.; Rieß, F.; Sichau, C. (1995): Lernen im Labor der Physikgeschichte. Wechselwirkung, 17, 28 – 32
- [9] Hodson, D. (2008): Towards Scientific Literacy – A Teacher’s Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science. Rotterdam: Sense Publishers
- [10] Höttecke, D. (2001): Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen: Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Berlin: Logos
- [11] McComas, W. F. (1998): The nature of science in science education: rationales and strategies. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers
- [12] Heering, P. (2013): Make – Keep – Use: Historical Instruments into the Classroom. In: Heering, P.; Klassen, S.; Metz, D. (Hrsg.): Enabling Scientific Understanding through Historical Instruments and Experiments in Formal and Non-Formal Learning Environments. Flensburg: Flensburg University Press, S. 143 – 156
- [13] Kessels, U.; Hannover, B.; Rau, M.; Schirner, S. (2002): Ist die Physik reif für eine Image-Kampagne? In: Physik Journal 11, S. 65 – 70
- [14] Teichmann, J. (1979). Die Rekonstruktion historischer Modelle und Experimente für den Unterricht – drei Beispiele. In: Physik und Didaktik 4, S. 267 – 282
- [15] Achilles, M. (1996). Historische Versuche der Physik: Funktionsfähig nachgebaut. Frankfurt/Main, Wötzel
- [16] Wilke, H.-J. (1988). Physikalische Schulexperimente: Historische Experimente. Berlin: Volk und Wissen
- [17] Müller, M. (2012): Camera obscura. In: Heering, P.; Markert, M.; Weber, H. (Hrsg.): Experimentelle Wissenschaftsgeschichte didaktisch nutzbar machen. Ideen, Überlegungen und Fallstudien. Flensburg: Flensburg University Press, S. 67 – 92
- [18] Crary, J. (1996). Techniken des Betrachters: Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert. Dresden: Basel
- [19] Heering, P. (1997): Durch Schläge zum Verstehen. In: Dally, A.; Nielsen, T.; Rieß, F. (Hrsg.): Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften im Unterricht: Ein Weg zur naturwissenschaftlich-technischen Allgemeinbildung? Loccum, Evangelische Akademie; S. 265 – 281
- [20] Asmussen, S.; Heering, P.; Schubert, S. (2012): Das Projekt Galilei – Erfahrungen aus der Projektphase. In: Bernholt, S. (Hrsg.): Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Münster: LIT, S. 122 – 124
- [21] Asmussen, S. (2010): Gutachten – Evaluation des Galilei-Projekts. Flensburg: nicht veröffentlicht
- [22] Schubert, S. (2011): Schülerperspektiven im „Projekt Galilei“. Wie Schüler der Sekundarstufe I über das selbstgesteuerte Lernen an historischen Experimentierstationen denken. Flensburg: unveröffentlichte Masterarbeit
- [23] Lamneck, S. (2010): Qualitative Sozialforschung. Weinheim: Beltz
- [24] Bortz, J; Döring, B. (2009): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer
- [25] Mayer, H. O. (2009): Interview und schriftliche Befragung – Entwicklung, Durchführung, Auswertung. München: Oldenburg Verlag
- [26] Lehmann, G. (2004): Das Interview – Erheben von Fakten und Meinungen in Unternehmen. Renningen: Expert Verlag

- [27] Gläser, J.; Laudel, G. (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. Wiesbaden: VS Verlag
- [28] Mummendey, H. D. (2003): Die Fragebogen-Methode. Göttingen: Hogrefe
- [29] Mayring, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Weinheim: Beltz
- [30] Gropengießer, H. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: Mayring, P.; Gläser-Zikuda, M. (Hrsg.): Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim: Beltz, S. 172 – 189
- [31] Bruggmann, M.; Labudde, P.; Duit, D.; Gerber, B. (2009): Unterrichtskonzepte von schweizer und deutschen Physiklehrkräften: In: Höttecke, D. (Hrsg.): Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Berlin: Lit Verlag, S. 318 – 320
- [32] Wottawa, H.; Thierau, H. (2003): Lehrbuch Evaluation. Bern: Hans Huber Verlag
- [33] Steinke, I. (2000): Gütekriterien qualitativer Forschung. In: Flick, U.; von Kardoff, E.; Steinke, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung: Ein Handbuch. Hamburg: Rowohlt, S. 319 – 331
- [34] Groeben, N.; Wahl, D.; Schlee, J.; Scheele, B. (1988): Forschungsprogramm Subjektive Theorien. Eine Einführung in die Psychologie des reflexiven Subjekts. Tübingen: Francke
- [35] Flick, U. (2011): Methodentriangulation – Eine Einführung. Wiesbaden: VS Verlag
- [36] Porst, R. (2008): Fragebogen – Ein Arbeitsbuch. Wiesbaden: VS Verlag
- [37] Engeln, K. (2004): Schülerlabors – authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Berlin: LOGOS
- [38] Günther-Arndt, H.; Sauer M. (2006): Einführung: Empirische Forschung in der Geschichtsdidaktik: Fragestellungen – Methoden – Erträge. In: Günther-Arndt, H.; Sauer, M. (Hrsg.): Geschichtsdidaktik empirisch – Untersuchungen zum historischen Denken und Lernen. Berlin: Lit Verlag, S. 7 – 28
- [39] Conrads, N. (2011): Erwerb von Modellkompetenz als Bildungsziel des Sachunterrichts. Online verfügbar: www.widerstreit-sachunterricht.de, Nr. 17
- [40] Metz, D.; Stinner, A. (2007): A Role for Historical Experiments: Capturing the Spirit of the Itinerant Lecturers of the 18th Century. In: Science & Education 16, S. 613 – 624
- [41] Höttecke, D. (2013): Forschend-entdeckenden Unterricht authentisch gestalten – ein Problemaufriss. Bernholt, S. (Hrsg.): Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. Kiel, IPN, S. 32 – 45
- [42] Kubli, F. (2002): Plädoyer für Erzählungen im Physikunterricht. Köln: Aulis
- [43] Klassen, S. (2009): The Construction and Analysis of Science Story: A Proposed Methodology. In: Science & Education, doi:10.1007/s11191-008-9141-y, S. 401 – 423
- [44] Avraamidou, L.; Osborne, J. (2009): The Role of Narrative in Communicating Science. In: International Journal of Science Education, Ausgabe 31, Jahrgang 12, S. 1683 – 1707
- [45] Hadzigeorgiou, Y.; Klassen, S.; Klassen, C. (2011): Encouraging a ‘romantic understanding’ of science: The effect of the Tesla Story. In: Science & Education, doi:10.1007/s11191-011-9417-5, S. 1111 – 1138
- [46] Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht, KMK-Beschluss vom 26. März 2003. http://www.kmk.org/fileadmin/doc/Bildung/PDF-IID/RISU-KMK_Empf-03.pdf (Stand 08.13)
- [47] Unfallkasse Nord (2004): Empfehlungen zur Sicherheit im Technikunterricht. http://www.uk-nord.de/fileadmin/user_upload/pdf/publikationen/empfehlungen_sicherheit_techniku.pdf (Stand 08.13)