

Inszenierte Erkenntnis

Zur Wissenschaftskultur der Physik im universitären Lehrkontext

MARTINA ERLEMANN

Der Präambel einer Denkschrift zum Jahr der Physik zufolge ist diese Wissenschaft

»grundlegend, fruchtbar und weit umfassend. Die Gesetze der Natur werden in der Physik mit der größtmöglichen methodischen Strenge erforscht. Dabei bedient sich die Physik des Experiments und der Mathematik. Beide sind zeitlos und universell gültig, wie die physikalischen Gesetze selbst. Der Drang des Menschen, diese Gesetze zu entdecken, ist so alt wie unsere Kultur.«¹

Folgt man dieser Charakterisierung, beginnt ein Physikstudium, wer dem Drang nachgibt, die Gesetze der Natur zu entdecken. Er oder sie erfährt im Laufe des Studiums, was die Welt im Innersten zusammenhält und eignet sich während dieser Zeit die passenden Methoden an, um sich in der späteren wissenschaftlichen Laufbahn in der Forschung an der Entschlüsselung der noch offenen Geheimnisse der Welt zu beteiligen. Aber ist damit nun schon das Wesen der Physik im Kern umrissen? Oder lernen die Physikstudierenden im Studium noch etwas anderes als die physikalischen Theorien, die uns unsere Welt erklären wollen?

Insbesondere in den *Science Studies* hat man das Funktionieren der wissenschaftlichen Wissensproduktion, ihre kontextuellen Bedingtheiten und ihre Einbettung in soziale Kontexte genauer unter die Lupe genommen.² Die Physik hat häufig im Rahmen von Fallstudien als Forschungsgegenstand das Interesse der Wissenschaftsforschung auf sich gezogen. So hat man etwa die Forschungspraxis der naturwissenschaftlichen Labors auf mikrosoziologischer Ebene detailliert analysiert und konnte zeigen, dass auch das naturwissenschaftliche Labor von den Bedingtheiten einer sozialen Struktur geprägt ist.³

In dieser Studie liegt jedoch der Fokus nicht auf der Wissenschaftskultur, wie sie sich in der Praxis der Forschung manifestiert, sondern darauf, wie in der Lehre der ersten Semester Physik als das konstituiert wird, was das Funktionieren des Forschungsbetriebs bedingt. Daher werden die Phänomene und Charakteristika betrachtet, an denen sichtbar wird, wie die Studierenden durch Einübung kultureller Praktiken schon in den Lehrveranstaltungen der ersten Semester darauf vorbereitet werden, sich später im Wissenschaftsbetrieb der Physik zurecht zu finden. Warum wird der zu vermittelnde Stoff gerade so und nicht anders gelehrt? Erkennt man eine Lehrveranstaltung der Physik nur daran, dass etwa von »elektromagnetischen Feldern« oder von »Spin-Kern-Wechselwirkungen« die Rede ist? Oder gibt es noch andere Aspekte, die auf den ersten Blick wie unauffällige Nebensächlichkeiten der alltäglichen universitären Praxis wirken mögen, die eine Physikvorlesung aber gerade charakteristisch für ihre Disziplin erscheinen lassen? Dies sind einige der Fragen, mit denen wir uns der Physik im universitären Lehrkontext nähern werden. Aber nicht nur die kulturellen Praktiken der Lehre sind Gegenstand unseres Interesses, auch den Akteuren, den Lehrenden und Studierenden, durch die eine Wissenschaftskultur erst zum Leben erwacht, werden wir unsere Aufmerksamkeit schenken. Jedoch wenn es in der Physik nur um das Wissen und die Erkenntnis über die Natur geht, die forschenden Personen keinerlei Einfluss auf den Prozess der Erkenntnisgewinnung haben, kann es dann einen spezifischen Habitus geben?⁴ Wie sähe der aus? Eine erste Antwort gibt ein Spruch über PhysikerInnen, der in einem Aufenthaltsraum für Studierende der Physik vorgefunden wurde: »You don't have to be crazy to study physics but it helps«. Handelt es sich um einen völlig sinnlosen Spruch oder wurde die Idee dazu doch aus dem Gedanken geboren, dass es so etwas wie einen akademischen Habitus von PhysikerInnen gibt? Wahrscheinlich hat der Autor weder über die »kulturellen Praktiken in der Wissenschaftskultur der Physik« geforscht noch über den »Habitus der Physiker im akademischen Feld« nachgedacht, aber der Verfasser muss schon Forschenssubjekte im Sinn gehabt haben, die Physik ausüben, um zu diesem nicht ganz ernst gemeinten Schluss zu kommen.

So entsteht ein facettenreiches, nicht immer widerspruchsfreies Spannungsverhältnis: Einerseits scheint das Ideal einer interesselosen, wertneutralen und uneigennütigen Naturwissenschaft verfolgt zu werden, deren einziges Ziel das Erkennen von universell gültigen Wahrheiten über die Natur ist; andererseits wird die alltägliche Lehre und Praxis der Physik von sozio-kulturellen Bedingtheiten und Voraussetzungen bestimmt, was den erkenntnistheoretischen Idealen, unter dessen Banner sie gestellt wird, zuwiderlaufen würde. Darüber hinaus darf nicht vergessen werden, dass die

Beobachtungen immer auch der Lokalität des Kontextes, in dem sie aufgezeichnet wurden, unterworfen sind.

1. ZUGÄNGE ZUR PHYSIK

a. Wozu Physik?

Aber lassen wir zunächst die Physiker selbst erzählen, wodurch sich ihrer Ansicht nach die Physik auszeichnet und von anderen akademischen Disziplinen unterscheidet.

Spricht man die Lehrenden auf ihre Motivation für ihr Engagement in diesem Beruf an, so erzählen die Interviewpartner bereitwillig und ausführlich, worin für sie der Spaß an der Physik besteht und was sie daran reizt. Die Freude an der Suche nach neuen physikalischen Erkenntnissen ist für viele ein fester und unabdingbarer Aspekt ihres Berufs, ohne den sie sich ihre Tätigkeit in der Physik nicht vorstellen könnten. Ein Lehrender spricht davon, dass es das Ziel und die Aufgabe der physikalischen Forschung sei, die der Natur zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten herauszufinden:

»Was so faszinierend an der Naturwissenschaft und speziell an der Physik ist, ist diese Gesetzlichkeit, die man in den Naturphänomenen herausfindet, [denn] die Beobachtung der Phänomene allein impliziert noch nicht, dass man diese Gesetzmäßigkeiten alle durchblickt.« (I 26,2)

Die Gesetzmäßigkeit der Natur selbst ist das für ihn Faszinierende, sowie die Fähigkeit, physikalische Phänomene in der Natur vorherzusagen. Ein anderer Lehrender umschreibt dies mit dem Bemühen, »der Natur auf die Schliche [zu] kommen« (I 24,7).

Die zitierten Vorstellungen und die in mehreren Interviews in ähnlicher Weise vorgebrachten Formulierungen über die Faszination an der Physik erinnern an das Ideal des naturwissenschaftlichen Forschers, der der Natur ihre Geheimnisse, die sie nicht freiwillig preisgibt, auf listige Weise zu entreißen versucht. Dieses Ideal, wie es von Francis Bacon erstmals formuliert wurde, steht auch am Beginn der neuzeitlichen Wissenschaft.⁵

Auf die Frage, ob PhysikerInnen sich noch als Naturforscher sehen, die im übertragenen Sinne fremde Welten erkunden, wurde aber auch folgende Antwort gegeben:

»Das würde ich ein bisschen so sehen, vielleicht ist das noch der kindliche Spaß an meinem Job.« (I 23,24)

Physik zu betreiben, wird in dieser Aussage eine kindlich verspielte Note verliehen, was ungewöhnlich erscheint vor dem Hintergrund, dass es sich hier um eine ernst zu nehmende Profession handelt.

Ein anderer Aspekt, der die PhysikerInnen an ihrem Metier zu faszinieren scheint, ist die Art dieser Naturgesetze, die sich durch Einfachheit und Allgemeingültigkeit auszeichnen:

»Das Faszinierende an der Physik ist schon, dass [man] einerseits alles so einfach wie möglich halten möchte und andererseits so allgemein, so umfassend wie möglich. [...] Die Erfolgsgeschichte der Naturwissenschaften ist die des Reduktionismus. Möglichst alles ausklammern, was nicht unmittelbar zum Problem gehört. [Aber] die Faszination der Physik kommt nicht vom Reduktionistischen her, sondern vom Allumfassenden, vom Holistischen. Das hat für mich die Faszination der Physik immer ausgemacht.« (I 28,10)

Dieser Studierende weist darauf hin, dass von universell gültigen Naturgesetzen nur auf Kosten einer Reduzierung der Realität auf idealisierte Bedingungen gesprochen werden kann. Trotzdem liegt der Grundtenor der hier angeführten Zitate auf der Auffassung, die Natur funktioniere nach feststehenden Gesetzen, die von den PhysikerInnen nach und nach durchschaut werden. Es werden jedoch auch Positionen artikuliert, die dem Anspruch, absolutes und allumfassendes Wissen über die Welt zu erzeugen, etwas reservierter und skeptischer gegenüberstehen. Ein Assistent wählt absichtlich eine vorsichtig, differenzierende Formulierung, um den Zusammenhang zwischen naturwissenschaftlichen Gesetzen und Wirklichkeit zu erläutern: »Ich meine, [...] Physik beschreibt das, was wir als Wirklichkeit zu betrachten gewohnt sind, um das vorsichtig, philosophisch zu formulieren.« (I 22,19). Und auf die Frage, ob es in der Physik um die Suche nach der Wahrheit über die Natur gehen würde, antwortet ein anderer: »Mit Wahrheit kann das nichts zu tun haben, weil die Physik nur Modelle erzeugt.« (I 24,26). Nicht nur im Interview, auch in den Lehrveranstaltungen wird der Modellcharakter der physikalischen Gesetze immer wieder herausgestrichen (B 125,1 sowie 127,2). Laut dieser Auffassung stellt die Physik Modelle auf, die die Gesetze der Natur nur möglichst wirklichkeitstreu repräsentieren sollen.

Auch den Studierenden ist es wichtig, sich mit den erkenntnistheoretischen Paradigmen, die der physikalischen Forschung zugrunde liegen, auseinander zu setzen und das Diktum der »Wahrheitsfindung über die Natur« zu hinterfragen:

»Gerade in der Physik, gerade in diesen Formal- und Naturwissenschaften, die so dogmatisch ihre Wahrheit predigen, ist es sehr wichtig, dass man lernt, was es von Popper, von Feyerabend usw. gibt. Dass man das auch hinterfragt, dass man auch fragt, wie kommen wir zu diesen Konzepten, sind die wirklich so offensichtlich? Das finde ich in den meisten [Lehrveranstaltungen] eben nicht.« (I 28,12)

Allen Interviewten scheint sich durch ihre Tätigkeit in der Physik die Frage gestellt zu haben, ob die Idee, Physik bilde die Grundlage für die Beschreibung aller Naturphänomene und könne sie folglich voraussagen, eine realitätsnahe Einschätzung ist. Einerseits bemüht man sich, den erkenntnistheoretischen Anspruch einzulösen, Naturphänomene systematisch zu erfassen, zu erklären und vorauszusagen, indem ihre Gesetzmäßigkeiten in physikalische Theorien gegossen werden; andererseits lässt die alltägliche Beschäftigung mit Physik bei den Interviewten Zweifel aufkommen, ob Physik einhält, was sie erkenntnistheoretisch zu leisten vorgibt. Als Reaktion darauf korrigieren oder modifizieren einige das Erkenntnisideal der universellen, objektiven Erklärung der Naturphänomene.⁶

b. Motivationen für ein Physikstudium

Auch für die Motivation, ein Physikstudium zu beginnen, spielt die Faszination an der »Ordnung der Natur und der Welt als Ganzes« eine wichtige Rolle. Für die meisten der Befragten – sowohl für die interviewten Lehrenden als auch für die Studierenden – scheint die Entscheidung, Physik zu studieren, in relativ frühen Jahren festgestanden zu haben. Diese Interessenfixierung, die sowohl Kultur und Gesellschaft als auch menschliche Individuen oder gar politisch oder ökonomisch relevante Problemkomplexe als Interessens- und Forschungsgegenstand gezielt ausklammert, ist als grundlegende Prämisse einem roten Faden gleich in viele Aspekte dieser Wissenschaftskultur eingewoben. Die Zusammenhänge zwischen den Naturphänomenen, den übergeordneten Ordnungs- und Strukturprinzipien, denen sie folgen, und die scheinbare Einfachheit, mit der diese Ordnung beschrieben werden kann, üben dabei auf fast alle Interviewpartner eine besondere Anziehungskraft aus. Ein Studierender begründet damit seine Vorliebe für Physik:

»Es war so, dass mich prinzipiell [...] Physik immer schon mehr interessiert hat als alles andere. Und zwar hat das den Hintergrund, dass mich einfach Natur und Technik interessiert. Und da ist Physik logischerweise die Wissenschaft, die das in der Breite abdeckt. Was mich an der Physik immer fasziniert [hat], ist die Breite, die es abdeckt, nicht so sehr die Tiefe, nicht so sehr das Vertiefen in ein Fachgebiet. [...] Ich habe mir schon außerhalb des Unterrichts die Physikbücher durchgelesen, durchgeblättert, [...] habe das schon immer faszinierend gefunden.« (I 28,1)

Auch wenn im Laufe des Studiums der Glaube an die Universalität der Physik zugunsten eines pragmatischeren Zugangs zurücktritt und die Ansprüche an die Allgemeingültigkeit der physikalischen Theorien zurückgeschraubt werden, gilt es auch unter erfahrenen PhysikerInnen nicht als unangemessen, diese Faszination an der Gesetzmäßigkeit der Naturphänomene als Begründung für die Leidenschaft an Physik anzugeben,⁷ denn

auch in offiziellen Selbstpräsentationen der Physik wird die Suche nach der Wahrheit über die Natur herausgestrichen.⁸

Neben diesen vielleicht etwas romantisch anmutenden Vorstellungen spielt für einige PhysikerInnen aber auch der Spaß am Experimentieren und der Umgang mit technischen Geräten bei der Studienwahl eine Rolle, wie diese Erinnerung eines Lehrenden zeigt:

»Zuerst in meinem Leben habe ich mich eigentlich für Chemie interessiert, denn [...] ich bekam, und mein Freund später auch, einen Kosmosexperimentierkasten. Und damit fing dann alles an. Dann haben wir uns auch eine eigene Laborausstattung zugelegt. Zu Beginn macht man alle möglichen nützlichen Experimente. [...] Auf jeden Fall endete das damit, dass unsere Experimentierausrüstung, die chemische, irgendwann einmal verschwunden war, und unter dem nächsten Weihnachtsbaum lag dann ein Kosmosexperimentierkasten für Elektronik. [...] Ich hab mehr oder weniger durch mein Hobby, also dieses Elektronikbasteln, Spaß an der Physik bekommen.« (I 23,1)

Während die Faszination an den Gesetzmäßigkeiten der Natur den Ausschlag für ein Physikstudium sowohl bei den Studierenden gegeben hat, die von ihren noch nicht lange zurückliegenden Motiven berichten, als auch bei den Lehrenden, deren beruflicher Entscheidungsprozess schon einige Jahrzehnte zurückliegt, wurde die Lust am Experimentieren nur rückblickend von einem Lehrenden angeführt. Aber auch unter den gegenwärtig Studierenden gibt es eine Fraktion, die sich eher wegen der Aussicht aufs Experimentieren für ein Physikstudium entschieden hat. Schon vor Beginn des Studiums zeichnet sich eine Trennung in zwei Subcommunities der TheoretikerInnen und der ExperimentalphysikerInnen ab, die die soziale, institutionelle und organisatorische Struktur der physikalischen Forschung prägt: Zum einen die der *theoretisch* Motivierten, die die Natur erklären und entdecken wollen, sowie zum anderen die der *experimentell* Motivierten, die sich von der Physik angezogen fühlen in der Aussicht, dort ihre technische Kreativität entfalten zu können. Es lässt sich zwar im Rahmen dieses Projektes nicht nachverfolgen, ob die interviewten Studierenden im Lehr- und Forschungsbetrieb zu theoretischen und experimentellen Physikerinnen und Physikern werden, aber es bleibt zu vermuten, dass die frühen Affinitäten – neben ausreichender fachlicher Kompetenz – auch für die Wahl des späteren Tätigkeitsbereichs ausschlaggebend sind.

Auffallend häufig entwickelt sich das Interesse für Physik schon während der Schulzeit. Bezeichnend ist, dass aufgrund dieses Interesses viele der Interviewten neben dem Schulunterricht eigenständig die Initiative ergriffen haben, um sich Wissen über die Physik anzueignen und populärwissenschaftliche Bücher über Physik gelesen haben. Wie auch das weiter oben angeführte Zitat zeigt, wird die Eigeninitiative aber auch durch Förderung von Seiten der Eltern und Anregungen aus der Schule ergänzt:

»[Dafür] habe ich [mich] sicher schon in der Schulzeit interessiert und [...] teilweise [bin ich] auch von den Eltern gefördert [worden]. Ich habe [...] Bücher gelesen, über Einstein, [...] Populärbücher für Kinder. [...] Und in der Schule [...] hat es mir einfach Spaß gemacht.« (I 22,1)

Die Eltern beeinflussen die Interessen der Heranwachsenden nicht nur über gezielte Förderung, sondern – wie einige InterviewpartnerInnen berichten – auch die Berufslaufbahn, die die Eltern ihnen vorleben, kann anzierend und orientierungsgebend wirken. Befragt nach dem Zugang zum Physikstudium, antwortete ein Lehrender:

»Es ist so, mein Vater ist Schwachstromingenieur, [...] Elektrotechniker und das war sicherlich eine gewisse Motivation. Er hat sich bis ins hohe Alter eine Art Forscherdrang [bewahrt] [...]. Sicher war es für ihn damals gar nicht denkenswert [=denkbar], an eine Universität zu gehen. Die HTL [=Höhere technische Lehranstalt] [zu besuchen], [...] das war schon ein gewaltiger Aufstieg und sicher liegt da vieles begründet. Auch vielleicht darin, dass er gesehen hat, dass die Physik die Basis dieser Sachen war, sich dafür nebenher interessiert hat und vielleicht [auf mich] eine gewisse Stimulierung [...] ausgeübt hat. [...] Ich habe mich schon in der Mittelschule dafür interessiert, vor allem in den höheren Klassen zusätzlich Sachen gelesen, wenn auch nicht mit extremem Verständnis, aber einfach so, weil ich das interessant gefunden habe.« (I 24,1)

Bemerkenswert ist, dass sowohl Studierende als auch Lehrende aufgrund von ähnlichen Motivationen Zugang zum Physikstudium gefunden haben: Was die heute Lehrenden als ihren damaligen Auslöser, Physik zu studieren, angeben, deckt sich mit den Beweggründen, aus denen Studierende heute ein Studium beginnen.

c. Schulphysik und Physikstudium

Im Unterschied zu den meisten anderen akademischen Disziplinen wird in der Physik sehr eng auf dem Schulwissen aufgebaut, die Mathematik-Vorlesungen setzen sogar ein relativ hohes Maß an mathematischen Schulkenntnissen voraus. Es ist definitiv erwünscht, erworbenes Schulwissen aus dem Mathematik- und Physikunterricht anzuwenden. Da das physikalische Wissen – wie auch später an der Universität – schon in der Schule als stark formalisiertes und strukturiertes Wissen eingeführt wird, ist ein fließender Übergang zwischen schulischer und universitärer Stoffvermittlung überhaupt erst möglich. Um etwaige Wissensdifferenzen unter den Studienanfängern zu kompensieren und alle auf den gleichen Wissensstand zu bringen, überschneidet sich der Stoff der ersten beiden Semester mit der Schulphysik. Ein Lehrender beschreibt und kommentiert dies:

»Am Anfang des Studiums ist es ein bisschen frustrierend, da lernst [du] nur das, was du schon weißt. Du hast am Anfang Einführungsveranstaltungen, wo du im wesentlichen noch einmal den Mittelschulstoff [...] durchnimmst. Physik war kein so

ein Umbruch [zwischen Schule und Universität]. Man hat ja im ersten Semester, in den ersten drei Semestern oder zumindest im ersten Jahr ›Einführung in die Experimentalphysik‹ mit ›Rechenübungen‹ und ›Demonstrationsübungen‹ [gemacht]. [...] Diese Einführung in die Experimentalphysik war im wesentlichen eine Wiederholung des Mittelschulstoffes, hin und wieder garniert mit einigen mathematischen Ableitungen.« (I 22,2 und 9)

Ganz anders dagegen ist die Situation bei den Mathematikveranstaltungen für Physikstudierende: Schwierigkeiten stellen sich besonders aufgrund von Wissenslücken ein, da insbesondere die Mathematik-Lehrveranstaltungen ein hohes Maß an Schulwissen voraussetzen. Aufgrund dessen sehen sich viele Studierende gezwungen, fehlende Mathematikkenntnisse selbstständig nachzuholen, was sich für viele als eine nicht zu unterschätzende Hürde der ersten Semester entpuppt:

»In der Vorlesung, [da] komme ich so halbwegs mit [...]. Im Moment [aber] nicht mehr. Aber sonst bin ich halbwegs dabei gewesen, hab immer nachgelernt, weil ich in der Schule [...] komplexe Zahlen nie gehabt habe oder Wahrscheinlichkeit. [...] Lauter solche Sachen, die fehlen halt alle.« (I 30,2)

Der Bruch zwischen universitärem Stoff und Schulstoff ist qualitativ ein anderer als in den Geisteswissenschaften, denn nicht die Art einer Herangehensweise an den Forschungsgegenstand muss sich verändern, sondern die Studierenden werden mit einem höheren Niveau, einem schnelleren Arbeitstempo und mit einem höheren Anspruch an mathematischer Vorbildung konfrontiert, als sie es in der Schule vermittelt bekommen haben.⁹

2. DIE PRAKTIKEN DER LEHRVERANSTALTUNGEN

a. Die Tafel im Zentrum des Geschehens

Wie aber werden die Lehrveranstaltungen, in denen der Stoff der ersten Semester vermittelt wird, abgehalten? Alle beobachteten Lehrveranstaltungen wurden im Studiengang Physik an der Universität Wien angeboten. Die Beobachtungsergebnisse beschreiben daher in erster Linie das Setting in diesem speziellen lokalen Kontext, in Form von grundsätzlichen Tendenzen haben sie aber auch über diesen lokalen Kontext hinaus Bedeutung.

In den ersten Semestern besteht der Großteil der Lehrveranstaltungen aus einer Reihe von Vorlesungen, in denen in die experimentelle und theoretische Physik eingeführt wird. Daneben gibt es Übungen, in denen von Woche zu Woche Aufgaben gelöst werden. Hier wird zum ersten Mal aktives physikalisches Problemlösen verlangt. In diesen wurden keine teilnehmenden Beobachtungen durchgeführt, aber einige der Interviewten äußern

sich auch zu dieser Art der Lehrveranstaltungen. Weitere besuchte Lehrveranstaltungen waren die Demonstrationsübungen, eine für die Universität Wien spezifische Lehrveranstaltung: Hier werden einfache Experimente vorgeführt, bei denen die Studierenden erstmals messen und die Messwerte interpretieren können. Sie dienen dazu, den Stoff aus der Vorlesung anhand der demonstrierten Experimente verständlich zu machen und mit Messvorgängen vertraut zu werden. Sie sind jedoch noch nicht als Praktika zu verstehen, sondern als eine auf die Anfängerpraktika vorbereitende Vorstufe. Der zeitliche Aufbau der Lehrveranstaltungen ist noch in Anlehnung an den Schulunterricht gestaltet, so finden die meisten Lehrveranstaltungen am Vormittag statt und die wichtigsten Vorlesungen, Physik und Mathematik, werden in kleineren Einheiten als die gemeinhin üblichen 90 Minuten, dafür aber an mehreren Wochentagen hintereinander abgehalten.

Exemplarisch möchte ich eine Vorlesungseinheit etwas genauer vorstellen, um den Charakter der Lehrveranstaltungen und die Art und Weise, wie Wissen vermittelt wird, deutlich zu machen. Das Beispiel stammt aus der Vorlesung »Einführung in die Physik II«, die für Studierende im zweiten Semester konzipiert ist. Wie jede Einheit dieser Vorlesung ist sie in zwei Teile gegliedert: Im ersten, dem kürzeren, Teil wird ein physikalisches Phänomen demonstriert. Der zu Beginn der Vorlesung schon bereitstehende Versuchsaufbau (Abb. 1) besteht aus einzelnen elektronischen Bauteilen und Instrumenten, die wie nach Anleitung aus einem Elektronik-Baukasten hintereinander geschaltet werden. Vorab werden einige »Kurven« – Funktionsgraphen – an der Tafel fixiert, die den theoretischen Hintergrund des demonstrierten Phänomens festhalten. Von einem Experiment kann hier jedoch nicht gesprochen werden, da schon im Voraus das Ergebnis der Vorführung bekannt ist und den Studierenden erklärt wird.

Im Anschluss an die Demonstration wird eine Skizze an die Tafel gezeichnet, die den Versuchsaufbau schematisch wiedergeben soll. Dabei wird jedes Gerät durch ein Symbol dargestellt. Der zweite Teil der Vorlesung ist ganz der theoretischen Herleitung des Phänomens gewidmet. Darauf aufbauend werden weitere physikalische Sachverhalte rechnerisch hergeleitet bis hin zu einem grundsätzlichen physikalischen Gesetz, das quasi den Höhepunkt und fast auch schon das Ende der Vorlesungsstunde bildet. Auf diese Formel wurde in der gesamten Einheit hingearbeitet, sie bildet das eigentliche Lehrziel dieser Lehrveranstaltungseinheit. Das Lehrziel und die Menge an zu vermittelndem Stoff einer Lehrveranstaltungseinheit sind immer genau im Voraus abgesteckt.

Alle als wesentlich angesehenen Inhalte werden in den Vorlesungen durch Niederschreiben an der Tafel fixiert. »Das unterscheidet das Fach auch von anderen Fächern, [...] dass das Wesentliche an der Tafel passiert«, kom-

mentiert ein Lehrender diese Beobachtung (I 24,20). Vorbereitete Folien werden nur in Ausnahmefällen verwendet. So wurden in den beobachteten Vorlesungen alle wesentlichen, in Kapitel unterteilten Begriffe und Herleitungen an die Tafel geschrieben, so dass man nach der Vorlesung allein anhand des Tafelbildes den Stoff, der gerade thematisiert wurde, hätte rekonstruieren können. Am Ende jeder Einheit entsteht solch ein ›Formelbild‹ der jeweiligen Einheit. Abb. 2 zeigt das Tafelbild nach der oben besprochenen Vorlesungsstunde.

Warum wird so vorgegangen? Warum wird der Stoff nicht in mündlicher Rede referiert? Auf die Bedeutung der Tafel angesprochen meint ein Lehrender:

»Man braucht die Darstellung. Was haben Sie für Möglichkeiten, etwas darzustellen, was Sie *entwickeln* können? Das eine ist die klassische Tafel. Das andere ist die Folie, auf der man schreibt, das ist im Prinzip dasselbe. Das Schlechteste [=Dritte], das ich hasse, ist eine schon vorgeschriebene Folie. Das ist das Ärgste, weil der das herabliest und die hinten nicht mehr mit dem Schreiben mitkommen. [...] Es soll *entwickelt* werden, dass man das ins Heft bringt und dabei auch noch ein bisschen was versteht.« (I 24,21; Hervorhebung d. A.)

Das »Entwickeln« vollzieht sich im Akt des Schreibens. Die Studierenden halten daher auch nicht sehr viel von der Alternative, ein Skriptum zu erhalten: »Weil ich finde, wenn man selber mitschreibt, bringt das viel mehr. Ich tue mir auch viel leichter [...] beim Lernen, außer, es ist wirklich ein ausgezeichnetes Skript« (I 29,5). Das Vorrechnen und An-die-Tafel-Schreiben gewährleistet eine künstliche Verlangsamung, so dass genug Zeit zum Mitschreiben und Mitdenken bleibt. Wenn mit einem fertigen Skriptum gearbeitet wird, kämpfen die Studierenden damit, das Vorgetragene extrem schnell nachvollziehen zu müssen, wie das folgende Zitat über eine skriptum-basierte Vorlesung zeigt: »Man kommt auch gar nicht dazu [zum Mitschreiben und Mitdenken]. [...] Er geht mit einem relativ [schnellen], also irrem Tempo vor, also wirklich äußerst flott.« (I 29,6). Mit dem Tempo nicht mithalten können, bedeutet nicht nur, im Schreibprozess nicht Schritt halten zu können, sondern auch – und das ist entscheidend –, dass man, wenn man einen Schritt nicht verstanden hat, dann die folgenden auch nicht mehr nachvollziehen können. Der Aufbau des Wissens erfolgt also zwangsweise sukzessiv und ist auch nur Schritt für Schritt nachvollziehbar. Dazu sollte man ihn sogar selbst mitgeschrieben haben, denn nachträgliches Kopieren einer Mitschrift, um die Einheit selbst nachzuholen, reicht laut eigener Angaben der Studierenden nicht aus. Für das Verständnis scheint das langsame Niederschreiben und gleichzeitige Mitdenken unabdingbar zu sein. Wie ein Studierender kommentiert, sind versäumte Einheiten daher auch schwieriger nachzuvollziehen, selbst wenn man das Durcharbeiten der Mitschrift nachholt:

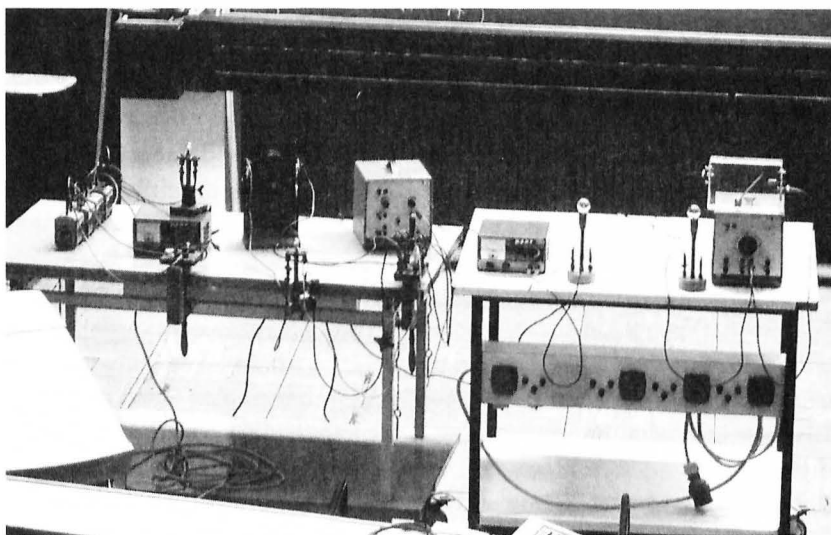


Abbildung 1: Foto des Versuchsaufbaus in einer Vorlesung (Foto: M. Erlemann)

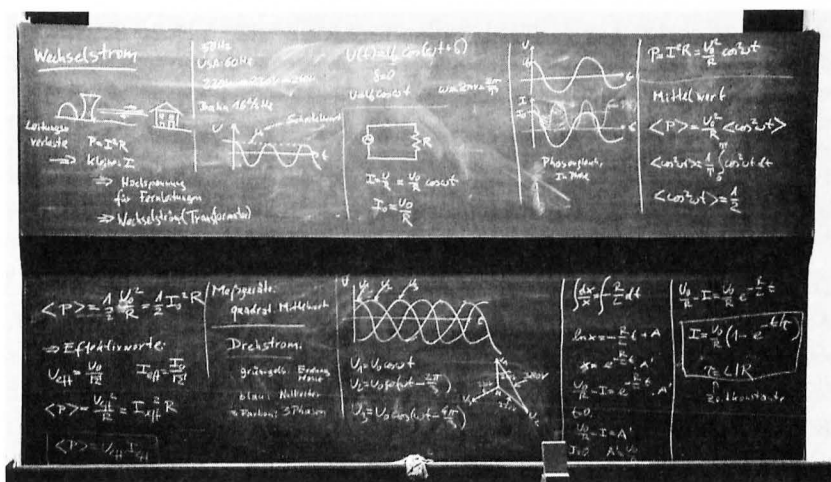


Abbildung 2: Foto eines Tafelbildes nach einer Vorlesungseinheit der Vorlesung »Einführung in die Physik II« (Foto: M. Erlemann)

»Dort, wo man nicht in der Vorlesung war, hat es leichte Probleme gegeben. Das, was ich dann nachgeschrieben oder kopiert habe, das ist mir dann schon schwerer gefallen. Also ich glaube schon, dass es ganz wichtig ist, dass man in der Vorlesung sitzt.« (I 29,4)

Die Tafel bietet dafür einen visuellen Überblick über den Stoff. Bei den meisten Vortragenden entsteht während jeder Vorlesungseinheit eine Art Wandteppich, geknüpft aus Formeln, ihren Umformungen, Herleitungen und hin und wieder einigen wenigen verbalen Notizen. Die Kunst besteht darin, den zur Verfügung stehenden Raum an der Tafel möglichst optimal zu nutzen. Obwohl ein Vortragender, der den Lehrveranstaltungsleiter vertritt, »wie der Teufel [...] mit dem Platz sehr gespart hat«, muss er bei einem viel Platz in Anspruch nehmenden Formelkomplex einen neuen Tafelsektor beginnen, was er mit »der X schreibt kleiner als ich«¹⁰ entschuldigt (B 113,1).

Wie schon angedeutet, könnte auch der Overhead-Projektor mit Endlosfolie zum Niederschreiben und Herleiten von Stoff verwendet werden, denn auch hier kann wie an der Tafel vorgegangen werden: den Stoff herzuleiten und vorzurechnen, ohne die Ergebnisse vorwegzunehmen. Der Vorteil einer optisch erfahrbaren Darstellung des Stoffes ist hier jedoch nicht mehr gegeben, da das Geschriebene sofort gelöscht wird und visuell nicht beständig ist. Die Haltung eines Lehrenden dazu:

»Was ich sehr schätze an der Tafel, ist ihre Größe. Ich bringe also im allgemeinen den Inhalt einer einstündigen Vorlesung auf diesen zwei Tafeln unter und es passiert sehr häufig, dass ich dann im Verlauf der Vorlesungsstunde auf was anderes rekurriere, was dann irgendwo anders steht. [...] Ich bin ein optischer Typ und vielleicht gibt es auch etliche optische Typen [...] außer mir. Ich assoziiere das mit gewissen Lokationen und, dass da dieses Gesetz da oben gestanden ist, das kann man sofort schön anhand von »Da nimmt er das jetzt daher« [veranschaulichen]. Und das prägt sich so ein [...]. Wenn ich das am Overhead mache, ist es total zerstört.« (I 26,17)

Die Studierenden »antworten« auf diese Lehrpraktiken, in dem sie alles Angeschriebene von der Tafel abschreiben und in ihre Mitschrift übernehmen: Dem *Anschreiben* durch den Vortragenden folgt sofort das *Abschreiben* durch die Studierenden. Sie kreieren durch das Mitschreiben eine Art Buch, in dem kapitelweise der Vorlesungsstoff von Termin zu Termin wächst, so dass ein selbst angefertigtes Skriptum entsteht. Durch die schriftliche Fixierung an der Tafel wird die Relevanz der jeweiligen Formel und der dazugehörigen mathematischen Kurven unterstrichen. Weder entscheiden die Studierenden, was zum zu lernenden Stoff dazugehört und was nicht, noch bleibt es ihnen überlassen, was sie als interessant oder entscheidend für ihre eigene Wissensaneignung einschätzen. Sie selektieren nicht selbstverantwortlich, »weil man meistens nur das aufschreibt, was auf der Tafel steht.« (I 29,4). Auch Vortragende beziehen sich in ihren Aus-

führungen über schon gelesenen Stoff auf das von den Studierenden Niedergeschriebene. Mit »Das steht ein paar Seiten weiter vorne in Ihrem Heft« wies ein Dozent auf schon behandelten Stoff vergangener Vorlesungseinheiten. Er scheint sich also vollkommen sicher zu sein, dass die Studierenden keine eigene Auswahl an zu lernendem Stoff treffen. In den beobachteten Geisteswissenschaften wäre diese Aussage wohl unvorstellbar.

In den Aushandlungsprozessen um gültiges Wissen, wie man sie dagegen im Forschungsbetrieb beobachten kann, steht das lückenlose Nachvollziehen-Können von gewonnener Erkenntnis bei weitem nicht mehr so zentral im Vordergrund wie im Lehrkontext. Daher macht der Gebrauch der Tafel nur in der Lehre Sinn. Auf Tagungen, auf denen Forschungsergebnisse präsentiert werden, werden ganz andere Praktiken der Wissenspräsentation angewendet, da dort von einer anderen Ausgangssituation ausgegangen werden muss. Der Overhead-Projektor zum Auflegen von fertigen Folien hat hier die Tafel völlig verdrängt, wie auch ein Lehrender bestätigt:

»Ich mag den Overheadprojektor für die Vorlesungen überhaupt nicht. Ganz anders ist es bei Fachvorträgen, bei Konferenzen. Da ginge es nicht ohne. Da braucht man das [...] [für] die entsprechenden Diagramme und Schlussfolgerungen. Da hat man so wenig Zeit, da muss man alles optimiert bringen und da hat man ein anderes Publikum. Da ist das gut, richtig und wichtig.« (I 26,18)

Anders als in der Lehre, in der es vor allem um die *nachvollziehbare Herleitung* von *physikalischem Wissen* geht, geht es auf Konferenzen und Tagungen um die möglichst *komprimierte und fehlerfreie* Präsentation von *Ergebnissen* der Forschung, da hier die wissenschaftliche Reputation des Vortragenden zur Disposition steht.

An der Tafel konkretisiert sich die Funktion der Lehrveranstaltung, indem das Wissen immer wieder erneut aus den Voraussetzungen der zuvor präsentierten Wissensinhalte entwickelt und bewiesen wird. In ihrer Beschreibung der Forschungskultur der Mathematik erklärt Bettina Heintz, dass in der Arbeitsphase des Aufschreibens das Gewusste in eine standardisierte Form gebracht und damit anschlussfähig gemacht wird.¹¹ Die Funktion der Lehrveranstaltung der Physik ist eine ähnliche: Das Wissen wird für die Studierenden greifbar, indem es aus schon bekannten Wissens-elementen vermittelt wird, die zu einem komplexen Wissenskörper zusammengetragen werden. Von den Studierenden kann dies selbständig nachgeprüft werden.

b. Fehlersuche als Aushandlung um wahres Wissen

In den Vorlesungen wird großer Wert darauf gelegt, dass die ZuhörerInnen mitdenken und lernen, das Präsentierte selbst oder zunächst auch unter

Anleitung zu überprüfen, um damit in die Lage versetzt zu werden, Fehler zu erkennen. In einer Vorlesungseinheit lief dieses Ritual wie folgt ab:

»Der Vortragende fragt nach einer Rechnung: ›Habe ich etwas vergessen?‹. Da niemand interveniert, rechnet er weiter. Nach einigen Rechnungszeilen fordert er die Studenten nochmals mit ›Bitte schauen's mit: zum Mitdenken und Nachrechnen auf und fragt wiederum ›Ist das richtig?‹ ›Ja‹. Er gibt sich selbst die Antwort.« (B 110,1)

In dieser Passage gab es keinen Fehler zu entdecken, aber bisweilen kann das Auditorium die Vortragenden doch auch auf unterlaufene Fehler aufmerksam machen. Für die Studierenden mag dies ein Ansporn und eine Genugtuung darstellen, da sie sich in den Momenten des Fehlerfindens über die soziale Hierarchie zwischen Dozent und Lernenden hinwegsetzen dürfen.¹² Sie wird jedoch keineswegs nachhaltig außer Kraft gesetzt, sondern bleibt weiterhin bestehen. Auf Fehler zu achten wird daher von den Vortragenden nicht ungerne gesehen. Ein Lehrender reagiert auf das Aufzeigen eines Studierenden, der einen Fehler entdeckt hat, mit: »Hab ich schon wieder etwas Falsches gemacht [...]. Aber das freut mich, Sie passen auf.« (B 102,1). Im Aufzeigen von Fehlern sieht dieser Vortragende den Beweis, dass die Zuhörer das bisher Referierte verstanden haben. Somit gewinnt er eine Rückversicherung, dass seine »Novizen« den in der Physik maßgeblichen Argumentationsstil zur Aushandlung von Wissen einüben und für sich übernehmen und nach erfolgreichem Studium in der Lage sind, selbst nach diesen Prinzipien an der Anhäufung physikalischen Wissens mitzuwirken. Laut Tony Becher zählt das rechnerische Beweisen und Herleiten zu den »strategies of persuasion« (Becher 1987a), das er als ein Arsenal von Strategien beschreibt, mit denen die Mitglieder einer wissenschaftlichen Community sich gegenseitig von der Richtigkeit der wissenschaftlichen Behauptungen überzeugen können. In der Physik zeigt sich die Strategie des Beweizens und des Nachrechnens in der Aufforderung an die Studierenden, auf etwaige Fehler zu achten. Jeder Hinweis auf Fehler ist damit auch ein Commitment an die Gültigkeit des Wissenskorpus, denn in der Physik zeichnet sich das anerkannte Wissen durch eindeutige Gültigkeiten aus. In den Geisteswissenschaften gilt es dagegen, im Zuge der Argumentationen um Wissen immer neue, nachvollziehbare Differenzierungen herauszuarbeiten.¹³ Was für die Geisteswissenschaften die Diskussion bedeutet, kann für die Physik die Fehlersuche sein: ein Weg für die innerdisziplinäre Aushandlung von dem, was im jeweiligen Kontext als anerkanntes Wissen gilt.

c. Die Vorlesung als inszenierter Erkenntnisprozess

Die Lehrveranstaltung inszeniert durch das Vorführen von Rechnungen einen Erkenntnisprozess, den die Studierenden miterleben und nachvollziehen sollen. Der Lehrende versetzt sich in die Lage der Studierenden hin-

ein und simuliert, ausgehend vom jeweiligen Kenntnisstand der Zuhörerschaft, eine forschende und Wissen erzeugende Tätigkeit, in dem er das wissenschaftliche Wissen rechnerisch herleitet. Er fingiert damit die Rolle eines idealisierten Forschers. Durch diese Inszenierung eines Erkenntnisprozesses kann die Argumentationstechnik zur Validierung von Wissen in der Physik erlernt werden und die Studierenden können sich schablonenartige Rechnungen bzw. Arbeitsmuster aneignen. Sie üben einen linearen, auf objektives Wissen hinzielenden Erkenntnisprozess in einem Tempo ein, das eine schrittweise Wissensvermittlung erst ermöglicht. Dieses Arbeitsmuster findet sich in der linearen Anlage der gesamten Vorlesungen über das Semester hinweg wieder, bei der die Reihenfolge des zu vermittelnden Stoffs im Großen und Ganzen vorbestimmt ist. Die Vorlesungen laufen wie eine physikalische Erkenntnisgeschichte ab, im Zuge derer die Studierenden von der Wahrheit der Aussagen der Physik überzeugt werden. Sie werden damit in die Lage versetzt, den Wahrheitsgehalt der physikalischen Aussagen jederzeit selbst zu überprüfen.

Die Lehrbücher besitzen eine ähnliche Struktur wie die Lehrveranstaltungen, da die Vermittlung des Wissens an die Studierenden im Vergleich zu den anderen Disziplinen einem stark vorbestimmten Schema folgt. Besteht in der Physik über die Inhalte gemeinhin ein Konsens und sind diese auch nicht Gegenstand einer Debatte, existieren über das didaktische Konzept eines Lehrbuches schon eher unterschiedliche Meinungen. Inhaltlich decken sich jedoch Vorlesungsstoff und Lehrbuchstoff, gerade in den ersten Lehrveranstaltungen:

»Das kann man aus einem Buch lernen, sicher gar keine Frage, [...] weil [sich] die ganze Vorlesung auch nur an den Büchern orientiert. Ich tue auch nichts anderes als Bücher vortragen.« (I 24,24)

Es erstaunt daher nicht, dass die thematische Bandbreite der zum jeweiligen Fachgebiet zur Auswahl stehenden Lehrbücher eher gering ist, zumal sie alle demselben Prinzip des sukzessiven Aufbaus des Wissens folgen. Sie unterscheiden sich eher durch den didaktischen Stil, denn durch die Inhalte. Die Auswahl, nach welchem Buch gelernt wird, treffen die Studierenden daher aufgrund des spezifischen Vermittlungsstils, den die zu einem Fachgebiet zur Auswahl stehenden Lehrbücher verwenden.

Da Vorlesungen und Lehrbücher dieselben Inhalte erklären, sind Tafelbilder einzelner Vorlesungseinheiten und Lehrbuchseiten vergleichbar oder ähneln sich sogar. So zeigt Abb. 3 die zum Tafelbild auf Abb. 2 korrespondierende Lehrbuchseite aus einem Lehrbuch der ersten Semester. Bezeichnend für die Konzeption und Funktion der Lehrbücher ist der Untertitel des Buches: »Zum Gebrauch neben Vorlesungen«.

der Umdrehungen der Scheibe pro Zeitmoment. Die Spannung schwankt zwischen den Extremwerten U_0 den sogenannten Scheitelspannungen, die wiederum der Größe der Windingfälligkeit $N\tau$, der magnetischen Induktion H und der Winkelgeschwindigkeit ω proportional sind, mit der die Kreisbewegung gedreht wird.

In den technischen Dynamomaschinen dient zur Erzeugung von Elektroenergie, die nach dem dynamischen Prinzip von Strömen durch den induzierten Strom (Hauptstrom) oder einen abgewegten Teil (Nebenschluß) erzeugt wird.

Für geringere Leistungen bedient man sich elektrischer Schwingungserzeuger, die auf dem Prinzip der Rückkopplung (vgl. IV § 13) beruhen und dabei keiner mechanisch bewegten Teile bedürfen. Derartige „Generatoren“ sind für den unteren Frequenzbereich von 0,1 bis 10⁴ Hz im Handel.

Eine Wechselspannung erzeugt in einem geschlossenen Stromkreis, dessen Selbstinduktion gegenüber dem Ohmschen Widerstand sehr klein ist, einen Strom, dessen Stärke nach dem Ohmschen Gesetz

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t \quad (62.2)$$

beträgt. Strom und Spannung zeigen sinusförmigen Verlauf. Sie stimmen in ihrer Phase überein.

Dem mittleren Verlauf von Wechselspannung und -strom kann man mit Oszilloskopen entsprechen. Gezeichnet sind:

1. Das Selbstinduktionsmeter (S. 140).

2. Der Kathodenstrahlgraph. Zwischen den Elektroden eines Magnetes (Abb. 143) befindet sich eine baarndreieckig geformte Scheibe, die über eine Rolle beweglich ist.

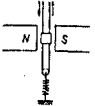


Abb. 141. Selbstinduktionsgraph.

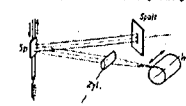


Abb. 143. Repetitionsanordnung zur Messung der Amplitude eines Wechselstroms (Kathodenstrahlgraph).

An den beiden Elektroden ist mit einem Langspannen ein sehr kleiner Spiegel befestigt. Zur Einseitigkeit bedient sich ein schwingungsfähiges System in Öl. Eine mit einem bestimmten durch eine Epoxidharzschicht mit konstanter Wirkungsabweichung reflektierenden Winkel θ ist das photographische Registrierpapier trägt, so einem Lichtstrahl vorliegt. Führt ein Strom in der in Abb. 141 und 143 abgebildeten Richtung durch die Spalte, so wird der kleine Dreieck nach unten, der rechte nach hinten durchgezogen, der Spiegel dreht sich um eine den Drahten senkrechte Achse, und dabei wird der Lichtpunkt auf H' in der Einrichtungs verzeichnet. Die Verschiebung ist der Stromstärke proportional. Das gilt auch für Systeme verschiedener Stärke, unter deren Wirkung die höchste erzwungene Schwingung stattfindet. Die Frequenz der Schwingung ist proportional der Frequenz der Wechselströme (S. 141).

3. Der Kathodenstrahlgraph (S. IV § 10). Hier dient die Zeppe zum Erzeugen von Wechselstrom, der durch mechanische Feder abgelenkt wird. Das Gerät enthält also keine mechanisch bewegten Teile und ist daher sehr genau.

In Abb. 120 ist über der Funktion $x = \sin \omega t$ ihr Quadrat eingezeichnet. Der Mittelwert von $\sin^2 \omega t$ über die Zeit ωt ist $\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d(\omega t)$, wo ω irgendeine ganze

Zahl 1, 2, ... ist; $\int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d(\omega t)$ ist die schraffierte Fläche, die gerade die Hälfte der Rechteckfläche $ABCD = \pi \cdot 1 = \pi$ ist. Also ist der Mittelwert

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d(\omega t) = \frac{1}{2} \quad \text{oder} \quad \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d(\omega t) = \frac{\pi}{2}.$$

Die Wurzel aus dem mittleren Quadrat der Stromstärke eines harmonischen Wechselstroms ist also

$$I_m = \sqrt{I^2} = I_0 \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}. \quad (63.1)$$

Man bezeichnet I_m als den Effektivwert der Stromstärke des sinusförmigen Wechselstroms. Ebenso ist der Effektivwert der sinusförmigen Wechselspannung

$$U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (63.2)$$

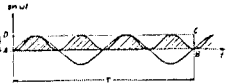


Abb. 142. Die zeitlichen Mittelwerte von Strom

Die Stromarbeit in einem Stromkreis, in dem zwischen Strom und Spannung keine Phasenverschiebung besteht ist während der Zeit τ

$$\begin{aligned} A &= \int_0^\tau I_0 \sin \omega t \cdot U_0 \sin \omega t \, dt \\ &= I_0 U_0 \int_0^\tau \sin^2 \omega t \, dt = I_0 U_0 \tau \cdot \frac{1}{2} \int_0^\pi \sin^2 \omega t \, d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2} I_0 U_0 \tau \end{aligned}$$

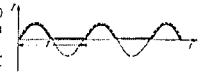
oder

$$A = \frac{1}{2} I_0 U_0 \tau = I_m U_m \tau. \quad (63.3)$$

Mit den Effektivwerten von Stromstärke und Spannung berechnet man die Arbeit also ebenso wie beim Gleichstrom (vgl. 2.20). Die Leistung in Watt beträgt:

$$P = I_m U_m. \quad (63.4)$$

wenn I und U in Ampere bzw. Volt gemessen werden.



Ampere- und Voltmeter für Effektivwerte von Wechselströmen und Wechsel-

Abbildung 3: Seite aus dem Einführungslehrbuch in die Physik. Aus: Chr. Gerthsen / H.O.Kneser, Physik. Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen, Berlin, 1971, S. 246-247.

Auch Lucht spricht in ihrer Studie über das Wissenschaftsverständnis der Physik, in der sie US-amerikanische Studierende in unterschiedlichen Ausbildungsstufen interviewt hat, von der Physik in den ersten Semestern als einer »Lehrbuchwissenschaft«, was sich erst mit dem PhD-Studium, dem Doktoratsstudium, ändert (Lucht 2001, 175).

d. Flirten mit der Mathematik⁴

Im Gegensatz zu den Geisteswissenschaften wird das Wissen nicht nur durch verbale Sprache eingeführt, beschrieben, erklärt und begründet, sondern entscheidend durch mathematische Formeln. Ein Großteil der Zeit in den einführenden Vorlesungen wird denn auch von mathematischen Rechnungen beansprucht, wobei alle Rechnungen zeilenweise niedergeschrieben und in mathematischer Syntax mitgesprochen werden. Dazwischen werden skizzenhafte Zeichnungen eingeschoben, die die Berechnungen veranschaulichen. Über das Verhältnis zwischen mathematischer Sprache und einer natürlich gesprochenen Sprache erklärt ein Lehrender:

»Aber es ist die Formelsprache sozusagen, die in der Physik alles ausdrückt. Und deswegen ist das Tafelbild auch so wichtig, weil es vor allem auch auf die Stellung jedes Index ankommt – das ist übrigens einer der Gründe, warum ich grundsätzlich [...] am Anfang der Vorlesung sage: »Diktieren Sie mir bitte die letzte Formel, die wir gehabt haben!« Weil die Leute nämlich lernen müssen eine Formel zu *sprechen*. Sie *hören* es zwar, wenn ich's spreche, aber bevor sie es selber gesprochen haben, können sie es nicht sprechen.« (I 25,27)

Hier wird deutlich, dass das eigentliche wissenschaftliche Argument in der Mathematik liegt und sogar in der Sprache der mathematischen Syntax ausgesprochen werden muss, um verstanden zu werden. Daher wird das Verhältnis beider Sprachen von den Lehrenden immer wieder im Zusammenhang mit der Tafel thematisiert. Ein Lehrender dazu: »In einer Vorlesung an der Tafel werden Sie textlich sprachlich wenig finden. [...] Die eigentliche Sprache ist die Mathematik. Also das ist das, was ich mit knallhart meine. Da steht Formel, Formel, Formel.« (I 24,20). Die »Härte« der Physik wird immer wieder erwähnt, um das Mathematische an der Physik zu umschreiben. Auf die Frage, was es denn mit der so genannten »Härte« der Physik auf sich habe, führt er aus:

»Man sagt die »harten« Naturwissenschaften [...]. Man kommt über ein qualitatives Verstehen oder qualitative Idee zu einer wirklich quantitativen, knallharten Aussage. [...] Es ist diese mathematische Kurzformulierung, die man in der Physik [verwendet], [...] die Reduktion der Physik auf die Mathematik.« (I 24,25 u. 26)

Quantitativ eindeutig – also mathematisch – zu argumentieren gewährleistet offenbar die so genannte »Härte«, im Gegensatz zu qualitativen Aussa-

gen, die verbal dargestellt werden und nicht denselben Grad an Eindeutigkeit zulassen.

Mathematik ist weitaus mehr als eine methodische ›Zulieferer-Wissenschaft oder eine »Hilfswissenschaft« für die Physik. Sie liefert nicht nur das methodische Handwerkszeug, sondern konstituiert die formalisierte physikalische Gesetzesstruktur, und genau darin manifestiert sich die »Macht« der Physik, wie ein Lehrender ausführt:

»Die Physik ist auch eine Mathematik in irgendeiner Weise. Sie ist nicht nur Phänomenologie. Das ist ja ihre große Stärke. [...] Das macht [sie] zu dieser wichtigen und, wie ich glaube, *mächtigen* Wissenschaft, dass sie sich [...] eine formale Struktur angelegt hat, mit der man eine unglaubliche Vielzahl von Phänomenen beschreiben kann und diese formale Struktur ist nicht ein aufgesetztes Beiwerk, sondern *das ist es*.« (I 26,18; Hervorhebung d. A.)

Spinnt man diese Argumentation weiter fort, impliziert das eine subtile Abhängigkeit der Physik von der Mathematik, denn ohne sie könnte laut letztem Zitat die Physik nicht existieren. Die interviewten Physiker scheinen die Abhängigkeit von der Mathematik durchaus wahrzunehmen, denn fast alle Interviewpartner äußern sich dazu und bieten jeweils ihre eigene Auslegung dessen, was die Mathematik für die Physik bedeuten würde.

Im Zuge ihrer Selbstdarstellung als Dozenten und Lehrveranstaltungsleiter verwenden die Physiker dabei auffallend häufig den Begriff der »Schlampigkeit«, insbesondere wenn sie ihre eigenen mathematischen Herleitungen von physikalischen Gesetzen kommentieren. Selbst den Studierenden in den Lehrveranstaltungen gegenüber machen sie aus ihrer Schlampigkeit im Umgang mit Mathematik kein Hehl, auch zum Erstaunen der Studierenden. Ein Student schildert im Interview eine Situation, die das Auditorium amüsiert hat:

»Und er war auch insofern ein typischer Physiker, weil, wenn es um mathematische Dinge gegangen ist, er etwas *schlampig* war. [...] Er hat irgendwann mal eine Formel hingeschrieben, ich weiß nicht aus welchem Anlass das war, da hat ein Zweier in der Formel gefehlt, da haben ihm Studenten [...] darauf aufmerksam gemacht: ›Da gehört ein Zweier hin.‹ Er hat das angeschaut: ›Ah das ist wurscht.‹ Das hat für große Heiterkeit gesorgt.« (I 28,4; Hervorhebung d. A.)

Auch in den Lehrenden-Interviews wurde fast provokativ kokettierend behauptet, »dass die mathematische Strenge wurscht ist« (I 25,24) oder dass die PhysikerInnen *ungenauer* seien: »Wir benützen die Sprache, aber sind ungenauer« (I 24,26). Als Begründung für die Ungenauigkeit seiner Rechnung gibt ein Dozent an: »Dazu [gibt es] Mathematiker im Haus, die das exakt machen. Wir machen das anschaulich« (B 108,2). Bezeichnenderweise wird bei Wahl der mathematischen Darstellung immer wieder damit argumentiert, dieser oder jener Rechenweg sei »praktisch« (B 109,3 so-

wie 108,2) oder sogar »schön« oder biete einen »eleganteren Weg« (B 119,1), um zum Ergebnis zu kommen.

Ein interviewter Lehrender erklärt sich das Verhältnis zwischen MathematikerInnen und PhysikerInnen wie folgt:

»Das ist ja eine klassische Kontraposition zwischen Mathematikern und Physikern. Die Mathematiker werfen den Physikern ja immer vor, dass sie viel zu wenig streng sind. Und die Physiker werfen den Mathematikern vor, dass sie so abstrakt sind.« (I 25,28)

Bettina Heintz analysiert das Verhältnis zwischen PhysikerInnen und MathematikerInnen in ähnlicher Weise: Aus der Perspektive der Mathematik sei die theoretische Physik zwar kreativ, akzeptiere aber ihre Vermutungen vorschnell und ohne sicheren Beweis. Physiker seien in den Augen vieler Mathematiker »mathematische Opportunisten«, die nur an den Resultaten interessiert seien, nicht aber an deren Fundierung (Heintz 2000, 197 und 199). Das bestätigt sich in der Äußerung eines Lehrenden über seine Niederschrift einer Differentialgleichung: »Jedem Mathematiker stellt sich jedes Haar auf. Die Physiker sind da schlampiger. Aber deshalb ist nichts falsch« (B 104,3). Rechnungen, die ein Mathematiker vermutlich ausführlicher vornehmen würde, werden in der Physik abgekürzt und durch weniger aufwendige mathematische Formulierungen dargestellt. Deren Ergebnisse genügen aber trotzdem den Validitätsansprüchen der Physik, den Validitätskriterien der MathematikerInnen aber würden sie nicht standhalten. An diesem Beispiel, eine Situation, in denen die Validität des Wissens zur Disposition steht, zeigt sich, dass über Validität von Wissen nicht anhand eines allgemein gültigen Sets an Kriterien entschieden werden kann, sondern dass diese Kriterien sich von Disziplin zu Disziplin unterscheiden. Dem komplexen Verhältnis beider Wissenschaften, zu dem auch die gegenseitige fachliche Abhängigkeit gehört, liegt letzten Endes jedoch immer auch ein Wunsch nach gegenseitiger Abgrenzung zugrunde, der auf dem vergleichsweise harmlosen Schauplatz der Rhetorik um »Schlampigkeit« ausgetragen wird. Aber aller rhetorischen Abgrenzungen zum Trotz appelliert ein mathematischer Physiker auch an den wechselseitigen Nutzen zwischen Physik und Mathematik:

»Es [ist] natürlich so, dass die Wechselwirkung zwischen Mathematik und Physik für beide sehr befruchtend ist. Die theoretische Physik wagt sich in ein Gebiet vor, für das die Mathematik eigentlich nicht erfunden ist, macht etwas Halb-Mathematisches, was nicht ganz definiert ist. [Physiker] können das in gewissen Fällen sehr erfolgreich verwenden. Und dann gibt es wieder Mathematiker, [...] die eine Theorie bauen, wo das, was sie ursprünglich wollten, befriedigend beschrieben werden kann. Umgekehrt [...] gibt es auch oft mathematische Theorien, bei denen man dann sieht, dass man die bei gewissen physikalischen Fragestellungen, Problemstellungen einfach gut verwenden kann.« (I 22,19)

e. Experimentieren lernen: Der praktische Umgang mit Physik

Bisher war ausschließlich die Rede von Lehrveranstaltungen, die einen Grundstock an physikalischen Theorien vermitteln. Im Physikstudium besteht ein großer Teil jedoch auch aus praktisch orientierten Übungen, die als »Praktika« und »Demonstrationsübungen« auf das Erlernen von Fähigkeiten hinzielen, die man beim physikalischen Experimentieren benötigt. In den Praktika – und in viel stärkerem Maße auch in der experimentellen Forschung – wird ein völlig neuer Umgang mit der Physik gefordert. Nicht mehr die mathematische Herleitung von physikalischen Gesetzen oder die physikalische Erklärung eines Sachverhaltes stehen im Mittelpunkt, sondern die Transferleistung von der Theorie zur Materie. Es soll gelernt werden, wie man mit technischen Geräten umgeht, um mit ihnen einen physikalischen Sachverhalt, der theoretisch-mathematisch formuliert wurde, messbar, reproduzierbar und damit beleg- bzw. widerlegbar zu machen.

Das Curriculum umfasst mehrere Lehrveranstaltungen, in denen über mehrere Semester hinweg diese Fähigkeiten eingeübt werden. Die ersten Lehrveranstaltungen, in denen es um Experimente geht, sind die schon erwähnten Demonstrationsübungen. Ihr Ziel ist es, durch Erfahrung zu lernen, wie eine Theorie im Experiment umgesetzt werden kann und wie sie durch ein Experiment belegbar gemacht werden kann. Einigen der vorgeführten Experimente wird historisch gesehen eine entscheidende, erkenntnisgewinnende Bedeutung zugeschrieben. Bevorzugt werden gerade diese so genannten »berühmten Klassiker« in den Demonstrationsübungen nachgestellt, sofern dies mit der zur Verfügung stehenden technischen Ausrüstung machbar ist. Da die experimentellen Aufbauten schon vorbereitet sind, dürfen Studierende bestenfalls Justierungen an der Messvorrichtung vornehmen. Die kreativen Anteile des physikalischen Experimentierens – Ideen für das Design eines Experiments zu entwickeln, die Geräte auszuwählen, herzustellen oder zum Laufen zu bringen – bleiben hier noch vor-enthalten. Die Formeln, die für das Verständnis des jeweils zu belegenden physikalischen Gesetzes benötigt werden, werden vorab vorgerechnet. Unter Anleitung der Lehrveranstaltungsleiter ist es dann Aufgabe einiger Studierender, vor dem gesamten Auditorium Messwerte abzulesen, sie für alle sichtbar zu dokumentieren und zu versuchen, diese Messwerte physikalisch zu interpretieren. Die Interpretation der Messwerte kommt der Validierung einer physikalisch als schon gesichert geltenden Erkenntnis gleich, die durch die Demonstrationsübungen nur ein weiteres Mal reproduziert werden.

Nicht alle interviewten Studierenden empfinden diese Lehrveranstaltungen als angenehm:

»Da stehst du so deplaziert herum. Erstens stehst du dabei und denkst dir ›Eigentlich hab ich keinen blassen Schimmer‹. Zweitens denken alle, [...] das sollten sie schon können. Und eigentlich weißt du nichts. Dann drängen sie, alles anzugreifen. Ich glaube es ist so, dass man da so reinkommt. Man kommt rein. Nach drei Jahren ist man dort. Man wird dort hingetrimmt. [...] Speziell die Demonstrationsübungen sind ungefähr so unangenehm wie ›Praxis Kochen‹ in der Schule, im ersten Lehrjahr denkst du dir, du hast keine Ahnung, im letzten, ›hoffentlich komm i net dran‹ [...].« (I 27,6)

Für die Interviewte steht besonders der haptische Aspekt an den Demonstrationsübungen im Vordergrund, mit dem vertraut zu werden, ihr persönlich schwer fällt. Andere haben sich leichter damit getan und die Übungen als angenehmer empfunden, da sie die Demonstrationen als Spaß oder Vergnügen empfunden haben und weniger als Zwang, gute Leistungen zeigen zu müssen: »Weil es echt lustig, interessant, Spaß ist. Man sieht die Experimente, man tut selber etwas. Wenn der flüssige Stickstoff da ist, [...] ist schon echt spaßig. [...] Da habe ich irrsinnig lang herumgespielt mit der Seifenlauge.« (I 29,17-18). Wieder einige andere haben sich von vornherein eine passive Rolle in den Übungen zugeschrieben. Der folgende Student sieht sich eher als Zuschauer einer Vorführung, was ihm durchaus genehm ist: »Die Demonstrationsübungen haben den Vorteil, [...] dass es eine Art von Physik ist, die Spaß macht. Man kann bei den Experimenten zuschauen, ohne sich geistig allzu sehr anstrengen zu müssen. Das ist recht erholsam.« (I 28,6)

In Sharon Traweeks Beschreibung über die Physikausbildung der Undergraduate Students im US-amerikanischen System streift sie auch die so genannten Laborkurse und beschreibt diese als Durchführung stereotyper Experimente, die sie treffenderweise als »choreographiert« bezeichnet, da alle Einzelschritte bis ins Kleinste schon festgelegt sind.¹⁵ Auch im amerikanischen Lehrkontext befinden sich »Klassiker« unter den Praktikumsversuchen, berühmte Experimente, denen historische Bedeutung verliehen wurde.

Erst in den Anfängerpraktika der ersten Semester kommt es zur ersten Konfrontation mit der Laborarbeit. Diese Konfrontation mit neuen Anforderungen wird in den Interviews recht ausführlich beschrieben, wie aus Zitaten einiger Studierender bereits ersichtlich wurde. Doch gerade weil die Studierenden die Praktika für den ersten Kontakt mit der ›wirklichen‹ Experimentalphysik halten, werden sie als sinnvoll angesehen:

»Ich meine, der Vorteil des Praktikums oder die Notwendigkeit des Praktikums ist eh offensichtlich. Da sieht man wie Experimentalphysik wirklich funktioniert, eben im krassen Gegensatz zu den Demonstrationsübungen, wo du nur mehr oder weniger zuschaust und das irgendwie Spaß macht oder nicht. Hier siehst du auch die Arbeit, die damit verbunden ist, [Mess]Protokoll anfertigen und so weiter, genau mes-

sen. Das ist eindeutig wichtig und ich habe absolut nichts gegen das Praktikum, aber [...] man könnte es pädagogisch sinnvoller aufbauen.« (I 28,7)

Die hier geäußerten Vorstellungen über die experimentelle Physik sind zwar keine realistischen Einschätzungen, da sich die experimentelle Forschung noch in einigen wichtigen Aspekten von der ›Praktikumsphysik‹ unterscheidet, aber ein wichtiges Übergangsstadium stellen sie zweifels- ohne dar.

Die Schwierigkeiten bestehen zum einen im Umgang mit technischen Geräten und Maschinen sowie in der Bedienung der Messapparaturen, zu denen die Studierenden der ersten Semester zunächst einmal ein »persönliches« und »vertrautes« Verhältnis herstellen. Zum anderen spielt die Angst, etwas falsch zu machen, Geräte kaputt zu machen und als »zu blöd« angesehen zu werden, eine wichtige Rolle. Letzteres bedeutet nichts anderes, als sich zu sorgen, ob man fachlich besteht, obwohl hier nicht fachliches Wissen benötigt wird, sondern nur implizit vermittelbares Erfahrungswissen.¹⁶ In den Praktika gehören manuelle Kreativität und technisches Geschick, die nur durch eigene Erfahrung und Übung erworben werden können, zum so genannten *tacit knowledge*.¹⁷ Dieses Erfahrungswissen spielt im Forschungsbetrieb eine noch wichtigere Rolle als in der Studienphase. In einer Untersuchung, die den Fokus auf Physikerinnen und Physiker in der Qualifizierungsphase legt, schildern die dort interviewten DiplomandInnen und DoktorandInnen Erfahrungen, die sich als konsistent zu den Aussagen der in diesem Projekt interviewten Studierenden erweisen, die sich noch in den ersten Semestern befinden (Janik / Seekircher / Markowitsch 2000).¹⁸ Vergleicht man beide Ausbildungsphasen, so wird sichtbar, dass das *tacit knowledge* immer mehr an Bedeutung gewinnt, um so näher der Kontext des Experimentierens dem der Forschungspraxis steht. Harry Collins sieht den Informationsfluss innerhalb der Community sogar eher durch die Wissenschaftler als Verkörperung der wissenschaftlichen Kultur (»scientific culture«) vermittelt denn durch die wissenschaftliche Information, die ihre Träger explizit an andere weitergeben.¹⁹

f. Reflexive Zugänge im Curriculum

Im Curriculum des Physikstudiums sucht man vergeblich Lehrveranstaltungen, die einen reflexiven Ansatz anbieten, seien es etwa Seminare über die geschichtliche Entwicklung dieser Disziplin, über ihre erkenntnistheoretischen Grundlagen oder auch über mögliche Tätigkeits- und Berufsfelder für PhysikerInnen. Vereinzelt wird dies sowohl von Studierenden als auch von Lehrenden vermisst. Ein Student moniert, dass die sozialen und historischen Kontexte, in denen das physikalische Wissen entwickelt wurde, nicht berücksichtigt werden:

»Ich finde das schön, wenn man bei der Physik die historischen [und] gesellschaftlichen Aspekte nicht außer acht lässt. Das ist das, was ich bei den Mathematikern und Physikern ein bisschen ablehne: Sie beschäftigen sich oft mit den formalen Aspekten ihrer Disziplin und vergessen darüber, oder vernachlässigen die Tatsache, dass Physik ja immer Physikgeschichte, immer von Menschen gemacht wird, die in einem bestimmten Kontext gelebt haben, historisch, sozial, was auch immer. [...] Früher war ich nicht der Meinung, aber heute bin ich der Meinung, dass man die Physik, überhaupt [jede] Wissenschaft, auch wenn sie noch so formalisiert ist, nicht davon trennen kann.« (I 28,11)

In den beobachteten Vorlesungen – auch hier nur in den ersten Lehrveranstaltungseinheiten – beschränken sich die Dozenten auf die Erwähnung der als »groß« titulierten Wissenschaftler und ihrer Erkenntnisse für die Physik (B 98,1). Auch die Geschichte der Mathematik wird in ähnlicher Weise vermittelt. Die »Lehrer großer Wissenschaftler« hinterlassen »Lücken« im Wissensgebäude der Physik, die dann deren »großartige Schüler« ihrerseits mit physikalischen Erkenntnissen füllen (B 98,2). Diese Vorstellung idealisiert die Weitergabe von Wissen durch ein auf einer persönlichen Beziehung basierendem Lehrer-Schüler-Verhältnis. Darüber hinaus wird mit dieser Darstellung, analog zum Aufbau der einzelnen Lehrveranstaltungen, in denen der Wissenskorporus in einem fingierten linearen Erkenntnisprozess entwickelt wird, auch die Geschichte der Physik als linearer Verlauf der Suche nach der objektiven Wahrheit über die Natur geschildert.²⁰ Auch in einem der Lehrenden-Interviews wird die Ansicht geäußert, dass der Fortgang der Wissenschaft sich auch ganz anders hätte entwickeln können, wenn sich andere wissenschaftliche Modelle im Diskurs um konkurrierende Theorien als gültig durchgesetzt hätten:

»Man hätte die Dinge auch anders beschreiben können. [...] Und das geht so weit, dass verschiedene Leute mit einer gewissen Begründung sagen, dass die Naturgesetze, die wir gefunden haben und auf Grund derer man eine so große Anzahl verschiedener Phänomene gut beschreiben kann, eigentlich nicht zwingend so ausschauen müssen, wie sie ausschauen, dass es durchaus denkbar wäre, dass auf Grund anderer, andersartiger Beobachtungen, anderer Begriffsbildungen und einer anderen *Willkür* [...] [es] zu ganz andersartigen Gesetzmäßigkeiten kommen könnte, die dann in ihrer Weise die Naturvorgänge mindestens ebenso oder genauso zufriedenstellend beschreiben.« (I 26,20; Hervorhebung d. A.)

Allerdings finden eher kritische Einstellungen wie die eben referierte als auch die des oben zitierten Studenten keinen Niederschlag in der Lehre. Pickering erklärt sich diesen Blick der PhysikerInnen auf ihre Erkenntnisgeschichte damit, dass die PhysikerInnen ihre Existenzberechtigung aus der Erforschung einer der Materie zugrunde liegenden Struktur definieren und folglich auch ihre eigene Geschichte nach diesen Gesichtspunkten interpretieren (Pickering 1984, 7).

3. FACETTEN FACHLICHER KOMPETENZ: VERSTÄNDNIS UND INTUITION

Ging es in den vorangegangenen Kapiteln um die Praktiken der Wissensvermittlung in der Lehre, so behandeln die folgenden Kapitel die impliziten Bewertungskriterien und Verhaltensnormen, die das soziale Miteinander in der Scientific Community regeln. Schon die Studierenden der ersten Semester lernen, wie man sich verhalten muss, um – wenn auch erst später – zu einem akzeptierten Mitglied dieser Community werden zu können. Sharon Traweek beschreibt, welche emotionalen Grundhaltungen für das jeweilige Ausbildungs- und Karrierestadium charakteristisch sind und beschreibt, dass es unter anderem spezifische Ängste vor dem sozialen Ausschluss des Nicht-Dazugehörens sind, die die potentiellen »Newcomer« der Community in den ersten Jahren des Studiums besonders beschäftigen (Traweek 1988, 75). Die Besorgnisse, nicht dazuzugehören bzw. nicht als PhysikerIn akzeptiert zu werden, entwickeln sich vor dem Hintergrund eines implizit vermittelten Sets von *Musts* und *Don'ts*, mit dem sich die Studierenden – wenn auch selten bewusst – auseinandersetzen müssen. Sie haben für sich selbst zu entscheiden, inwieweit sie diesem Regelwerk Folge leisten wollen und können, sowie welche Konsequenzen diese Entscheidungen für sie haben könnten. Die Studierenden der ersten Semester treibt die Sorge um, dass die intellektuellen und kognitiven Kapazitäten nicht ausreichen könnten, um es bis zu einem oder einer »richtigen« PhysikerIn zu bringen und dass die Türen in den »Inner Circle« der Community für sie verschlossen bleiben. Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend, dass für Studierende die Prüfungen zentrale Ereignisse im Studienalltag darstellen, wird doch hier zum ersten Mal offenbart – zumindest in den Augen der Studierenden –, ob sie denn gut genug für dieses Fach seien. »Gut genug« zu sein manifestiert sich zunächst ganz explizit in der Absolvierung »sehr guter« oder zumindest »guter« Prüfungen.²¹ Die Interviews mit Studierenden kreisen in langen, ausführlichen Erörterungen immer wieder um das Thema Prüfungen, wie sie ablaufen, wann man sie absolviert, bei wem sie abgelegt werden und wie man sich darauf vorbereitet.²² Um die ersten Prüfungen erfolgreich zu meistern, eignen sich die StudienanfängerInnen nicht nur Wissen über physikalische Gesetzmäßigkeiten und Formeln an und bemühen sich, den Stoff zu verstehen, sondern entwickeln auch spezielle Strategien, um die Fülle des Stoffs zu bewältigen. Sie lernen abzuwägen, was einen hohen Wert bei der Leistungsbeurteilung hat und was ihnen bei den Lehrenden gute Noten einbringen könnte. Auch wenn sie sich bei der ersten anstehenden Prüfung noch unsicher fühlen, wie denn der in der Vorlesung präsentierte Stoff in einer Prüfung abgefragt

wird, entwickeln sie früh ein Gespür dafür, welche Anteile des Stoffes, den man im Studienalltag vorgesetzt bekommt, abgeprüft werden. Auf die Frage, wie die Studierenden sich eine Prüfung vorstellen bzw. welche Erfahrungen sie damit gemacht haben, antwortet eine Studierende, die noch keine Prüfung absolviert hat:

»Mündlich. Insofern bin ich da unschlüssig, wie das dann geprüft wird, weil, es sind sehr viele Formeln und die Ableitungen. Das ist dann heavy. [...] Ich weiß nicht, wie der das prüfen will. Will er die Formel prüfen? Weil, teilweise schreibt er sehr viele Formeln [an]. [...] Ich weiß nicht, wie eine Prüfung aussieht. Darum muss ich mich [noch] informieren, wie das ausschauen könnte und dementsprechend lerne ich dann auch.« (I 27,5)

Andere berichten von Gerüchten, was erwartet wird und wer wie prüft: »Ich habe gehört von anderen Leuten, dass er [=ein Dozent] bei Prüfungen relativ viel verlangt. Er verlangt die Formel sehr genau. [...] Er soll bei den Prüfungen sehr anspruchsvoll sein.« (I 28,6). Auch die Lehrenden sind sich dieser Unsicherheit der AnfängerInnen bewusst, obwohl der hier zitierte Lehrende sie nicht nachvollziehen kann, wohl weil ihm das Wissen selbst, aber vor allem auch, wie man mit diesem Wissen in der Physik umzugehen hat, völlig vertraut ist. Er hat das Charakteristische der Wissenschaftskultur schon so weit verinnerlicht, dass es ihm selbstverständlich und nicht erwähnenswert erscheint, was am Stoff wichtig ist:

»Das werfen mir auch die Studierenden manchmal vor und ich habe daraus auch schon ein bisschen gelernt, dass ich zu wenig erkläre in der Vorlesung, was ich bei den Prüfungen verlange. Das habe ich auch nie richtig verstanden, warum ich das muss. Weil, das ist auch so irgendwie aus dem Bauch heraus. Ich gehe davon aus, dass das eh klar ist, was nun die eigentlichen wichtigen Dinge waren, die ich da gebracht habe.« (I 26,12)

Im Physikstudium wird die Sorge, ob man in Prüfungen gut genug sei, um in der physikalischen Forschung später Fuß fassen zu können, zur zentralen und alles entscheidenden Frage hochstilisiert. Undenkbar wäre, dass ein Studierender schlechte Noten in Prüfungen erhält und sich dennoch in seiner Zukunft als erfolgreicher Wissenschaftler sieht. Die zu absolvierenden Prüfungen sind über die Tatsache, dass sie eine formale Benotung des punktuellen Studienerfolges darstellen, eine Initiationshürde der fachlichen Akzeptanz, und werden als solche auch von den Lehrenden auffällig ausführlich angesprochen:

»Es wird ja bei der Prüfung nicht wirklich Detailwissen abgefragt, sondern es wird im Wesentlichen Verständnis abgefragt. Das halte ich für eine der Aufgaben des Prüfenden, das rückzukoppeln. Wobei man schon sagen muss, das ist das Bild, das man im Moment hat. Das kann sich ja ändern, das kann auch eine falsche Beurteilung sein, aber ich halte es für notwendig und richtig, dass man sagt ›Ich habe den Eindruck, dass Ihnen das schwer fällt‹. Das ist, glaube ich, wichtig, um so früher, um so

besser. Wenn man das nicht in den ersten zwei Semestern rückkoppelt, wenn dann einer draufkommt, wenn er in die Theorie [=in die theoretische Physik] geht, das ist viel, viel schwerer.« (I 24,25)

Er gibt zu bedenken, dass gerade schlechte Ergebnisse in den ersten Prüfungen Schlüsse auf die mangelnde Eignung zum Teil nicht rechtfertigen, da einige frühe Einschätzungen sich im fortgeschrittenen Studium als falsch erweisen. Trotzdem hält er aber die Funktion der ersten Prüfungen als Eignungstests für sinnvoll, da man möglichst früh die Studierenden auf ihre Eignung hin überprüfen sollte, um die Ungeeigneten davor zu bewahren, sich viele Semester lang umsonst abzumühen, wenn sie dann doch irgendwann einmal scheitern. Studierende müssen also in den ersten Semestern ihre Eignung unter Beweis stellen, sowohl den Lehrenden gegenüber als auch um sich selbst bestätigt zu sehen.

Letztendlich leiten sich die Bewertungskriterien, wie sie sich in der Prüfungssituation manifestieren, aus den wissenschaftlichen Idealen ab. Es wird nach objektivierbarem, universell gültigem Wissen gefragt, wohingegen eine individuelle, originelle Interpretation oder gar ein eigener kritischer Zugang, wie es in den Geisteswissenschaften auf bestimmte Weise erlaubt und erwünscht ist, in der Physik ein Tabu in einer Prüfung darstellt.²³ Auch ist die sprachliche Kompetenz bei der Leistungsbeurteilung bei weitem nicht so sehr von Bedeutung wie etwa in der Literaturwissenschaft.²⁴ In der Physik wird eher das »Verständnis« für den Stoff wertgeschätzt und in Gegensatz zum »auswendig gelerntem Wissen« gestellt. »Verständnis« meint die Fähigkeit, das Wissen selbständig herleiten und nachprüfen zu können anstatt »nur« die richtigen Ergebnisse präsentieren zu können.

»[Gute Prüflinge] können die Sachen vorzeigen, auch die, die nicht einfach sind. [...] Vorzeigen heißt ableiten: Der setzt sich hin und sagt nicht das Endergebnis, sondern geht von einer Gleichung grundsätzlicher Art aus und entwickelt das, wie ich das auf der Tafel entwickelt habe. Wenn ich merke, [dass] das nicht auswendig gelernt ist, sondern vorgetragen wird, sind das schöne Prüfungen. [...] Manche kostet es sehr viel Anstrengung diesen logischen Aufbau [zu verstehen]. [...] Für mich oder für die, die Begabung haben, ist das ein Vorteil, weil es ein dauernder roter Faden ist, das geht nie vom Nichts aus und im Prinzip brauchen Sie nie etwas zu lernen. Wenn Sie das Prinzip verstanden haben, können Sie das auch mathematisch formulieren und dann können Sie aus dieser Anfangsformulierung die Sachen entwickeln und haben alles da stehen. Das ist ein großer Vorteil, wenn man das Verständnis hat.« (I 24,15 u. 25)

Verständnis heißt jedoch auch, »sich daran gewöhnen« (B 154,1), »Sachen verinnerlichen« (B 108,1) und »inhalieren« (B 112,1), wie einige Zitate aus Lehrveranstaltungen zeigen. Die Lektüre von Lehrbüchern kann man ebenfalls mit »Gefühl« betreiben, wie eine Studentin angibt: »Es bleibt nichts hängen, aber es bleibt ein Gefühl.« (I 27,7).

Immer wieder wenn es um Talent, Begabung und um wünschenswerte Fähigkeiten geht, taucht neben dem »Verständnis« der Begriff der »Intuition« in den Lehrveranstaltungen und in Interviews auf. Über Intuition zu verfügen, scheint unabdingbar zu sein, wenn man als talentierter Physiker oder begabte Physikerin gelten will. Mit Intuition bezeichnet man das problemlösende Denken, das zwar nicht in Sprache vermittelt und begründet werden kann, das aber doch implizit erlernbar ist, da sie an »einfachen Beispielen geschult« wird, wie ein Lehrender betont (B 131,1). Eine Herleitung von Wissen, das mit Hilfe von Intuition entwickelt wird, ist weder reproduzierbar noch logisch-analytisch auflösbar, wie der folgende Interviewpartner verdeutlicht, indem er Intuition rhetorisch in Kontrast zur »Physik« stellt: »Da braucht man nicht viel Physik zu können, man braucht Intuition.« (B 133,3). Sie kommt immer dann zur Sprache, wenn ein Lösungsansatz oder ein Argument nicht rational ableitbar und in Gänze nachvollziehbar und reproduzierbar ist. Trotzdem wird Intuition nicht abgelehnt, sondern gilt im Gegenteil als elegante, legitime Gabe beim Problem- und Aufgabenlösen, bei denen sie aber eben nur punktuell angewendet werden darf. Eine vollständige Theorie, die nur auf Intuition aufbaut statt schon auf abgesichertem Wissen und die folglich nicht falsifizierbar wäre, würde gegen die Norm verstoßen.

4. EIN SPEZIELLER HUMOR: »PHYSIKER-WITZE«

Im Vergleich zu den anderen beobachteten Disziplinen gibt es in der Physik auffallend häufig Momente in den Lehrveranstaltungen, in denen gemeinsam gelacht wird. Meistens handelt es sich dabei nicht um absichtlich eingestreute Witze oder Anekdoten, sondern um ein Lachen als Reaktion auf lakonische Kommentare oder ironisierende Anspielungen. Die folgende kleine Auswahl dreier Episoden, in denen der Vortragende Erheiterung hervorgerufen hat, soll einen ungefähren Eindruck davon vermitteln:

* Um die Berechnung der Präzessionsgeschwindigkeit beim Kreiselkompass zu erläutern, wird ein Experiment vorgeführt. Der Lehrende kommentiert dazu: »Eine Änderung des Drehsinns der Erde passiert selten. [...] Die Erdachse [zeigt] zur Zeit [auf den] Polarstern [...] Wir kommen in ein paar Jahrtausenden zusammen und schauen uns das [Experiment] an, [ob sich der Drehsinn geändert hat].« (B 115,3).

* Der Vortragende skizziert ein Versuchsdesign, mit dem theoretisch ein bestimmtes physikalisches Gesetz überprüft werden könnte. Der experimentelle Aufbau bestünde aus einer 5 Meter langen Eisenstange in einem 3 Meter langen Raum. Er kommentiert diese paradoxe, nicht realisierbare

Vorstellung mit: »Man muss [aber] fast mit Lichtgeschwindigkeit laufen [wenn man die 5 Meter lange Eisenstange ausmessen möchte].« (B 132,1).

* Eine Messkurve, die auf einer Folie präsentiert wird, wird interpretiert mit dem Kommentar: »Wenn Sie das [=die Messkurve] extrapolieren, ist er [=der fiktive Mensch, der sich der Messkurve entsprechend verändert] nicht langsam genug, um das zu überleben.« (B 140,1).

Auf alle diese zitierten Aussprüche wurde mit einem amüsierten Raunen oder Gelächter reagiert, obwohl man als Außenstehender vermutlich den Anlass zum Lachen nicht zwangsläufig nachvollziehen kann. Das Grundmuster, das diesen Anspielungen zugrunde liegt, ist die Übertragung von nur theoretisch möglichen Naturkonstellationen – die Änderung des Drehsinns der Erde in zehntausend Jahren zu überprüfen oder sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit fortzubewegen – auf die Realität des Alltags, die dann zu absurden, zumindest sehr unwahrscheinlichen Situationen führen. Voraussetzung, die Pointe ermessen zu können, ist ein Verständnis des physikalischen Hintergrunds, was eben nur für die in die Physik Eingeweihten gilt, die Studierenden sowie die Vortragenden. Daher können wohl auch nur sie über die Pointen dieser Gedankenspiele lachen. Das bedeutet aber auch, dass, wer nicht über genügend Fachwissen verfügt, die Pointen nicht verstehen wird. Nicht zu lachen, kann doppelt interpretiert werden: Es kann nicht nur heißen, dass man die Anspielung nicht komisch findet, sondern auch – und das ist wesentlich –, dass man die Physik dahinter zu wenig verstanden hat, um die Pointe zu durchschauen. Nicht zu lachen könnte also auch von den Anwesenden als unzureichende Fachkompetenz interpretiert werden, was zu den größten Besorgnissen der Physik-Studierenden zählt.

Witzen und Anekdoten wird daher auch eine Art geheime Bedeutung beigegeben, da sie nur PhysikerInnen und anderen NaturwissenschaftlerInnen als zugänglich gelten und auch nur in diesen Kreisen erzählt werden. Ein Interviewpartner kommentiert sogenannte Physiker-Witze:

»Die sind nicht lustig. Die sind nur verständlich, [...] wenn du einen gewissen Humor hast [...]. Wie hast du dir vorher die Mathematiker und Physiker vorgestellt? Genau so, wie Leute, die über diese Witze lachen würden. Die sind einfach nicht wirklich lustig. Die sind nicht einmal ordinär, die sind einfach schlecht.« (I 22,23)

Trotz ihres schlechten Rufes werden die Witze aber immer noch weiter erzählt, wohl weniger, um witzig zu erscheinen und zum Lachen zu bringen als vielmehr um zu demonstrieren, dass sowohl Erzähler als auch ZuhörerInnen ihn verstehen. Auch durch das Lachen über Physiker-Witze kann der Einzelne seine oder ihre Zugehörigkeit zur Community unterstreichen. Der Cartoon in Abb. 4 stammt aus dem Verbandsorgan der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Die Serie, die fachspezifische Inhalte aufs Korn

Die wundersame Welt der Atomis

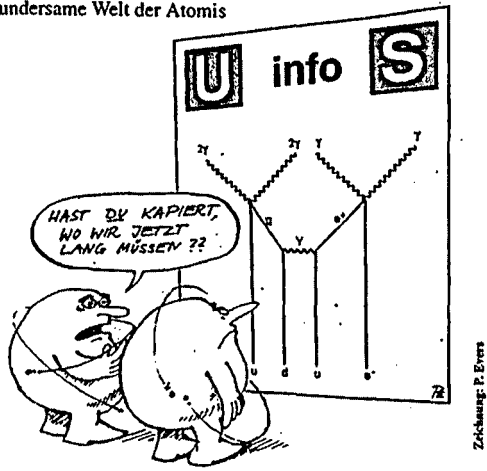


Abbildung 4: Cartoon aus der Serie »Die wundersame Welt der Atomis«. In: Physikalische Blätter 54, 1998, S. 854.

nimmt, zeigt, dass der fachspezifische Humor nicht nur in Lehrkontexten zu finden ist, sondern auch in den professionellen Kontexten der wissenschaftlichen Fachverbände, deren Publikum sich größtenteils aus qualifizierten PhysikerInnen rekrutiert. Die Pointen der Cartoonserie entstehen auch hier durch Anthropomorphisierung von physikalischen Sachverhalten. Atome werden Menschen gleichgesetzt und physikalische Vorgänge, hier die Wechselwirkung von Elementarteilchen, werden durch Situationen des Alltagslebens ersetzt. Der Cartoon zeigt einen U-Bahnplan in Form eines Feynman-Graphen, einer Darstellungsform für Elementarteilchenreaktionen. Die an der Reaktion beteiligten Elementarteilchen stehen wie Menschen vor dem vermeintlichen U-Bahnplan bzw. Feynman-Graphen und sind sich über ihre Reiseroute nicht im Klaren bzw. wissen nicht, wie ihre Teilchenreaktion weitergeht. Die Witz besteht wiederum in der Interpretation der geschilderten Situationen aus der Perspektive physikalischer Gesetzmäßigkeiten.

Sowohl ironische Episoden in den Lehrveranstaltungen als auch Cartoons sowie »Physiker-Witze« haben konspirativen Charakter, da sich Erzähler und Zuhörer gegenseitig ihrer Zugehörigkeit immer wieder aufs Neue versichern, indem das gemeinsame Lachen die Gruppenkonstituierung der in der Lehre noch erst entstehenden Community fördert.

5. DIE INITIATION ÜBER VORBILDER

Besonders in den biographisch gefärbten Passagen der Interviews verraten die Interviewten etwas darüber, wann und warum sie Physikerkollegen bewundern: »Der war damals bei uns Physikprofessor und der war natürlich ein Physiker mit Leib und Seele.« (I 28,3). Diejenigen, die sich in der Physik etabliert haben, zeichnen sich laut dieser Meinung durch die Bereitschaft aus, sich in anderen Lebensbereichen zurückzunehmen. Auch der Begriff des »Vollblutphysikers«, der auf etwas anspielt, das die jeweiligen Forscher »im Blut« oder »in den Genen« haben, lässt Vorstellungen an eine Prädestinierung für Physik aufkommen: »Das ist die Kunst, [...] das im Gespür zu haben. Und das gehört zu einem Vollblutphysiker dazu.« (I 25,28). Hier macht das »Gespür« den Physiker aus, das ähnlich der »Intuition« als Kriterium für fachliche Originalität gilt. Über seine beiden Vorbilder sagt dieser Lehrende: »An beiden war das Faszinierende, dass sie sozusagen keine trockenen Fachphysiker waren. [...] Der X war ein *unglaublich* temperamentvoller Mensch.« (I 25,3). »Trocken« zu sein gilt ihm als verpönt, auch wenn er es als typisch für »Fachphysiker« ansieht. Temperament dagegen ist für ihn ein »Faszinosum«. Doch auch das Klischee des skurrilen Typen, das insbesondere im Fremdbild der Physik ein häufiges Stereotyp

ist, wird bedient. Da ist von »kauzigen Typen« (I 25,3) die Rede oder es wird von jemandem berichtet, der »ein skurriler Typ gewesen ist, über den es tausend Geschichten gibt« (I 25,3).

Persönliche Vorbilder scheinen bei vielen Interviewpartnern für die emotionale Initiation in die Physik entscheidend verantwortlich gewesen zu sein. Sie tragen zum Mythos bei, Physik werde von einigen wenigen (männlichen) Individuen vorangetrieben, deren persönliches Talent, Charakter und Genius für ihre die Physik bereichernden Leistungen verantwortlich waren. »Eindrucksvolle, starke Persönlichkeiten« (I 25,2 und 3), »große Köpfe« (I 25,6), »großartige Wissenschaftler« (I 26,18), »allerbe-
deutendste Theoretiker« (I 25,11) hätten die heutigen Professoren in ihrer Novizen-Zeit geprägt. Auch in den Lehrveranstaltungen soll offensichtlich die Genialität von Persönlichkeiten vermittelt werden. Ein Lehrender gibt als eines der Ziele seiner Lehrveranstaltungen Folgendes an: »Den Stoff, den [in] 200 Jahre[n] Physik allerklügste Köpfe angehäuft haben, [...] den Geist dessen, was die Leute angetrieben hat, die dieses Wissen erwerben, das kann man vielleicht schon versuchen rüberzubringen.« (I 23,20). Auffällig ist, dass diese vielgelobten Vorbilder auf ihren Geist und Intellekt reduziert werden. Nur die wissenschaftlichen Leistungen machen sie erst zu den bewunderten geistigen Helden der Physik, denen es nachzueifern gilt. Die Vorstellung von Genialität ist da nicht weit: »Und da hat es den X gegeben, der hat als genial gegolten. Den hat man nach der dritten, vierten Vorlesung nicht mehr verstanden.« (I 24,2). Nicht der Interviewte selbst schreibt ihm Genialität zu, sondern er referiert, dass der Erwähnte als genial *gegolten* habe. Hier zeigt sich, dass es nicht subjektive, individuelle Schwärmereien Einzelner sind, sondern dass »Genialität« eine kollektive Zuschreibung ist, mit der einzelne Personen innerhalb der Disziplin bedacht werden. So genannte »Genialität« liegt in erster Linie nicht in der persönlichen, geistigen Kreativität der als genial bewunderten Forscher, sondern als genial gilt, wer die Gesetzmäßigkeiten der Natur »entdeckt«, etwas durchschaut, was andere Forscher nicht überblickt haben. Traweek weist darauf hin, dass der Heroenkult und der Imperativ, ihnen nachzueifern, Physikerinnen wenig Raum zur Identifikation bietet, da er Tugenden anpreist, die einer maskulinen Geschlechterrolle entsprechen.²⁵ Die Stilisierung der Physiker-Community als eine Gemeinschaft maskuliner, vernunftgeleiteter, sozial desinteressierter Helden des Geistes schließt Frauen, sofern sie sich nicht bewusst von jeglichen sozial erwarteten Geschlechterstereotypen distanziert haben, emotional aus. Dieser Schritt der emotionalen Initiation ist für Physikstudentinnen ungleich schwieriger, wenn nicht gar unmöglich. Dies ist daher auch einer der Faktoren, die es Frauen erschweren, sich der Physik-Community zugehörig zu fühlen bzw. als Mitglied akzeptiert zu werden.

Interessanterweise wurde über die Genialität persönlicher Vorbilder ausschließlich und in allen Lehrendeninterviews geschwärmt; in den Studierenden-Interviews findet sich dieses Motiv nicht. Die Bewunderung von Vorbildern bedarf wohl einiger Semester, um den eigenen »geistigen« Vater wirksam in der eigenen wissenschaftlichen Karriere-Erzählung in Szene setzen zu können.

6. DIE ZWEI LAGER DER COMMUNITY: EXPERIMENTALPHYSIKER UND THEORETIKER

Schon im Studium kristallisiert sich die in ExperimentalphysikerInnen und theoretische PhysikerInnen polarisierte Struktur der Community heraus. Ein Lehrender aus der Experimentalphysik beschreibt die Arbeitsteilung bzw. Kompetenzaufteilung sehr ausführlich und anschaulich:

»Oft ist es so, dass ein Gebiet theoretisch bearbeitet wird, wenn ein solider Erfahrungsschatz von Beobachtungen vorliegt. Es ist ja eher weniger motivierend, wenn man auf einem Gebiet Theorien entwickelt und dann keine Daten hat, mit denen man sie messen und testen kann. Es ist oft so, dass ein Gebiet auch für die Theoretiker spannend wird, wenn man gute Experimente dazu macht. [...] In den meisten Fällen wirft man durch Experimente irgendwelche Fragen auf. [...] Die führen dazu, dass sich Theoretiker mit dem wieder auseinandersetzen, was schon zur Ruhe gekommen war, weil nichts Neues da war. Es befruchtet sich gegenseitig. Andererseits werden natürlich auch theoretische Vorhersagen gemacht und dann designt man ein Experiment, um herauszufinden, ob das jetzt so ist. Das ist wirklich eine dauernde Wechselwirkung. Ein sinnvolles Experiment kann nur angelegt werden, wenn man das Wesentliche der theoretischen Konzepte verstanden hat. [...] Auch ein Theoretiker sollte zumindest im Prinzip wissen, was die wichtigen Grundlagen für bestimmte Experimente sind, um dann eine sinnvolle Beschreibung dazu produzieren zu können.« (I 26,1)

Das Verhältnis dieser zwei Forschungstraditionen bezeichnet Andrew Pickering als Symbiose, in der die Experimentalphysik für die Erforschung (»exploration«) und die theoretische Physik für die Erklärung (»explanation«) der Naturphänomene zuständig sei (Pickering 1984, 10). Obwohl diese Arbeitsteilung sie nahezu in zwei wissenschaftliche Kulturen aufspaltet, die sich durch unterschiedliche Praktiken auszeichnen, sei dieses Konzept der Arbeitsteilung bei genauerer Betrachtung der Vorgänge im Labor nicht aufrechtzuerhalten, wie Pickering argumentiert (Pickering 1984, 5-14). TheoretikerInnen und ExperimentalphysikerInnen haben sehr unterschiedliche Arbeitsformen und arbeiten in der Forschungspraxis größtenteils getrennt. Auch in den ersten Lehrveranstaltungen ist diese Zuordnung schon erkennbar: In Vorlesungen lernen die Studierenden die Arbeits- und Argumentationsweise der theoretischen Physik – natürlich noch sehr ver-

einfacht – kennen, die Praktika bereiten hingegen eher auf eine Tätigkeit in der Experimentalphysik vor. In diesem Ausbildungsstadium gelten zwar noch beide Arbeitsbereiche als gleich wichtig, aber schon in den höheren Semestern können die Studierenden zwischen Lehrveranstaltungen auswählen, die einem mit der Experimentalphysik oder mit der theoretischen Physik vertrauter werden lassen. So entstehen zwei unterschiedliche Forschungsfelder, in denen unterschiedliche Neigungen erwünscht und verschiedene Fähigkeiten erwartet werden. Die TheoretikerInnen gelten als talentiert im Umgang mit Mathematik, werden als »Rechengenies«, oder abfälliger als die »Rechenknechte« bezeichnet; die experimentellen PhysikerInnen sind die Bastlertypen, die als technisch begabt gelten und die Spaß am manuellen Tüfteln an Geräten und Maschinen haben.²⁶

Auch rhetorisch grenzen sie sich immer wieder voneinander ab. Ein Lehrender meint:

»Die theoretischen Physiker, die machen sich auch schon lustig über die Experimentalphysiker, [...] [und] wenn [man] bei den Experimentalphysikern als Theoretiker [arbeitet], da wird [man] eigentlich ausgelacht, muss ich ehrlich sagen.« (I 22,17)

Diese eher harmlosen Animositäten zwischen theoretischen und experimentellen PhysikerInnen zementieren zwar einerseits die Spaltung zwischen TheoretikerInnen und experimentellen PhysikerInnen, sie konstituieren aber auch das Gruppengefühl des jeweiligen Lagers im kleinen und fördern die Identifizierung mit der Community.²⁷

7. FRAUEN IN DER PHYSIK?

Bei den teilnehmenden Beobachtungen fiel ins Auge, dass in den Lehrveranstaltungen auffallend wenige Frauen sitzen.²⁸ In den Interviews wurde hierzu kaum Stellung bezogen, da dieser Umstand vermutlich als nicht mehr erwähnenswerte Selbstverständlichkeit angesehen wird, obwohl es die sozialen Strukturen in der Community nachhaltig beeinflusst. Auffällig ist jedoch, dass die Interviewten in ihrer Beschreibung des Lehr- und Forschungsalltags vom Prototyp eines männlichen Studierenden ausgehen. Wenn Lehrende beschreiben, wie Studierende bzw. PhysikerInnen lernen, wie sie ihre Karrieren gestalten und was von Seiten der Lehrenden von ihnen erwartet wird, wird fast durchgängig eine männliche Formulierung gewählt, zum Teil sogar recht dezidiert: »Aber ich kann es nicht verantworten, einen *jungen Mann* in eine Richtung zu lenken.« (I 25,3; Hervorhebung d. A.). Auf Fragen, die auf Vereinbarkeit von Familie und Beruf zielen, beschreiben die interviewten Lehrenden einen traditionellen Lebensentwurf, in dem sie die klassische Arbeitsteilung zwischen männlicher Erwerbsarbeit und weiblicher familiärer Reproduktionsarbeit vornehmen,

die mit der entsprechenden Verantwortung der praktizierenden Physiker für den Lebensunterhalt gekoppelt ist und bisweilen als Zwiespalt zwischen beruflichen und privaten Verpflichtungen erlebt wird: »Es war eine schwere Entscheidung, denn inzwischen hatte ich schon zwei Kinder und ich wusste nun mal, dass eine Habilitation sechs Jahre dauert und im Regelfall auf dem Arbeitsamt endet.« (I 23,4). Einige der Interviewten gehen sogar so weit und erklären diesen Lebensentwurf, der Erwerbstätigkeit und Reproduktionsarbeit voneinander trennt, zum einzigen, mit dem eine erfolgreiche wissenschaftliche Karriere überhaupt erst möglich werden kann. Dieser Lebensentwurf, in dem die berufliche Karriere als Wissenschaftler die absolute Priorität hat und dem alle anderen Lebensbereiche untergeordnet werden, ist vor dem Hintergrund sozial akzeptierter Geschlechterverhältnisse nur für Männer mit dem geforderten Engagement umsetzbar:

»Dass man dann die Härte hat und sagt, so jetzt lasse ich das Ding [=die Arbeit] liegen und gehe nach Hause und wir werden schon sehen wie es weitergeht, das ist dann oft wirklich schwer, da die richtige Entscheidung zu treffen. [...] Das ist eine harte Sache. Die *Frau eines Wissenschaftlers* ist schon irgendwie geschlagen, muss ich sagen. Es liegt wohl daran, glaube ich, dass man als Wissenschaftler oft sehr eigenverantwortlich ist und sich mit seiner Arbeit sehr identifiziert. Und wenn ich für das, was ich da tue, selbst verantwortlich bin, bin ich natürlich viel motivierter, das auch wirklich zu Ende zu bringen.« (I 26,10; Hervorhebung d. A.)

In diesem Zitat sind die beiden Rollen einer Partnerschaft, in dem mindestens eine Person in der Wissenschaft arbeitet, eindeutig auf die Geschlechter verteilt: Einerseits der (männliche) Wissenschaftler und andererseits die »Frau eines Wissenschaftlers«, die, wie hier im Zitat, für die häusliche Sphäre zuständig ist.

»Der nächste Punkt ist, ob man als Physiker so ohne weiteres schafft, Familie und Job unter einen Hut zu kriegen. Weil man an und für sich etwas macht, das verdammt viel Zeit in Anspruch nimmt. [...] Aber man braucht natürlich auch einen Lebenspartner, der das ganze mitmacht. Also, meine Frau hat das mitgetragen und es waren sicherlich nicht nur vernünftige Zeiten für sie.« (I 23,5)

In dieser Äußerung wird zunächst von einer prinzipiellen Verantwortlichkeit für beide Lebensbereiche ausgegangen, die aber im Falle der Wissenschaft nicht aufrechterhalten werden kann und zur weitgehenden Trennung der Verantwortungsbereiche führt, bei der dann die Familienarbeit an den nicht-wissenschaftlich arbeitenden Lebenspartner oder die Lebenspartnerin delegiert wird. Ob mit dem Ausdruck »Lebenspartner« des Interviewten an einen geschlechtsneutralen Ausdruck gedacht war oder ob er »Lebenspartnerinnen« meinte und dafür die männliche Ausdrucksweise verwendet hat, wie es in der physikalischen Community durchaus üblich ist, kann hier nur spekuliert werden.²⁹

Beide Interviewten entsprechen der Erwartungshaltung, dass PhysikerInnen nur für ihre Arbeit zu leben haben und alle anderen Lebensbereiche zugunsten der Wissenschaft zurückstellen sollten. Diese Konstruktion bringt sogar bei traditioneller Aufteilung der familiären und beruflichen Verantwortung Probleme für die Betroffenen mit sich, resultiert aber in jedem Fall in einem konservativen Lebensentwurf. Frauen kommen hier nur in der Rolle »der Frau des Wissenschaftlers, die das [=den Beruf des Mannes] mitträgt« vor und scheinen in dieser Rolle für die Forscherkarriere eines Physikers unabdingbar zu sein. Diese Erwartungshaltung erschwert es Frauen, sich selbst als Wissenschaftlerin zu profilieren, weil sie als Forscherin in sozialen Strukturen agieren müssen, die in der Regel die Existenz einer Lebenspartnerin oder eines Lebenspartners voraussetzen, der oder die die familiären und häuslichen Agenden übernimmt.

8. AUSBLICK: VOM LEHRKONTEXT ZUR FORSCHUNGSPRAXIS

Die Beschreibungen der kulturellen Praktiken der Physik basierten auf Beobachtungen von Lehrveranstaltungen der ersten Semester sowie auf Interviews, in denen insbesondere die Lehrpraktiken im Fokus der Gespräche standen. Im Vergleich zu kulturellen Praktiken der Forschung spielt in der Lehre der ersten Semester das Empirische dieser Naturwissenschaft noch keine zentrale Rolle. In den kulturellen Praktiken der Lehre präsentiert die Physik sich fast gänzlich als Mathematik: Formeln, Rechnungen und das Herleiten von physikalischen Gesetzen sind die dominanten Praktiken, die in vielen Variationen auftauchen – »schlampig« vorgechnet an der Tafel in den Vorlesungen sowie in Lehrbüchern und dann in Prüfungen auf »Verständnis« kontrolliert – wohingegen man dem Experimentieren nur peripher begegnet. In den alltäglichen Praktiken der physikalischen Forschung tritt die Dominanz der Mathematik zurück – abgesehen von der mathematischen und theoretischen Physik –, obwohl sie nach wie vor die Basis liefert, auf der auch das im Experiment produzierte Wissen aufgebaut ist.

Der Stoff, der in den Lehrveranstaltungen präsentiert wird, ist fast ausnahmslos Wissen, das den Prozess der Wissensproduktion bis zur Validierung schon durchlaufen hat und als gesicherte Erkenntnis angesehen wird. Konkurrierende Modelle zur Erklärung eines Phänomens, haben – wenn überhaupt – einen Platz in den Vorlesungen für Fortgeschrittene. Verschiedene nebeneinander existierende oder auch konkurrierende theoretische Ansätze werden erst in Fachbüchern höherer Semester diskutiert, und auch dort eher selten. Dann erst bewegen sich die Studierenden auch einen

Schritt weiter auf die spätere Forschungspraxis zu. In den ersten Semestern wird jedoch nicht thematisiert, dass das von der Community abgesegnete Wissen zuvor einen Produktionsprozess durchlaufen hat, in dem unter anderem seine Gültigkeit erst ausgehandelt wird, bevor das Wissen als »wissenschaftlich erwiesen« bezeichnet wird.

Tony Becher weist in seinem Vergleich von unterschiedlichen Forschungskulturen darauf hin, dass das validierte Wissen in der Physik nicht ausschließlich kumulativ sei, sondern so weit strukturiert und atomisiert, dass es wiederum von nachfolgenden ForscherInnen fragmentiert und portioniert werden kann, um es für die Argumentation und Validierung eigens produzierter Erkenntnisse verwendbar zu machen. Die Methoden der Erkenntnisgewinnung und die Argumentation zur Validierung sind dabei fest etabliert und stehen innerhalb der Community nicht zur Disposition. Dies sei eine unabdingbare Voraussetzung für die Kontinuität der kollektiven Erkenntnisgewinnung (Becher 1987a, 273). Das im Lehrkontext sukzessive Aufbauen des physikalischen Theoriegebäudes ist damit auch eine Voraussetzung für das Funktionieren des späteren Forschungsbetriebs, da in jeder wissenschaftlichen Publikation die Erkenntnisse, die bis dahin als gesichert gelten, implizit mitreproduziert werden. Die Autoren der Publikationen kennen dieses Regelwerk der Argumentation und setzen diesen Modus des stückweisen Wissensaufbaus weiter fort. Damit zementieren sie das bisherige Wissen ebenso wie den Modus der Argumentation. Doch das in den Lehrveranstaltungen vermittelte Bild einer Experimentalphysik, die nur zur Validierung der Theorie dienen würde, greift in der Praxis zu kurz.³⁰ Der Praxisschock, den viele DiplomandInnen erleiden, wenn sie im Rahmen ihrer experimentellen Diplomarbeit zum ersten Mal selbst auf experimentellem Wege so etwas wie Erkenntnis oder neues Wissen produzieren und zur Disposition stellen sollen, mag auch eine Folge der Vermittlung dieses linearisierten Lehrstils sein, der mit abgesichertem Wissen aufwartet und die Erkenntnisproduktion als harmonisierte, geglättete Entdeckungsgeschichte präsentiert.

Die Interviewten rekurrieren in ihren Aussagen über den Sinn und das Prinzip der Physik immer wieder auf positivistische Paradigmen der Erkenntnistheorie, denen die Wissenserzeugung in der Physik ihrer Ansicht nach folgt. So wurde sichtbar, wie die rationalistischen Erklärungsmuster, die für die Interviewten die Grundlagen ihrer Arbeit bilden, bis in die kulturellen Praktiken hineinwirken und diese gestalten und beeinflussen. Ohne den Glauben an eine objektive Unterscheidung von richtigen und falschen Behauptungen über die Naturgesetze würde beispielsweise das Ritual der Fehlersuche keinen Sinn ergeben; es wäre nicht möglich, linear den zu vermittelnden Lehrstoff in Form eines inszenierten Erkenntnisprozesses zu vermitteln, bei dem das neue Wissen auf jeweils zuvor abgesi-

chertem und eindeutig auf seine Richtigkeit hin kontrolliertem Wissen aufgebaut wird. Für erfolgreiche Prüfungen müsste es weitere Bewertungskriterien geben als das Verständnis von den in den Lehrveranstaltungen behandelten Naturgesetzen.

Forschungen, die auf einem konstruktivistischen Ansatz fußen, etwa die Laborstudien, haben die Haltbarkeit des positivistischen Paradigmas für die reale Praxis der physikalischen Erkenntnisproduktion angefochten, nachdem sie die Aufmerksamkeit auf den Entstehungsprozess von Wissen gelenkt und gezeigt haben, wie sehr wissenschaftliches Wissen ein Produkt der lokalen, kontingenten Bedingungen der jeweiligen Forschungssituation ist. Knorr-Cetinas Studie über die Fabrikation von Erkenntnis, wie sie es nennt, zielt auf einen »Wissensbegriff ab, der naturwissenschaftliche Resultate nicht nur als historisch-sozial eingebettet ansieht, sondern auch als konkret im Labor konstruiert« (Knorr-Cetina 1991, 21). Vor diesem Hintergrund mag es gar nicht mehr erstaunen, wenn positivistische Vorstellungen sich eher beim theoretischen Raisonieren über das Wesen der Physik finden lassen, die Interviewten sich aber beim Erzählen über ihren Forschungsalltag als pragmatische Realisten zeigen.

ANMERKUNGEN

¹ Deutsche Physikalische Gesellschaft 2001, 1. Herausgegeben wurde diese Denkschrift im Jahr 2000 von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft anlässlich des so genannten »Jahres der Physik«, das von der Bundesministerin für Bildung und Forschung in Deutschland ausgerufen wurde.

² Gebiete der experimentellen Physik behandeln unter anderem folgende Studien: Galison 1987; Pickering 1984; Buchwald 1995; Traweeck 1988.

³ Latour / Woolgar 1979; Knorr-Cetina 1984; Knorr-Cetina 1988; Knorr-Cetina 1996. Eine Laborstudie zu theoretischer Physik ist die von Merz / Knorr-Cetina 1987.

⁴ Zum Konzept des Habitus siehe etwa Bourdieu 1993a, sowie den Beitrag von Markus Arnold S. 22ff.

⁵ Francis Bacon, der als einer der theoretischen Begründer und Programmatiker der modernen Wissenschaft gilt, umschreibt mit einer ähnlichen Rhetorik das Ideal der Naturforschung, wobei er darüber hinaus die Beherrschung der Natur fordert. Eine Analyse von Bacons Rhetorik bietet Merchant 1987, 177-190.

⁶ Dieser Widerspruch bildete auch einen der Ausgangspunkte für Andrew Pickering's Analyse des physikalischen Experimentierens. Pickering bezieht sich allerdings nur auf die deterministische Haltung der Physiker, laut der die Physik behauptet, die Wahrheit über die Natur zu entdecken: »The scientist legitimates scientific judgments by reference to the state of nature.« (Pickering 1984, 8).

⁷ Siehe auch Huber / Liebau 1985, 334.

⁸ Siehe etwa das Eingangszitat der Einleitung.

⁹ Vgl. Kapitel 2 im Beitrag zur Geschichte von Martin Schmid (S. 167ff.).

¹⁰ Mit X ist der Lehrveranstaltungsleiter, den er vertritt, gemeint.

¹¹ Paraphrasiert nach Heintz 2000, 163.

¹² Siehe hierzu auch den Artikel von Terry Shinn über soziale und kognitive Hierarchien in Phasen kognitiver Kontroversen (Shinn, 1988).

¹³ Vgl. Kapitel 4a im Beitrag zur Literaturwissenschaft von Marie Glaser (S. 143ff.).

¹⁴ Der Bezeichnung »Flirt« für das Verhältnis beider Disziplinen stammt von Heintz 2000, 197.

¹⁵ Traweek 1988, 76. Traweeks Studie fokussiert auf das Fachgebiet der Hochenergiephysik, ihre Beschreibungen über die frühe Studienphase beschränken sich aber noch nicht auf die Teilchenphysik, da auch Hochenergiephysiker das gleiche Ausbildungsstadium durchschritten haben wie die hier interviewten Studierenden.

¹⁶ Traweek identifiziert die Angst vor dem Ungenügendsein, vor dem fachlichen Versagen als zentrale Angst der Studierenden.

¹⁷ Der Begriff des »tacit knowledge« stammt von Polanyi. In Polanyi (1985) bedient er sich bei der Argumentation einiger Anleihen aus der Gestaltpsychologie. Collins differenziert Polanyis »tacit knowledge« in »manual and perceptual skills« and »cultural skills«, von denen für unseren Ansatz die kulturelle Komponente des tacit knowledge die entscheidende ist (Collins 1990, 106-110).

¹⁸ Die AutorInnen analysieren die Bedeutung des *tacit knowledge* für die Physik anhand einer Studie über Studierende höherer Fachsemester.

¹⁹ Dort heißt es: »This suggests that a participant in the flow of knowledge here was not simply a carrier of packages of information but a part of a small scientific culture.« (Collins 1999, 106).

²⁰ Lucht findet in den Aussagen ihrer Interviewpartner ebenfalls ein Verständnis von Physikgeschichte, »in welchem Physik sich weiterentwickelt durch aufeinander aufbauende Erkenntnisse einzelner herausragender Physiker, deren [...] Namen mit mathematischen Formeln, physikalischen Phänomenen [...] in einen Zusammenhang gestellt werden.« (Lucht 2001, 192).

²¹ Huber hält die Prüfungen dafür »geeignet, die fachspezifischen Komponenten des Habitus auszuprägen bzw. KandidatInnen, die ihn nicht zeigen, herauszuprüfen.« (Huber 1990b, 152).

²² Siehe auch Huber 1990b, 151.

²³ Vgl. Kapitel 4 im Beitrag zur Geschichte von Martin Schmid (S. 169ff.).

²⁴ Vgl. Kapitel 4b im Beitrag zur Literaturwissenschaft von Marie Glaser (S. 144ff.).

²⁵ Traweek hat die Analyse der emotionalen Befindlichkeiten, die in der Physik eine besondere Wertschätzung genießen, auch wenn sie nie offen eingestanden werden – wie Wettbewerb, Aggressivität, Unabhängigkeit –, auch für die darauf folgenden Ausbildungsschritte der Physik durchgeführt. Sie kommt zu dem Schluss, dass sich die Bedeutung dieser emotionalen Grundhaltungen eher noch verstärkt als verläuft.

²⁶ Siehe auch Knorr-Cetina 1988, 97.

²⁷ Petra Lucht hat eine hierarchische Beziehung zwischen beiden Subcommunities feststellen können (Lucht 2001, 182).

²⁸ Der Frauenanteil unter den Physikstudierenden im deutschsprachigen Raum beträgt etwa 12%.

²⁹ In Schriften, die innerhalb der Community zirkulieren, etwa Verbandsorganen, wird mit der geschlechtsspezifischen Bezeichnungsweise zumeist so umgegangen, dass bei der ersten Erwähnung von »Physikern« eine Fußnote angebracht wird, die besagt, dass bei der verwendeten (männlichen) Formulierung auch weibliche Personen subsumiert werden. Ob dieses Verfahren geschlechterdemokratisch optimal ist, ist allerdings auch innerhalb der Community ein Streitpunkt.

³⁰ Siehe dazu Pickering 1984, 3-20.