



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

“Astronomie als integraler Bestandteil des Physikunterrichts
am Beispiel der Spektroskopie“

Verfasserin

Sarah Hurt

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 190 344 412

Studienrichtung lt. Studienblatt: Lehramtsstudium UF Englisch UF Physik

Betreuer: Doz. Dr. Franz Embacher

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Menschen ganz herzlich bedanken, ohne die ich mein Studium und diese Diplomarbeit nicht so erfolgreich abschließen hätte können:

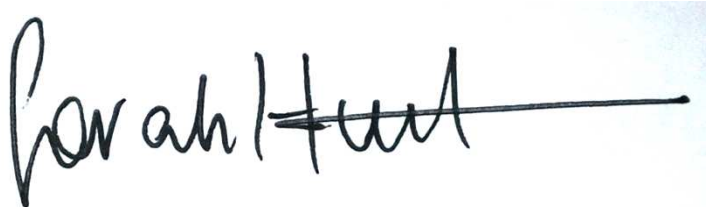
- Meiner Familie und meinem Freund Johannes
- Meinen Freunden
- Meinem Betreuer Franz Embacher
- Allen LehrerInnen und SchülerInnen, welche die von mir konzipierte Unterrichtseinheit ausgetestet haben

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 19.04.2013

Unterschrift

A handwritten signature in black ink on a light blue background. The signature is written in a cursive style and appears to read "Parah Huet". The signature is followed by a long horizontal line that extends to the right.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Pädagogischer und fachdidaktischer Hintergrund.....	9
Schlüsselbegriffe der Unterrichtseinheit	9
Bezug zum AHS- Lehrplan Physik Oberstufe [7]	9
Trainierte Kompetenzen laut „österreichisches Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8.Schulstufe“	10
Anforderungsniveau	11
Schülvorstellungen/ hinderliche Fehlvorstellungen	11
Rahmenbedingungen im Unterricht.....	13
Sozialform	13
3. Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“	15
3.1 Das elektromagnetische Spektrum	15
3.2 Spektroskopie	18
Emission und Absorption von Licht.....	20
Sternspektren	31
Das Fraunhofer-Spektrum	37
Bedeutung der Spektroskopie	43
4. Arbeitsaufgaben – Answererwartungen	45
5. Bauanleitung für das Spektroskop.....	52
Lehrerzusatz.....	56
6. Die Funktionsweise des Handspektroskops	59
6.1 Die CD	59
Interferenz	61
Beugung mit weißem anstatt monochromatischem Licht	63
Die CD als Reflexionsgitter	65
Der Unterschied zwischen einem Doppelspalt und einem Gitter	66
6.2 Der Spalt	66
Zeitliche Kohärenz	68
Räumliche Kohärenz	71
Auflösung des Spektroskops	78

7. Empirische Austestung der Unterrichtseinheit.....	80
7.1 Durchführung der empirischen Untersuchung	80
Organisation der Testschulen	80
Das Leitfadeninterview als empirische Methode	81
Auswertung der Interviews	82
7.2 Analyse der Daten	83
Entwurf der Unterrichtseinheit.....	83
Durchführung der Unterrichtseinheit	84
Astronomie im Physikunterricht	97
Zusammenfassung der Ergebnisse.....	99
Abstract (Deutsch).....	100
Abstract (Englisch).....	101
Literaturverzeichnis.....	102
Abbildungsverzeichnis	106
Tabellenverzeichnis.....	106
Lebenslauf	107
Anhang	108
Anhang 1.....	108
Anhang 2.....	110
Anhang 3.....	121
Anhang 4.....	127
Anhang 5.....	134
Anhang 6.....	145
Anhang 7.....	149

1. Einleitung

„Keine von beiden Wissenschaften, Astronomie und Physik, kann ohne die andere zur Vollkommenheit gelangen.“

Johannes Kepler in [1]: 4

Da ich schon immer an der Natur der Dinge interessiert war, bin ich der Physik als Wissenschaft schon lange zugetan. Aus meinem Alltag kann ich aber leider berichten, dass Physik ein abschreckendes Fach für viele SchülerInnen, aber auch Erwachsene ist. Dies gilt allerdings nicht für das Gebiet der Astronomie, die sich in der Bevölkerung meiner Meinung nach großer Beliebtheit erfreut.

Dass das Interesse an Astronomie grundsätzlich von Seite der SchülerInnen gegeben wäre, zeigt zum Beispiel eine Studie von Artraud Heidrun Bacher, die diese im Rahmen ihrer Dissertation an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck durchführte [2]. Sie befragte 39 OberstufenschülerInnen aus Tirol in Kurzinterviews von zehn Minuten zu ihrer Motivation für die Astronomie. Die komplexen Auswertungen von Bacher, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann, zeigen, dass bei diesen Interviews der Grundwert „Interesse“ am häufigsten genannt wird. Bacher weist darauf hin, dass dieses Interesse existiert, weil die SchülerInnen selbst nichts darüber wissen: „[Interesse] Ja, weil ich eben nichts darüber weiß.“ [2]:70. Zusätzlich hebt sie hervor, dass Aussagen über Astronomie wie „Ich schaue mir Dokumentationen im Fernsehen [Medien] eigentlich immer an.“ oder „Es hat mich interessiert, darum habe ich mich in der Freizeit damit beschäftigt.“, unterstreichen, dass SchülerInnen an Astronomie interessiert wären [2]: 43.

Dieses Interesse muss allerdings oft außerhalb des Unterrichts befriedigt werden, weil astronomische Inhalte in den österreichischen Lehrplänen stark vernachlässigt werden, wie Sarah Mirna in ihrer Diplomarbeit deutlich aufzeigt [3]. Auch sie weist darauf hin, dass SchülerInnen meist eine große Wissensbegierde im Gebiet der Astronomie mitbringen, der aber in den Schulen nur selten nachgekommen wird. Im Zuge ihrer Diplomarbeit zeigt sie verschiedene Möglichkeiten auf, wie Astronomie in den Unterricht integriert werden kann. Unter anderem thematisiert sie die schlechten Ergebnisse der PISA-Studie und weist auf die

Schlüsselrolle hin, die Astronomie einnehmen könnte, um die verschiedenen Wissenschaften miteinander zu verknüpfen und so das vernetzte Denken der SchülerInnen zu fördern[3]: 127.

Jedoch wurden in den letzten Jahren nicht nur Arbeiten verfasst, die das Interesse der SchülerInnen an Astronomie erheben und Unterrichtsvorschläge zu diesem Thema liefern, sondern auch Vorschläge für astronomische Beobachtungsmethoden im Rahmen des Physikunterrichts vorbringen. Diese Arbeiten zeigen auf der einen Seite, dass gute astronomische Beobachtungen nicht mehr nur Profiastronomen vorbehalten sind und sind auf der anderen Seite ein weiterer Beweis für das große Interesse an diesem Themengebiet. So wurde 2009 eine Facharbeit mit dem Thema „Spektroskopie zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und der Elementverteilung in planetarischen Nebeln“ verfasst, im Rahmen derer Andreas Gerhardus das Emissionsspektrum des Katzenaugen- und des Ringnebels mit Hilfe eines Spiegelteleskops und eines Spektrographen aufnahm [4]. 2004 wurde eine Diplomarbeit zum Einsatz einer einfachen Webcam für astronomische Beobachtungen geschrieben [5]. Außerdem wurde eine weitere Diplomarbeit mit dem Titel „Spektroskopie in der Schule“ verfasst, die damit bezüglich des Überthemas der vorliegenden Diplomarbeit sehr ähnelt [6].

Allerdings müssen für die Durchführung der in den obigen Diplom- und Facharbeiten beschriebenen Beobachtung immer Mittel zur Verfügung stehen, die in einem durchschnittlichen Physiksaal nicht vorhanden sind. So ist allen diesen Arbeiten der Einsatz eines Spiegelteleskops gemein. Jedoch kann man weder davon ausgehen, dass die meisten Schulen ein Teleskop zur Verfügung haben, noch, dass der/die LehrerIn mit diesem Gerät umgehen kann. Außerdem wurde das behandelte astronomische Themengebiet immer isoliert und nicht in den Physikunterricht eingebettet betrachtet. Dies führt dazu, dass die Behandlung des Themas im Unterricht einen zusätzlichen Zeitaufwand bedeutet und so ein anderes Themengebiet in gekürzter Form behandelt werden muss. Da die Zeit für den vorgeschriebenen Stoff im Lehrplan knapp bemessen ist, hält dies viele LehrerInnen davon ab, diese zusätzlichen Aktivitäten durchzuführen.

Im Unterschied zu den oben beschriebenen Arbeiten soll in dieser Diplomarbeit eine astronomische Beobachtungsmethode vorgestellt werden, die für alle SchülerInnen mit einfachsten Materialien durchzuführen ist und die trotzdem zu sehr anschaulichen Ergebnissen führt. Auch die Lehrkraft sollte die Mittel zur Verfügung haben, oder ohne

großen Geldaufwand zur Verfügung stellen können und alle Beobachtungen durchführen können, ohne über spezielles astronomisches Wissen zu verfügen. Darüber hinaus sollen die in der folgenden Diplomarbeit dargestellten astronomischen Beobachtungen in den Physikunterricht integriert sein und dazu dienen, ein neues physikalisches Themengebiet zu erarbeiten. Astronomie wird so *nicht als zusätzlicher Inhalt* zum Physikunterricht behandelt, sondern *als integraler Bestandteil*.

Zu diesem Zweck wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit eine Unterrichtseinheit erstellt, die das astronomische Gebiet der Spektroskopie mit dem physikalischen Bereich „Licht als Energieüberträger“ sowie der Atomphysik verbindet. Um den Einsatz der Einheit im Unterricht zu erleichtern, wird den LehrerInnen zuerst ein Überblick über den pädagogischen und fachdidaktischen Hintergrund der Einheit gegeben. Anschließend wird die Unterrichtseinheit präsentiert und es werden Answererwartungen zu den Aufgabestellungen angegeben. Im Zuge der Unterrichtseinheit müssen sich die SchülerInnen aus einfachen Mitteln ein Handspektroskop bauen. Da zur genauen Funktionsweise des Spektroskops und seiner Auflösung keine Literatur gefunden werden konnte, befindet sich in Kapitel 6 eine detaillierte Beschreibung dazu.

Der letzte Abschnitt dieser Diplomarbeit gibt einen Überblick über den empirischen Teil der Arbeit. Nach der theoretischen Erstellung der Unterrichtseinheit wurde diese von vier LehrerInnen auf den praktischen Einsatz im Unterricht getestet. In Form von Interviews gaben die Lehrpersonen Feedback zu ihren Erfahrungen mit der Unterrichtseinheit. Zum Schluss wurde die Unterrichtseinheit anhand der Rückmeldung der LehrerInnen noch einmal überarbeitet.

2. Pädagogischer und fachdidaktischer Hintergrund

Der folgende Abschnitt soll LehrerInnen einen Überblick geben, welche Inhalte die Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“ im Lehrplan abdeckt, wie diese im neuen Kompetenzmodell, das auf die Neue Matura abgestimmt ist, einzuordnen sind und mit welchen Schülervorstellungen im Unterricht zu rechnen ist.

Schlüsselbegriffe der Unterrichtseinheit

kontinuierliches Spektrum, Emissionsspektrum Absorptionsspektrum, Fraunhofer-Linien

Bezug zum AHS- Lehrplan Physik Oberstufe [7]

Folgende Fähigkeiten, Fertigkeiten, und Werthaltungen, die im Lehrplan angeführt sind, werden im Rahmen dieser Unterrichtseinheit trainiert:

- Eigenständig arbeiten können
- Diagramme interpretieren können
- Einfache Experimente planen und durchführen können
- Hypothesen entwickeln, einschätzen und diskutieren können

Hinsichtlich der „**Beiträge zu den Bildungsbereichen**“ ist die Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“ den Bereichen „Natur und Technik“ sowie „Sprache und Kommunikation“ zuzuordnen. Zum einen werden Einsichten über die Ursachen von Naturerscheinungen gewonnen und die Gesetzmäßigkeiten dahinter erklärt und zum anderen müssen die SchülerInnen in einer adäquaten Fachsprache physikalische Sachverhalte beschreiben und protokollieren.

Bei den „**Didaktischen Grundsätzen**“ leistet die Unterrichtseinheit bei den Punkten „Physik als Erlebnis“ und „Physik als Wissenschaft“ einen Beitrag, weil Natur und Technik mit dem Spektroskop persönlich entdeckt werden können und das Spektroskop als wissenschaftliches Arbeitsmittel angesehen werden kann.

Die Methoden, die in dieser Unterrichtseinheit verwendet werden, sind empirisches und erfahrungsgelitetes Lernen als auch aus authentischen Problemen Lernen. Die SchülerInnen müssen nicht nur Hypothesen bilden und sie experimentell überprüfen, sondern es wird auch die für SchülerInnen interessante Frage beantwortet, wie wir Informationen über unsere Sonne und andere Sterne gewinnen können. Außerdem wird das soziale Lernen gefördert, weil die Unterrichtseinheit am besten in Kleingruppen bewältigt wird. Auch die Mathematisierung als physikalische Arbeitsweise wird in der Unterrichtseinheit geübt und Sachverhalte werden auf verschiedenen Abstraktionsebenen (sprachlich, in Form von Diagrammen oder Bildern und mit Formeln) dargestellt. Die SchülerInnen müssen dabei selbst verschiedene Abstraktionsgrade bewältigen.

Im **Lehrstoff** ist die Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“ in der 7. und 8. Klasse anzusiedeln und es werden folgende physikalische Bildungsziele, wie im Lehrplan definiert [7], erreicht oder angeschnitten:

„Licht als Überträger von Energie begreifen und über den Mechanismus von Absorption und Emission die Grundzüge der modernen Atomphysik (Spektren, Energieniveaus, Modelle der Atomhülle, Heisenberg'sche Unschärferelation[...]) verstehen“

Trainierte Kompetenzen laut „österreichisches Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8.Schulstufe“ [8]:

Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren

Ich kann einzeln oder im Team ...

W 1 ... Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen.

Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren

Ich kann einzeln oder im Team ...

E 1 ... zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben.

E 2 ... zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.

Anforderungsniveau [8]:

N 2 Anforderungsniveau II

Sachverhalte aus Natur, Umwelt und Technik unter Verwendung der Fachsprache (inkl. Begriffe, Formeln, Reaktionsgleichungen, Modelle, ...) und der im Unterricht behandelten Gesetze, Größen und Einheiten beschreiben, untersuchen und bewerten; Kombination aus reproduzierendem und selbständigem Handeln.

Auf jeden Theorieinput folgt eine Aufgabenstellung, bei der die Schüler das eben Gelesene anwenden müssen, in eigenen Worten wiedergeben müssen etc.

Schülervorstellungen/ hinderliche Fehlvorstellungen

In dieser Unterrichtseinheit können Schülervorstellungen zu den Bereichen der Optik, Astronomie, Teilchen- und Atomvorstellung sowie zur Quantenphysik eine Rolle spielen. Da diese Einheit für eine 7. Klasse Gymnasium konzipiert ist, wird im Folgenden nur auf die Fehlvorstellungen, die in diesem Alter laut empirischen Untersuchungen noch eine tragende Rolle spielen, eingegangen.

Optik:

Untersuchungen von Claus und Wiesner haben gezeigt, dass sich die meisten SchülerInnen der 3. bis 4. Klasse nicht über die unendliche Reichweite des Lichts bewusst sind [9]: 155. Außerdem haben fast alle SchülerInnen der Primarstufe und Sekundarstufe I Probleme mit der Vorstellung zum Sehvorgang [9]: 156. In einer Befragung mit 353 SchülerInnen sagte ein Drittel aus, dass Licht nicht in unser Auge fallen muss, um Gegenstände sichtbar zu machen [9]: 161. Da in der Sekundarstufe I in Österreich Optik nur in der vierten Klasse einmal im Lehrplan vorkommt, kann man davon ausgehen, dass viele dieser Fehlvorstellungen auch noch in der Sekundarstufe II vorzufinden sind [10]. Im Rahmen dieser Einheit kann auf beide Schülervorstellungen gut eingegangen werden. Auf der einen Seite kann die Tatsache, dass wir Licht von Sternen, die sehr weit von uns entfernt sind, untersuchen können, als Beleg für die unendliche Reichweite des Lichts angeführt werden. Auf der anderen Seite müssen die

SchülerInnen für den Bau des Spektroskops den Weg des Lichts nachvollziehen und das Beobachtungsfenster für das Auge einschneiden, damit sie die Spektren beobachten können.

In der Unterrichtseinheit wird Licht meist als elektromagnetische Welle und nicht als Teilchenstrom beschrieben. Die Mehrheit der SchülerInnen akzeptiert laut Untersuchungen beide Modelle und sollte daher mit dieser Erklärung kein Problem haben [9]: 250.

Atomvorstellung:

Untersuchungen zeigen, dass SchülerInnen den Begriff „Atom“ vor allem mit „Radioaktivität“ und „Atombombe“ in Verbindung bringen [9]: 234. In der 7. Klasse Gymnasium sollte der Aufbau des Atoms laut Lehrplan schon zweimal besprochen worden sein, weshalb man davon ausgehen kann, dass die SchülerInnen schon eine differenziertere Vorstellung zu Atomen haben [10], [7]. In der Sekundarstufe I und II ist das Planetenmodell das dominierende Konzept zum Atomaufbau [9]: 235. Allerdings zeigen Untersuchungen, dass SchülerInnen den Begriff der Aufenthaltswahrscheinlichkeit, der in der Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“ eine Rolle spielt, mit dem Bahnbegriff gut vereinbaren können [9]: 239. Trotzdem sollte die Lehrperson hier verstärkt auf Fehlvorstellungen von seitens der SchülerInnen achten und diese gegebenenfalls aufgreifen.

Quantenphysik:

Der Begriff der „Wahrscheinlichkeit“ kann bei SchülerInnen zu Verständnisproblemen führen und wird oft als Ungenauigkeit im Experiment angesehen [9]: 242. Die Wahrscheinlichkeit kommt nur an einer einzigen Stelle in der Unterrichtseinheit vor um die Möglichkeiten des Elektrons im Wasserstoffatom in den Grundzustand zu springen zu beschreiben.

Befragungen zur Heisenberg'schen Unschärferelation zeigen, dass SchülerInnen diesen physikalischen Sachverhalt nicht akzeptieren und oft glauben, dass man den wahren Wert der betreffenden Größe experimentell nicht feststellen kann [9]: 247. Wird der Exkurs „Die natürliche Linienbreite“ durchgenommen, so sollte im Unterricht auf diese Fehlvorstellungen Rücksicht genommen werden.

Rahmenbedingungen im Unterricht

Die Unterrichtseinheit ist so entworfen, dass sie von den SchülerInnen selbstständig durchgearbeitet werden können sollte. Arbeitsblätter sind an den vorgesehenen Stellen eingefügt und durch die graue Unterlegung gekennzeichnet. An manchen Stellen wird auf schwierigere Themengebiete genauer eingegangen. Diese sind als *Exkurse* klar von der restlichen Einheit abgetrennt und als Zusatzinformationen für interessiertere und schnellere Schüler gedacht. Da die SchülerInnen selbstständig arbeiten können, sollte es jedem/r SchülerIn möglich sein in seinem/ ihrem eigenen Tempo arbeiten zu können. So soll auch eine eigenständige Differenzierung der SchülerInnen stattfinden. Zwischenbesprechungen seitens der Lehrperson sind jedoch auch in diesem Konzept unerlässlich. Die Aufbereitung des Stoffes ist lediglich als ein Vorschlag für die Aufbereitung im Unterricht zu verstehen.

Sozialform

Die Sozialform, die für die Umsetzung der Einheit im Unterricht verwendet wird, ist jedem Lehrer selbst überlassen und die empirische Austestung (siehe 7. *Empirische Austestung der Unterrichtseinheit*) hat gezeigt, dass es viele Methoden gibt, diese durchzuführen. Partnerarbeit oder Kleingruppen werden allerdings empfohlen.

Der Text von Kapitel 3, Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“, und Kapitel 5, Bauanleitung für das Spektroskop, richtet sich an SchülerInnen und ist daher mittels der „Du-Form“ direkt an sie adressiert. Weiters ist in den Texten angenommen, dass die SchülerInnen in Zweierteams arbeiten, d.h. an mehreren Stellen wird auf gemeinsame Aktivitäten mit dem/der PartnerIn verwiesen. Am geeignetsten wäre es, wenn allen SchülerInnen die Unterlagen zu der Unterrichtseinheit und die Bauanleitung in Papierform bereit gestellt werden würden. Kann dies auf Grund der zu hohen materiellen Kosten nicht gewährleistet werden, sollten die SchülerInnen auf jeden Fall Kopien mit den Arbeitsaufgaben erhalten. Für den Bau des Spektroskops müssen die SchülerInnen selbst ein großes Kartonstück, beispielsweise eine Cornflakesschachtel, eine CD, eine scharfe Schere, einen schwarzen Textmarker, ein Stanleymesser und ein Geodreieck mitbringen. Um mit dem Spektroskop

verschiedene Spektren sehen zu können, sollte die Lehrperson vorher sicherstellen, dass unterschiedliche Lichtquellen für die Beobachtung zur Verfügung stehen.

3. Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“

In dieser Unterrichtseinheit wirst du lernen, wie man über verschiedenste Lichtquellen (sowohl über Energiesparlampen, als auch über unsere Sonne und weit entfernte Sterne unserer Milchstraße) viel Information bekommen kann, indem man ihr Licht analysiert. Nimm als Einstieg in diese Unterrichtseinheit deine mitgebrachte CD heraus und bearbeite die folgenden Fragestellungen:

Material: CD

Betrachte gemeinsam mit deinem Partner die schillernde Rückseite der CD im Sonnenlicht oder im Licht einer Lampe. Drehe die CD in verschiedene Richtungen. Was beobachtest du?

Was denkst du, woher kommen die Farben, die du auf der CD sehen kannst?

3.1 Das elektromagnetische Spektrum

Der farbige Streifen, den man sieht, wenn man auf die CD blickt, wird, wie du wahrscheinlich schon weißt, Spektrum genannt. *Abbildung 1* zeigt das Spektrum an einer CD.

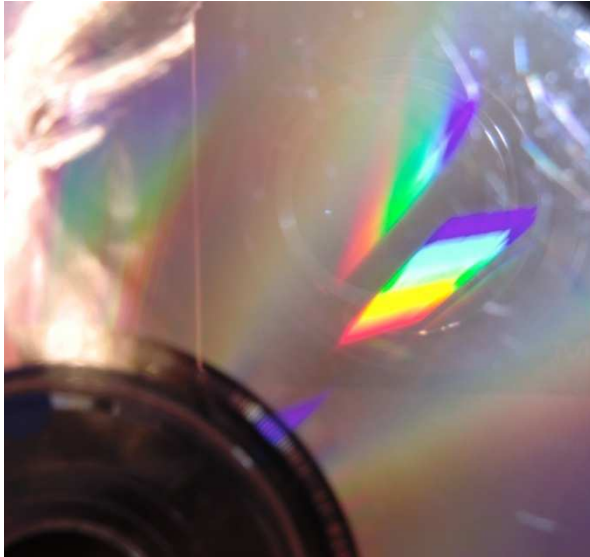


Abbildung 1– Spektrum an einer CD

Das weiße Licht unserer Sonne enthält alle diese Farben, die sogenannten Spektralfarben. Zusammen ergeben diese Farben das uns bekannte weiße Licht. Mithilfe der CD wird dieses Licht offenbar in seine Bestandteile, die Spektralfarben, aufgespalten. Vereinfacht gesagt, stellen dabei die Rillen der CD, auf denen die Information gespeichert ist, eine Art Gitter dar, an der das Licht gebeugt, das heißt abgelenkt, wird. Da die Beugung für die unterschiedlichen Wellenlängen (= Farben) unterschiedlich stark ist, wird das Licht so in die Spektralfarben aufgespalten. In *Abbildung 2* ist die Aufspaltung des weißen Lichts in die Spektralfarben für ausgewählte Strahlenbündel der Sonne schematisch dargestellt.

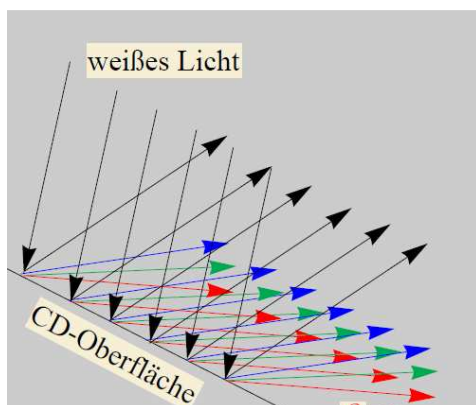


Abbildung 2 – Aufspaltung des weißen Lichts an der CD- Oberfläche

Das sichtbare Licht ist physikalisch gesehen eine elektromagnetische Welle [11]: 115. Rotes Licht ist langwellig und hat eine Wellenlänge von 750 nm. Violette Licht hat die kleinste Wellenlänge mit 380 nm. Allerdings umfasst das sichtbare Licht nur einen winzigen Ausschnitt des gesamten elektromagnetischen Spektrums. Das heißt, es gibt elektromagnetische Wellen mit längeren und kürzeren Wellenlängen als das sichtbare Licht. Diese sind zwar für unser Auge nicht sichtbar, wir können manche Wellenlängen allerdings trotzdem wahrnehmen und von ihnen Gebrauch machen. *Abbildung 3* gibt einen Überblick über die Gesamtheit aller elektromagnetischen Wellenlängen.

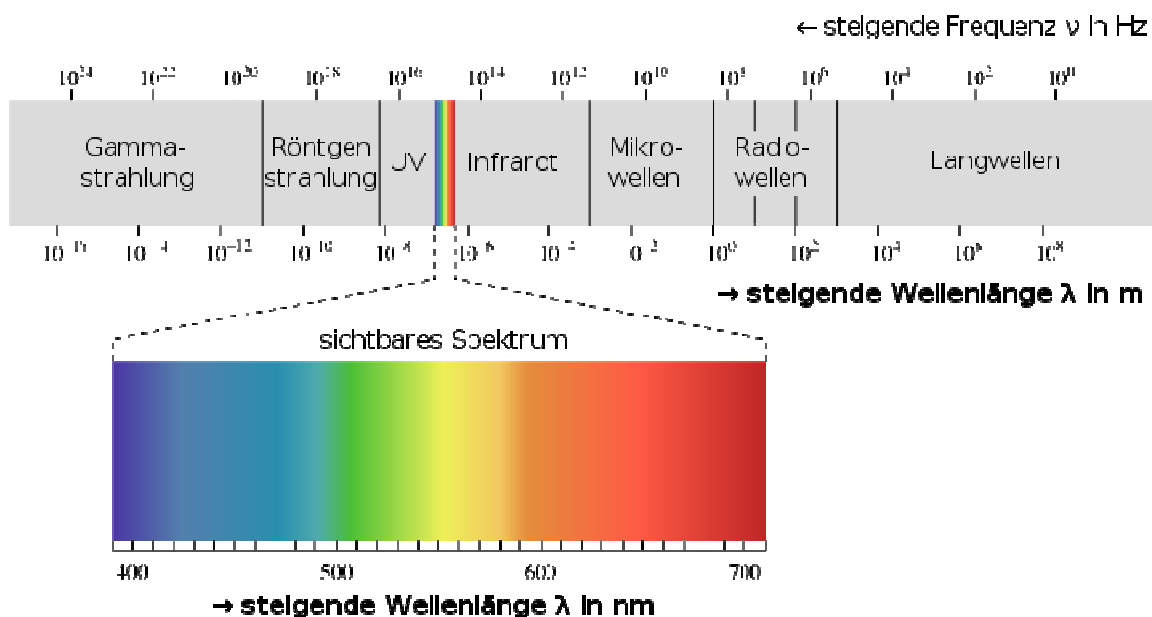


Abbildung 3 – Das elektromagnetische Spektrum[12]

Die **Radiowellen** haben eine Wellenlänge von 10 cm bis 100 km und übertragen die Signale für das Radio und das Fernsehen [11]: 115. Die **Mikrowellen**, die eine Wellenlänge bis 1 mm haben, werden nicht nur im Mikrowellenherd eingesetzt, um Essen zu erwärmen, sondern auch im Mobilfunkbereich, bei GPS und WLAN. An diesen Bereich schließt die **Infrarotstrahlung** (1mm bis 780 nm) an. Trifft diese Strahlung auf unseren Körper, so wird sie von uns als Wärme wahrgenommen. Infrarotstrahlung wird allerdings auch für die Steuerung von Geräten mittels Fernbedienung eingesetzt und um die Güte der Wärmeisolierung von Häusern zu überprüfen. Dazu werden mit speziellen Wärmebildkameras Aufnahmen der Gebäude gemacht um zu sehen, wo viel Wärmeaustausch

mit der Umgebung stattfindet. An die Infrarotstrahlung schließt der kleine Bereich des **sichtbaren Lichts** an. Wellen, die kürzer sind als 380 nm und länger als 10 nm, werden als **Ultraviolettstrahlung** (UV-Strahlung) bezeichnet. Diese Strahlen sind für das Bräunen unserer Haut bei Sonneneinwirkung verantwortlich. Allerdings beginnt bei Strahlung ab dieser Wellenlänge auch der Bereich, der schädlich für unsere Haut ist. Die Energie der Strahlung ist groß genug, um Moleküle zu spalten und so lebende Zellen zu schädigen. **Röntgenstrahlung** reicht von 10 nm bis 0,001 nm und wird vor allem in der Medizin verwendet um den menschlichen Körper zu durchleuchten und so Knochen sichtbar zu machen. Wegen ihres hohen Kalziumgehalts heben sich die Knochen von dem umgebenden Gewebe bildlich ab. Strahlung, die eine noch geringere Wellenlänge hat, wird als **Gammastrahlung** bezeichnet. Gammastrahlung trifft unter anderem aus dem Weltraum auf die Erde, sie entsteht aber auch beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen. Sie ist sehr energiereich und kann das menschliche Gewebe daher erheblich schädigen.

Besprich nun mit deinem Partner, wie sich deine Annahmen über die Ursache der Farben, die man auf der CD sieht, durch das eben Gelesene verändert haben und schreibe die Erklärung hier nochmals in deinen eigenen Worten nieder. (Verwende die Wörter *elektromagnetisches Spektrum* und *sichtbares Licht*!)

3.2 Spektroskopie

Die Gesamtheit aller Wellenlängen, die eine Lichtquelle aussendet, wird im Allgemeinen als ihr Spektrum bezeichnet [13]: 280. Die beiden Physiker G. Kirchhoff und R. W. Bunsen entdeckten 1859, dass jedes Element, wenn man ihm zum Beispiel durch Erhitzen Energie zuführt, ein charakteristisches (einzigartiges) Spektrum aussendet. Daher wird das Spektrum eines Elements auch oft als dessen Fingerabdruck bezeichnet. Man kann also vom Spektrum eines leuchtenden Gegenstandes auf die chemischen Elemente in diesem Stoff schließen. Diese Methode um die Bestandteile eines Stoffes herauszufinden, nennt man **Spektroskopie**.

Mithilfe der Spektroskopie kann man so auch viele Informationen über den inneren Aufbau der Sonne gewinnen. Dazu ist ein Gerät namens **Spektroskop** nötig, das es erlaubt, Spektroskopie zu betreiben. Ein solches Gerät baust du dir nun selbst, um das Licht unserer Sonne zu untersuchen. Frage deine Lehrperson nach der Bauanleitung für das Handspektroskop.

Wenn du das Spektroskop fertig gebaut hast, kannst du nun die Spektren verschiedener Lichtquellen (Energiesparlampe, LED, Halogenlampe, Glühlampe, LCD-Bildschirm, Röhrenfernseher, Sonne) damit untersuchen. Wie erwartest du, dass diese ausschauen? Gibt es Unterschiede zwischen den Spektren, wenn ja, welche? Begründe!

Untersuche nun die Spektren der unterschiedlichen Lichtquellen mit deinem Spektroskop. Versuche die Spektren der jeweiligen Lichtquelle zu beschreiben! Achte dabei besonders auf die (fehlenden) Farben(=Wellenlängen) der jeweiligen Spektren!

Lichtquelle	Spektrum

Schau dir nun das Spektrum des Sonnenlichts ganz genau an. Siehst du einen Unterschied zu dem Spektrum auf der einfachen CD?

Überlege: Das elektromagnetische Spektrum bezeichnet die Gesamtheit der elektromagnetischen Wellen aller Energien. Was kannst du auf Grund dieser Tatsache über die Lichtaussendung der verschiedenen Energiequellen aussagen? (Senden alle Lichtquellen alle Energien lückenlos aus?)

Wie würdest du die Spektren kategorisieren (einteilen)?

Im Allgemeinen kann man zwei Arten von Spektren unterscheiden. Sind alle Wellenlängen vorhanden, so spricht man von einem **kontinuierlichen Spektrum**. Ein solches kontinuierliches Spektrum wird beispielsweise von einer Kerze oder einem leuchtenden Metall (wie dem Wolframdraht in den alten Glühlampen) ausgesendet. Gibt es im Spektrum allerdings Linien besonders starker oder schwacher Intensität, so spricht man von einem **Linienpektrum**. Dieses lässt sich wiederum in zwei Kategorien unterteilen: das Emissionsspektrum und das Absorptionsspektrum. Wie diese beiden entstehen und wie sie sich unterscheiden wird im nächsten Kapitel behandelt.

Emission und Absorption von Licht

Die folgenden beiden Unterkapitel zum Emissions- und Absorptionsspektrum bauen auf Putz [11]: 120-125 und Kaler [14]: 55-60 auf.

Das Emissionsspektrum

Als Basis für unsere Überlegungen, wollen wir von folgender Atomvorstellung ausgehen:

- Atome bestehen aus einem positiv geladenen Kern.
- Die negativ geladenen Elektronen befinden sich in der Hülle des Atoms und umgeben den Kern. Sie nehmen nur bestimmte Energieniveaus ein.

Diese „erlaubten“ Energieniveaus bestimmen gemeinsam mit anderen Faktoren die Quantenzustände eines Elektrons. Andere Energieniveaus können von den Elektronen nicht besetzt werden. Man sagt auch: die Energie ist quantisiert. Elektronen können von einem Energieniveau zum anderen wechseln, indem sie Strahlung (zum Beispiel in Form von

Lichtteilchen=Photonen) absorbieren (verschlucken) oder emittieren (aussenden). Dieser Vorgang ist in *Abbildung 4* schematisch dargestellt.

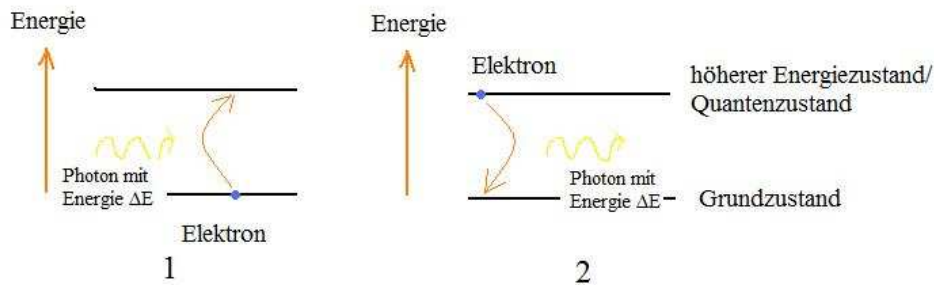


Abbildung 4 – Energieniveaus eines Atoms

Meistens befinden sich die Elektronen im Zustand mit der niedrigsten Energie, dem Grundzustand. Durch Zuführung von Energie (beispielsweise durch Absorption elektromagnetischer Strahlung) können sie auf höhere Energiezustände gehoben werden. Diese sogenannten angeregten Zustände sind jedoch nicht stabil und die Elektronen kehren so unter der Abgabe von elektromagnetischer Strahlung wieder in den Grundzustand zurück. Die Energie des Photons, das dabei ausgesendet wird, entspricht genau der Differenz zwischen den Energien der beiden Quantenzustände. Diese Energiedifferenz lässt sich mit der Bohr'schen Frequenzbedingung beschreiben, die Frequenz der emittierten Strahlung steigt mit der Energiedifferenz proportional an:

$$\Delta E = h * f \quad \text{Formel 1}$$

ΔE ... Energiedifferenz der beiden Quantenzustände
h ... Planck'sches Wirkungsquantum
f ... Frequenz

Das Wasserstoffspektrum

Das Wasserstoffatom besitzt nur ein Proton im Kern und ein Elektron in der Hülle und hat somit den einfachsten Atomaufbau und den einfachsten Satz von erlaubten Quantenzuständen. Eine genaue Darstellung über die möglichen Quantenzustände eines Atoms soll sich daher im Folgenden exemplarisch auf das Wasserstoffatom beschränken.

Normalerweise hält sich das einzige Elektron des Wasserstoffs im Zustand mit der niedrigsten Energie auf, dem Grundzustand, der symbolisch mit $n=1$ bezeichnet wird. Jedoch kann das Elektron, wie oben bereits beschrieben, durch Zufuhr von Energie auch auf höhere Energieniveaus springen. Diese energetisch höheren erlaubten Zustände werden mit $n=2,3,4,\text{etc.}$ bezeichnet. Das positiv geladene Proton im Kern zieht das negativ geladene Elektron an. Daher muss man Energie aufbringen, wenn man das Elektron in einen höheren Quantenzustand heben will. Diese Energie wird Anregungsenergie genannt. Die Energie, die man braucht um das Elektron auf in den nächsten Quantenzustand zu heben, nimmt für höhere Quantenzustände immer weiter ab. Dies hat zwei Ursachen: Erstens wird die Anziehungskraft des Protons mit zunehmendem Abstand vom Kern kleiner und zweitens liegen die Energien der höheren Quantenzustände immer näher beieinander (siehe *Exkurs: Die Rydberg- Ritz Formel, S. 26*). Das bedeutet, dass der Übergang vom Grundzustand $n=1$ in den Zustand $n=2$ sehr viel mehr Energie benötigt, als der Übergang von $n=2$ nach $n=3$. *Abbildung 5* zeigt die möglichen Energiezustände des Elektrons im Wasserstoffatom. Dabei ist die Anregungsenergie nach oben aufgetragen. Man kann deutlich erkennen, dass die Anregungsenergie von einem Quantenzustand zum nächsten nach oben hin immer kleiner wird, bis diese alle auf eine Grenze zulaufen. Diese Energie wird Ionisationsenergie genannt. Es ist die Energie, die man braucht, um das Elektron dem Atom völlig zu entreißen.

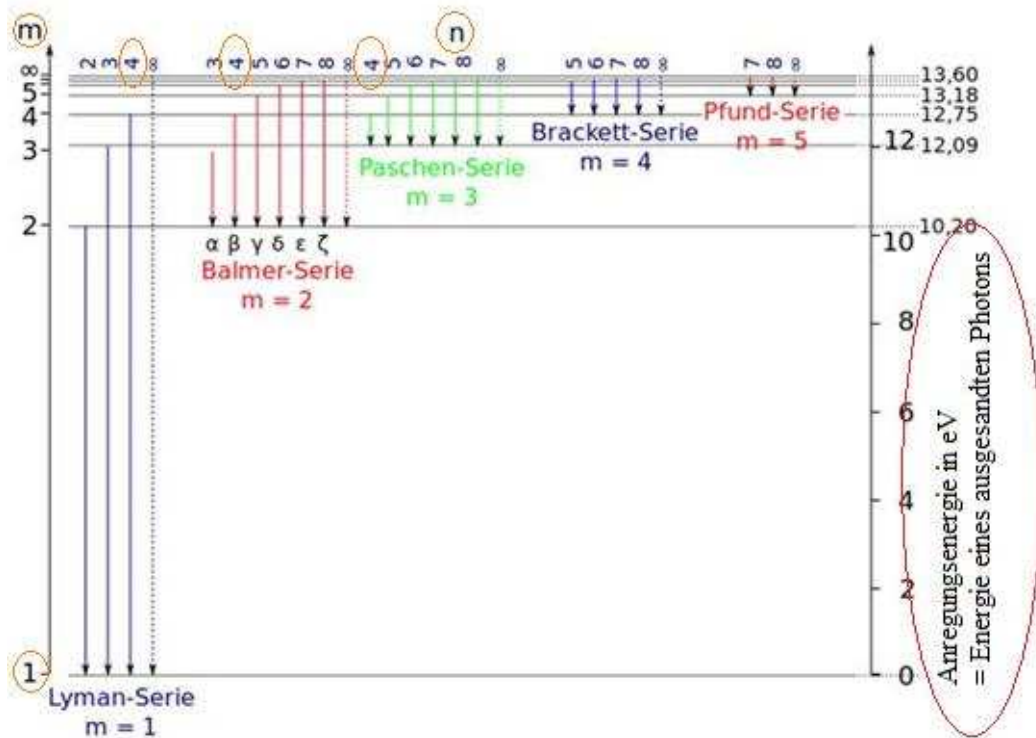


Abbildung 5 – Termschema des Wasserstoffatoms, vgl[15]

Die Anregungsenergie, die das Elektron in einen höheren Zustand hebt, kann zum Beispiel durch die Absorption eines Photons oder durch den Zusammenstoß mit einem Nachbaratom kommen. Angenommen, ein Elektron befindet sich nun durch Zufuhr von Energie im zweiten Energiezustand. Da jedes System in der Natur den Zustand kleinstmöglicher Energie anstrebt, wird das Elektron nach nur sehr kurzer Zeit wieder in den Grundzustand zurückkehren. Dabei wird die Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen $n=2$ und $n=1$ wieder frei und es wird ein Photon mit genau dieser Energie ausgesendet. Aus *Abbildung 5* kann die nötige Anregungsenergie für die verschiedenen Quantenzustände abgelesen werden und so kann man mit der Bohr'schen Frequenzbedingung die Frequenz und die Wellenlänge der emittierten Strahlung berechnen. Auf der vertikalen Achse ist die Energie in der Einheit Elektronvolt (eV) angegeben. Sie wird verwendet, weil die Energien im atomaren Bereich sehr klein sind und als die Energiemenge definiert, um welche die kinetische Energie eines Elektrons bei einer Beschleunigungsspannung von 1 Volt zunimmt. Es gilt: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Als Berechnungsbeispiel soll an dieser Stelle die Frequenz und die Wellenlänge des so genannten α -Übergangs der Balmer-Serie berechnet werden, also vom Energieniveau E_3 zum Niveau E_2 .

$$\Delta E = E_3 - E_2 = 12,09\text{eV} - 10,20\text{eV} = 1,89\text{eV}$$

$$\Delta E = 1,89 * 1,6 * 10^{-19} \approx 3 * 10^{-19}\text{J}$$

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{3 * 10^{-19}\text{J}}{6,6 * 10^{-34}\text{Js}} = 0,46 * 10^{15}\text{s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8\text{m/s}}{0,46 * 10^{15}\text{s}^{-1}} \approx 652 * 10^{-9}\text{m} = 652\text{nm}$$

Das Ergebnis der Rechnung stimmt mit dem wahren Wert von 656,2 nm sehr gut überein. Die elektromagnetische Strahlung, die ausgesendet wird, liegt somit im sichtbaren Bereich und wird vom Menschen als rot empfunden.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Elektronen nicht immer auf direktem Weg in den Grundzustand zurückkehren. Befindet sich ein Elektron beispielsweise im Zustand n=4, so hat es drei Möglichkeiten, in den Grundzustand m=1 zurückzukehren. Es kann entweder den direkten Weg nehmen oder aber es kehrt über „Zwischenstationen“, also mehrere Quantenzustände, in den Grundzustand zurück. Die folgende Aufgabe ist ein Anwendungsbeispiel dieses Termschemas.

Beschreibe die drei möglichen Wege des Elektrons von n= 4 in den Grundzustand mithilfe von *Abbildung 5*. Auf der horizontalen oberen Achse kannst du das Ausgangsenergieniveau n und auf der linken vertikalen Achse kannst du das Endenergieniveau m ablesen. Die Energie der ausgesendeten Photonen kannst du in der rechten vertikalen Achse in Elektronenvolt eV ablesen. Zur besseren Orientierung sind die für dich wichtigen Informationen in der Grafik rot eingekreist. Die Wellenlänge der Photonen kann anschließend analog zu dem obigen Rechenbeispiel ermittelt werden. (Die Ergebnisse können anschließend mit der **Rydberg-Ritz-Formel** überprüft werden, siehe *Exkurs*, S. 26

	Möglichkeit 1	Möglichkeit 2	Möglichkeit 3	Möglichkeit 4
Weg des Elektrons				
Energie des/der ausgesendeten Photons/Photonen				
<i>Freiwillige Aufgabe:</i> Wellenlänge der ausgesendeten Photonen				

Man kann nicht vorhersagen, welchen der drei möglichen Wege das Elektron nehmen wird. Man kann lediglich eine Wahrscheinlichkeit dafür angeben, welchen Weg das Elektron nehmen wird.

Wie wir zuvor gezeigt haben, wird bei jedem Übergang zweier Energiezustände Strahlung einer ganz bestimmten Wellenlänge ausgesendet, die der Energiedifferenz dieser Zustände entspricht [14]: 58. In der Spektroskopie bezeichnet man diese spezifische Strahlung als Spektrallinie oder kurz einfach als Linie eines Atoms. Da es in einem Atom viele Energieniveaus gibt, ist die Gesamtzahl der möglichen Spektrallinien sehr groß. Um Ordnung in diese große Anzahl von Linien zu bekommen, teilt man sie in sogenannte Serien ein, die sich nach dem niedrigsten beteiligten Energieniveau richten (siehe *Abbildung 5*). Beim Wasserstoffatom ist die Balmerserie die bekannteste. Bei dieser Serie ist der Endzustand der Elektronen immer $m=2$ und sie enthält die einzigen Linien, die beim Wasserstoff im sichtbaren Bereich liegen. Die Strahlung, die das Wasserstoffatom aussendet, ist bei gleichen Bedingungen immer gleich. Dies gilt nicht nur für das Wasserstoffatom, sondern für Atome allgemein. Das bedeutet, dass das Spektrum, das eine Lichtquelle aussendet, nicht nur für Wasserstoff, sondern für jedes Element einzigartig ist und sozusagen als dessen Fingerabdruck bezeichnet werden kann. *Abbildung 7* und *Abbildung 8* zeigen die Emissionsspektren von zwei anderen Elementen, Helium und Kalium. Auf Grund der Einzigartigkeit der Spektren kann man Gase eindeutig durch ihr Linienspektrum (diskretes Spektrum), also der Gesamtheit aller von den Atomen ausgesendeten Spektrallinien, charakterisieren. Bringt man das Gas zum Leuchten, so kann man die chemischen Elemente, aus denen sich das Gas zusammensetzt, eindeutig identifizieren. Dieser Vorgang wird **Spektralanalyse** genannt. Das sogenannte Emissionsspektrum des Wasserstoffs ist in *Abbildung 6* für den sichtbaren Bereich dargestellt.



Abbildung 6 – Balmer-Serie des Wasserstoffatoms,[16]



Abbildung 7 – Sichtbares Spektrum von Helium, [16]

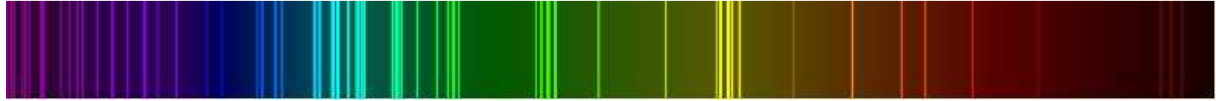


Abbildung 8 – Sichtbares Spektrum von Kalium, [17]

Glühende Festkörper und Flüssigkeiten senden ein anderes Spektrum als Gase aus. Sie senden keine diskreten Linien, sondern ein kontinuierliches Spektrum aus. Das bedeutet, dass nicht nur Strahlung bestimmter Wellenlänge, sondern alle Wellenlängen ausgesendet werden. Im sichtbaren Bereich sieht man also das gesamte Farbband. Dies geschieht auf Grund der häufigen Wechselwirkung zwischen den Atomen. Dadurch kommt es zu einer Aufspaltung und Verbreiterung der Spektrallinien. Schließlich überlappen sich die Linien und sind nicht mehr getrennt wahrnehmbar.

Exkurs: Die Rydberg-Ritz Formel

Die Balmer Serie des Wasserstoffs ist auch von besonderer physikalischer Bedeutung, weil der Schweizer Mathematiker und Mathematiklehrer Johann Balmer im Jahr 1885 für die Balmer-Serie eine physikalische Gesetzmäßigkeit fand [18]: 187:

$$\lambda_m = 364,6 \frac{n^2}{n^2 - 4} nm \quad \text{Formel 2}$$

n ... Ausgangsenergieniveau
m ... Endenergieniveau
λ_m = Wellenlänge des ausgesendeten Photons

Hierbei steht die ganzzahlige Variable n für das Energieniveau, auf dem sich das Elektron befindet, bevor es auf das Energieniveau $m= 2$, wie es für die Balmer-Serie typisch ist, springt. Balmer ging davon aus, dass die von ihm gefundene Formel ein Spezialfall eines allgemeineren Zusammenhangs zwischen den ausgesandten Wellenlängen und den Energieniveaus eines Atoms war. Schließlich fanden die beiden Physiker Rydberg und Ritz unabhängig voneinander eine Formel um die Spektrallinien verschiedener Elemente beschreiben zu können. Mit der **Rydberg-Ritz-Formel** lässt sich das gesamte Spektrum eines Elements näherungsweise vorhersagen, vorausgesetzt, dass die Rydbergkonstante für dieses Element bekannt ist:

$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ für } n > m$$

Formel 3

n ... Ausgangsenergieniveau
m ... Endenergieniveau
λ_{nm} = Wellenlänge der Energiedifferenz nm
R ... Rydbergkonstante

Wichtig ist, dass sich die Rydbergkonstante von Element zu Element leicht ändert. Für Wasserstoff hat sie einen Wert von $R_H = 1,096776 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ und nähert sich für schwere Elemente einem Wert von $R_\infty = 1,097373 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}$. So konnte man mit dieser Formel zum Beispiel für den Wasserstoff die Spektrallinien außerhalb des sichtbaren Bereichs vorhersagen (siehe *Abbildung 5*).

Formt man *Formel 3* um, so kann man auch sehen, dass der energetische Abstand zwischen den Energieniveaus (Quantenzustände) für höhere Energieniveaus immer weiter abnimmt. Prinzipiell gilt für die Energie E eines Photons:

$$E = h * f$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$E = h * \frac{c}{\lambda}$$

Einsetzen in Formel 3:

$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = \frac{E_{nm}}{h * c} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Formel 4

h ... Plack'sches Wirkungsquantum
f ... Frequenz
c ... Lichtgeschwindigkeit
E _{nm} ... Energiedifferenz zwischen n und m

Das Absorptionsspektrum

Das Emissionsspektrum beruht auf der aktiven Aussendung von Licht durch die Substanz selbst. Man kann die Spektralanalyse jedoch auch mit Absorptionsspektren durchführen. Ein Absorptionsspektrum entsteht beispielsweise, wenn man ein Gas mit einer weißen Lichtquelle durchleuchtet. Untersucht man das kontinuierliche Spektrum der weißen Lichtquelle, nachdem es das Gas durchleuchtet hat, so findet man darin dunkle Linien, sogenannte Absorptionslinien. Die Wellenlängen, die genau der Energiedifferenz zwischen zwei Quantenzuständen entsprechen, sind von den Elektronen absorbiert worden. Die Elektronen des Atoms sind so in einen höheren Energiezustand gewechselt. Diese fehlenden Wellenlängen sieht man als dunkle Linien im Spektrum. Wichtig ist, dass nur jene Photonen aufgenommen werden, deren Energie genau dem Energieunterschied zwischen zwei Zuständen entspricht. Das Gas absorbiert hier genau die Wellenlängen, die es im angeregten Zustand emittiert. *Abbildung 9* zeigt eine Gegenüberstellung des Absorptions- und Emissionsspektrum für einen spezifischen Stoff.

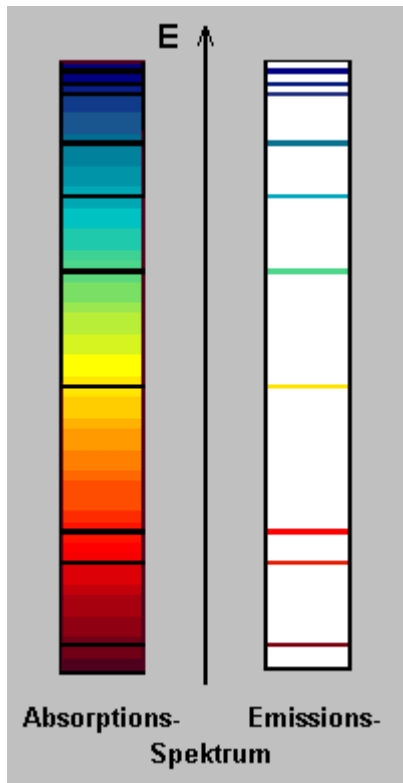


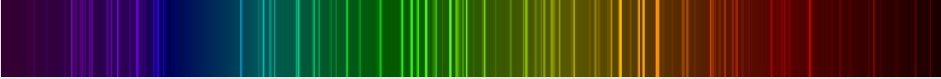
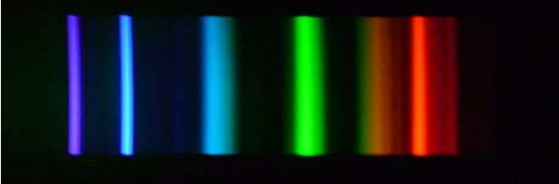



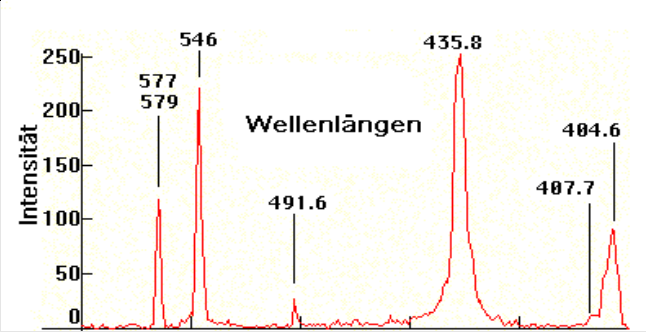
Abbildung 9– Gegenüberstellung Absorptions- und Emissionsspektrum, [19]

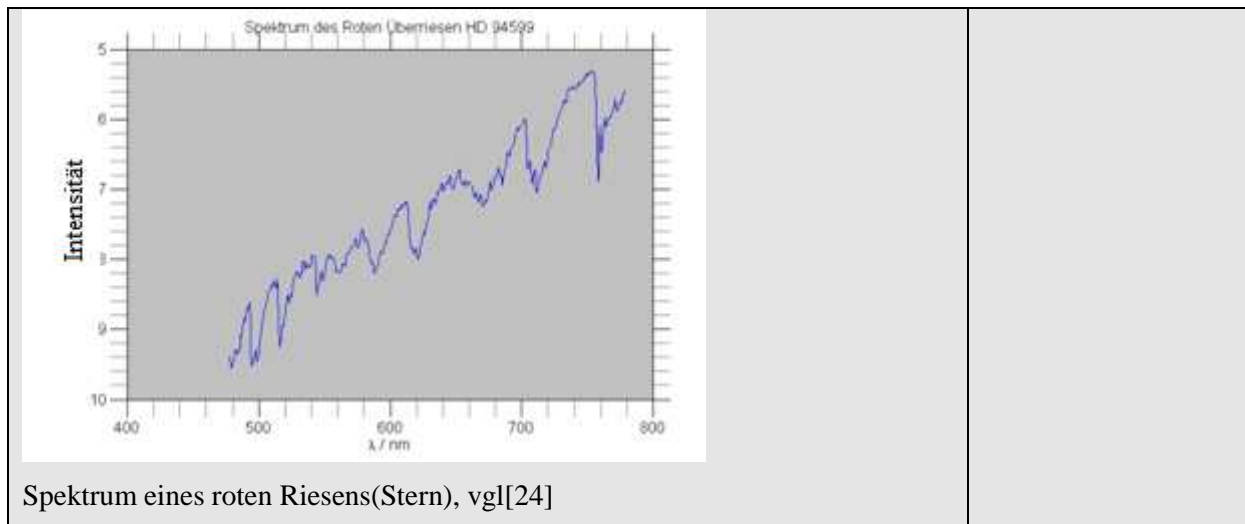
Exkurs: Molekülspektren

So wie Atome, können auch Moleküle elektromagnetische Strahlung emittieren und absorbieren [18]: 499. Allerdings werden die möglichen Energiezustände der Moleküle durch drei verschiedene Faktoren beeinflusst: Die Anregungsenergie der Elektronen, die Schwingungsenergie der Atome im Molekül und die Rotationsenergie des Moleküls um seinen Schwerpunkt. Da sich die jeweiligen Energiearten jedoch um Größenordnungen unterscheiden, kann man auf der Grundlage von Spektroskopie über die Energiezustände eines Moleküls trotzdem genaue Aussagen machen.

Zuordnung verschiedener Spektren – Arbeitsblatt:

Gib für die folgenden Spektren an, ob es sich um ein kontinuierliches Spektrum, ein Absorptionsspektrum oder ein Emissionsspektrum handelt!

Spektrum	Art von Spektrum
 <p data-bbox="185 555 507 589">Spektrum von Xenon, [20]</p>	
 <p data-bbox="185 808 687 842">Spektrum einer Energiesparlampe, vgl[21]</p>	
	
 <p data-bbox="185 1155 491 1189">Spektrum von Neon, [20]</p>	
 <p data-bbox="185 1294 647 1328">Spektrum von Beteigeuze (Stern), [22]</p>	
<p data-bbox="185 1350 1126 1581">Es gibt auch noch eine andere Methode, die Spektren darzustellen. Diese ist sogar noch viel genauer. Hier ist die Intensität des Lichts auf der y-Achse aufgetragen und die Wellenlänge auf der x-Achse. Versuche auch diese beiden Spektren über die Definitionen von Emissions- und Absorptionsspektrum zu bestimmen:</p>	
 <p data-bbox="185 1944 842 1977">Spektrum einer Quecksilberniederdrucklampe, vgl [23]</p>	



Sternspektren

Wie bereits kurz angesprochen, senden jeder leuchtende Festkörper, jede leuchtende Flüssigkeit und jedes leuchtende Gas ein Spektrum aus. Auch unsere Sonne und alle anderen Sterne, die wir am Himmel sehen, senden ein Spektrum aus. Das Licht der Sterne am Nachthimmel ist zu schwach, um es mit dem selbst gebastelten Spektroskop beobachten zu können. Das Licht unserer Sonne hingegen kann mit dem Spektroskop gut beobachtet werden und so als Beispiel für ein Sternspektrum herangezogen werden. Im folgenden Kapitel wird die Entstehung von Sternspektren, und wie man diese analysieren kann, genau erläutert.

Ein Gedankenexperiment

Da die Entstehung von Sternspektren ein komplexer Vorgang ist, führen wir zuerst nach Kaler [14]: 60-62 ein Gedankenexperiment durch um die grundlegende Entstehung astronomischer Spektren besser verstehen zu können.

Ein durchsichtiger Kasten wird mit einem sehr dünnen Gas aus Wasserstoff gefüllt. Neben diesen Kasten stellt man eine Lichtquelle, die den Kasten mit einem kontinuierlichen Spektrum bestrahlt. Dieses System erzeugt drei verschiedene Spektren, die man sich mit einem Spektroskop anschauen kann.

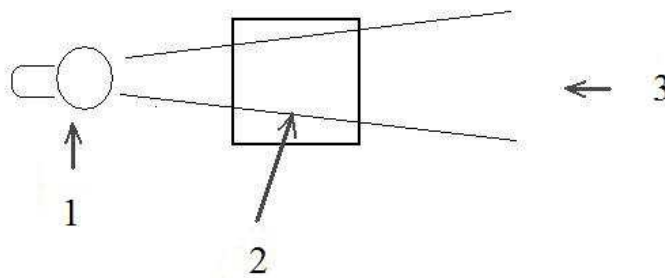


Abbildung 10 – Gedankenexperiment zur Entstehung von Spektren

In *Abbildung 10* ist eine schematische Skizze der wichtigsten Komponenten des Experimentaufbaus zu sehen. Zuerst platzieren wir das Spektroskop auf Position 1 direkt vor der Lichtquelle, noch bevor das Licht das Gas durchtritt. Das Spektrum der Lichtquelle ist, wie schon beschrieben, ein kontinuierliches Spektrum. Danach beobachten wir das Spektrum auf Position 3 um zu sehen, wie es sich verändert hat, nachdem das Licht den Wasserstoff durchquert hat. Im Prinzip ist das Gas für fast alle Wellenlängen durchsichtig. Auf Grund der Quantisierung der Energie können nur die Photonen, die genau die Wellenlängen besitzen, die zu den Spektrallinien des Wasserstoffs passen, absorbiert werden. Im Spektrum fehlen diese Photonen dann und werden als dunkle Linien, also Spektrallinien, im Absorptionsspektrum sichtbar. Zuletzt soll das Spektrum betrachtet werden, welches das Wasserstoffgas selbst erzeugt. Dazu wird das Spektroskop seitlich vom Kasten auf Position 2 verwendet, sodass kein Licht der Kontinuumslichtquelle direkt hineinfällt. Die durch die Photonen der Lichtquelle angeregten Elektronen des Wasserstoffs befinden sich nun in einem höheren Energiezustand und wollen wieder in den Grundzustand zurückkehren. Dies tun sie, indem sie wieder ein Photon aussenden, dessen Energie der Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen entspricht, wie schon ausführlich beschrieben. Diese Photonen fliegen in alle Richtungen und einige davon natürlich auch in Richtung unseres Spektroskops. Sie erzeugen ein Emissionsspektrum des Wasserstoffs, wie es in *Abbildung 6* zu sehen ist.

Linienstruktur

Bisher haben wir den Energiezustand eines Elektrons immer als völlig scharf angesehen. Allerdings kann die Energie der Elektronen in Wahrheit ein wenig variieren [14]: 63. Das bedeutet, dass beim Wechsel zwischen zwei Energieniveaus nicht nur Licht einer ganz bestimmten Wellenlänge ausgesendet wird, sondern die Spektrallinie eine, wenn auch sehr kleine, Breite besitzt. Das sogenannte Linienprofil beschreibt die innere Struktur einer Spektrallinie, die uns sehr viel Auskunft über die Atmosphäre eines Sterns gibt. Die Linienbreite einer Spektrallinie kann auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden. Erstens kann eine Linie auf Grund quantenmechanischer Effekte nie vollkommen scharf sein [25]:234. Auf dieses physikalische Phänomen soll hier nicht weiter eingegangen werden, aber für Interessierte wird es im Anhang an dieses Kapitel kurz erläutert.

Zusätzlich beeinflusst die Wechselwirkung zwischen den Atomen die Linienbreite maßgeblich [14]: 64. Kommen zwei Atome in ihre gegenseitige Nähe, so verbiegen sie ihre Energieniveaus gegenseitig ein wenig. Je nach der Art und der Entfernung der beiden Atome erhöht oder erniedrigt sich so die Energie deszugehörigen Energieniveaus. So kann es passieren, dass die Emission oder Absorption eines Photons energetisch etwas entfernt von der vordefinierten Spektrallinie des Atoms stattfindet. Die Linie verbreitert sich folglich.

Mit zunehmendem Druck und folglich zunehmender Dichte eines Gases stören sich die Atome immer mehr und die Linien verbreitern sich immer stärker [14]: 64. Dies kann so weit gehen, dass sich die Linien zu überlappen beginnen. Im Gegensatz zu dem idealisierten Gedankenexperiment mit dem Wasserstoffgas, gibt es in einem astronomischen Spektrum eine große Anzahl von Elementen, die noch mehr Spektrallinien erzeugen. Zusätzlich wird das Gas so dicht, dass viele der ausgesendeten Photonen von einem anderen Atom wieder absorbiert und re-emittiert werden, bevor sie das Gas verlassen. Es stellt sich ein sogenanntes lokales thermodynamisches Gleichgewicht ein. Das bedeutet, dass Atome genauso oft absorbiert wie emittiert werden. Das Gas sendet kein Linienspektrum mehr aus, sondern ein kontinuierliches Spektrum. Ist das Spektrum zudem nur von der Temperatur abhängig, so wird dieses dichte Gas **schwarzer Strahler** genannt.

Ein weiteres wichtiges Phänomen, das die Linienstruktur eines Spektrums beeinflusst, wird als **Dopplereffekt** bezeichnet [14]: 63-64. Der Dopplereffekt beschreibt das Phänomen, dass

sich die Wellenlänge einer Lichtquelle ändert, wenn sich die Lichtquelle und der Beobachter relativ zueinander bewegen. Um dies anschaulicher zu verstehen, kann man sich vorstellen, dass ein Beobachter die Frequenz einer Lichtquelle misst, die relativ zu ihm ruht. Er misst die Frequenz der Strahlung, indem er zählt, wie viele Wellenberge pro Sekunde an ihm vorbeistreichen. Beginnt sich der Beobachter nun auf die Lichtquelle zuzubewegen, so misst er mehr Wellenberge pro Sekunde. Dies entspricht einer höheren Frequenz und einer kürzeren Wellenlänge. Das bedeutet, dass sich die Spektrallinie in die blaue Richtung des Spektrums verschoben hat. Entfernt sich der Beobachter von der Lichtquelle, so tritt der entgegengesetzte Effekt auf und die Spektrallinie wird in die rote Richtung des Spektrums verschoben. Derselbe Effekt tritt auch ein, wenn sich statt des Beobachters die Lichtquelle bewegt, wichtig ist nur die relative Bewegung der beiden zueinander. In der astronomischen Forschung spielt der Dopplereffekt eine große Rolle, weil er die Berechnung der Bewegung von Sternen und Galaxien in unserem Universum erlaubt. Kennt man die wahre Wellenlänge einer Spektrallinie aus Labormessungen, so kann man über die Größe des Dopplereffekts Aussagen darüber machen, wie schnell sich ein Stern/eine Galaxie von uns wegebewegt.

Exkurs: Die natürliche Linienbreite

Befindet sich ein Atom in einem angeregten Zustand, so kann man für diesen Zustand den Wert einer mittleren Lebensdauer τ angeben [26]: 101-103. In der Quantenmechanik kann ein Zustand, der sich zeitlich verändert, keine scharfe Energie besitzen. Daher kann einem angeregten Atom, das nach einer mittleren Lebensdauer τ wieder in den Grundzustand übergehen wird, nur eine Energieunschärfe ΔE zugeschrieben werden.

$$\Delta E \cdot \tau \sim \hbar$$

Formel 5

Da die Energie E unscharf ist, kann auch die Frequenz f des Photons nicht exakt bestimmt werden ($E = h \cdot f$). Daher ist eine Spektrallinie nie eine mathematisch exakte Linie, sondern hat immer eine gewisse Breite, die als **natürliche Linienbreite** bezeichnet wird.

Überlege, welche Parallelen könnte es zwischen diesem Gedankenexperiment und der Sonne geben? Beschreibe!

Der Aufbau unserer Sonne

In diesem Abschnitt soll nun der Zusammenhang zwischen den vorangegangenen theoretischen Überlegungen und einem realen Stern wie unserer Sonne hergestellt werden. Im Folgenden soll in Anlehnung an Kaler [14] eine Analogie zwischen dem durchsichtigen, mit Wasserstoff gefüllten Kasten und der Sonne hergestellt werden. Mit der Entstehung eines astronomischen Spektrums soll gleichzeitig der Aufbau der Sonne erklärt werden.

Die Sonne ist kein glühender Gasball ohne innere Struktur, sondern kann in verschiedene Zonen unterteilt werden. Im Allgemeinen unterscheidet man drei Bereiche: den Kern, die Hülle und die Atmosphäre. Der Aufbau der Sonne ist in *Abbildung 11* schematisch dargestellt.

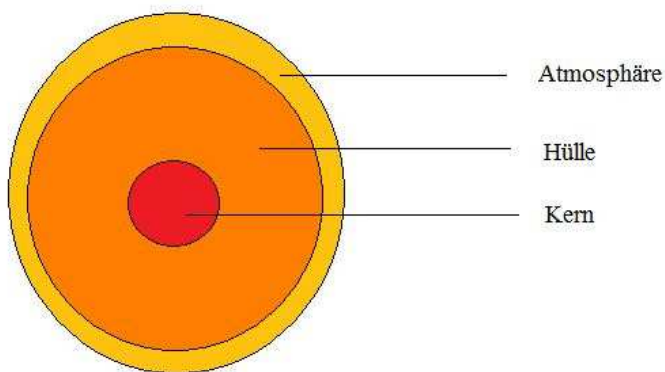


Abbildung 11– Sonnenaufbau

Der **Kern** der Sonne ist der Ort, wo durch Kernfusion Energie erzeugt wird [14]: 44-45. Hier verschmelzen vier Wasserstoffatomkerne zu einem Heliumatomkern, der aber etwas masseärmer ist als die vier Wasserstoffatomkerne insgesamt. Die Massendifferenz wird

gemäß Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$ in Energie umgewandelt. Dieser Prozess kann nur im Inneren der Sonne ablaufen, wo die Dichte des Gases sehr hoch ist. Bei der Sonne sind ca. 50 Prozent der Masse in $\frac{1}{4}$ des Radius enthalten. Die Temperatur im Inneren der Sonne beträgt 15 Millionen Kelvin und ist damit groß genug für die Kernfusion- 5Millionen Kelvin sind das Minium [27]: 700. Da die Dichte des Gases im Inneren der Sonne 200 Milliarden bar beträgt (also 200 Milliarden Mal größer als der Luftdruck auf der Erde ist), kann man beim Kern von einem schwarzen Strahler sprechen. Dieser sendet ein kontinuierliches Spektrum aus und kann so als Analogon zu der Lichtquelle in unserem Gedankenexperiment gesehen werden.

Der Druck und die Dichte nehmen in der Sonne von innen nach außen stark ab [14]: 45. Die **Hülle** enthält so fast die gesamte restliche Masse unserer Sonne. Die Hülle hat zwei wichtige Funktionen: Auf der einen Seite erzeugt sie durch ihr zusätzliches Gewicht die hohen Drücke und Temperaturen, die für die Kernfusion im Kern Voraussetzung sind. Gleichzeitig wirkt sie als Wärmedämmung. Sie bewirkt, dass die im Kern erzeugte Energie nicht gleich völlig abgestrahlt wird, sondern sich erst durch die dicke Gasschicht arbeiten muss. Hier wird sie sehr oft absorbiert und wieder emittiert. Dieser Prozess ist auch für unser Leben auf der Erde sehr wichtig. Die Strahlung, die im Kern erzeugt wird, ist sehr energiereiche Gammastrahlung, die alles Leben auf der Erde zerstören würde. Erst auf dem Weg durch die Hülle, der viele tausend Jahre dauert, wird sie durch die Re-Absorption zu niederenergetischem, sichtbarem Licht umgewandelt. So verschiebt sich das ausgesendete Spektrum aus dem Kern der Sonne in den sichtbaren Bereich.

Die oberste Schicht der Sonne wird als **Sonnenatmosphäre** bezeichnet [14]: 45; 68-70. Sie enthält nur sehr wenig Masse und die Strahlung entweicht hier direkt in den Weltraum. Da das Gas hier sehr dünn ist, kann man es mit dem Wasserstoffgas in dem Glaskasten aus dem Gedankenexperiment vergleichen. Diese Schicht nimmt also wieder Licht aus dem ursprünglich erzeugten Kontinuum weg und ist für die Absorptionslinien im Spektrum der Sonne verantwortlich. Könnten wir das Licht dieser Schicht alleine beobachten, so wie wir es in unserem Gedankenexperiment getan haben, indem wir das Spektroskop seitlich des Kastens gehalten haben, so würden wir wieder ein Emissionsspektrum sehen. Bei einer totalen Sonnenfinsternis lässt sich dieses Experiment sogar durchführen: Wenn der Mond den letzten Teil der hellen Sonnenscheibe abdeckt, so kann man ganz kurz das Emissions- anstatt

des üblichen Absorptionsspektrums beobachten. Allerdings gibt es heute auch schon spezielle Teleskope, mit denen man das Emissionsspektrum der Sonne zu jeder Zeit beobachten kann.

Fasse hier in eigenen Worten den Unterschied zwischen dem Spektrum einer Energiesparlampe und dem der Sonne zusammen! Welches von beiden ist ein Absorptions-, welches ein Emissionsspektrum? Woran erkennt man das?

Das Fraunhofer-Spektrum

Die Entdeckung der Fraunhofer-Linien

Wie Heinisch [28]: 50 beschreibt, untersuchte Joseph Fraunhofer Anfang des 19. Jahrhunderts das Spektrum der Sonne mit einfach geschliffenen Glasprismen. Als ihm dunkle Linien auffielen, bezeichnete er diese mit Buchstaben. Bei etlichen Wiederholungen des Experiments fand er heraus, dass die Linien immer an derselben Stelle lagen. Fraunhofer erkannte, dass die Linien in der Natur des Sonnenlichts lagen, aber er konnte den Ursprung der Linien nicht klären.

Ungefähr 40 Jahre später zeigte ein Physiker namens Gustav Robert Kirchhoff, dass chemische Elemente, die zum Leuchten gebracht werden, ein ähnliches Spektrum erzeugen [28]: 50. So fand er im Absorptionsspektrum von Natrium zwei Linien, die auch im Sonnenspektrum an derselben Stelle liegen. Kirchhoff schloss daraus, dass das Element Natrium in der Sonne vorkommen muss. Die Entdeckung, dass irdische Elemente auch außerhalb unserer Erde vorkommen, begründete die Wissenschaft der Astrophysik.

Da Joseph Fraunhofer der erste Astronom war, der die dunklen Linien im Sonnenspektrum beobachtete, nennt man die Absorptionslinien im Spektrum eines Sterns noch heute **Fraunhofer-Linien**.

Spektralklassen

Aus dem Spektrum der Sonne kann man viele verschiedene Informationen gewinnen [29]: 82. So kann man, wie Kirchhoff bereits entdeckte, nicht nur Rückschlüsse auf die Elemente in der Sonnenatmosphäre ziehen, sondern die Stärke der Linien gibt uns auch Auskunft darüber, wie häufig die Elemente vorkommen. Dabei ist es wichtig zu wissen, dass eine stark ausgeprägte Linie nicht unbedingt bedeutet, dass das Element besonders häufig vorkommt. So ist zum Beispiel auch die Temperatur in der Sonne für die Ausprägung der Linie entscheidend und es kann kein allgemein gültiges Verhältnis zwischen der Dicke einer Linie und der Häufigkeit eines Elements hergestellt werden. Obwohl in der Sonne beispielsweise auf 1 Kalziumatom 1000 000 Wasserstoffatome kommen, sind die Kalziumlinien die am stärksten ausgeprägten Linien im Sonnenspektrum.

Fraunhofer beobachtete auch die Spektren anderer Sterne und schon er erkannte, dass nicht alle Sterne ihre Spektrallinien an derselben Stelle haben [14]: 86. Sterne durchlaufen, genauso wie wir Menschen, einen Lebenszyklus. Im Laufe dieses Zyklus verändert sich das Spektrum eines Sterns. So kann man anhand des Spektrums auch Aussagen über dessen Alter treffen.

Außerdem kann man am Spektrum ablesen, ob sich ein Stern auf uns zubewegt oder von uns entfernt. Auf Grund des in Linienstruktur beschriebenen Dopplereffekts verschieben sich dann die Linien des Spektrums. Der Grad der Verschiebung ist ein Maß dafür, wie schnell sich der Stern auf uns zubewegt/ von uns entfernt.

Da die Spektren der Sterne so vielfältig sind, lassen sich diese nach ihren Spektren in unterschiedliche **Spektralklassen** einteilen [30]: 206. Die Einteilung ist historisch gewachsen und wird mit Großbuchstaben bezeichnet: O B A F G K M. Jede Spektralklasse ist durch bestimmte Absorptionslinien gekennzeichnet, die eine eindeutige Zuordnung der Sterne zu den Spektralklassen erlaubt. Wichtig ist, dass sich die Unterschiede in den Spektren auf Grund der unterschiedlichen Oberflächentemperatur der Sterne und nicht wegen

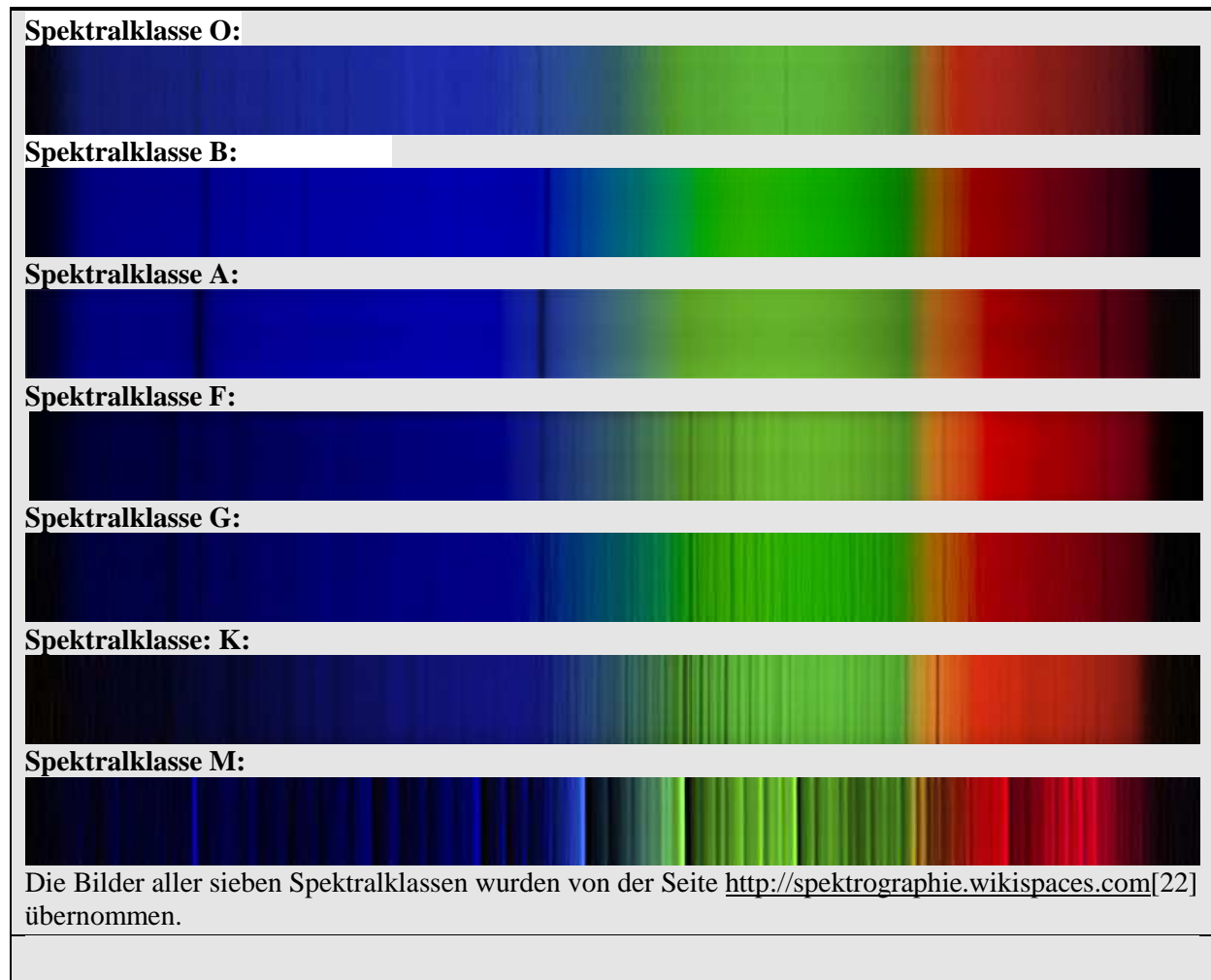
unterschiedlicher chemischer Zusammensetzungen ergeben (siehe *Exkurs*). O-Sterne können Temperaturen von bis zu 40 000 K erreichen und M-Sterne bis auf eine Temperatur von 3000K abgekühlt sein.

Exkurs: Zusammenhang Absorptionslinien – Oberflächentemperatur

Die Spektralklasse eines Sterns gibt Auskunft über seine Oberflächentemperatur [30]: 206. Dabei haben die O-Sterne die höchste Temperatur und die M-Sterne die niedrigste. Der Zusammenhang zwischen der Stärke der Absorptionslinien und der Oberflächentemperatur soll anhand der Balmer-Linien (Spektrallinien im sichtbaren Bereich) des Wasserstoffatoms erklärt werden. Hat der Stern eine sehr geringe Temperatur, so befinden sich alle Wasserstoffatome im Grundzustand $n=1$. Die Balmer-Linien entstehen allerdings durch Übergänge von $n=2$ auf höhere Niveaus und können so nicht auftreten. Wird die Temperatur höher, so befinden sich immer mehr Wasserstoffatome im Zustand $n=2$. Folglich wächst die Ausprägung der Balmer-Linien im Spektrum. Erhöht sich die Temperatur jedoch weiter, so wird der Wasserstoff ionisiert (das Elektron löst sich vom positiven Atomkern). Dies führt dazu, dass die Balmer-Linien wieder schwächer werden und bei vollkommener Ionisation aller Wasserstoffatome gänzlich verschwinden. Für andere Elemente gilt ein ähnlicher Vorgang.

Die Auflösung unseres selbst gebastelten Spektroskops ist nicht genau genug, um alle Absorptionslinien des Sonnenspektrums erkennen zu können. Allerdings ist es möglich einige stark ausgeprägte Absorptionslinien mit dem Spektroskop aufzulösen. Hier ist eine Liste von charakteristischen Spektren für die jeweilige Spektralklasse. Vergleiche die Absorptionslinien der Spektren mit denen, die du im Fraunhofer-Spektrum in deinem Spektroskop erkennen kannst! Durch sorgfältige Analyse sollte eine Zuordnung zu einer der Spektralklassen möglich sein. Neben der Lage der Absorptionslinien hilft dir auch die Ausprägung der Farben im Spektrum!

Auf Grund meines Vergleichs des Fraunhofer-Spektrums mit den Beispielspektren der jeweiligen Spektralklassen, ordne ich die Sonne der Spektralklasse _____ zu.



Interpretation des Spektrums

Unsere Sonne gehört zu der Spektralklasse der G-Sterne [14]: 179. Wie alle Sterne dieser Spektralklasse leuchtet unsere Sonne auf Grund ihrer Temperatur gelb. Ihre Effektivtemperatur liegt mit 5770 K im oberen Temperaturbereich der G-Sterne. Bisher konnte man ca. 50 000 Absorptionslinien und 68 der 92 natürlich vorkommenden Elemente in der Sonne nachweisen [14]: 166. Auf Grund der Analyse der Spektrallinien wissen wir heute, dass Wasserstoff das häufigste Element unserer Sonne ist. Helium, das zweithäufigste Element, kommt 10 Mal geringer vor. In großem Abstand folgen dann die Elemente Lithium und Beryllium.

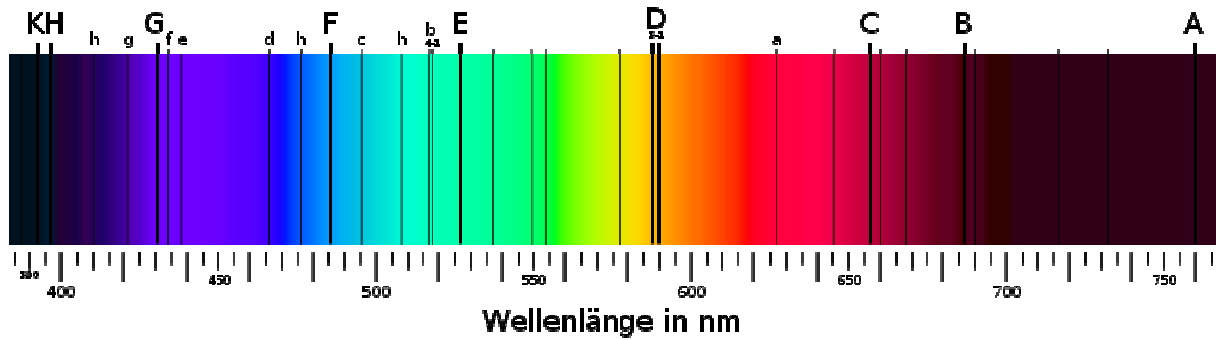


Abbildung 12 – Fraunhofer-Spektrum, [31]

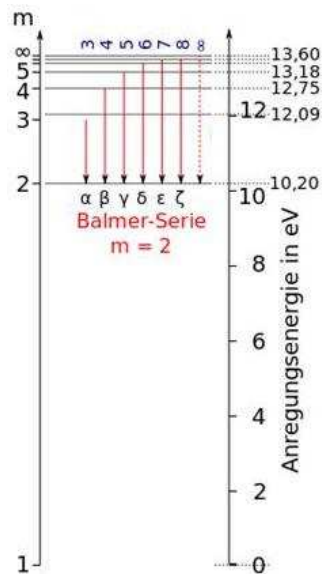


Abbildung 13 – Ausschnitt: Termschema des Wasserstoffatoms, vgl[15]

Auf *Abbildung 12* siehst du die wichtigsten Absorptionslinien im Sonnenspektrum eingezeichnet. Finde heraus, welche Buchstaben für die beiden ersten Balmer-Linien $H\alpha$ und $H\beta$ des Wasserstoffs stehen. Die dafür nötigen Informationen kannst du aus einer vereinfachten Version des Termschemas für das Wasserstoffatom in *Abbildung 13* ablesen. Berechne anschließend mithilfe des Rechenbeispiels im Kapitel *Das Emissionsspektrum* (im Unterkapitel Das Wasserstoffspektrum) die Wellenlängen für diese beiden Balmer-Linien. Nun kannst du ihre Lage im Fraunhofer-Spektrum *Abbildung 12* einzeichnen und so den Buchstaben herausfinden, der für die jeweilige Linie steht.

Balmer- Linie	Buchstabe der Linie im Fraunhofer-Spektrum
$H\alpha$	
$H\beta$	

Abbildung 12 zeigt das Fraunhofer-Spektrum der Sonne mit den wichtigsten Absorptionslinien. Die Bezeichnung der Linien stammt noch von Joseph Fraunhofer, der nicht über den chemischen Ursprung der Elemente Bescheid wusste [14]: 85-86. Am stärksten sind beispielsweise die Linien H und K ausgeprägt, die schon im violetten Bereich liegen und eigentlich von ionisiertem Kalzium erzeugt werden. Die Linien C, F und h entsprechen den Linien H α , H β und H δ der berühmten Balmer-Serie. Die H γ -Linie entdeckte Fraunhofer nicht, weil sie unmittelbar an das breite Band der G-Linien anschließt. Auch H ϵ ist schwer zu erkennen, weil diese von der starken K-Linie überdeckt wird. Tabelle 1, die von Kaler übernommen wurde, gibt einen Überblick über die wichtigsten Spektrallinien, die zugehörigen Elemente und Wellenlängen.

Name	λ	Ursprung
A	7 594	Irdischer Sauerstoff
a	7 165	Irdischer Wasserdampf
B	6 867	Irdischer Sauerstoff
C	6 563	H α
D	5 890, 5896	Neutrales Natrium (Na I)
E	5 270	Neutrales Eisen (Fe I)
b	5 167, 5 173, 5 184	Neutrales Magnesium (Mg I)
F	4 861	H β
d*	4 384	Neutrales Eisen (Fe I)
G	4 300	CH-Molekül
g*	4 227	Neutrales Kalzium (Ca I)
h*	4 102	H δ
H	3 968	Ionisiertes Kalzium (Ca II)
K*	3 934	Ionisiertes Kalzium (Ca II)

* Diese Bezeichnungen stammen nicht von Fraunhofer selbst, sondern wurden erst später eingeführt.

Tabelle 1- Die Fraunhoferlinien, [14]: 86

In Tabelle 1 kannst du erkennen, dass man durch eine Analyse des Sonnenspektrums viele Elemente in der Sonnenatmosphäre identifizieren kann, nämlich Wasserstoff, Natrium, Eisen, Magnesium, Kohlenstoff und Kalzium. Allerdings ist bei Tabelle 1 zu beachten, dass einige Absorptionslinien auch erst in der irdischen Atmosphäre entstehen und nicht auf Elemente in der Sonne zurückzuführen sind.

Bedeutung der Spektroskopie

Wie du gesehen hast, kann man die Spektroskopie dazu benutzen, um viele Informationen über unsere Sonne zu erhalten, die uns sonst nicht zugänglich wären. Mit den geeigneten technischen Geräten kann man diese Methode allerdings auch auf andere Objekte in unserem Universum anwenden, von denen viel weniger Licht bei uns auf der Erde ankommt. Wie schon angesprochen, senden alle Sterne ein charakteristisches Spektrum aus, auf Grund dessen man Rückschlüsse auf die Elemente ziehen kann, aus denen sich der Stern zusammensetzt. Auch andere astronomische Objekte, wie planetarische Nebel, kann man mit der Spektroskopie untersuchen. *Abbildung 14* zeigt einen solchen Nebel, den Ringnebel. Auf Grund seiner Farben kann man, wie bei der Sonne, Rückschlüsse auf seine chemische Zusammensetzung ziehen: Das blaue Licht wird von sehr heißem Helium ausgesendet, Grün von Sauerstoff und Rot von Stickstoff.

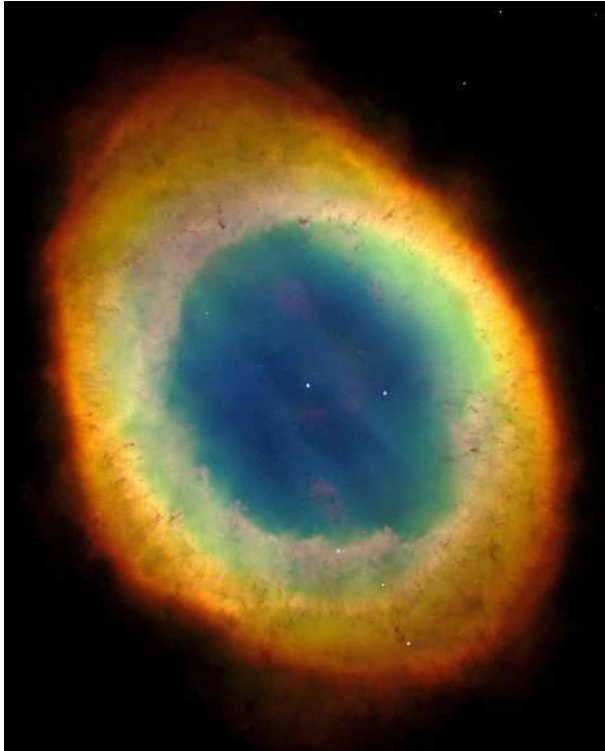


Abbildung 14 – Ringnebel, [32]

Auch bei der Suche nach Exoplaneten kann die Methode der Spektroskopie behilflich sein. Besitzt ein Stern einen Planeten, so formen diese beiden ein System, das einen gemeinsamen Schwerpunkt besitzt, um den beide kreisen. Diese Bewegung des Sterns kann anhand der Verschiebung der Spektrallinien im Spektrum des Sterns aufgespürt werden und so sogar die Masse des Planeten bestimmt werden. Mit dieser Methode wurde Anfang November 2012 erst ein Exoplanet bei einem unserer Nachbarsterne, α Centauri B, gefunden.

Alle diese Anwendungen machen die Spektroskopie zu einer äußerst wichtigen Erkenntnismethode in der **Astrophysik**. Astronomische Objekte, die man mit freiem Auge oft nicht einmal als Punkt wahrnehmen kann, können so auf ihre Bestandteile, Alter, Temperatur, etc. analysiert werden.

4. Arbeitsaufgaben - Answererwartungen

Material: CD

Betrachte gemeinsam mit deinem Partner die schillernde Rückseite der CD im Sonnenlicht oder im Licht einer Lampe. Drehe die CD in verschiedene Richtungen. Was beobachtest du?

Ich sehe Farben auf der CD-Oberfläche: Blau, Grün, Gelb und Rot. Bewege ich die CD, bewegen sich auch die Farben auf der CD-Oberfläche.

Was denkst du, woher kommen die Farben, die du auf der CD sehen kannst?

Licht von der Lampe/Sonne trifft auf die CD. Dieses weiße Licht besteht aus allen Farben. Die CD spaltet das Licht in die einzelnen Farben auf und die Alufolie reflektiert das Licht.

Besprich mit deinem Partner, wie sich deine Annahmen über die Ursache der Farben, die man auf der CD sieht, verändert haben und schreibe die Erklärung hier nochmals in deinen eigenen Worten nieder. (Verwende die Wörter *elektromagnetisches Spektrum* und *sichtbares Licht*!)

Sichtbares Licht ist ein Teil des elektromagnetischen Spektrums. Es gibt kurzwelligeres Licht, wie die UV-Strahlung und langwelligeres Licht, wie die Infrarotwellen. Dazwischen gibt es einen kleinen Bereich an elektromagnetischer Strahlung, den wir mit den Augen wahrnehmen können. Das weiße Licht, das von einer Lampe ausgesendet wird, setzt sich aus all diesen Farben zusammen. Die CD spaltet das Licht in die einzelnen Farben auf. Das sind die Farben, die wir auf der CD- Oberfläche sehen können. Vom langwelligen Rot, bis zum kurzwelligen Violett.

Mithilfe der Spektroskopie kann man so auch viele Informationen über den inneren Aufbau der Sonne gewinnen. Dazu ist ein Gerät namens **Spektroskop** nötig, das es erlaubt, Spektroskopie zu betreiben. In den nächsten Physikunterrichtseinheiten wirst du dir ein solches Gerät selbst bauen und selbst das Licht unserer Sonne untersuchen. Frage deine Lehrperson nach der Bauanleitung für das Handspektroskop.

Die Schüler sollen nun das Spektroskop nach der Bauanleitung basteln. Die Anleitung sollte selbsterklärend sein. Wichtig ist, dass die Schüler die nötigen Materialien mithaben.

Nun wollen wir die Spektren verschiedener Lichtquellen (Energiesparlampe, LED, Halogenlampe, Glühlampe, LCD-Bildschirm, Röhrenfernseher, Sonne) untersuchen. Wie erwartest du, dass diese ausschauen? Gibt es Unterschiede zwischen den Spektren, wenn ja, welche? Begründe!

Bei manchen Spektren sieht man alle Farben in einem durchgängigen Streifen (z.B. Glühlampe), bei anderen sieht man nur farbige Streifen (z.B. Energiesparlampe) an einem dunklen Hintergrund.

Untersuche nun die Spektren der unterschiedlichen Lichtquellen mit deinem Spektroskop. Versuche die Spektren der jeweiligen Lichtquelle zu beschreiben! Achte dabei besonders auf die (fehlenden) Farben(=Wellenlängen) der jeweiligen Spektren!

Lichtquelle	Spektrum
Glühbirne	Farben durchgängig von rot bis violett
Energiesparlampe	Farbige Streifen (zwei blaue, ein grüner, ein roter)
LED (weiß)	Farben durchgängig von rot bis violett
Röhrenfernseher	Blau, grün, zwei rote Streifen
Sonne	Farbiger Streifen (mit einigen dunklen Linien)

Schau dir nun das Spektrum des Sonnenlichts ganz genau an. Siehst du einen Unterschied zu dem Spektrum auf der einfachen CD?

Im Gegensatz zu dem Spektrum auf der CD erkennt man nun einige dunkle Linien im farbigen Spektrum der Sonne. *(Da die Absorptionslinien im Spektrum der Sonne schwer zu sehen sind, werden die Schüler hier extra nochmals darauf hingewiesen, auf Unterschiede zwischen den beiden Spektren zu achten.)*

Überlege: Das elektromagnetische Spektrum bezeichnet die Gesamtheit der elektromagnetischen Wellen aller Energien. Was kannst du auf Grund dieser Tatsache über

die Lichtaussendung der verschiedenen Energiequellen aussagen? (Senden alle Lichtquellen alle Energien lückenlos aus?)

Manche Lichtquellen senden im sichtbaren Bereich alle Wellenlängen lückenlos aus (z.B. die Glühlampe). Bei anderen Lichtquellen fehlen einige bestimmte Wellenlängen im Spektrum (z.B. bei der Sonne). Wieder andere Energiequellen senden nur ganz bestimmte, wenige Wellenlängen aus (z.B. die Energiesparlampe).

Wie würdest du die Spektren kategorisieren (einteilen)?

Es gibt drei Arten von Spektren:

- 1) „Lückenlose“ Spektren, bei denen alle Wellenlängen vorhanden sind (kontinuierliches Spektrum)
- 2) Spektren, bei denen nur einige Wellenlängen fehlen (Absorptionsspektrum)
- 3) Spektren, bei denen nur einige Wellenlängen vorhanden sind (Emissionsspektrum)

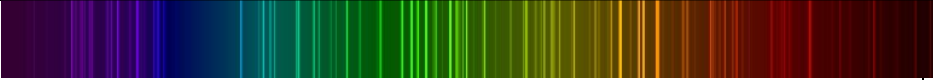
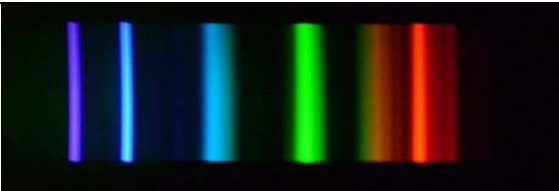



Beschreibe die drei möglichen Wege des Elektrons von $n=4$ in den Grundzustand mithilfe von *Abbildung 5*. Auf der horizontalen oberen Achse kannst du das Ausgangsenergieniveau n und auf der linken vertikalen Achse kannst du das Endenergieniveau m ablesen. Die Energie der ausgesendeten Photonen kannst du in der rechten vertikalen Achse in Elektronenvolt eV ablesen. Zur besseren Orientierung sind die für dich wichtigen Informationen in der Grafik rot eingekreist. Die Wellenlänge der Photonen kann anschließend analog zu dem obigen Rechenbeispiel ermittelt werden. (Die Ergebnisse können anschließend mit der **Rydberg-Ritz-Formel** überprüft werden, siehe *Exkurs*).

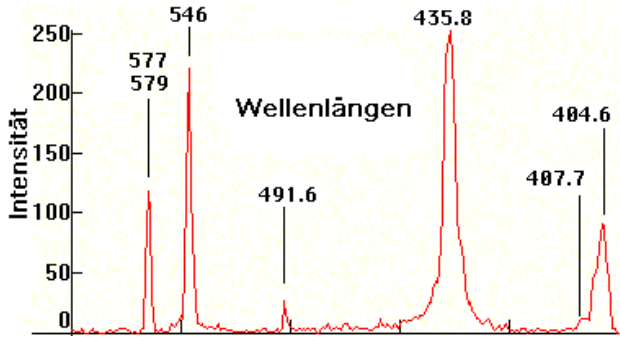
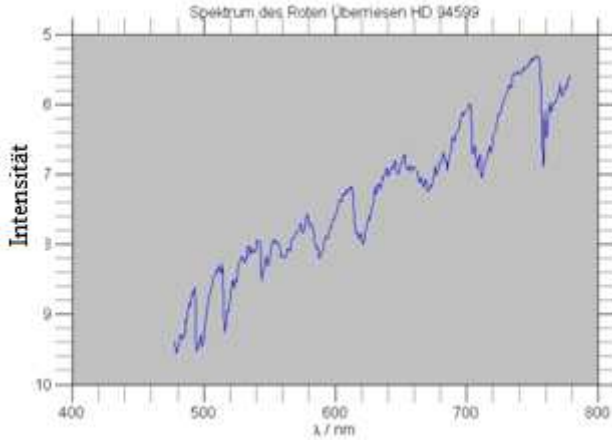
	Möglichkeit 1	Möglichkeit 2	Möglichkeit 3	Möglichkeit 4
Weg des Elektrons	Von $n=4$ auf $m=1$ (Linie 4 der Lyman-Serie)	Von $n=4$ auf $m=2$ (β -Linie der Balmer-Serie) Von $n=2$ auf $m=1$	Von $n=4$ auf $m=3$ (Linie 4 der Paschen-Serie) Von $n=3$ auf $m=2$ (α -Linie der Balmer-Serie)	Von $n=4$ auf $m=3$ (Linie 4 der Paschen-Serie) Von $n=3$ auf $m=1$ (Linie 2 der Lyman-Serie)

		(Linie 1 der Lyman-Serie)	Serie) Von n=2 auf m=1 (Linie 2 der Lyman-Serie)	Lyman-Serie)
Energie des/der ausgesendeten Photons/Photonen	12,75 eV	2,55 eV 10,20 eV	0,66 eV 1,89 eV 10,20 eV	0,66 eV 12,09 eV
Freiwillige Aufgabe: Wellenlänge der ausgesendeten Photonen	97 nm (UV-Strahlung)	485 nm (violetteres Licht) 121 nm (UV-Strahlung)	1,875 μm (IR-Strahlung) 655 nm (rotes Licht) 121 nm (UV-Strahlung)	1,875 μm (IR-Strahlung) 102 nm (UV-Strahlung)

Zuordnung verschiedener Spektren – Arbeitsblatt:

Gib für die folgenden Spektren an, ob es sich um ein kontinuierliches Spektrum, ein Absorptionsspektrum oder ein Emissionsspektrum handelt!

Spektrum	Art von Spektrum
 Spektrum von Xenon, [20]	Emissionsspektrum
 Spektrum einer Energiesparlampe, vgl[21]	Emissionsspektrum
	Kontinuierliches Spektrum
 Spektrum von Neon, [20]	Emissionsspektrum
 Spektrum von Beteigeuze (Stern), [22]	Absorptionsspektrum

 <p>Spektrum einer Quecksilberniederdrucklampe, vgl[23]</p>	<p>Emissionsspektrum</p>
 <p>Spektralverteilung eines roten Riesen(Stern), vgl[24]</p>	<p>Absorptionsspektrum</p>

Überlege, welche Parallelen könnte es zwischen diesem Gedankenexperiment und der Sonne geben? Beschreibe!

Lichtquelle = Inneres der Sonne, wo durch Kernfusion Energie erzeugt wird

Gas im durchsichtigen Kasten= Hülle der Sonne, wo bestimmte Wellenlängen absorbiert werden

Detektor auf Position 3 = entspricht der Position der Erde - wir sehen das Sonnenspektrum als Absorptionsspektrum

Fasse hier in eigenen Worten den Unterschied zwischen dem Spektrum einer Energiesparlampe und dem der Sonne zusammen! Welches von beiden ist ein Absorptions-, welches ein Emissionsspektrum? Woran erkennt man das?

Das Spektrum einer Energiesparlampe ist ein **Emissionsspektrum**. Im Gegensatz dazu ist das Spektrum der Sonne ein **Absorptionsspektrum**. Im Inneren der Sonne wird ein kontinuierliches Spektrum ausgesendet und in der Atmosphäre werden gewisse Wellenlängen aus diesem Spektrum absorbiert. Daher ist das Sonnenspektrum ein kontinuierliches Spektrum, in dem mehrere dünne, dunkle Linien zu sehen sind, die Absorptionslinien. Das Spektrum einer Energiesparlampe entsteht dadurch, dass Quecksilberdampf zum Leuchten angeregt wird. Da Gase nur ganz diskrete Energien aussenden, sieht man hier nur einige farbige Linien, die Emissionslinien.

Die Auflösung unseres selbst gebastelten Spektroskops ist nicht genau genug, um alle Absorptionslinien des Sonnenspektrums erkennen zu können. Allerdings ist es möglich einige stark ausgeprägte Absorptionslinien mit dem Spektroskop aufzulösen. Hier ist eine Liste von charakteristischen Spektren für die jeweilige Spektralklasse. Vergleiche die Absorptionslinien der Spektren mit denen, die du im Fraunhofer-Spektrum in deinem Spektroskop erkennen kannst! Durch sorgfältige Analyse sollte eine Zuordnung zu einer der Spektralklassen möglich sein. Neben der Lage der Absorptionslinien helfen dir auch die Ausprägung der Farben im Spektrum!

Auf Grund meines Vergleichs des Fraunhofer-Spektrums mit den Beispielspektren der jeweiligen Spektralklassen, ist ordne ich die Sonne der Spektralklasse **G** zu.

Spektralklasse O:



Spektralklasse B:



Spektralklasse A:



Spektralklasse F:



Spektralklasse G:



Spektralklasse K:



Spektralklasse M:



Die Bilder aller sieben Spektralklassen wurden von der Seite <http://spektrographie.wikispaces.com>[22] übernommen.

Auf *Abbildung 12* siehst du die wichtigsten Absorptionslinien im Sonnenspektrum eingezeichnet. Finde heraus, welche Buchstaben für die beiden ersten Balmer-Linien $H\alpha$ und $H\beta$ des Wasserstoffs stehen. Die dafür nötigen Informationen kannst du aus einer vereinfachten Version des Termschemas für das Wasserstoffatom in *Abbildung 13* ablesen. Berechne anschließend mithilfe des Rechenbeispiels im Kapitel *Das Emissionsspektrum* (im Unterkapitel Das Wasserstoffspektrum) die Wellenlängen für diese beiden Balmer-Linien. Nun kannst du ihre Lage im Fraunhofer-Spektrum *Abbildung 12* einzeichnen und so den Buchstaben herausfinden, der für die jeweilige Linie steht.

Balmer-Linie	Buchstabe der Linie im Fraunhofer-Spektrum
$H\alpha$	C
$H\beta$	F

5. Bauanleitung für das Spektroskop




Zeitaufwand: 1-2 Schulstunden

Materialien:

Größeres Kartonstück (Cornflakes-Verpackung oder Schuhschachtel), CD, schwarzer Textmarker, Geodreieck, scharfe Schere, Stanleymesser, Klebeband

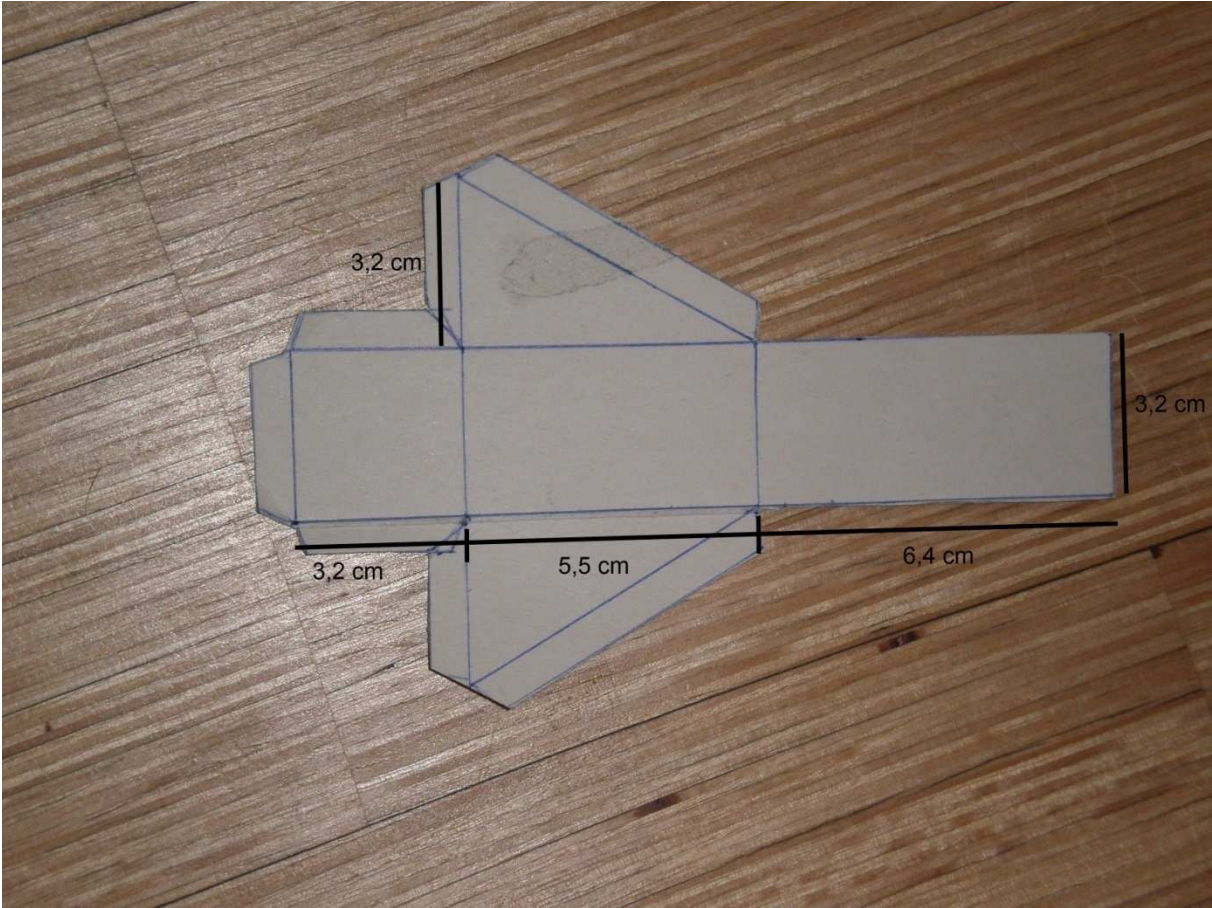
Bauanleitung:

Lies dir die Anleitung einmal durch, bevor du zu bauen beginnst, damit du einen besseren Überblick über den Bastelvorgang hast! So kannst du dir einigen Ärger und einige Korrekturen während des Bastelns ersparen!

		<p>Nimm die CD und zeichne einen Kreissektor von 30° ein. (Dazu legst du ein Geodreieck in der Mitte der CD an und zeichnest einen Strich nach außen. Anschließend misst du einen Winkel von 30° ab und zeichnest einen weiteren Strich.)</p>
		<p>Schneide nun mit der Schere den Kreissektor aus. Pass dabei auf, dass die Folie der CD nicht zu stark splittert!</p>
		<p>Nimm das Stück Karton und zeichne das Netz eines quadratischen Prismas darauf. Das Prisma sollte die Abmessungen $3,5\text{cm} \times 3,5\text{cm} \times 30\text{cm}$ haben. Achte darauf, dass du auch Laschen zum Zusammenkleben einzeichnest! Schneide das Netz aus!</p>

	<p>Stelle nun aus Kartonresten einen Keil her. Er sollte einen Dreiecksquerschnitt mit den Innenwinkeln 30°, 60°, 90° haben. Vergiss wieder nicht darauf, Laschen einzuzeichnen!</p>
	<p>Klebe nun den Keil mit Klebeband oder Klebstoff zusammen und befestige mit zwei Klebestreifen das CD-Stück darauf.</p>
	<p>Falte nun das Prisma an den eingezeichneten Stellen und befestige den Keil am hinteren Boden des Prismas mit einem doppelseitigen Klebeband. Schneide mittig über der CD ein kleines Beobachtungsfenster in den Karton ($1\text{cm} * 0,5\text{cm}$).</p>
	<p>Klebe nun das Spektroskop zusammen und achte darauf, dass es lichtdicht ist! Auf der gegenüberliegenden Seite der CD musst du aufpassen, das Spektroskop nichtvöllig zuzukleben. Wie auf der Abbildung solltest du die beiden Seiten offen lassen, damit du das Kartonstück mit dem Spalt seitlich hineinschieben kannst (siehe rotmarkierte Stellen). Der Spalt sollte waagrecht zum Beobachtungsfenster liegen.</p>
	<p>Schneide ein langes Stück Karton mit den Maßen $3,3\text{cm} * 7\text{cm}$ aus. Schneide mit einem Stanley-Messer ein Fenster hinein ($3\text{cm} * 2\text{cm}$). Nun lege ein Stück Alufolie über den Spalt und klebe es in der Mitte mit Klebeband fest. Schneide mit dem Stanley-Messer einen hauchdünnen Spalt ($\sim 1\text{mm}$ Breite) in die Folie. Über der Folie sollte ein Streifen Klebeband kleben, sonst reißt die Alufolie schnell. Nun kannst du den Spalt in die Öffnung schieben.</p>





Anwendung:



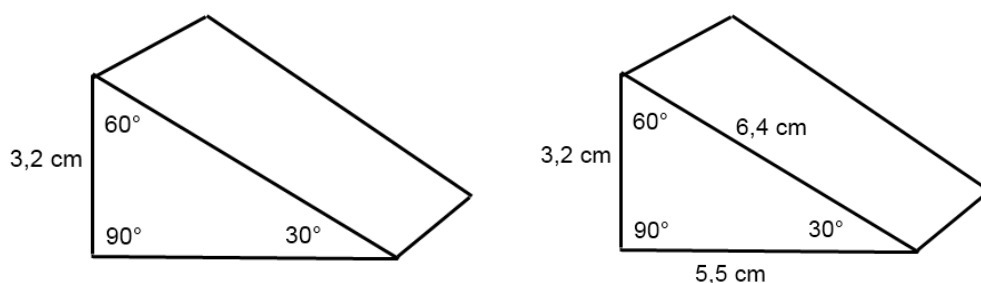
Halte das Spektroskop mit dem Spalt direkt in die Sonne. Durch den Spalt kann nun ein dünner Lichtstrahl in dein Spektroskop einfallen. Auf der CD wird das Licht durch das optische Gitter in die Spektralfarben aufgespalten. Legst du dein Auge nun auf das Beobachtungsfenster, so kannst du das Spektrum sehen. Je nach Wetterlage muss man die Stellung des Spektroskops etwas variieren um das beste Ergebnis zu erzielen.

Lehrerzusatz

Netz des Keils und des Prismas

Als zusätzliche Anforderung an die SchülerInnen kann eine weniger detailreiche Anleitung an die SchülerInnen ausgehändigt werden. Dazu kann man einfach die zwei Bilder mit den beschrifteten Netzen des Prismas und des Keils weglassen. So müssen sich dann die SchülerInnen selbst überlegen, wie das Netz des Prismas aussehen könnte und wie man einen Keil mit einem Dreiecksquerschnitt der Winkel 30° , 60° und 90° herstellt. Besonders angesichts des kompetenzorientierten Unterrichts ist dies sicher eine gute Übung. Die nötigen Fertigkeiten sollten die SchülerInnen besitzen. Das Netz des Prismas sollte für wenige SchülerInnen Probleme darstellen, der Keil ist allerdings schwieriger. Hier können sich die SchülerInnen mit Trigonometrie behelfen. Die Vorkenntnisse sollten aus dem Mathematikunterricht gegeben sein.

Die Winkel sind vorgegeben und durch das Spektroskop auch die Länge einer Seite. Damit der Keil auch wirklich gut in das Spektroskop passt, ist es empfehlenswert die Seite 3,2 cm und nicht 3,5 cm lang zu machen.



$$\sin \alpha = \frac{G}{H} \quad \left| \quad \frac{3,2 \text{ cm}}{\sin 30^\circ} = 6,4 \text{ cm} = H \right.$$

$$\cos \alpha = \frac{A}{H} \quad \cos 30^\circ * 6,4 \text{ cm} \sim 5,5 \text{ cm} = A$$

Als Karton eignen sich auf Grund der gewünschten Abmessungen meistens Schuhschachteln oder Cornflakes-Schachteln besonders gut. Da der Karton der Cornflakes-Schachtel dünner ist, lässt er sich leichter falten. Wenn man das Netz des Prismas auf den Karton zeichnet und fest mit dem Stift aufdrückt, hat man den Karton schon vorgeritzt und der Karton lässt sich problemlos an den gewünschten Stellen falten.

Das CD-Stück

Die CD kann entweder leer oder bespielt sein. Wichtig ist, dass sie entweder komplett leer oder ganz bespielt ist, damit sich das optische Gitter nicht ändert.

Beim Schneiden der CD kann es leicht passieren, dass die Folie splittert. Deshalb muss hier eine wirklich scharfe Schere verwendet werden. Eine handelsübliche Bastelschere ist nicht geeignet. Eventuell kann man die CD auch mit einem scharfen Stanleymesser schneiden. Dies erfordert allerdings viel Geduld. Ein Trick ist es, auf die Schnittstellen dünne Streifen Klebeband zu kleben, diese verhindern das Absplittern etwas.

Das Spektroskop - lichtdicht

Das Spektroskop sollte wirklich lichtdicht sein. Wurde ungenau geschnitten oder gezeichnet, so kann man am Klebeband die undichten Stellen mit schwarzem Textmarker bemalen oder mit schwarzem Klebeband überkleben.

Der Spalt

Für ein optimales Ergebnis sollte der Spalt ganz dünn und sehr klar geschnitten sein. Jede kleine Unebenheit macht sich als Streifen im Spektrum bemerkbar. Daher ist es

empfehlenswert den Spalt nicht aus Karton zu fertigen, weil dieser beim Schneiden leicht ausfranst. Alufolie lässt sich leichter mit klaren Kanten schneiden. Die Alufolie reißt allerdings sehr leicht, wenn man sie mit einem Stanleymesser schneiden will. Hier kann man sich behelfen, indem man ein Stück Klebeband auf die Alufolie klebt und die Folie somit reißfester macht. Nun kann man in die Alufolie ohne Probleme einen dünnen Spalt schneiden.

Dadurch, dass das Spektroskop vorne eine Öffnung hat, in die man das Kartonstück mit dem Spalt schiebt, kann man mit verschiedenen Spaltbreiten experimentieren. Ein breiter Spalt ergibt ein helles Spektrum, das aber wenig Details zeigt. Nimmt man einen engeren Spalt, so ist das Bild des Spektrums dunkler, die Fraunhofer Linien sind allerdings deutlicher zu erkennen (CD als Spektroskop). Ein dünner Spalt sollte weniger als einen Millimeter breit sein.

Falls der Spalt beim Hineinschieben in die Öffnung spießt, ist es empfehlenswert, in ein weiteres Stück Karton eine Öffnung zu schneiden und dieses vorne statt dem ursprünglichen „Deckel“ anzukleben. Nun ist der Abstand zwischen der Abdeckung und dem Körper des Prismas groß genug, sodass ein Spalt eingeschoben werden kann.

Fotografieren der Spektren

Das Spektrum kann ganz einfach fotografiert werden, indem man das Objektiv einer Digitalkamera oder guten Handykamera auf das Loch zum Beobachten des Spektrums legt. Dazu sucht man sich mit dem Spektroskop eine Position, in der man das Fraunhofer-Spektrum gut aufgelöst erkennen kann.

6. Die Funktionsweise des Handspektroskops

Im folgenden Kapitel soll die genaue Funktionsweise des in der Unterrichtseinheit gebastelten Spektroskops dargestellt werden. Um die Erklärung möglichst zugänglich zu gestalten, werden zu diesem Zweck die relevanten Bauteile einzeln besprochen. Die physikalischen Prinzipien, die der Funktion des Handspektroskops zugrunde liegen, werden hierbei nicht isoliert behandelt, sondern in jedem Fall am Beispiel des Spektroskops erläutert um so den Zusammenhang zwischen Theorie und Praxis deutlich aufzuzeigen.

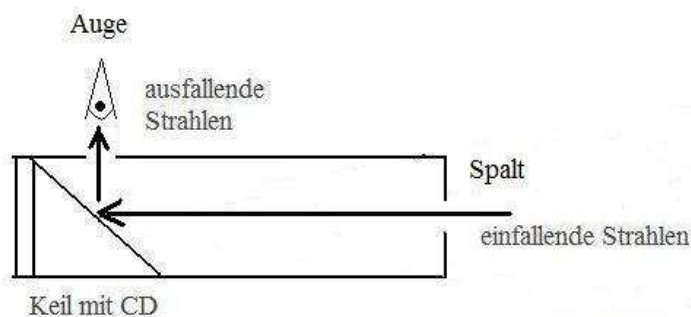


Abbildung 15– Schematischer Aufbau des Spektroskops

Abbildung 15 zeigt die Funktionsweise des Spektroskops sehr stark vereinfacht. In den einfachsten Zügen, funktioniert das Spektroskop folgendermaßen: Das Sonnenlicht fällt durch die Öffnung auf der Vorderseite des Spektroskops ein und trifft im Inneren schließlich auf die CD. Dort wird der Sonnenstrahl von der Silberfolie der CD reflektiert. Durch die Öffnung direkt über der CD kann man den reflektierten Strahl betrachten. Die genaue Funktionsweise des Spektroskops ist jedoch viel komplexer als diese kurze Beschreibung vermuten lassen würde. Für die Auflösung des Spektroskops und die dadurch sichtbaren Fraunhoferlinien im Spektrum der Sonne sind besonders zwei Komponenten wichtig: der Spalt und der CD-Sektor. Im Folgenden wird die Funktion dieser beiden Faktoren genauer beschrieben.

6.1 Die CD

Unser weißes Sonnenlicht ergibt sich durch die Überlagerung aller für uns sichtbaren Wellenlängen. Um nun das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zu zerlegen, muss man sich

eines optischen Hilfsmittels bedienen [14]:73. Es gibt mehrere Möglichkeiten, um weißes Licht in seine Spektralfarben zu zerlegen. Dies kann mit einem Prisma oder einem optischen Gitter geschehen. Regelmäßige Spalte in einem undurchsichtigen Material oder auf einer reflektierenden Fläche werden allgemein als optisches Gitter bezeichnet. Eine Compact Disc, CD, ist ein Alltagsbeispiel eines solchen optischen Gitters. *Abbildung 16* zeigt die Bestandteile einer CD in einer schemenhaften Skizze. Auf dem Polycarbonat ist die Spiralspur, die aus Flächen und Gruben besteht und auf der die Musik gespeichert ist, aufgebracht. Darüber befindet sich eine dünne Schicht aus Aluminium. Der Lack schützt die CD vor äußeren Einflüssen.

Die Spurrillen der CD, welche die Information über die Musik enthalten, stellen ein optisches Gitter dar und zerlegen so das Sonnenlicht in seine Spektralfarben. Anschließend reflektiert das Aluminium, das an der Rückseite der CD angebracht ist, die Lichtstrahlen. Daher kann eine CD als Reflexionsgitter bezeichnet werden.

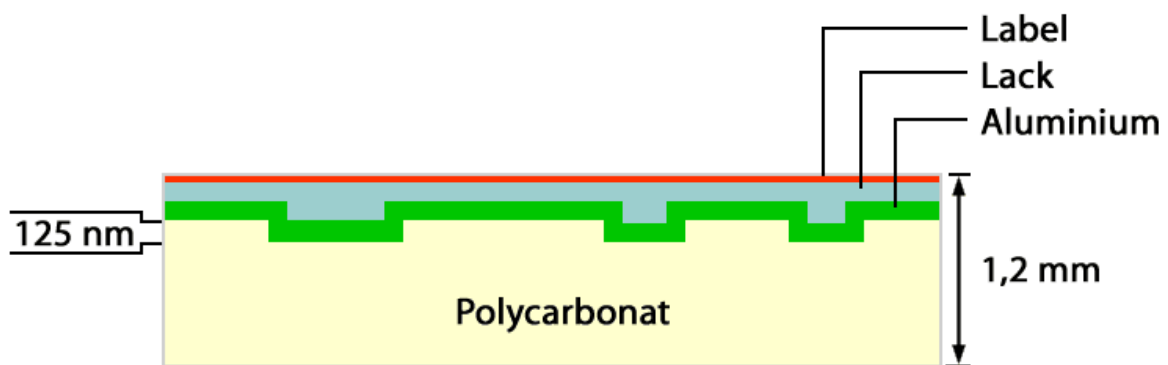


Abbildung 16 – Aufbau einer Compact Disc[33]

Legt man eine handelsübliche CD in das Sonnenlicht, wie in *Abbildung 17*, so kann man die Aufspaltung des Sonnenlichts in die Spektralfarben sehr gut erkennen.

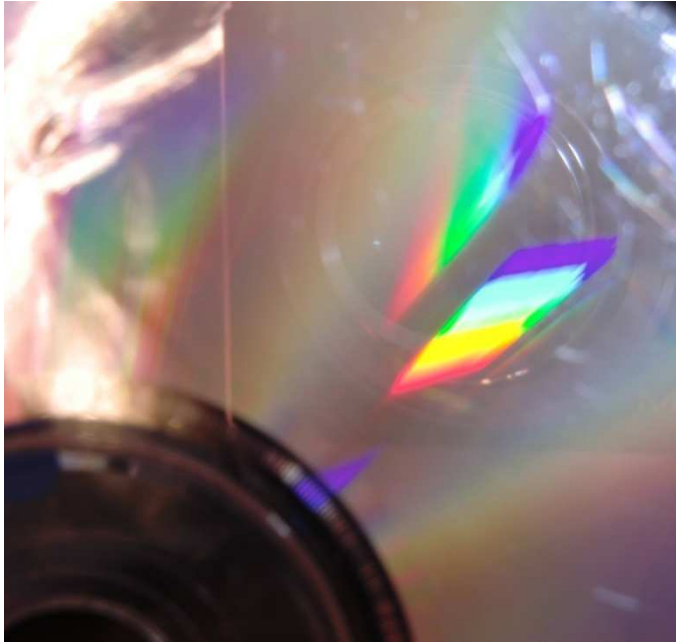


Abbildung 17: Spektrum an einer CD

Interferenz

Der Grund für die Aufspaltung des Sonnenlichts in seine Spektralfarben beim Durchgang durch ein optisches Gitter ist die Interferenz von Lichtwellen [14]:74. Da die Stärke der Interferenz von der Wellenlänge abhängt, soll zum besseren Verständnis zuerst monochromatisches Licht, also Licht einer bestimmten Wellenlänge, das auf einen Doppelspalt trifft, betrachtet werden. Trifft eine Wellenfront auf einen Doppelspalt, so wirkt jeder der beiden Spalte wie eine neue Lichtquelle. Hinter jedem Spalt entsteht eine Kugelwelle. Durch die Überlagerung der beiden neuen Wellenfronten entsteht, wie in *Abbildung 18* zu sehen ist, ein Muster aus hellen und dunkeln Streifen.

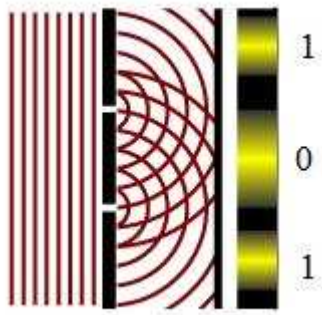


Abbildung 18: Interferenz am Doppelspalt, vgl[34]

Dieses Muster nennt man Interferenzmuster [14]: 74. In der Mitte zwischen den beiden Spalten treffen zwei Amplitudenmaxima aufeinander und die Wellen verstärken einander. Sie überlagern sich konstruktiv. Ein heller Streifen entsteht auf der Wand (Position 0). Geht man von der Mitte etwas nach links oder rechts, so wird der Abstand zu einem der beiden Spalte immer größer und zu dem anderen Spalt immer kleiner. Wenn der Wegunterschied zwischen den beiden Spalten genau einer halben Wellenlänge des monochromatischen Lichts entspricht, so treffen die Wellen im Gegenteil aufeinander. Ein Amplitudenmaximum trifft auf ein Amplitudenminimum und die Wellen löschen sich nahezu¹ aus. Sie überlagern sich destruktiv. Geht man noch weiter in eine Richtung, so beträgt der Wellenlängenunterschied schließlich wieder eine ganze Wellenlänge und die Interferenz ist wieder konstruktiv (Position 1). Immer, wenn der Gangunterschied zwischen den Wellen ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge ist, so ist auf der Wand ein heller Interferenzstreifen. Dazwischen liegen die dunklen Streifen. Diese Abfolge von hellen und dunklen Streifen wird Interferenzmuster genannt.

Nun kehren wir zu unserem Beispiel der CD zurück. Im Vergleich zu unserem Spektroskop wurden beim vorherigen Gedankenexperiment zwei Vereinfachungen getroffen: Erstens ergeben die vielen Rillen der CD ein optisches Gitter mit sehr vielen Öffnungen anstatt zwei wie beim vorher besprochenen Doppelspalt. Zweitens ist die CD ein spezielles optisches Gitter, nämlich ein Reflexionsgitter. Drittens ist das Sonnenlicht nicht monochromatisch,

¹Die Wellen löschen sich nicht vollständig aus, weil diese unterschiedlich lange Wege zurückgelegt haben und so in ihrer Intensität variieren.

sondern, wie schon mehrmals angesprochen, setzt sich aus allen Wellenlängen des sichtbaren Lichts zusammen. Im folgenden Abschnitt wird besprochen, wie sich diese drei Unterschiede auf das Experiment auswirken.

Beugung mit weißem anstatt monochromatischem Licht

Die CD wird also nicht mit monochromatischem Licht, sondern mit weißem Licht bestrahlt. Das rote Licht besitzt eine längere Wellenlänge als das blaue Licht [14]: 75. Daher muss man sich weiter als bei blauem Licht von Position 0 entfernen, bis wieder ein ganzzahliges vielfaches der Wellenlänge erreicht ist und konstruktive Interferenz auftritt. Bei blauem Licht tritt konstruktive Interferenz schon früher auf. So wird das weiße Licht in seine Spektralfarben zerlegt. Als Ergebnis ist der mittlere Streifen auf Position 0 ein heller Streifen, alle anderen Streifen stellen ein Spektrum dar.

In *Abbildung 19* ist die Zerlegung des Lichts in die Spektralfarben schematisch dargestellt. Man kann erkennen, dass sich für jede Farbe neben dem Maximum 0. Ordnung die Beugungsbilder aneinander reihen [13]: 383. So entsteht die lückenlose Farbfolge: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett.

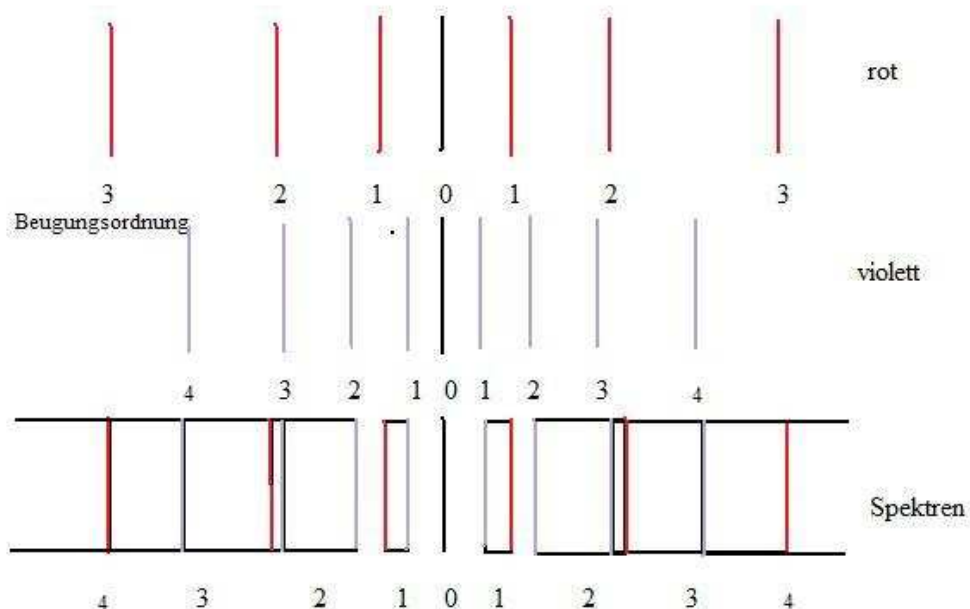


Abbildung 19 – Entstehung der Spektren

In der physikalischen Fachsprache werden die Nummern der Spektren (0,1,2,...)Beugungsordnung genannt [13]: 382. Der Winkel unter dem diese vom Doppelspalt aus gesehen auftreten, heißt Beugungswinkel. Die **Gittergleichung** zeigt den mathematischen Zusammenhang zwischen dem Beugungswinkel und der Wellenlänge:

$$\sin\varphi_k = \frac{k\lambda}{s} \qquad \text{Formel 6}$$

φ ... Beugungswinkel
k ... Beugungsordnung
λ ...Lichtwellenlänge
s ... Gitterkonstante

Diese Formel gilt für jedes optische Gitter. Bei einer handelsüblichen CD liegt die Abstandsbreite der Rillen bei 1,6 μm . Das bedeutet, dass der Abstand zwischen den Gitteröffnungen, genannt Gitterkonstante, 1,6 μm beträgt.

Berechnet man mithilfe von **Formel 6** die Beugungswinkel für das Beugungsmaximum 1. Ordnung ($k=1$) für Rot ($\lambda_{\text{rot}}=400 \text{ nm}$) und Violett ($\lambda_{\text{violett}}=750\text{nm}$) bei einer Gitterkonstante von 1,6 μm der verwendeten CD, so ergeben sich folgende Werte:

$k=1$	$\varphi_{\text{rot}} = 27,9^\circ$	$\varphi_{\text{violett}} = 14,5^\circ$	$\varphi_{\text{rot}} - \varphi_{\text{violett}} = 13,4^\circ$
-------	-------------------------------------	---	--

An den unterschiedlichen Beugungswinkeln für die verschiedenen Frequenzen kann man deutlich erkennen, dass das weiße Licht in seine Spektralfarben zerlegt wird. An der Formel für die Beugungswinkel kann man auch erkennen, dass die Entfernung der Wellenlängen zueinander mit den Maxima immer weiter ansteigt. Daher beginnen sich die Spektren für die höheren Maxima teilweise zu überlagern. Blickt man bei unserem selbstgebastelten Spektroskop etwas seitlich, so kann man das Spektrum zweiter Ordnung erkennen und sieht, dass dieses teilweise schon vom Spektrum 3. Ordnung überlagert wird. Für die höheren Ordnungen überlagern sich die Spektren schließlich so stark, dass sich wieder weißes Licht ergibt (siehe *Abbildung 19*).

Die CD als Reflexionsgitter

Durch die Folie auf ihrer Rückseite ist die CD, wie anfangs kurz angesprochen, ein besonderes optisches Gitter, nämlich ein Reflexionsgitter. Für ein sogenanntes Transmissionsgitter, bei dem das Licht an den Spalten gebeugt wird und sich dahinter ein Interferenzmuster zeigt, ist die Gittergleichung einfach zu verstehen. Für das Reflexionsgitter gilt dieselbe Gleichung. Die Interferenz ergibt sich hier dadurch, dass sich die Phase der reflektierten Wellen sprungweise von Stufe zu Stufe verändert [13]:388. *Abbildung 20* vergleicht das Transmissionsgitter mit einem Reflexionsgitter und zeigt die wichtigsten Parameter. Die Gitterkonstante s wird beim Reflexionsgitter zum Rillenabstand der CD und der Beugungswinkel φ zum Reflexionswinkel.

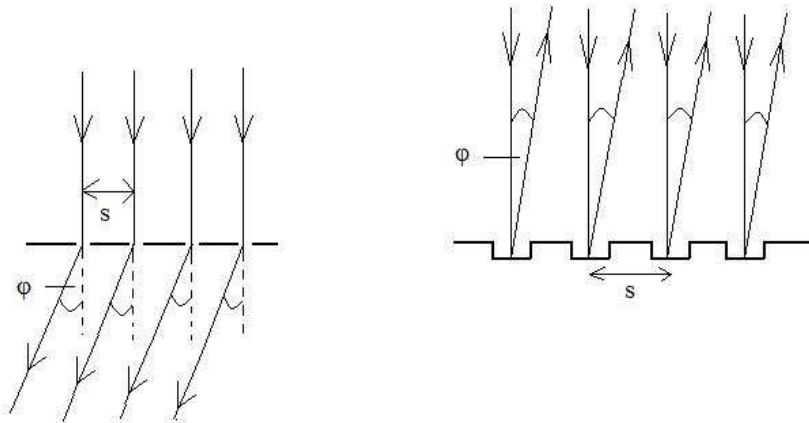


Abbildung 20 – Gegenüberstellung Transmissionsgitter - Reflexionsgitter

Das Sonnenlicht wird also an der Folie reflektiert und gelangt so in unser Auge. In *Abbildung 21* wird die Funktionsweise der CD im Zusammenhang mit dem Spektroskop dargestellt. In der vereinfachten Darstellung ist der einfallende Sonnenstrahl als dicker Pfeil dargestellt. Weiters sind nur die zwei Spektren 1. Ordnung dargestellt. Blickt man jedoch bei unserem Spektroskop etwas seitlich in das Beobachtungsfenster, so kann man auch das Spektrum 2. Ordnung erkennen.

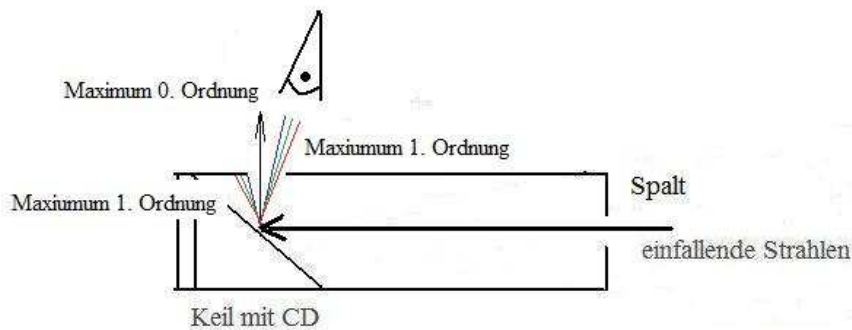


Abbildung 21 – Die CD als Reflexionsgitter

Der Unterschied zwischen einem Doppelspalt und einem Gitter

Neben der Verwendung von weißem Licht anstatt des monochromatischen Lichts und der reflektierenden Silberschicht der CD ist der dritte Unterschied zwischen der CD und unserem Beispiel des Doppelspalts, dass man nicht nur zwei Öffnungen, sondern ein ganzes Gitter hat [14]:75. Für zwei Spalte ist das Spektrum sehr grob. Je mehr Spalte ausgeleuchtet werden, umso feiner wird das Spektrum. Das liegt daran, dass nun die Bedingung für konstruktive Interferenz für alle Spalten gleichzeitig erfüllt sein muss. Daher gibt es nur noch wenige, aber dafür sehr helle Streifen.

Unter diesem Gesichtspunkt wäre es ideal, eine möglichst große Fläche der CD auszuleuchten. So müsste das Spektrum immer feiner werden und man sollte die dünnen Fraunhofer-Linien sehr gut erkennen können. Hält man die CD allerdings einfach ins Tageslicht, so ist das Spektrum verschwommen und man kann keine Details erkennen. Erst durch den Spalt wird das Spektrum besser aufgelöst. Warum dies der Fall ist, soll im nächsten Abschnitt besprochen werden.

6.2 Der Spalt

Beleuchtet man die CD mit Licht, so erzeugt diese, wie im vorigen Kapitel besprochen, Interferenz. Bei der Behandlung dieses Phänomens wurde bis jetzt allerdings ein wichtiger

Aspekt, der als Grundvoraussetzung für Interferenz gilt, außer Acht gelassen: die Kohärenz des Lichts. Die genaue Bedeutung dieses Begriffs, und wie dieser mit dem Spalt zusammenhängt, werden im folgenden Abschnitt erklärt.

Um besser mit dem Begriff Interferenz arbeiten zu können, soll dieser hier nochmals klar definiert werden: Interferenz bedeutet, dass sich zwei oder mehr Wellenfelder, wenn sie zusammentreffen, ungestört weiter ausbreiten. Addiert man die einzelnen Wellenfelder vektoriell, so ergibt sich das resultierende Wellenfeld [13]:301. Allerdings müssen die zwei Wellenfelder, die sich überlagern, in einer bestimmten Beziehung zueinander stehen: Sie müssen kohärent sein. Das bedeutet, dass eine feste Phasen- und Amplitudenbeziehung zwischen diesen zwei Wellenfeldern bestehen muss [35]:28. *Abbildung 22* stellt zwei Sinuswellen mit konstanter Phasen- und Amplitudenbeziehung dar. Die Phasendifferenz beträgt konstant $\pi/2$ und die Amplitude der blauen Sinuskurve ist konstant doppelt so groß wie die der roten.

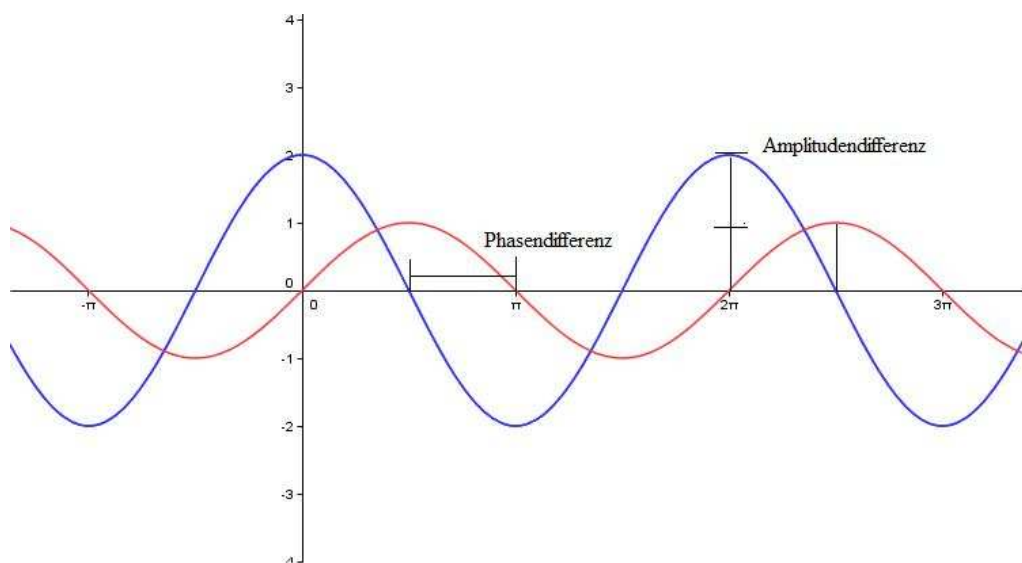


Abbildung 22 – Zwei Sinuswellen mit fester Phasen- und Amplitudenbeziehung

Perfekte Kohärenz wird durch eine ebene monochromatische Welle beschrieben, wie sie in der Natur nicht vorkommt [36]:342. In der Optik besitzen zwei Wellenfelder meistens keine feste Phasenbeziehung. Die Wellenzüge haben eine geringe Länge und werden statistisch zufällig ausgesandt. Das bedeutet, dass sich die Differenz der Phasenwinkel $\varphi_1 - \varphi_2$, um den

die beiden Wellen zueinander verschoben sind, zeitlich ändert. Dies heißt allerdings nicht, dass die beiden Wellen völlig inkohärent sind. Zwischen Kohärenz und Inkohärenz von Wellen gibt es einen fließenden Übergang, der durch die partielle Kohärenz beschrieben wird. Hier muss man zwischen räumlicher und zeitlicher Kohärenz unterscheiden. Bergmann beschreibt diesen Unterschied prägnant und einfach verständlich:

„Das gesamte Wellenfeld wird als örtlich kohärent bezeichnet, falls die Schwingungen der elektrischen Feldstärke zu einer gegebenen Zeit an beliebigen Punkten eine feste Phasenbeziehung besitzen. Entsprechend ist ein Wellenfeld bzw. eine Lichtquelle zeitlich kohärent, falls die Schwingungen an einem gegebenen Punkt zu verschiedenen Zeiten eine konstante Phase besitzen.“ [13]:305

Der Zusammenhang zwischen räumlicher und zeitlicher Kohärenz wird in *Abbildung 23* dargestellt. Die Welle ganz links ist sowohl zeitlich als räumlich kohärent. Die mittlere Welle ist zwar räumlich kohärent, jedoch springt die Phase der Welle zeitlich unvorhersehbar. Bei der Welle rechts ist dies genau umgekehrt: Die Welle ist zeitlich kohärent, jedoch springt die Phase entlang der Raumachse unvorhersehbar.

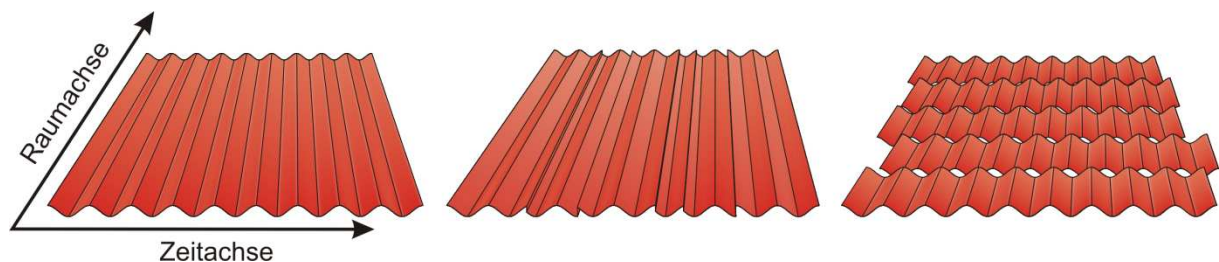


Abbildung 23 – Unterschied zwischen räumlicher und zeitlicher Kohärenz, [37]

Zeitliche Kohärenz

Unter zeitlicher Kohärenz versteht man, dass eine Welle an einem bestimmten Punkt x im Raum für eine gewisse Zeit, der Kohärenzzeit t_c , eine konstante Phase besitzt [13]:307. Anders ausgedrückt: entstammt das Licht aus einer exakt punktförmigen Lichtquelle, so ist das Auftreten von Interferenz nur von der Laufzeitdifferenz der beiden Teilstrahlen abhängig [38]:32.

Weißlichtquellen, wie unsere Sonne oder eine Glühlampe, haben eine sehr kleine zeitliche Kohärenz [13]:306. Der Grund für die geringe Kohärenz von diesen Lichtquellen ist der

Mechanismus, der der Lichtentstehung zugrunde liegt. Durch Energiezufuhr wird das Elektron eines Atoms auf ein höheres Energieniveau E_2 gehoben. Das Elektron verweilt jedoch nur sehr kurz auf diesem höheren Energieniveau E_2 und kehrt sofort wieder in den Zustand E_1 zurück. Dabei sendet es, wie in *Abbildung 24* dargestellt, einen Wellenzug begrenzter Länge aus, dessen Energie der Energiedifferenz zwischen höherem und niedrigerem Energieniveau entspricht. Da die Aussendung der Wellenzüge statistisch erfolgt, sind die einzelnen Emissionsakte voneinander komplett unabhängig. Die Wellenzüge haben daher zueinander unterschiedliche Phasenkonstanten und sind deshalb nicht kohärent. Die Kohärenzzeit t_c ist nun jene Zeit, die einer dieser Wellenzüge braucht um einen bestimmten Punkt x im Raum zu passieren. Je länger der Wellenzug, umso länger ist folglich auch die Kohärenzzeit t_c .

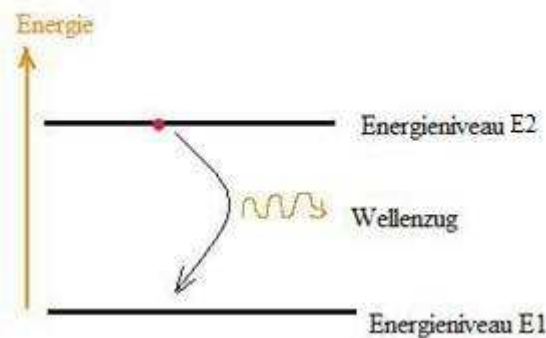


Abbildung 24 - Lichtaussendung

Die Kohärenzzeit von Sonnenlicht ist mit $3 \cdot 10^{-15}$ s wie gesagt sehr klein [13]: 307. Nimmt man an, dass sich das Licht in Luft näherungsweise mit einer Geschwindigkeit c von $3 \cdot 10^8$ m/s fortbewegt, so legt es in dieser Zeit eine Distanz von $0,9 \mu\text{m}$ zurück. Damit man nun Interferenz beobachten kann, darf der Wegunterschied der interferierenden Strahlen, der durch Beugung am Reflexionsgitter der CD entsteht, nicht größer als $0,9 \mu\text{m}$ sein. Dieser Wert, die maximal zulässige Wegdifferenz, entspricht gleichzeitig der Länge eines von der Sonne abgestrahlten Wellenzuges. Man nennt sie Kohärenzlänge l_c .

$$t_c = \frac{l_c}{c}$$

Formel 7

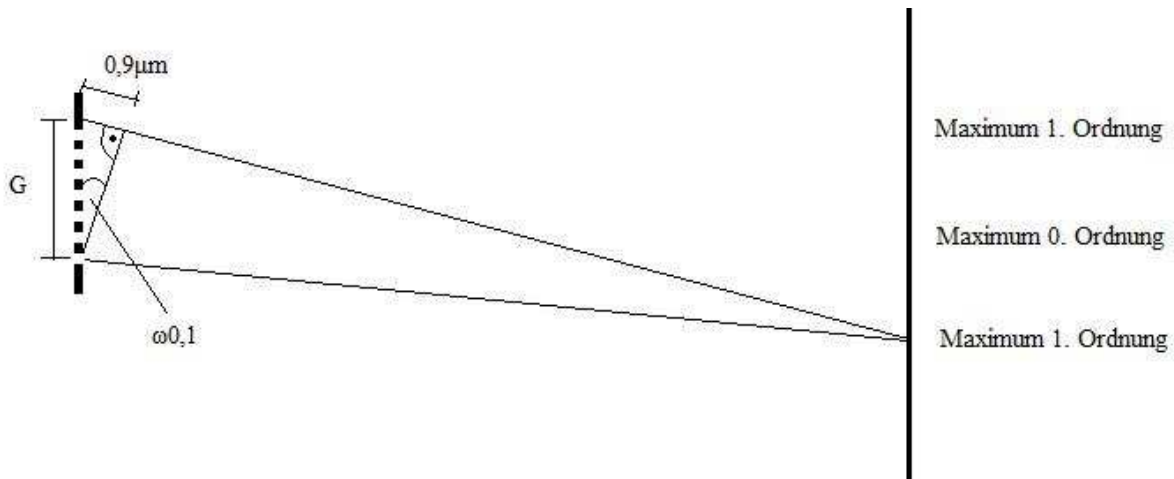


Abbildung 25 – Implikationen der zeitlichen Kohärenz für das Spektroskop

G ... von der Sonne bestrahlter CD-Abschnitt
$\omega_{0,1}$... Winkel zwischen Maximum 0. und 1. Ordnung

Abbildung 25 zeigt die Auswirkungen der zeitlichen Kohärenz auf die Konstruktion des Spektroskops. Hierbei ist G der Abschnitt auf der CD, der maximal beleuchtet sein darf, damit die Wegdifferenz der beiden Randstrahlen einer bestimmten Wellenlänge gerade der maximal zulässigen Kohärenzlänge von $0,9 \mu\text{m}$ entspricht. Auf Grund von ähnlichen Dreiecken gilt, dass der Winkel $\omega_{0,1}$ genau dem Winkel zwischen dem Maximum 0. Ordnung und dem Maximum 1. Ordnung entspricht. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass dieser Winkel je nach Wellenlänge variiert. Wie bereits mit **Formel 6** auf Seite 63 berechnet, beträgt dieser Winkel φ die Farbe Rot ($\lambda_{\text{rot}}=400 \text{ nm}$) und für Violett ($\lambda_{\text{violett}}=750 \text{ nm}$) $14,5^\circ$. Somit kann man sich die Länge von G folgendermaßen berechnen:

$$G = \frac{0,9 \mu\text{m}}{\sin \varphi}$$

Für die Farbe Rot erhält man so für G einen Wert von $1,9 \mu\text{m}$ und für die Farbe Violett einen Wert von $3,5 \mu\text{m}$. Will man also für alle Farben des Spektrums sicherstellen, dass die Bedingung für die zeitliche Kohärenz erfüllt ist, so darf der Abschnitt G der CD, der vom Sonnenlicht beleuchtet wird, nicht länger als $1,9 \mu\text{m}$ sein. Die Größe des Abschnitts wird durch die Größe des Spalts bestimmt, der im Fall unseres Spektroskops zumindest die Breite des Stanleymessers hat und so größer als $1,9 \mu\text{m}$ sein wird. Dieser Umstand und der Fakt, dass die Abstandsbreite der Rillen bei einer CD selbst $1,6 \mu\text{m}$ beträgt und so für perfekte

Kohärenz nicht einmal zwei Rillen der CD ausgeleuchtet werden könnten, ist mit ein Grund für die schlechte Auflösung unseres Spektroskops im Vergleich zu professionellen Geräten.

Räumliche Kohärenz

Der zweite Aspekt der partiellen Kohärenz wird durch die räumliche Kohärenz beschrieben [13]: 309-310. Dieser Begriff beschreibt die Tatsache, dass zur Erzeugung von Licht niemals nur ein einziges Emissionszentrum, sondern immer eine Lichtquelle mit einer endlichen, räumlichen Ausdehnung verwendet wird.

Um die Auswirkung der Ausdehnung der Lichtquelle auf die Interferenz zu verstehen, gehen wir zuerst von einer physikalisch idealisierten Vorstellung aus: Wir betrachten eine Lichtquelle, die nur aus einem einzigen Atom besteht. Dieses Atom sendet eine Lichtwelle aus, die aus einem einzigen Emissionsakt stammt. Zerlegt man diese Lichtwelle durch Spiegel in zwei Teilwellen, so haben diese beiden Teilwellen eine konstante Phasendifferenz, weil sie ja aus demselben Emissionsakt stammen. Bringt man diese Teilwellen zur Überlagerung, so kann man Interferenz beobachten. Eine Punktlichtquelle kann als räumlich perfekt kohärent bezeichnet werden.

Diese Idealisierung von einem einzigen Atom als Lichtquelle ist natürlich in der Wirklichkeit nie gegeben, weil eine reale Lichtquelle immer eine Ausdehnung hat [38]: 36. Eine solche Lichtquelle a besteht dann nicht nur aus einem Atom, das Wellenzüge aussendet, sondern aus sehr vielen Atomen. Diese Vielzahl von punktförmigen Lichtquellen sendet unabhängig voneinander Licht aus. Daher muss man sich über die Auswirkungen der Ausdehnung der Lichtquelle a auf die Interferenzerscheinung bewusst sein. Wichtig ist, dass die Wegdifferenz von den Randpunkten der Lichtquelle klein gegen $\lambda/2$ ist, damit die beiden Wellenzüge im gleichen Punkt ein Maximum bzw. Minimum aufweisen [13]: 310. Daher muss die Ausdehnung der Lichtquelle a folgender Bedingung, genannt **Interferenzbedingung**, genügen:

$$a \ll \frac{\lambda}{4 \sin \vartheta} \approx \frac{\lambda}{4 \vartheta}$$

Formel 8

a ... Ausdehnung der Lichtquelle
λ ... Lichtwellenlänge
ϑ ... Winkel, unter dem die Randpunkte der Lichtquelle betrachtet werden

An dieser Formel kann man sehen, dass auch Lichtquellen mit sehr großem Durchmesser, wie unsere Sonne, Interferenz erzeugen können, solange der Betrachtungswinkel ϑ klein genug ist. Abbildung 26 stellt den Zusammenhang zwischen den einzelnen Größen anschaulich dar.

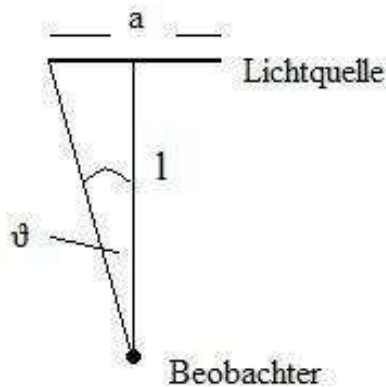


Abbildung 26 – Interferenz bei ausgedehnten Lichtquellen

Für weiße Lichtquellen wie unsere Sonne, die zwar stark inkohärentes Licht erzeugen, aber im Vergleich zu ihrer Ausdehnung weit von uns entfernt sind, kann man der Interferenzbedingung noch eine andere Deutung zuschreiben[13]: 310. Betrachtet man nur einen Kegel mit dem Öffnungswinkel ϑ , der einen Teil der von der Sonne ausgehenden Lichtstrahlen enthält, so kann das Licht innerhalb dieses Kegels als räumlich kohärent angesehen werden.

Abbildung 27 zeigt die einzelnen Größen der Interferenzbedingung für den Fall, dass man nur einen Lichtkegel der Sonne abgreift. Die Fläche, die von der Sonne mit dem Durchmesser a

kohärent beleuchtet werden muss, ist eine Kreisfläche mit dem Durchmesser s . Der Abstand der Sonne zum Reflexionsgitter auf der CD wird mit D bezeichnet. Auch wenn die Ausdehnung der Lichtquelle noch in die Rechnung mit einfließt, so wird der Öffnungswinkel des Kegels 2ϑ nur noch durch den Abstand D und den Kegeldurchmesser s bestimmt.

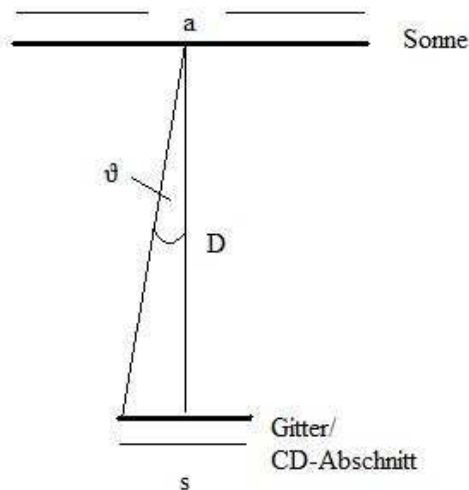


Abbildung 27 – Interferenz am Spektroskop

Daher gibt es zwei Möglichkeiten, den Winkel ϑ zu ändern. Entweder man verändert den Abstand D zwischen der Lichtquelle und dem Reflexionsgitter oder man lässt den Abstand D gleich und variiert die Größe des Lichtkegels selbst. Im Folgenden sollen beide Optionen genauer betrachtet werden. Ein Experiment mit dem Spektroskop und einer Energiesparlampe soll den Einfluss der beiden Größen auf das Interferenzmuster zuerst qualitativ gegenüberstellen, bevor diese Erkenntnisse auf den tatsächlichen Versuchsaufbau mit der Sonne als Lichtquelle umgelegt werden.

1. Abstand ändern

Um die Auswirkung der Änderung des Abstands D und der damit verbundenen Winkeländerung ϑ qualitativ zu veranschaulichen, wird eine Energiesparlampe mit 5W Leistung genommen. Diese Energiesparlampe soll hier die Rolle der Sonne spielen. Anschließend wird das Spektroskop einmal im Abstand von 40cm vor die Lichtquelle gehalten und ein Mal im Abstand von 4m. Beide Male wird kein Schlitz verwendet, das Licht fällt durch ein Quadrat mit 2x2cm ein. *Abbildung 28* stellt die zwei Spektren gegenüber. Man

kann erkennen, dass die einzelnen Linien des Spektrums der Energiesparlampe bei einem größeren Abstand viel schärfer zu sehen sind. Dies beweist, dass man durch eine Vergrößerung des Abstandes D den Einfallswinkel ϑ verkleinern kann und somit die Interferenzbedingung besser erfüllt ist.

40 cm Abstand zur Lichtquelle



4 m Abstand zur Lichtquelle

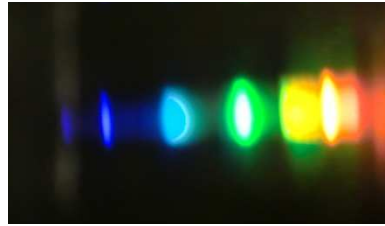


Abbildung 28 – Spektren bei verschiedenen Abständen

Diese Möglichkeit ist bei der Sonne als Lichtquelle allerdings nicht gegeben. Der Abstand zwischen dem Spektroskop und der Sonne kann im Vergleich zur Ausdehnung der Lichtquelle nicht signifikant geändert werden. Daher muss man die Größe D als fest annehmen und die Größe des vom Sonnenlicht abgegriffenen Lichtkegels selbst verändern.

2. Größe des Lichtkegels ändern

Da man den Abstand zwischen Erde und Sonne nicht ändern kann, muss man also versuchen, die Ausdehnung der Lichtquelle zu verändern, damit die Kohärenzbedingung erfüllt ist. Mit Hilfe des Spalts, der bei diesem Spektroskop verwendet wird, filtert man einen Lichtkegel unseres Sonnenlichts heraus und verkleinert so scheinbar die Ausdehnung der Lichtquelle. Das Spektroskop lässt schon in seiner Grundkonstruktion immer nur einen Lichtkegel auf den CD-Sektor fallen. Dieser Lichtkegel ist allerdings, wie in *Abbildung 29* zu sehen ist, sehr groß. Schiebt man einen Spalt ein, so kann man den Lichtkegel um ein Vielfaches verkleinern. Wie sich die Änderung des Durchmessers des Lichtkegels nur durch Änderung der Spaltgröße auf das Interferenzmuster auswirkt, wird zuerst wieder mit der Energiesparlampe gezeigt.

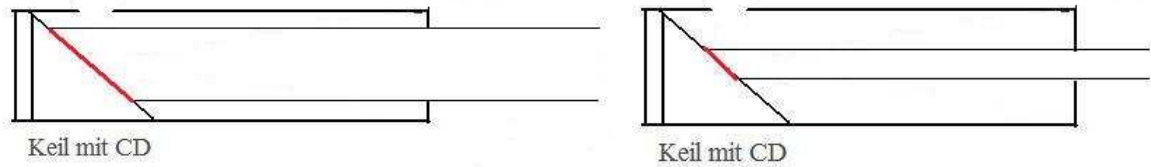


Abbildung 29 – Lichteinfall auf der CD

Um die Auswirkung der Änderung des Lichtkegels auf das Interferenzmuster der Energiesparlampe zu zeigen, wird nun der Abstand von 4m konstant gehalten und ein Spalt eingeschoben, der eine Breite von 1mm hat. Blickt man erneut durch das Spektroskop, so kann man nun, wie in *Abbildung 30* zu sehen ist, eine weitere Verbesserung der Auflösung des Spektrums der Energiesparlampe erkennen.

2cm x 2cm Lichtkegel



2cm x 1mm Lichtkegel



Abbildung 30 – Spektren bei verschiedenen Lichtkegeln

Um bei der Beugung an der CD Interferenz betrachten zu können, ist es nun wichtig, dass der Durchmesser des Lichtkegels nur so groß ist, dass die Interferenzbedingung noch für alle Gitteröffnungen gilt. Anders gesagt, die Größe des bestrahlten Bereichs darf die Länge der räumlichen Kohärenz des Lichtkegels nicht überschreiten. Nur dann kann man annehmen, dass das Licht als kohärent für alle Gitteröffnungen angesehen werden kann. Um die Spurrillen der CD zu beschränken, auf die Licht fällt, verwendet man den Spalt. Je größer der beleuchtete CD-Abschnitt ist, umso größer wird die Anzahl der beugenden Gitteröffnungen s . Damit wächst natürlich auch der Winkel ϑ , unter dem die Lichtquelle beobachtet wird. Diese

Überlegungen gelten natürlich ganz allgemein und so auch für unser Experiment mit der Sonne anstatt einer Energiesparlampe als Lichtquelle. Mithilfe der Interferenzbedingung kann prinzipiell berechnet werden, wie groß ein Lichtkegel sein darf, damit man noch von einem kohärenten Strahlenbündel ausgehen kann. Wendet man diese Formel auf die Sonne und die CD als Reflexionsgitter an, so kann man die Länge des Reflexionsgitters berechnen, die maximal beleuchtet werden darf, damit das Sonnenlicht noch als räumlich kohärent betrachtet werden kann. Analog zu Abbildung 27 wird in die Interferenzbedingung eingesetzt:

$$\sin \vartheta = \frac{G}{H} = \frac{s/2}{D} = \frac{s}{2D}$$

$$a < \frac{\lambda 2D}{4s} < \frac{\lambda D}{2s}$$

$$s < \frac{\lambda D}{2a}$$

Formel 9

s ... Länge des bestrahlten Bereichs
λ ... Lichtwellenlänge (mittlerer Wert: 500 nm)
D... mittlerer Abstand Erde-Sonne ($1,496 \cdot 10^8$ km)
a... Durchmesser der Sonne ($1,39 \cdot 10^6$ km)

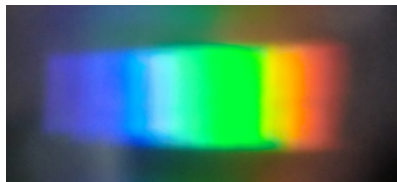
Durch Einsetzen der Werte in obige Formel erhält man ein Ergebnis für die Länge s von ungefähr 27 μ m. Dieser Wert bezieht sich auf den Durchmesser des Lichtkegels und somit auf die beleuchtete Länge des Reflexionsgitters. Damit man das Sonnenlicht noch als räumlich kohärent betrachten kann und somit Interferenzen beobachten werden können, dürfen nicht mehr als 27 μ m der CD beleuchtet werden.

Die CD, die in diesem Experiment als Beugungsgitter verwendet wird, hat eine Gitterkonstante von 1,6 μ m. Damit man also noch Interferenz beobachten kann, sollten nicht mehr als 15 Gitteröffnungen bzw. Spurrillen der CD von der Sonne beleuchtet werden. Prinzipiell gilt: Je dünner der Spalt ist, umso kleiner ist die Anzahl der Gitteröffnungen, die durch die Sonne bestrahlt werden. Je kleiner der Abschnitt der CD ist, der beleuchtet wird, umso eher kann das Licht für die jeweilige Länge als kohärent angenommen werden und umso besser kann das Licht interferieren.

Allerdings wird das Spektrum natürlich auch umso lichtschwächer, je dünner der Spalt ist, den man verwendet, um den Lichtkegel zu verkleinern. Dies kann man beim Vergleich der

beiden Spektren der Energiesparlampe sehr gut erkennen. In *Abbildung 31* sieht man denselben Vergleich für das Fraunhoferspektrum. Man sieht, dass das rechte Spektrum viel lichtschwächer ist. Das bedeutet, dass man den Spalt nicht beliebig dünn wählen kann. Es muss genügend Licht durch das Spektroskop fallen, sodass das Spektrum hell genug ist um die dunklen Linien im Fraunhoferspektrum noch gut erkennen zu können. Obwohl bei dem Spalt von der Dicke von 1mm natürlich viel mehr als $27\mu\text{m}$ der CD beleuchtet werden, so kann der Sonnenlichtkegel trotzdem als partiell kohärent angesehen werden. Das Sonnenlicht ist kohärent genug um die Fraunhoferlinien im Spektrum der Sonne erkennen zu lassen.

2cm x 2cm Lichtkegel



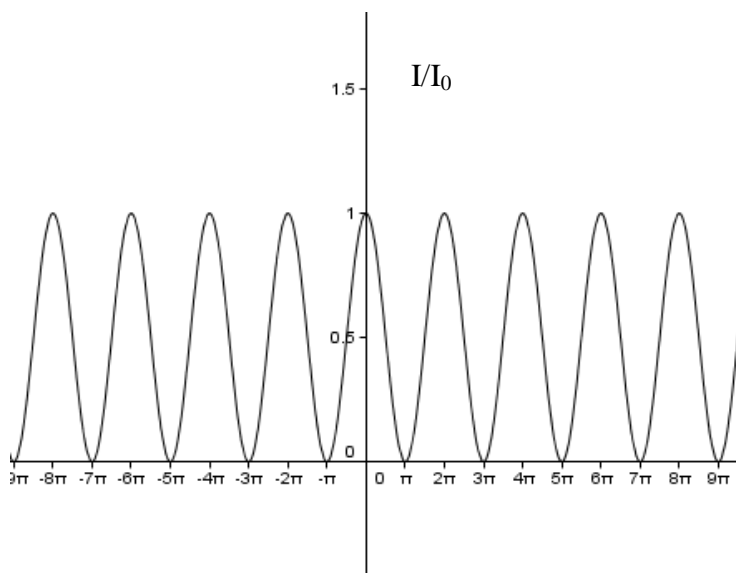
2cm x 1mm Lichtkegel



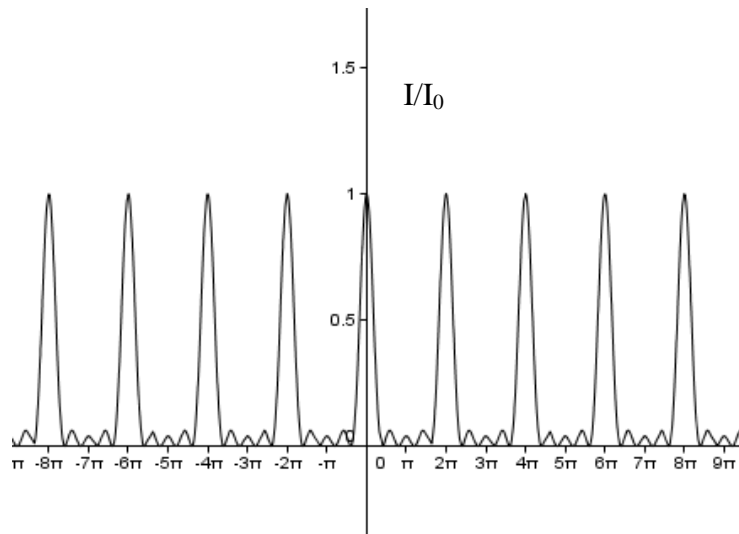
Abbildung 31–Fraunhoferspektrum bei verschiedenen Lichtkegeln

Ein weiterer Grund, warum man den Spalt des Spektroskops nicht beliebig dünn wählen kann, ist, dass die Intensität der Maxima und Minima des Interferenzmusters immer stärker ausgeprägt wird, je mehr Öffnungen p des optischen Gitters/ der CD ausgeleuchtet werden (siehe

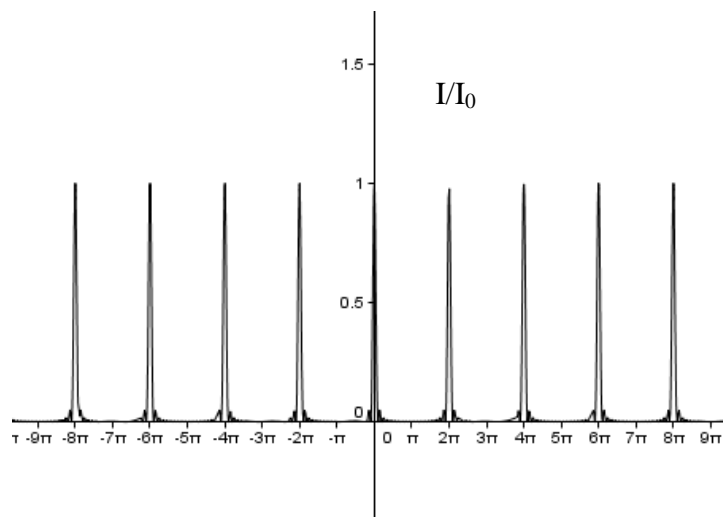
Abbildung 32) [13]: 381. Dies bedeutet, dass die Schärfe der Linien des Fraunhoferspektrums mit den Gitteröffnungen N steigt.



Für $N=2$



Für $N=5$



Für $N=20$

Abbildung 32 – Zusammenhang Intensität- Gitteröffnungen

Auflösung des Spektroskops

Da die Fraunhofer-Linien nur sehr fein sind, kommt es auch auf das Auflösungsvermögen eines Spektroskops an, ob man die Linien im Spektrum sieht. Wie bereits in *Abbildung 32* beschrieben, ist das Bild des Spektrums umso schärfer, je größer die Anzahl p der Gitteröffnungen ist [13]: 384. Zusätzlich wurde schon besprochen, dass die Ausdehnung

des Spektrums mit der Ordnungszahl k steigt. Daher ist das Auflösungsvermögen eines Spektroskops proportional zu p und k :

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = kp$$

Formel 10

Bei der Anzahl der beleuchteten Gitteröffnungen muss man darauf achten, ob die Kohärenzbedingung für alle Gitteröffnungen noch erfüllt sein kann. Die Steigerung des Auflösungsvermögens durch die Ordnungszahl ist allerdings dadurch begrenzt, dass sich, wie in *Abbildung 19* gezeigt, die Spektren der höheren Beugungsordnungen zu überlagern beginnen.

7. Empirische Austestung der Unterrichtseinheit

7.1 Durchführung der empirischen Untersuchung

Dieses Kapitel beschreibt die drei Schritte, in der die Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“ empirisch evaluiert wurde. Zuerst wird die Organisation der Testschulen erklärt und anschließend die Wahl des Leitfadenterviews als empirische Methode begründet. Im Zuge dessen wird auch auf den Aufbau des Interviews näher eingegangen und schließlich wird die Auswertung des Interviews erläutert.

Organisation der Testschulen

Nach der Fertigstellung der Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“, die im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelt wurde, war es das Ziel vier Lehrpersonen zu finden, die sich bereit erklärten, die Einheit auszutesten, um sie so auf die Unterrichtstauglichkeit zu überprüfen. Damit diese Rahmenbedingungen gegeben waren, mussten sich die Lehrpersonen, welche die Einheit zum Thema „Spektroskopie“ austesteten, dazu bereit erklären, den Lehrstoff anhand der vorgegebenen Unterlagen zu unterrichten, wobei ihnen die explizite Umsetzung im Unterricht, sowie der Zeitrahmen oder die Sozialform, freigestellt wurden.

Die Unterrichtseinheit wurde von vier Lehrpersonen in vier verschiedenen Schulen getestet. Alle vier Schulen sind öffentliche Gymnasien, von denen sich drei in Wien und eine in Niederösterreich befinden. Drei der vier Lehrpersonen unterrichteten die Einheit zum Thema Spektroskopie, wenn auch teilweise in verkürzter Form, in mehr als nur einer Klasse. Das Unterrichtskonzept wurde dreimal in einem Wahlmodul, eben so oft in einer 7. Klasse und einmal in einer 8. Klasse umgesetzt. Der Lehrstoff zum Thema „Spektroskopie“ war für alle Klassen, außer der 8. Klasse, neu. Allen Lehrpersonen wurde die Unterrichtseinheit im November ausgehändigt, und anschließend wurde sie im Zeitraum von Dezember 2012 bis März 2013 von allen LehrerInnen durchgeführt. *Tabelle 2* gibt einen Überblick über die Klassen, in denen die Einheit unterrichtet wurde.

Schule		Klasse	Anzahl der SchülerInnen
BG/ BRG Wien 23 Draschestraße 90 - 92 A-1230 Wien	Gesamte Unterrichtseinheit	Wahlmodul 7./ 8. Klasse	8 SchülerInnen
	Bau des Handspektroskops	Wahlmodul 6./ 7./ 8. Klasse	19 SchülerInnen
RG/ORG 23 Anton Kriegergasse 1230 Wien	Gesamte Unterrichtseinheit	7. Klasse	22 SchülerInnen
	Gesamte Unterrichtseinheit	7. Klasse	28 SchülerInnen
Schule Theodor-Kramer Straße Theodor Kramer Straße 3 1220 Wien	Gesamte Unterrichtseinheit	7. Klasse	18 SchülerInnen
	Verkürzte Version	Wahlmodul 7./ 8. Klasse	13 SchülerInnen
BG/ BRG Waidhofen/Thaya Gymnasiumstraße 1 3830 Waidhofen/Thaya	Gesamte Unterrichtseinheit	8. Klasse	20 SchülerInnen

Tabelle 2 – Überblick der Testschulen

Das Leitfadeninterview als empirische Methode

Die Austestung der Unterrichtseinheit verfolgte **drei Ziele**:

Erstens sollte herausgefunden werden, wie die entwickelten Unterlagen modifiziert werden müssen, um den SchülerInnen den besten Lernerfolg zu ermöglichen. Zweitens sollten die Unterschiede zwischen der Art, wie die LehrerInnen das Thema „Spektroskopie“ normalerweise unterrichten, und der neuen Unterrichtseinheit, aufgezeigt werden und Vor- sowie Nachteile besprochen werden. Drittens sollten die Lehrpersonen ihre Meinung und

Erfahrung zu der Einbindung von Astronomie im (Physik-)Unterricht mitteilen und beurteilen, wie diese Grundidee in der entwickelten Einheit umgesetzt ist.

Um sicher zu gehen, dass im Interview alle oben genannten Bereiche abgedeckt werden, wurde ein Leitfaden erstellt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Fragen offen gestellt werden und keine Antwortvorgaben enthalten. Für den Entwurf des Leitfadens wurden die drei Ziele der Austestung der Unterrichtseinheit als Überkategorien verwendet und deren Inhalt anhand von Detailfragen genauer spezifiziert. Es wurde darauf geachtet, dass keine großen inhaltlichen Sprünge im Leitfaden sind. Der Leitfaden zum Interview befindet sich im **Anhang 1** dieser Diplomarbeit.

Nach Abschluss der Einheit wurde mit jeder Lehrperson einzeln das Leitfadeninterview durchgeführt, um so die Unterlagen hinsichtlich der drei vorher beschriebenen Ziele zu evaluieren. Da ein/e LehrerIn bis Ende Februar 2013 die Unterrichtseinheit mit seiner/ ihrer Klasse noch nicht abgeschlossen hatte, musste das Interview vor Beenden der Einheit durchgeführt werden. Bei einer weiteren Lehrperson stand die Unterrichtseinheit zum Zeitpunkt des Interviews kurz vor dem Abschluss, weshalb ein zweiter Interviewtermin vereinbart wurde.

Um den Einstieg in das Interview zu erleichtern, wurden die Lehrpersonen zuerst aufgefordert, vom allgemeinen Ablauf der Unterrichtseinheit zu berichten. Die Reihenfolge des Leitfadens wurde nicht strikt eingehalten, sondern an den Ablauf des Interviews adaptiert, um ein möglichst natürliches Gespräch zu führen. Trotzdem wurde darauf geachtet, dass alle Detailfragen im Rahmen des Interviews beantwortet wurden. Die Interviews dauerten zwischen 18 und 45 Minuten.

Im folgenden Abschnitt wird die Methode beschrieben, die zur Auswertung der Daten verwendet wurde.

Auswertung der Interviews

Alle Interviews wurden mit einem Tonaufnahmegerät aufgezeichnet und anschließend transkribiert, um eine vollständige Analyse der Daten zu gewährleisten. Die Transkription der Interviews befindet sich im Anhang (**Anhang 2**, **Anhang 3**, **Anhang 4**, und **Anhang 5**). Um

die Daten so weit als möglich zu anonymisieren, werden die interviewten Lehrpersonen mit den Abkürzungen B1 bis B4 bezeichnet. Das Ziel der Interviews war es, Informationen über die Anwendbarkeit der entwickelten Unterrichtseinheit zu bekommen. Daher wird die qualitative Inhaltsanalyse angewendet, um die Daten auszuwerten[39]: 325. Da bei diesen Interviews der Fokus am Inhalt liegt, wurden die Transkripte im Hinblick auf Umgangssprache und Dialekt geglättet. Die genauen Regeln für die Transkription wurden von Diesing und Pehl [40]: 25- 28übernommen.

Für die anschließende Inhaltsanalyse wurde eine deduktive Kategorienentwicklung verwendet[39]: 331. Das bedeutet, dass schon vorhandene Kategorien, in diesem Fall die drei bereits angesprochenen Überthemen des Leitfadens, als Grundkategorien herangezogen wurden. Diese wurden in der Folge aufgrund des Materials adaptiert und verfeinert. Alle Interviews wurden anhand der Kategorien durchgearbeitet und selektiert. Auf der Grundlage dieser Selektion wurde ein Überblick über die wichtigsten Ergebnisse erstellt.

7.2 Analyse der Daten

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Aussagen der Gespräche mit den vier Lehrpersonen im Hinblick auf die oben beschriebenen Ziele des Leitfadeninterviews zusammengefasst und gegebenenfalls mit Zitaten belegt. Am Ende jedes Unterkapitels wird die Auswirkung der Testergebnisse auf die Unterrichtseinheit kurz zusammengefasst.

Entwurf der Unterrichtseinheit

Von den vier interviewten LehrerInnen haben drei das Thema Spektroskopie schon vorher einmal selbst unterrichtet. Diese geben an, dass die Unterrichtseinheit, die im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelt wurde, ausführlicher ist, als sie das Thema sonst unterrichten. Alle drei LehrerInnen berichten, dass sie in ihrem üblichen Unterricht zu diesem Thema keine Rechenbeispiele eingebaut haben. Eine Lehrperson fasst den Unterschied bezüglich der Rechenaufgaben folgendermaßen zusammen:

„B4: Wie kann ich aus Energiedifferenz eine Frequenz rausarbeiten, wie kann ich aus einer Frequenz eine Wellenlänge rausarbeiten. Das haben sie bei mir einmal gesehen, das habe ich ihnen vorgerechnet, aber sie haben es selbst nie handschriftlich rechnen müssen.“ (Z. 327-330, Anhang 5)

Ein weiterer Punkt, den alle drei LehrerInnen nach eigenen Angaben in ihren vorherigen Unterrichtskonzepten zu Spektroskopie nicht so ausführlich behandelt haben, ist das Spektrum des Wasserstoffs und damit verbunden die Interpretation des Fraunhofer Spektrums. Alle LehrerInnen betonen aber, dass sie die ausführliche Behandlung dieser Punkte durchaus positiv sehen.

„B3: Genauer sind schon diese Serien genauer drinnen. Die Balmer-Serie oder die Lyman-Serie oder so. Weil ich gehe dann gerade auf eines ein, und das war es. Was aber sehr interessant ist. Ich habe mir gedacht, weil man es ja genau dafür braucht. Das ist ja der Sinn und die Anwendung.“ (Z. 136-139, Anhang 4)

Zwei LehrerInnen geben Zeitmangel als Grund dafür an, dass sie diese Themengebiete kürzer behandelt haben. Allerdings erwähnen alle drei Lehrerinnen den Umstand, dass sie durch die vorgegebene, ausgearbeitete Unterrichtseinheit gezwungen waren, das Thema Spektroskopie ausführlicher zu behandeln, als ein positives Merkmal.

„B3: Aber, was mir wirklich gut gefallen hat, das sich wirklich Auseinandersetzen, weil ich mir gedacht habe, im Unterricht ist man dann manchmal versucht es zu streichen oder zu schnell zu machen und dann bleibt erfahrungsgemäß GAR nichts hängen. Besser gründlich oder gar nicht. Schnell, schnell ist meistens immer schlecht.“ (Z. 98- 101, Anhang 4)

Durchführung der Unterrichtseinheit

Pädagogische und fachdidaktische Umsetzung im Unterricht

Alle vier Lehrpersonen haben das Thema „Spektroskopie“ nach der vorgegebenen Unterrichtseinheit gestaltet. Im Zuge der Interviews zeigte sich, dass die Unterlagen trotzdem viel Handlungsspielraum für den/die LehrerIn lassen, denn alle vier Lehrpersonen haben die Unterrichtseinheit anders umgesetzt. Während ein/e LehrerIndie Unterlagen an seine/ihre SchülerInnen austeilte und sie dazu aufforderte, die Einheit so selbstständig wie möglich durchzuarbeiten, berichtet eine andere Lehrperson, dass sie einen Methodenmix verwendet hat:

„B2: Teilweise habe ich es dann so gemacht, dass ich gesagt habe: „So, jetzt lest euch „Sonnenaufbau“ beispielsweise selbstständig durch und wir besprechen es dann.“ Oder ich bin es mit ihnen durchgegangen. [...] Und diese Arbeitsaufgaben, die du dann gehabt hast, wo sie etwas ausfüllen müssen/ Das haben wir entweder als, unter Anführungszeichen, Hausübung gemacht, also dass ich ihnen gesagt habe: „Überlegt euch das einmal!“ Und wir haben das dann gemeinsam besprochen.“ (Z. 74-80, Anhang 3)

Eine andere Lehrperson beschreibt, dass sie den Bau des Spektroskops vorgezogen hat, weil ihre Unterrichtserfahrung gezeigt hat, dass die SchülerInnen die schwarzen Linien bei den Spektren ausblenden. Die restliche Unterrichtseinheit ließ sie von den SchülerInnen in Gruppen zu viert ausarbeiten, wobei der/die LehrerIn Wert darauf legte, dass jede/r SchülerIn die Aufgaben in seinen/ihren eigenen Worten beantwortet.

„B3: Dann habe ich ihnen gesagt, dass ich erwarte, dass mir das jeder ausfüllt, aber ich habe gesagt, dass nicht jeder den gleichen Text haben darf. Sie könne dann auch wieder auf Internet zurückgreifen, wenn sie es anderes formuliert haben wollen, als da, wenn sie zu wenig Phantasie haben, aber ich möchte nicht, dass sie es nur abschreiben.“ (Z. 62- 66, Anhang 4)

Auch eine zweite Lehrperson hat ihre SchülerInnen in Kleingruppen die Unterrichtseinheit bearbeiten lassen. Allerdings hat diese/r LehrerIn einen sogenannten Gruppenkommandanten bestimmt, der für die Gruppe verantwortlich ist:

„B4: Ich habe grob eingeteilt und zwar ganz bewusst so, dass sich die Leute das nicht selbst ausgesucht haben, wer wo sitzt. Es ist durchgelost worden. Einer bzw. eine in der Gruppe ist als Kommandant eingeteilt, die ist für alles verantwortlich. Die ist auch dafür verantwortlich, dass das gesamte Material da ist. [...] Und die Gruppenkommandanten sind dafür verantwortlich, dass ihre Gruppenmitglieder etwas lernen.“ (Z. 91-102, Anhang 5)

Im Interview beschreibt diese Lehrperson auch, dass falls ein Punkt für mehrere Gruppen unverständlich ist, dieser ebenfalls von der Lehrperson den Gruppenkommandanten erklärt wird, die die Information dann an ihre GruppenkollegInnen weitergeben müssen.

Diese Aussagen zeigen, dass die Einheit zum Thema „Spektroskopie“ von allen LehrerInnen in der vorgegebenen Form umgesetzt werden konnte, und dabei genug Freiraum blieb, den Unterricht auf eine individuelle Art und Weise zu gestalten.

Positive und problematische Aspekte der Unterrichtseinheit

Im Rahmen der Interviews zeigte sich, dass eine klare Trennung zwischen positiven und problematischen Aspekten der Unterrichtseinheit nicht möglich ist. Die Heterogenität zwischen den Versuchsklassen war so groß, dass Punkte, die von den einen Lehrpersonen als Probleme erwähnt wurden, anderen SchülerInnen keine Schwierigkeiten bereiteten oder gar als positiv erwähnt wurden. Im Folgenden wird auf die kontroversesten Aspekte, die sich bei der Analyse der Interviews herausstellten, eingegangen.

Das Basteln des Handspektroskops

Unter den LehrInnen gehen die Meinungen zu der Anleitung des Spektroskops sehr auseinander. Eine Lehrperson beschreibt, dass ihre SchülerInnen mit dem Zusammenbau des Spektroskops große Probleme hatten und zum Beispiel mit der Konstruktion des Spaltes oder dem Falten des Keils überfordert waren:

„B1: Oder zum Beispiel eine ganz große Katastrophe war, wenn wir den Karton für diesen Keil ausgeschnitten haben, wie muss der ausschauen, wenn der fertig ist? Die haben das nicht verstanden, wie man den zusammenkleben muss.“ (Z. 220- 222, Anhang 2)

Allerdings beschreibt die Lehrperson auch, dass dieser Umstand sie mehr gestört hat als die SchülerInnen. Diese hatten beim Basteln viel Spaß und zum Schluss funktionierten alle Spektroskope.

„B1: Also es hat funktioniert und es hat ihnen furchtbar Spaß gemacht, dass es funktioniert hat. Die Achtklässler sind wirklich zu Kindern geworden.“ (Z. 245-247, Anhang 2)

Im Gegensatz dazu erklären die anderen drei LehrerInnen, dass die Anleitung zum Bau des Handspektroskops gerade deshalb gut ist, weil die SchülerInnen zum Nachdenken gezwungen werden und den Anweisungen nicht kopflos folgen können. Ein/e LehrerIn beschreibt die Reaktion eines/einer SchülerIn auf die Anleitung folgendermaßen:

„B4: [...] „Weil da musst du ja nachdenken, wie denn der Lichteinfall ist und wie das mit dem Licht dann weitergeht und dann war es mir klar, wo das hingehört.“ Aber das musste er sich zuerst mal logisch vorstellen. Wo ich als Lehrer ganz ehrlich sage: Perfekt, super. Mir ist eine Anleitung, wo sie nachdenken müssen, die sie zwingt nachzudenken, lieber.“ (Z. 65-69, Anhang 5)

Eine dieser LehrInnenberichtet allerdings auch, dass seine/ihre SchülerInnen beim Bau des Spaltes Probleme hatten.

„B3: Das war noch klar, dass das über der CD sein muss. Es war auch klar, und ich glaube, das sollte auch Sinn der Sache sein, dass man sich überlegt, wie man es wirklich baut. Da war die Anleitung gut genug. Der letzte Sehschlitz war dann irgendwie ein bisschen/ Muss das verschiebbar sein, muss das kleiner sein, warum reicht es nicht einfach groß?“ (Z. 15-19, Anhang 4)

Die vierte Lehrperson erzählt im Interview, dass sie mit ihren SchülerInnen die Anleitung zuerst theoretisch durchging und, dass diese anschließend, zu ihrer eigenen Überraschung, das Spektroskop ganz alleine Zuhause bauten.

I: Cool, dass das wirklich alle Zuhause gemacht haben.

B2: Na wirklich, das hätte ich nie gedacht, weil die sind so träge und Physik interessiert sie überhaupt nicht und dann sind sie alle mit ihrem Spektroskop daher gekommen. (Z. 42- 44, Anhang 3)

Diese/r LehrerIn betont außerdem, dass seine/ihre SchülerInnen von keinen Problemen beim Bau des Spektroskops berichtet haben.

Alle vier Lehrpersonen berichten, dass ihren SchülerInnen der Bau des Handspektroskops große Freude bereitet hat und, dass die SchülerInnen einen gewissen Ehrgeiz entwickelt haben, die Funktionsweise des Spektroskops zu perfektionieren.

Da die Mehrheit der Lehrpersonen angab, dass die Bauanleitung für den Unterricht ausreichend sei, wurden nur kleine Veränderungen an den Angaben vorgenommen: Die für den Bau des Handspektroskops veranschlagte Zeit wurde auf 2 Schulstunden erhöht und die Anleitung für den Schlitz wurde ausführlicher beschrieben.

Die Verwendung des Handspektroskops

Zur Verwendung des Handspektroskops beschreiben alle vier LehrerInnen, dass sie die Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum auf Grund der schlechten Wetterbedingungen nicht sehen konnten.

„B2: Es war wirklich, wie gesagt, am einzigen Tag, an dem es einmal gegangen wäre, haben sie bis um fünf Nachmittagsunterricht gehabt und sie haben immer gesagt: „Es ist wirklich immer nur schirch.“. Ich habe ihnen gesagt, dass wir das noch nachholen können.“ (Z. 34-36, Anhang 3)

Zwei der vier LehrerInnen verweisen, wie im Zitat oben, darauf, dass sie die Fraunhofer Linien allerdings mit ihren SchülerInnen bei Sonnenschein noch betrachten wollen. Eine Lehrperson hat ein professionell gebautes Spektroskop verwendet, um die SchülerInnen das Fraunhoferspektrum beobachten zu lassen.

Im Interview weist ein/e LehrerIn darauf hin, dass er/sie nicht genug Lichtquellen zur Verfügung hatte, um die SchülerInnen auf die verschiedenen Arten von Spektren aufmerksam zu machen und so den Unterschied zwischen einem kontinuierlichen Spektrum, einem Absorptions- und einem Emissionsspektrum zu erkennen.

„B1: Und wir haben nicht genug Lichtquellen gehabt: Das Handy war zu schwach, da hat man nichts gesehen. Der PC Bildschirm war auch zu schwach, das heißt, wir haben nur die Deckenbeleuchtung gehabt und alle unsere LEDs, die wir hatten, waren kaputt.“ (Z. 17- 20, Anhang 2)

Während die Lehrperson, die die Einheit mit einer 8. Klasse durchgeführt hat, darauf hinweist, dass ihre SchülerInnen auf Grund der Vorkenntnisse von den verschiedenen Spektren nicht überrascht waren, berichten die beiden anderen LehrerInnen, dass ihre SchülerInnen beispielsweise vom Spektrum einer Energiesparlampe oder einer Neonröhre erstaunt waren und sogar glaubten, dass das Handspektroskop nicht funktionstüchtig sei.

B4: Beim ersten Mal durchschauen und eine Neonröhre anschauen, kommen sie alle sofort mit: „Das ist kaputt.“ Ihres funktioniert nicht. Sie haben nur die Hälfte der Farben drinnen. Bis ich ihnen sage: „Ja, das ist richtig, weil sie nur die Hälfte des Spektrums sehen.“ (Z. 208-211, Anhang 5)

Darüber hinaus weisen diese beiden LehrerInnen auf den zusätzlichen Lerneffekt hin, den diese praktische Beobachtung im Vergleich zu einer Abbildung bringt. Sie erklären im Interview außerdem, dass sie ihre SchülerInnen explizit darauf hinweisen mussten, dass es Unterschiede zwischen den Spektren gibt, weil sie sonst die dunklen Linien einfach ausblendeten und sich stattdessen auf die Farben fokussierten.

Zusammenfassend muss darauf hingewiesen werden, dass die Fraunhoferlinien wegen der schlechten Wetterlage in keiner der drei Testschulen beobachtet werden konnten. Ein Grund liegt sicher darin, dass die Unterrichtseinheit in den sonnenschwächsten Monaten von Dezember bis Februar getestet wurde. Daher sollte man bei der Implementierung im Unterricht wenn möglich einen Frühlings- oder Sommermonat wählen. Je stärker die Sonne scheint, umso besser sind die Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum auch mit dem Handspektroskop zu erkennen.

Außerdem ist es ratsam, schon im Vorhinein neben der Sonne einige Lichtquellen bereitzustellen, die die SchülerInnen mit ihrem Handspektroskop untersuchen können. Mit einer geeigneten Auswahl an Lichtquellen kann man den SchülerInnen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Spektren besser verdeutlichen. Wie Lehrperson B1 im Interview erklärt, ist es sehr schwierig unterschiedliche Lichtquellen während des Unterrichts zu organisieren.

Der Begriff „Quantenzustand“

Zum Zeitpunkt der Erhebung waren erst drei der vier LehrerInnen so weit in der Unterrichtseinheit fortgeschritten, dass der Begriff „Quantenzustand“ eine Rolle gespielt hätte. Eine Lehrperson erzählt, dass ihre SchülerInnen Probleme hatten, die möglichen Quantenzustände eines Elektrons mit ihrer Vorstellung des Schalenmodells zu verknüpfen:

„B1: Wenn denn das Wasserstoffatom nur einen Kern hat, und ein Elektron, wie kann es dann zusätzliche Quantenzustände geben? Ja, sie haben irgendwie die Vorstellung in ihrem Hirn drinnen, dass es da leere Schalen gibt und sie sind von dem nicht runter.“ (Z. 49- 52, Anhang 2)

Im Gegensatz dazu, können die beiden anderen LehrerInnen von keinen Schwierigkeiten auf diesem Gebiet berichten, wie eine Lehrperson auf eine explizite Nachfrage beschreibt:

„B4: Was ein Quantenzustand ist, sie haben kurz einmal darüber nachgedacht, ich habe das bei den Diskussionen gehört. Aber sie haben festgestellt, man kann das auch verstehen, ohne den Begriff „Quantenzustand“ zu verstehen, also müssen sie da jetzt nicht herumpicken.“ (Z. 118- 121, Anhang 5)

Bei der Erstellung der Unterrichtseinheit wurde darauf geachtet, weder das Bohr'sche Atommodell noch das Orbitalmodell explizit anzusprechen. Stattdessen wurde von Energieniveaus gesprochen und der Begriff „Quantenzustand“ eingeführt, um die Energieniveaus zu beschreiben, die ein Elektron in einem Atom besetzen darf. Der Grund besteht darin, dass SchülerInnen, die diese Beschreibung akzeptieren, die Unterrichtseinheit ohne die Konzepte der Quantenphysik verstehen können sollten. Die Testung zeigt, dass dieser Weg bei einigen SchülerInnen funktioniert, während andere zu stark von ihrem Vorwissen über das Schalenmodell geprägt sind, wodurch sich Verständnisschwierigkeiten

ergeben können. Gegebenenfalls ist es ratsam, auf diese Probleme einzugehen, allerdings erscheint es nicht sinnvoll, die Unterrichtseinheit unter diesem Blickwinkel umzuschreiben, da die meisten SchülerInnen den Begriff „Quantenzustand“ akzeptieren zu scheinen.

Die Abbildung zum Termschema des Wasserstoffs

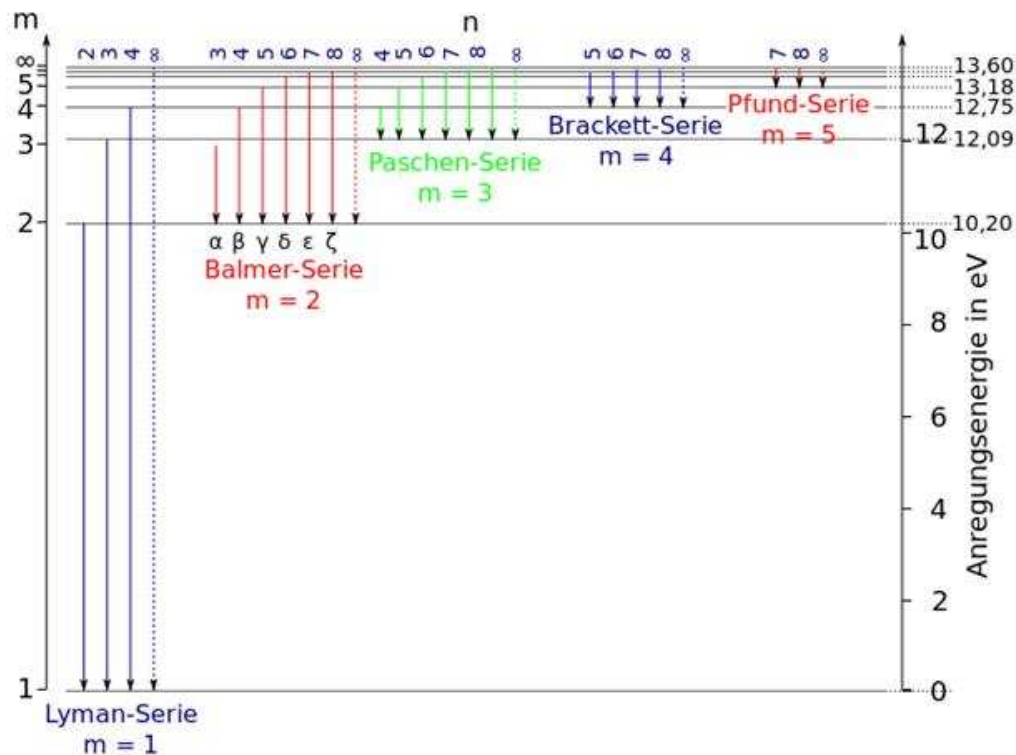


Abbildung 33 – Ursprüngliche Abbildung zum Termschema des Wasserstoffatoms, vgl[15]

Drei LehrerInnen beschreiben, dass ihre SchülerInnen beim Lesen und Interpretieren der Grafik, die in *Abbildung 33* zu sehen ist, Probleme hatten und daher anschließend auch die Rechenaufgabe dazu nicht ohne Hilfe durchführen konnten.

„B1: Nein, ich glaub, dass einfach die Grafik für sie kryptisch ist. Zum Beispiel, wenn du da sagst „Weg des Elektrons und zwar von n gleich vier aus“. Für sie war jetzt nicht klar, dass sie sich zuerst n gleich vier alle Möglichkeiten suchen müssen und dass sie dann in den Grundzustand müssen. Obwohl es eigentlich genau so dasteht.“ (Z. 91- 94, Anhang 2)

Diese Lehrperson erklärt, dass ihre SchülerInnen mit den drei verschiedenen Achsen des Diagramms überfordert waren und, dass sie ihren SchülerInnen durch konkretes Anzeichnen die wichtigen Stellen der Abbildung deutlich kennzeichnen musste. Die anderen beiden LehrerInnen erklären, dass sie mit ihren SchülerInnen zuerst immer eine Möglichkeit der Aufgabenstellung durchgegangen sind, und die SchülerInnen anschließend die restlichen Möglichkeiten selbst berechnen konnten. Eine Lehrperson berichtet, dass die Interpretation dieser Grafik auch die Lösung des letzten Rechenbeispiels in der Unterrichtseinheit negativ beeinflusst hat:

„B4: Das ganz zum Schluss ist, das Rechenbeispiel mit dem H alpha, H beta, etc. Das zieht sich dann bis hierher, weil sie dann nicht verstehen, dass diese eins, zwei drei, vier, fünf Größen DIESE Größen hier sind. Dass sie sozusagen hier diese Energiedifferenz ausrechnen müssen.“ (Z. 34- 37, Anhang 5)

Die Interviews zeigen deutlich, dass die Grafik in *Abbildung 33* für viele SchülerInnen ein Problem darstellte. Auf Grund des Feedbacks der InterviewpartnerInnen wurde die Grafik geändert. Die wichtigen Informationen wurden rot eingekreist und die überarbeitete Form befindet sich nun in der Einheit (siehe *Abbildung 5*). Zusätzlich wurde der für das letzte Rechenbeispiel relevante Teil der Grafik direkt vor dem Beispiel am Ende der Unterrichtseinheit noch einmal angefügt (siehe *Abbildung 13*).

Unterschied Emissions- und Absorptionsspektrum

Der Unterschied zwischen einem Emissions- und einem Absorptionsspektrum ist laut zwei LehrerInnen für ihre SchülerInnen nicht klar erkennbar gewesen, wie eine Lehrperson in folgendem Zitat beschreibt:

„Sie lesen sich es regelmäßig durch, sie lesen sich es zweimal durch und kommen dann immer zu mir fragen: „Das Absorption ist wenn schwarze Striche sind und Emission ist, wenn es bunte Striche sind?“ – „Das ist richtig.“ – „O.K, gut, dann haben sie es verstanden.“ Also da sind sie sich nicht ganz sicher, aber sie ahnen es, dass es richtig sein müsste, aber sie brauchen noch eine letzte Bestätigung vom Lehrkörper her.“ (Z. 131- 136, Anhang 5)

Eine andere Lehrperson beschreibt, dass ihre SchülerInnen zwar Emissions- und Absorptionsspektren zu den Linienspektren zuordnen konnten und diese auch richtig erkennen konnten, aber die physikalische Erklärung für das Zustandekommen der beiden unterschiedlichen Spektren nicht wiedergeben konnten.

Da die Differenzierung zwischen Absorptions- und Emissionsspektrum einen wichtigen Punkt in der Unterrichtseinheit darstellt, wurde eine zusätzliche Aufgabe eingefügt, im Zuge derer sich die SchülerInnen noch einmal mit dem Unterschied der beiden Spektren auseinandersetzen müssen und diesen in eigene Worte fassen müssen („Fasse hier in eigenen Worten den Unterschied zwischen dem Spektrum einer Energiesparlampe und dem der Sonne zusammen! Welches von beiden ist ein Absorptions-, welches ein Emissionsspektrum? Woran erkennt man das?“)

Abgesehen von den eben thematisierten problematischen Punkten der Unterrichtseinheit, betonen alle vier Lehrpersonen, dass sie bei der Umsetzung der Unterrichtseinheit wenig Probleme hatten: „Bei den anderen haben sie KAUM Schwierigkeiten gehabt. Da kam selten irgendetwas. Das haben sie sonst alles schön hinbekommen.“ (Z. 47- 49, Anhang 5)

Außerdem berichten sie, dass die SchülerInnen allgemein Freude an der Unterrichtseinheit zeigten, wie im nächsten Abschnitt deutlich wird.

Motivation der Schüler während der Unterrichtseinheit

Von allen vier LehrerInnen wird hervorgehoben, dass Ihren SchülerInnen das Basteln des Spektroskops besonders viel Freude bereitet hat. Da zum Zeitpunkt des Interviews nur drei der vier LehrerInnen mit der Unterrichtseinheit weiter fortgeschritten waren, konnten nur die drei betreffenden Lehrpersonen zum Enthusiasmus der SchülerInnen an der weiteren Einheit eine Aussage machen. Alle drei berichten im Interview, dass ihre SchülerInnen begeistert das Spektroskop ausprobiert haben und selbstständig versucht haben, die Spektren verschiedenster Lichtquellen zu betrachten.

„B1: Also sie waren voll dabei und es hat ihnen sehr viel Spaß gemacht. Sie haben sogar in die Pause hineingearbeitet. Sie waren total begeistert und sind dann wirklich zu jeder Lampe gelaufen und haben den Bildschirm ausprobiert und das Handy und dann noch einmal den Bildschirm und dann haben sie geschaut, ob sie irgendwo in der Schule eine andere Lampe finden und sie waren fasziniert, wie das funktioniert mit dem Spektrum.“ (Z. 259- 264, Anhang 2)

Zwei Lehrpersonen heben hervor, dass die Unterrichtseinheit ihre SchülerInnen dazu anregte, über physikalische Themen zu diskutieren. Einer Testklasse hat die Arbeitsaufgabe, in der sie sich selbst eine Kategorisierung für die Spektren überlegen müssen, am besten gefallen: „Und was ist dann auf Grund der Untersuchungen rausgekommen, da diskutieren sie LEIDENSCHAFTLICH gerne, irrsinnig gerne.“ (Z. 356- 357, Anhang 5). Ein/e Lehrer/In erzählt, dass sie selbst von dem Interesse seiner/ihrer SchülerInnen überrascht war, weil sie dieses Verhalten bis jetzt nicht von ihren SchülerInnen gekannt hat.

„B1. Und irgendwann bin ich dann mal hinausgegangen und dann haben sie angefangen zu diskutieren, was denn da jetzt stehen soll. Und die Achtklässler haben den Sechstklässlern erklärt. Sie haben dann angefangen miteinander zu reden und das hat mir GUT gefallen, weil ich mir gedacht habe: Oh (...) über Physik haben sie noch nie bei mir diskutiert!“ Das war ihnen bis jetzt egal.“ (Z. 176- 180, Anhang 2)

Zwei der drei Lehrpersonen erzählen, dass den SchülerInnen das Konzept einer in sich abgeschlossenen Unterrichtseinheit, in der sie sich einen Großteil des Stoffs selbstständig und in ihrem eigenen Tempo erarbeiten, gefallen hat.

„B2: Aber es hat ihnen so gefühlsmäßig Spaß gemacht. (lacht) Also mehr, als wie wenn ich ihnen etwas erkläre. Das war super.“ (Z. 94- 95, Anhang 3)

Die Aussagen der LehrerInnen zeigen, dass die SchülerInnen die Unterrichtseinheit mit viel Freude ausgearbeitet haben. Nicht nur das Basteln machte ihnen Spaß, sondern auch die Arbeitsaufgaben, in denen sie selbst tätig werden konnten, motivierten sie und regten zu physikalischen Diskussionen an.

Zusätzlich zu den Interviews mit den Lehrpersonen gaben zur Beantwortung dieser Frage in zwei Klassen die SchülerInnen noch ein freiwilliges schriftliches Feedback ab. Dieses wurde digitalisiert und befindet sich in **Anhang 7**. Diese Rückmeldungen zeigen, wie auch schon die Aussagen der LehrerInnen, dass sowohl einzelne Aspekte der Unterrichtseinheit als auch das gesamte Konzept von den SchülerInnen sehr unterschiedlich aufgefasst wurden. Dies wird sogar von den SchülerInnen selbst beschrieben:

„Die Gruppenmeinung über dieses Projekt ist sehr positiv ausgefallen. Natürlich gingen die Meinungen auch auseinander und es gab auch negative Aspekte.“ (Anhang 7, 2. Feedback)

Die Vielfalt der Aktivitäten, die im Rahmen der Unterrichtseinheit ausgeführt werden, das Basteln des Spektroskops und die gute Organisation der Einheit erwähnten alle SchülerInnen als positiv.

„Die Experimente waren interessant, das “Basteln” des Spektroskops brachte uns das Thema noch näher.“ (Anhang 7, 9. Feedback)

„Ein weiterer positiver Aspekt war, dass wir unterschiedliche Arbeitsbereiche hatten, wie basteln, lesen und ausfüllen.“ (Anhang 7, 2. Feedback)

„Im Allgemeinen war es super und gut organisiert.“ (Anhang 7, 11. Feedback)

Die Struktur des Texts und seine Verständlichkeit riefen bei den SchülerInnen kontroverse Rückmeldungen hervor. Während einige SchülerInnen den Text als interessant und gut aufgebaut empfanden, merkten andere an, dass die Unterrichtseinheit strukturierter und übersichtlicher hätte sein können.

„Sehr informativ, das “Basteln” war lustig, fast zu viele verschiedene Informationen, trotzdem gute Bandbreite der Themen, gut zu verstehen, schlüssige Übergänge/ Herleitungen der Themen, jeder kann in seinem eigenen Tempo arbeiten.“ (Anhang 7, 12. Feedback)

- *“Nicht ideal strukturiert*
- *Es sollte kompakter sein*
- *Mehr Skizzen*
- *Unwichtige Informationen weglassen“ (Anhang 7, 1. Feedback)*

Der Punkt, dass die Unterrichtseinheit zu lange ist, wurde von einigen Gruppen als negativ erwähnt. Einige empfanden das als „nicht sehr schlimm“ (Anhang 7, 11. Feedback), aber die meisten SchülerInnen geben an, dass sie zu viel zu lesen hatten, einige Informationen als unwichtig empfanden und gerne auch einen Lehrervortrag gehört hätten.

„Der Text war ein bisschen zu lange und es waren meiner Meinung nach einige nicht so wichtige Informationen enthalten.“ (Anhang 7, 10. Feedback)

„Ich hätte es jedoch sehr nett gefunden, wenn Sie auch so eine Art Vortrag gehalten hätten und wir nicht nur gelesen hätten.“ (Anhang 7, 8. Feedback)

Diese Rückmeldungen sind wahrscheinlich ein Indiz dafür, dass die SchülerInnen es nicht gewohnt sind, sich Themengebiete anhand von Unterlagen selbstständig anzueignen und deshalb den gewohnten, angeleiteten Unterricht bevorzugen. Im nächsten Abschnitt wird

mithilfe von Lehrerzitatzen noch auf diese Verhaltensweise der SchülerInnen näher eingegangen.

Zusammengefasst führen viele SchülerInnen Verbesserungsvorschläge an, kommen aber schließlich zu einer positiven Gesamtwertung. Keine Gruppe gab eine negative Gesamtwertung über die Einheit ab und nur eine Gruppe beschrieb das Niveau der Einheit als zu schwierig.

Ertrag für den Lehrstoff Physik

Im Zuge der Interviews wurden alle LehrerInnen befragt, wie sie den Wissenszuwachs ihrer SchülerInnen im Hinblick auf den Physikstoff einschätzen. Die Lehrperson, die die Unterrichtseinheit in der achten Klasse unterrichtet hat, gibt an, dass sie den Ertrag höher als bei ihrem üblichen Unterricht einstufen würde. Als Grund nennt sie auf der einen Seite die intensivere Beschäftigung als üblich mit dem Thema und auf der anderen Seite den Umstand, dass der Stoff nun zum zweiten Mal durchgenommen wurde.

„B2: Aber da muss ich sagen, dass ich das Gefühl habe, dass sie da auch mehr mitgenommen haben, als sonst. Sie haben sich mit dem intensiver beschäftigt als normalerweise.“ (Anhang 3, Z. 154-156)

Eine andere Lehrperson beschreibt, dass es sehr auf den Lernstil des/der SchülerIn ankommt, wie viel diese/r aus dem Unterricht mitnehmen kann. Sie erklärt, dass die Einheit jenen SchülerInnen entgegenkommt, die sich gerne selbstständig Dinge erarbeiten und berichtet, dass es viele SchülerInnen gibt, die sich lieber alles vom Lehrer vorsetzen lassen. Allerdings betont diese/r LehrerIn auch, dass im Zuge des kompetenzorientierten Unterrichts selbstständiges Arbeiten, wie es in der Einheit zur Spektroskopie gefordert wird, immer wichtiger wird. Diese Lehrperson unterrichtete zum Zeitpunkt des Interviews schon das nächste Themengebiet, die Wellen, und konnte daher auch Angaben dazu machen, ob die SchülerInnen Verbindungen zwischen dem in der Unterrichtseinheit Gelernten und neuen Elementen herstellen können. Die SchülerInnen konnten Ähnlichkeiten zwischen dem Dopplereffekt bei elektromagnetischen Wellen und Schall angeben, sie konnten das Prinzip der Absorption und Emission von Energie in Atomen mit eigenen Worten wiedergeben, und

verstanden erstmals den Begriff der Eigenschwingung, den die Lehrperson schon auf verschiedenste Arten zu erläutern versuchte.

„B4: Die Eigenschwingung einer Materie, das haben sie erstmals WIRKLICH begriffen. Dass jede Materie eine ganz spezifische Frequenz hat. Das habe ich ihnen vorher oft erklärt, das habe ich ihnen mehrfach vorgerechnet, weil das kann man aus der Schwingungsdauer vom Faden- und Federpendel ja jeder Zeit rausholen, zumindest vom Federpendel kann man das eindeutig rausholen. Aber das ist ihnen nicht so ganz klar gewesen, dass ein Ding immer nur mit derselben Frequenz schwingt. Nach der Sequenz war das für sie klar: Wasserstoff schwingt immer so.“ (Anhang 6, Z. 76- 82)

Diese Lehrperson hat auch in beiden Versuchsklassen einen Test über die abgeschlossene Unterrichtseinheit durchgeführt. Interessant dabei war, dass der Test in den beiden Klassen sehr unterschiedliche Ergebnisse brachte. In der ersten Klasse, in der der Test durchgeführt wurde, erbrachten die SchülerInnen nach Angaben der Lehrperson unterdurchschnittliche Ergebnisse. Der/Die LehrerIn erklärt dieses Ergebnis damit, dass die lange Beschäftigung mit einem Thema dazu geführt hat, dass sich die SchülerInnen selbst überschätzt haben.

„B4: Die zweite Klasse war der Meinung, dass sie sich jetzt fünf Stunden damit beschäftigt haben, jetzt super auskennen und deshalb nichts lernen müssen.“ (Anhang 6, Z. 8- 10)

Nach dieser Erfahrung wies die Lehrperson die andere Klasse darauf hin, dass sie sich für den Test vorbereiten sollten. Folglich schrieb keiner der SchülerInnen eine negative Note und allgemein erbrachten sie gute Ergebnisse.

Auch die beiden anderen LehrerInnen schätzen den durch die Unterrichtseinheit entstandenen Wissenszuwachs ihrer SchülerInnen im Hinblick auf den Lehrstoff Physik als hoch ein. Eine Lehrperson nennt folgende Punkte, die die SchülerInnen ihrer Meinung nach aus der Unterrichtseinheit mitnehmen konnten:

„B1: Sie wissen, was ein Spektroskop ist, sie wissen, wie Spektroskopie funktioniert, sie wissen, dass die Sonne ein Stern ist, wie die Sonne Licht produziert, aus was sie besteht. Das mit den Energieniveaus haben sie nicht verstanden, aber das ist O.K. Sie haben dann wiedergeben können, dass es unterschiedliche Arten von Spektren gibt, aber sie haben sie nicht erklären können. [...] Ja, dass Licht in die verschiedenen Komponenten aufgespalten werden kann. Sie haben sich dann noch einmal angeschaut, wie das mit dem Prisma funktioniert. Sie haben sich noch einmal erinnert an die wesentlichen Welleneigenschaften mit Amplitude, Frequenz, Wellenlänge [...].“ (Anhang 2, Z. 279- 295)

Diese lange Aufzählung zeigt, dass es eine große Bandbreite an Themengebieten gibt, von denen die SchülerInnen bei dieser Unterrichtseinheit etwas lernen können. Allerdings weist die Lehrperson darauf hin, dass ihren SchülerInnen die Differenzierung zwischen Emissions- und Absorptionsspektrum schwer viel. Dieser Aspekt und seine Konsequenzen für den Aufbau der Unterrichtseinheit wurden bereits in Unterschied zwischen Emissions- und Absorptionsspektrum behandelt.

Obwohl diese Unterrichtseinheit einen unkonventionellen Weg geht und das Thema „Spektroskopie“ vom astronomischen Blickwinkel aufzieht und das Hauptaugenmerk nicht auf den Lehrplan legt, geben alle LehrerInnen an, dass sie den Ertrag der Unterrichtseinheit für den Physikstoff als sehr hoch empfinden. Allerdings zeigt das Beispiel der Klasse, die sich auf den Test nicht vorbereitete, dass der Wissenszuwachs nicht von selbst erfolgt, sondern ebenso eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema erfordert.

Astronomie im Physikunterricht

Im Interview geben alle vier LehrerInnen an, dass ihre SchülerInnen ein großes Interesse für Astronomie zeigen und geben verschiedenste Beispiele dafür, wie sich dieses Interesse äußert. An einer Schule wird beispielsweise ein Astronomiemodul angeboten, das regelmäßig überbucht ist, weshalb dieses Angebot nun ausgebaut wird.

Ein/e andere/r LehrerIn erklärt, dass auch Klassen, die nicht physikalisch interessiert sind, Astronomie gefällt: „Da springt dann auch irgendwo der Funke über, weil das interessiert sie.“ (Z. 172, Anhang 3). Diese Lehrperson hebt auch den Aspekt, dass in der getesteten Unterrichtseinheit Astronomie mit Physik verknüpft worden ist, positiv heraus und berichtet, dass ihre SchülerInnen dadurch mehr Begeisterung für den Physikstoff zeigten. Auch der vierte Interviewpartner erzählt, dass SchülerInnen seiner Meinung nach großes Interesse an Astronomie zeigen und formuliert diese Erfahrung folgendermaßen:

„B4: (lacht) Man könnte böse sagen, indem sie versuchen vom Unterricht abzulenken und sobald es etwas mit Sternen zu tun hat, fragen sie schon gerne nach und wollen das etwas genauer erklärt haben. Also unter den Schülern ist die Astrophysik sicher die Physik, die am faszinierendsten für sie ist.“ (Z. 279- 282, Anhang 5)

Eine andere Lehrperson berichtet, dass ihre SchülerInnen in der achten Klasse immer ein Thema frei wählen können und, dass die Wahl jedes Jahr auf Astronomie fällt.

„B3: Und sie wünschen sich IMMER Astronomie. Astronomie ist JEDES Jahr das Wunschthema in der achten Klasse. Ich habe noch keine achte Klasse gehabt, die sich nicht Astronomie gewünscht hat.“ (Z. 155- 157, Anhang 4)

Nicht nur diese/r Lehrer/In baut, nach eigenen Angaben, Astronomie verstärkt im (Physik)Unterricht ein. Auch alle drei anderen Lehrpersonen berichten, dass sie immer wieder auf Astronomie zurückgreifen, vor allem um ihre SchülerInnen zu motivieren oder als Beispiel für physikalische Sachverhalte. Zwei Lehrpersonen erklären, dass sie das Schuljahr in der achten Klasse mit einem astronomischen Thema abschließen. Während ein/e Lehrer/In die Sternentstehung besprechen will, nennt die andere Lehrperson diesen Abschluss „Physik zum Wohlfühlen“, wie er/sie berichtet:

„B4: Vor der Matura die letzten drei Stunden mache ich immer „Physik zum Wohlfühlen“. Da dürfen sie sich einen Polster mitnehmen. Ich mache den Physiksaal dunkel. Ich werfe mit dem Beamer Bilder vom Sonnensystem drauf und setze mich gemütlich hin und erzähle ihnen, wie das Sonnensystem entstanden ist, wie das mit Sonnensystemen so funktioniert. Da sind sie auch immer/ Das ist für sie das letzte Mal in ihrer Karriere, wo sie etwas mit Physik zu tun haben und dann etwas, das wirklich SCHÖN ist.“ (Z. 283- 289, Anhang 5)

Allerdings wird Astronomie nicht nur als eigenes Themengebiet im Unterricht behandelt, sondern auch als Beispiel für physikalische Größen und Gesetze verwendet, wie folgendes Zitat beweist:

„B4: Und wenn es Impuls ist, dann erkläre ich, dass der Impuls auch dafür verantwortlich ist, dass unser Sonnensystem überhaupt existiert, weil es irgendwann einmal einen Pulsar gegeben hat, der explodiert ist und dadurch diese Staubwolke in Schwingung versetzt hat. Ich versuche nur mit praktischen Beispielen zu arbeiten und Astrophysik bietet halt sehr viele Möglichkeiten gewisse Energien auch in Extremformen aufzuzeigen.“ (Z. 270- 275, Anhang 5)

Zusammenfassend, berichten die LehrerInnen in allen vier Interviews, dass ihre SchülerInnen Begeisterung an astronomischen Inhalten zeigen. Daher bauen alle Lehrpersonen selbst Astronomie verstärkt im Unterricht ein. Dies stärkt eine der Thesen, die hinter dem Konzept der im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelten Unterrichtseinheit steht: Dass man physikalische Inhalte durch die Verbindung von Physik mit Astronomie für SchülerInnen attraktiver machen kann.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie im letzten Abschnitt eindeutig gezeigt werden konnte, ist von der Seite der SchülerInnen ein großes Interesse an Astronomie gegeben. Dies führt dazu, dass die befragten LehrerInnen selbst über den Lehrplan hinaus astronomische Inhalte in den Physikunterricht integrieren. Die im Rahmen dieser Diplomarbeit konzipierte Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“ schließt an diese Tradition an.

Die praktische Umsetzung der Einheit im Unterricht stellte für keine Lehrperson ein Problem dar und konnte von allen Befragten trotz der vorgegebenen Unterlagen individuell gestaltet werden. Die Unterrichtseinheit selbst wurde von allen SchülerInnen im Allgemeinen als sehr positiv aufgefasst, wobei sie das Basteln des Spektroskops und die Vielfalt der Aufgabenstellungen besonders motivierte. Die LehrerInnen berichten zusätzlich, dass die SchülerInnen durch die Einheit zu physikalischen Diskussionen angeregt wurden. Sowohl die Rückmeldungen der LehrerInnen als auch die der SchülerInnen gehen in manchen Bereichen auseinander. Das Basteln des Handsepektroskops, seine Verwendung und der Begriff des Quantenzustands sind einige Beispiele für solch kontroverse Themen.

Im Anschluss an die Analyse der Interviews und der schriftlichen Rückmeldungen der SchülerInnen wurde die Unterrichtseinheit unter Rücksichtnahme aller Verbesserungsvorschläge noch einmal überarbeitet. Die überarbeitete Version befindet sich nun unter Punkt 3, Unterrichtseinheit zum Thema „Spektroskopie“, in dieser Diplomarbeit.

Abstract (Deutsch)

Ziel dieser Diplomarbeit war es, eine Unterrichtseinheit zu erstellen, die ein physikalisches Themengebiet des Lehrstoffes unter einem astronomischen Blickwinkel aufarbeitet. Die entwickelte Unterrichtseinheit verbindet das astronomische Gebiet der Spektroskopie mit dem physikalischen Bereich „Licht als Energieüberträger“ sowie der Atomphysik. In einer Aufarbeitung des pädagogischen und fachdidaktischen Hintergrunds wird LehrerInnen Information über den Bezug zum Lehrplan, die Eingliederung in das Kompetenzmodell und mögliche Schülervorstellungen gegeben. Neben diesen Hinweisen und den Unterlagen selbst, werden auch Answererwartungen für die Aufgabenstellungen bereit gestellt. Die Unterrichtseinheit lässt die SchülerInnen auf verschiedenste Weisen tätig werden: Sie müssen Beispiele rechnen, Diagramme interpretieren, Zusammenhänge herstellen, physikalische Sachverhalte selbst formulieren und einordnen sowie selbst zum Forscher werden. Zu diesem Zweck bauen sich die SchülerInnen im Zuge der Unterrichtseinheit aus einfachen Mitteln ein Handspektroskop. Ein anschließender theoretischer Teil beschreibt die Funktionsweise der zwei wesentlichen Teile des Handspektroskops: der CD und des Spalts.

Nach der theoretischen Erstellung der Unterrichtseinheit wurde diese von vier LehrerInnen auf den praktischen Einsatz im Unterricht getestet. Im Anschluss wurde mit den Lehrpersonen ein Leitfadenterview durchgeführt, welches auf Tonband aufgenommen wurde. Die Interviews wurden transkribiert und nach drei Hauptkategorien ausgewertet: den Rahmenbedingungen der Umsetzung der Einheit im Unterricht, den positiven und problematischen Punkte der Einheit im Unterricht, sowie der Einbindung von Astronomie im Physikunterricht allgemein. Diese Auswertung zeigt so auf, welche Aspekte der Einheit die SchülerInnen motivierten und einen Mehrwert für den Unterricht bieten konnten und welche Teilgebiete im Unterricht noch Probleme bereitet haben. Zum Schluss wurde die Unterrichtseinheit anhand der Rückmeldung der LehrerInnen noch einmal überarbeitet.

Abstract (Englisch)

It was the aim of this diploma thesis to compile a teaching unit that tackles a topic of physics under the viewpoint of astronomy. The developed teaching unit connects the astronomic theme of spectroscopy with “light as a transmitter of energy” as well as nuclear physics. A pedagogic and didactic background gives information about the teaching unit’s relevance to the curriculum, its incorporation into the competence model and the possible preconceptions of pupils. Besides, also suggestions for answers to the tasks that students have to complete have been provided. In the course of the teaching unit, students can get active in different ways: they have to calculate, to interpret diagrams, to make connections, to formulate and categorize facts about physics and to become scientists themselves. For this purpose, the pupils have to build a spectroscope with simple means. A theoretical part, which follows the construction manual of the spectroscope, describes the functional principles of the two main parts of the spectroscope: the CD and the slit.

After the theoretical development of the teaching unit, its practical implication into the lesson was tested by four teachers. Subsequently, a guided interview, which was taped, was conducted with all teachers. The interviews were transcribed and analyzed according to three main categories: the general framework of the teaching unit in the lessons, the positive and problematic points about the teaching unit during the lessons, as well as generally integrating astronomy into physics. Thus the analysis of the material showed which aspects of the unit created added value and motivated the students, and which parts presented a problem. In the end, the teaching unit was revised with the help of the teacher’s feedback.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Lindner, ““Astronomie im Physikunterricht, Für Dr. Helmut Bernhard zum 80. Geburtstag.“,” *Astronomie + Raumfahrt* 42, pp. 4-5, 2005.
- [2] A. H. Bacher, Untersuchung und Vorschläge zum schülerorientierten Astrophysikunterricht an gymnasialen Oberstufen, Innsbruck: Dissertation, 2003.
- [3] S. Mirna, Astronomie als Unterrichtsgegenstand, Wien: Diplomarbeit, 2012.
- [4] A. Gerhardus, Spektroskopie zu Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und der Elementverteilung in planetarischen Nebeln, Graz: Facharbeit, 2009.
- [5] G. Pfister, Himmelsbeobachtungen mit der Webcam, Ein unterrichtspraktisches Beispiel für den Computereinsatz in der Astronomie, Karl-Franzens-Universität Graz: Diplomarbeit, 2004.
- [6] B. Seidl, Spektroskopie in der Schule, Karl-Franzens-Universität Graz: Diplomarbeit, 2002.
- [7] A.-L. P. Oberstufe, “Bmukk- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur,” 13 08 2008. [Online]. Available: http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11862/lp_neu_ahs_10.pdf. [Accessed 27 02 2013].
- [8] B. W. Z. f. I. Bifie, “bifie,” 10 2011. [Online]. Available: <http://aufgabenpool.bifie.at/nawi/>. [Accessed 26 02 2013].
- [9] R. Müller, R. Wodzinski and M. Hopf, Schülervorstellungen in der Physik, Köln: Aulis Verlag, 2011.
- [10] A.-L. P. Unterstufe, “Bmukk- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur,” 21 07 2010. [Online]. Available: <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf>. [Accessed 27 02 2013].
- [11] B. Putz, Faszination Physik 3+4, Linz: Veritas-Verlag, 2009.
- [12] U. Zedh, “Wikipedia,” 01 07 2009. [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:EM-Spektrum.svg>. [Accessed 2012 10 20].
- [13] L. Bergmann, Lehrbuch der Experimentalphysik 3, Optik. Wellen- und Teilchenoptik: Band 3, Berlin: De Gruyter, 2004.

- [14] J. B. Kaler, *Sterne und ihre Spektren, astronomische Signale aus Licht*, Heidelberg: Spektrum Akad. Verl., 1994.
- [15] “Wikipedia,” 12 04 2000. [Online]. Available: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Wasserstoff-Termschema.svg>. [Accessed 25 08 2012].
- [16] J. Homann, “Wikipdia,” 12 April 2009. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Visible_spectrum_of_hydrogen.jpg&filetimestamp=20090412185300. [Accessed 21 10 2012].
- [17] “Wikipedia,” 22 04 2012. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Potassium_Spectrum.jpg. [Accessed 24 10 2012].
- [18] P. A. Tipler, *Moderne Physik*, München: Oldenburg, 2010.
- [19] D. Mietke, “Elektroniktutor,” 01 03 2005. [Online]. Available: http://www.elektroniktutor.de/grundlg/gr_pict/spektren.gif. [Accessed 24 12 2012].
- [20] Teravolt, “Wikipedia,” 18 04 2010. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File%3AXenon_Spectrum.jpg. [Accessed 24 10 2012].
- [21] Horst, “Wikipedia,” 29 01 2009. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spektrum_60W_ESL.jpg&filetimestamp=20090129094214. [Accessed 24 10 2012].
- [22] G. Sascha, “Spektrographie.Wikispaces,” 02 05 2012. [Online]. Available: <https://spektrographie.wikispaces.com/file/detail/M2-Ib-Alp-Ori.jpg>. [Accessed 24 10 2012].
- [23] H. Weidner, “Wikipedia,” 08 10 2008. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hg_Niederdruck_Spektrum.png&filetimestamp=20100220101311. [Accessed 24 10 2012].
- [24] M. Oestereicher, “Wikipedia,” 30 05 2010. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spektrum_HD_94599.jpg&filetimestamp=20100530161800. [Accessed 24 10 2012].
- [25] W. Greiner, *Theoretische Physik4: Quantenmechanik 1; Eine Einführung*, Frankfurt am Main: Deutsch, 1992.
- [26] F. Schwabl, *Quantenmechanik*, Berlin: Springer, 1998.

- [27] J. Bennett and H. Lesch, *Astronomie, die kosmische Perspektive.*, München: Pearson Studium, 2010.
- [28] K. Heinisch, *101 Rück-Blicke. Erinnerungen an Tage*, Norderstedt: Books on Demand, 2009.
- [29] W. Mattig, *Die Sonne*, München: C.H. Beck, 2001.
- [30] L. Bergmann, *Lehrbuch der Experimentalphysik 8, Sterne und Weltraum*, Berlin: de Gruyter, 2002.
- [31] M. Saperaud, "Wikipedia," 05 06 2009. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fraunhofer_lines_DE.svg&filetimestamp=20090611101923. [Accessed 22 10 2012].
- [32] T. H. H. T. (AURA/STScI/NASA), "Wikipedia," 10 1998. [Online]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:M57_The_Ring_Nebula.JPG. [Accessed 15 11 2012].
- [33] K. Eifert, "Wikipedia," 17 Jänner 2008. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CD_Querschnitt.png&filetimestamp=20080117210331. [Accessed 1 Oktober 2012].
- [34] U. Wien, "Interferenz," [Online]. Available: http://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/img_optik/doppelspaltversuch_e1.png. [Accessed 21 10 2012].
- [35] J. Jahns, *Photonik, Grundlagen, Komponenten und Systeme*, München; Wien: Oldenburg, 2001.
- [36] B. Saleh and M. C. Teich, *Grundlagen der Photonik*, Weinheim: Wiley-Vch, 2008.
- [37] S. Wunderlich, "Wikipedia," 31 1 2008. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koh%C3%A4renz_r_z.png&filetimestamp=20080204191311. [Accessed 2012 08 29].
- [38] D. Kühlke, *Optik: Grundlagen und Anwendung*, Frankfurt/Main: Harri Deutsch, 2004.
- [39] A. Langer, *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft*, Weinheim, München: Juventa Verlag, 2010.
- [40] T. Diesing and T. Pehl, "Praxisbuch Interview & Transkription. Regelsysteme und Anleitungen für qualitative ForscherInnen," Eigenverlag, Marburg, 2012.

- [41] J. Baxter, "Children's Understanding of Astronomy and the Earth Sciences," in *Learning Science in the Schools, Research Reforming Practice*, Mahwah, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 1995, pp. 155-177.
- [42] D. C. Giancoli, *Physik, Lehr- und Übungsbuch*, München: Pearson Studium, 2010.
- [43] A. Schulz, "Physik neu unterrichtet, Astronomische Inhalte im Physikunterricht," *Astronomie + Raumfahrt*, p. 4 – 8, 2006 43.
- [44] O. Schwarz, "Astronomie im Physikunterricht," *Astronomie+Raumfahrt*, pp. 13-16, 2010 47.
- [45] J. Homann, "Wikipedia," 12 04 2009. [Online]. Available: http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%BAbor:Visible_spectrum_of_helium.jpg. [Accessed 24 10 2012].
- [46] J.-J. Milan, "Wikipedia," 17 04 2012. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spectre_d%27une_lampe_halog%C3%A8ne.svg&page=1&filetimestamp=20120417171935. [Accessed 24 10 2012].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1– Spektrum an einer CD	16
Abbildung 2 – Aufspaltung des weißen Lichts an der CD- Oberfläche.....	16
Abbildung 3 – Das elektromagnetische Spektrum[12]	17
Abbildung 4 – Energieniveaus eines Atoms	21
Abbildung 5 – Termschema des Wasserstoffatoms, vgl[15]	23
Abbildung 6 – Balmer-Serie des Wasserstoffatoms,[16].....	25
Abbildung 7 – Sichtbares Spektrum von Helium, [16].....	26
Abbildung 8 – Sichtbares Spektrum von Kalium, [17].....	26
Abbildung 9– Gegenüberstellung Absorptions- und Emissionsspektrum, [19].....	29
Abbildung 10 – Gedankenexperiment zur Entstehung von Spektren	32
Abbildung 11– Sonnenaufbau	35
Abbildung 12 – Fraunhofer-Spektrum, [31]	41
Abbildung 13 – Ausschnitt: Termschema des Wasserstoffatoms, vgl[15]	41
Abbildung 14 – Ringnebel, [32].....	44
Abbildung 15– Schematischer Aufbau des Spektroskops.....	59
Abbildung 16 – Aufbau einer Compact Disc[33]	60
Abbildung 17: Spektrum an einer CD	61
Abbildung 18: Interferenz am Doppelspalt, vgl[34]	62
Abbildung 19 – Entstehung der Spektren	63
Abbildung 20 – Gegenüberstellung Transmissionsgitter - Reflexionsgitter	65
Abbildung 21 – Die CD als Reflexionsgitter	66
Abbildung 22 – Zwei Sinuswellen mit fester Phasen- und Amplitudenbeziehung.....	67
Abbildung 23 – Unterschied zwischen räumlicher und zeitlicher Kohärenz, [37]	68
Abbildung 24 - Lichtaussendung	69
Abbildung 25 – Implikationen der zeitlichen Kohärenz für das Spektroskop	70
Abbildung 26 – Interferenz bei ausgedehnten Lichtquellen	72
Abbildung 27 – Interferenz am Spektroskop	73
Abbildung 28 – Spektren bei verschiedenen Abständen.....	74
Abbildung 29 – Lichteinfall auf der CD	75
Abbildung 30 – Spektren bei verschiedenen Lichtkegeln.....	75
Abbildung 31–Fraunhoferspektrum bei verschiedenen Lichtkegeln	77
Abbildung 32 – Zusammenhang Intensität- Gitteröffnungen	78
Abbildung 33 – Ursprüngliche Abbildung zum Termschema des Wasserstoffatoms, vgl[15]	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1- Die Fraunhoferlinien, [14]: 86	42
Tabelle 2 – Überblick der Testschulen.....	81

Lebenslauf

Am 10. August 1989 wurde ich, Sarah Hurt, in Niederösterreich in Groß-Siegharts geboren. Dort besuchte ich die Volksschule von 1995 bis 1999. Anschließend wechselte ich in das Gymnasium in Waidhofen an der Thaya, wo ich im Schuljahr 2006/07 meine Matura mit ausgezeichnetem Erfolg abschloss. Ab dem Wintersemester 2007 inskribierte ich mich für das Lehramtsstudium Physik und Englisch an der Universität Wien. Im Studienjahr 2010/11 nahm ich ein Urlaubssemester und ging als Sprachassistentin für Deutsch als Fremdsprache nach Irland. Seit dem Sommersemester 2010 arbeite ich als Tutorin für das physikalische Praktikum an der physikalischen Fakultät.

Anhang

Anhang 1

Interview mit der Lehrperson – Leitfaden

Können Sie den allgemeinen Ablauf der Unterrichtseinheit für mich zusammenfassen?

Entwurf der Unterrichtseinheit

Wo waren die Unterschiede zwischen meiner Unterrichtseinheit und der Art, wie Sie das Thema normalerweise unterrichten?

Was wurde genauer/ weniger genau behandelt?

Was hat Ihnen an meiner Einheit gut gefallen?

Was hat Ihnen an meiner Einheit nicht gut gefallen?

Durchführung

Was hat gut funktioniert?

Was hat schlecht funktioniert?

Wo gibt es Verbesserungspotential?

Wo sind Sie von meinem Unterrichtsvorschlag abgewichen?

Wie haben die SchülerInnen die Einheit Ihrer Meinung nach empfunden?

Wie würden Sie den Lernertrag der SchülerInnen für den "normalen" Physikstoff einschätzen?

Haben Sie Daten dazu (z.B. Testnoten)?

Konzept – Astronomie im Physikunterricht

Sind Ihre SchülerInnen prinzipiell an astronomischen Inhalten interessiert? Wie äußert sich dieses Interesse?

Wie finden Sie die Idee, astronomische Inhalte im Physikunterricht verstärkt zu integrieren?

Bauen Sie astronomische Inhalte selbst verstärkt im Unterricht ein?

Wie finden Sie, dass diese Idee in meiner Einheit umgesetzt ist?

Möchten Sie sonst noch etwas dazu sagen?

Anhang 2

Interview mit Lehrperson B1

1 I: Danke, dass du dir Zeit genommen hast. Mit welcher Klasse hast du die Unterrichtseinheit
2 durchgeführt und wie lange hat es gedauert?

3 B1: Die volle Unterrichtseinheit habe ich mit einem Wahlmodul siebente, achte Klasse
4 durchgeführt. Es waren insgesamt acht Schüler und das Handspektroskop, weil ich mir
5 gedacht habe, vielleicht liegt es an den Schülern, habe ich noch einmal gebaut mit 19
6 Schülern, und das war sechste, siebte, achte Klasse gemischt.

7 I: Ja gut. Dann erzähle einmal, wie ist es gelaufen? Was war mit dem Spektroskop?

8 B1: Ja also prinzipiell hat es gut funktioniert, mir hat es, wie ich das durchgelesen habe, sehr
9 gut gefallen. Es hat ihnen gefallen, dass sie eine CD zerstören dürfen. Das erste Problem war,
10 dass wir unsere Schere zerstört haben. Man braucht eine wirklich starke Metallschere und wir
11 haben unsere Plastikscheren zerlegt. Das war einmal das erste Problem, aber das hat ihnen
12 relativ gut gefallen.

13 I: (lacht) Kann ich mir vorstellen.

14 B1: Und, dass sie sich mit der CD spielen haben dürfen, hat ihnen auch gut gefallen. Sie
15 haben eigentlich alles relativ gut verstanden und konnten alles sehr gut machen. Das einzige
16 Problem, das wir hatten war, dass wir die Sonne nicht gesehen haben. Bei der Aufgabe 1.2
17 haben wir die Sonne nicht gut gesehen, weil es sehr bewölkt war; an beiden Tagen. Und wir
18 haben nicht genug Lichtquellen gehabt: Das Handy war zu schwach, da hat man nichts
19 gesehen. Der PC Bildschirm war auch zu schwach, das heißt, wir haben nur die
20 Deckenbeleuchtung gehabt und alle unsere LEDs, die wir hatten, waren kaputt. Ich hab mir
21 gedacht, dass es mit dem Handy funktionieren wird, vor allem mit den Taschenlampen, aber
22 da hat man auch nicht wirklich viel gesehen.

23 I: Und die Deckenbeleuchtung, war welche Art von Beleuchtung?

24 B1: Das waren Halogenlampen und blöderweise habe ich keine Taschenlampe so schnell im
25 Physikkammerl gefunden. Das heißt, wir haben jetzt den Projektor eingeschaltet und uns das
26 Projektorlicht angeschaut, aber wir haben nicht mehr als zwei Lichtquellen
27 zusammenbekommen. Dadurch war dann auch der Vergleich mit dem Sonnenlicht eigentlich
28 nicht gut möglich.

29 I: Ja, das ist der große Nachteil, dass man Sonnenlicht braucht. Und ich habe mir schon
30 gedacht, dass genau die Jahreszeit, wo das jetzt hineingefallen ist, genau die schlechteste
31 Jahreszeit ist.

32 B1: Ja, vor allem auch, wenn wir Sonnenlicht gehabt haben, es war dann am Abend. 14:50,
33 dann ist schon/

34 I: Das Problem ist eben auch, dass das im Wahlpflichtfach gemacht wird und das ist am
35 Nachmittag.

36 B1: Sie haben sich wirklich damit gespielt, es hat ihnen gut gefallen.

37 I: Mhm.

38 B1: Sie haben sich auch relativ gut ausgekannt.

39 I: Ja.

40 B1: Ich habe dann da, ich gebe dir das dann mit, dazugeschrieben, was sie hinterfragt haben,
41 wo sie sich nicht ausgekannt haben.

42 I: Super.

43 B1: Also zum Beispiel da „durch Zuführung von Energie können sie auf höhere
44 Energiezustände gehoben werden“, haben sie sofort gefragt, WIE. Also sie haben sofort
45 aufgehört zu lesen, also durchwegs, das waren drei, vier Gruppen, die gemeint haben, WIE
46 wird diese Energie zugeführt.

47 I: Ja.

48 B1: Dann hier war das Problem, und das hat uns sehr, sehr lange beschäftigt, beim
49 Wasserstoffspektrum. Wenn denn das Wasserstoffatom nur einen Kern hat, und ein Elektron,
50 wie kann es dann zusätzliche Quantenzustände geben? Ja, sie haben irgendwie die
51 Vorstellung in ihrem Hirn drinnen, dass es da leere Schalen gibt und sie sind von dem nicht
52 runter. „Aber, das kann keine zusätzlichen Schalen haben“ und „Dann wäre das doch
53 riesengroß!“, also von dem sind sie nicht runter.

54 I: Auch von der Schalenvorstellung einfach?

55 B1: Ja, das ist, also, sie stellen sich diese zusätzlichen Quantenzustände so vor, dass dieses
56 Elektron genommen wird und in eine andere Schale gehoben wird und dann springt es wieder
57 runter. Und die Frage ist, warum das Wasserstoffatom zusätzliche Schalen haben soll, denn
58 „das wäre doch Verschwendung“ und „das kommt doch nicht vor“ und so weiter. Also das
59 war ein ganz großes Problem für sie und einer hat das erwähnt und dann sind alle anderen
60 draufgekommen, aha, ja stimmt, das ist ein Problem. Sie können vor allem in der sechsten und
61 siebten Klasse noch nicht viel mit dem Quantenbegriff anfangen.

62 I: Ich glaub, da ist auch das Problem, ich habe extra nicht von Schalen gesprochen, aber
63 anscheinend kommt hier das Problem der Vorbildung dazu. Wenn die das nicht schon mal
64 woanders gehört hätten, dann würden sie ja gar nicht auf die Idee kommen, aber dadurch, dass
65 das schon irgendwoher wissen, wahrscheinlich/

66 B1: Ja, irgendwo haben sie das gelesen, dass sich die Elektronen in Schalen um den Kern
67 bewegen und es ist ihnen absolut nicht eingegangen, warum man da zusätzliche Schalen hat.

68 Und ich habe ihnen immer wieder gesagt: „Geht weg von diesem Schalenbegriff!“ Und dann
69 haben sie gefragt: „Aber ja, auf was wird dann dieses Elektron aufgehoben, wenn es keine
70 Schale ist?“

71 I: Mhm.

72 B1: Und das ist dann immer so weitergegangen, bis ich das irgendwann abgerochen habe.
73 Also das ist (lacht), das war/ Vor allem, ich habe dann die Gruppe am Donnerstag, also die
74 sechsten, siebten und achten, die nur das Handspektroskop gebaut haben, habe ich nur den
75 ersten Teil überfliegen lassen und da ist es auch gekommen. Das heißt/

76 I: Ok.

77 B1: Also das heißt, wenn sie das selbstständig machen sollen, musst du damit rechnen, dass
78 das kommt. Dann „jedes System in der Natur strebt den Zustand kleinstmöglicher Energie
79 an“, WARUM? WARUM? Das wollten sie nicht so akzeptieren, das wollten sie nicht
80 hinnehmen. Dann habe ich mir gedacht, wenn du die Abbildung 5 da dazwischen hingibst,
81 dann ist das klarer, weil das haben sie sofort von vorne herein abgelehnt, das ist viel zu viel
82 und „Nein, das wollen wir nicht!“ und DAS, das haben sie nicht ohne meine Hilfe geschafft.

83 I: Ok, ja.

84 B1: Also den Weg des Elektrons mit der Abbildung, das ist überhaupt nicht gegangen, bei
85 keiner Gruppe.

86 I: Ok.

87 B1: Ich muss dir sagen, du hast das auf der vorigen Seite supergut erklärt. Ich habe ihnen
88 gesagt: „Schaut euch das an, da steht das eh, sucht euch die Zahlen und versucht das selbst zu
89 verstehen.“ (...) Es hat nicht funktioniert.

90 I: Und was könnte ich besser machen?

91 B1: Nein, ich glaub, dass einfach die Grafik für sie kryptisch ist. Zum Beispiel, wenn du da
92 sagst „Weg des Elektrons und zwar von n gleich vier aus“. Für sie war jetzt nicht klar, dass
93 sie sich zuerst n gleich vier alle Möglichkeiten suchen müssen und dass sie dann in den
94 Grundzustand müssen. Obwohl es eigentlich genau so dasteht. Diese Abbildung ist so
95 dermaßen kryptisch für sie, dass ich draufzeigen musste mit einem Stift und sagen musste,
96 was das heißt, n gleich vier, wo das dann ist, dass das dann runterspringt und dass man den
97 mit dem die Energie, die da auf der Seite steht assoziiert. Also das ist viel zu viel für sie
98 gewesen.

99 I: Also das heißt, das Problem ist, die Abbildung zu interpretieren.

100 B1: Ja, die können keine Abbildungen lesen. Nicht einmal in der achten Klasse. Das haben
101 die Achtklässler nicht geschafft, die Sechsten schon gar nicht. Die haben gesagt: „Was ist
102 das? Was soll das da?“ Und das nächste Problem ist dann, dass diese Grafik drei Achsen hat.

103 I: Mhm.

104 B1: Die hat drei Achsen, und das können sie nicht. Das kennen sie nicht, das können sie nicht
105 und das WOLLEN sie nicht. Überall runderherum steht da was. Vor allem, da ist dann ein
106 Pfeil nach oben, da hast du eine Beschriftung, da ist aber auf der anderen Seite auch ein Pfeil.
107 Und das hat sie so dermaßen irritiert, also alleine an der Grafik sind wir [lange gesessen.

108 I: Aber hast du dann das] Gefühl gehabt, sie es zum Schluss verstanden haben? Dass die
109 Übung zum Schluss sinnvoll war? Oder meinst du, dass ich die Übung rausnehmen sollte,
110 weil sie eh nichts gebracht hat?

111 B1: Es ist schon sinnvoll, vor allem, hätte ich das in der Schule gesehen, hätte es mir
112 gefallen. Nur muss das wahrscheinlich wirklich der Lehrer machen. Da musst du draufzeigen,
113 das musst du mit dem Stift nachziehen (...) Eventuell, dass da neben dieser Rechnung die
114 Abbildung und wirklich nachzeichnest, welcher Weg das wäre und dann zum Beispiel/

115 I: Dass ich die Abbildung zum Beispiel da reingebe und da oben aber schon einmal/

116 B1: Dass du zum Beispiel diesen Teil der Abbildung wegschneidest und dann fett
117 aufschreibst: Das ist dieses Energieniveau, und dann springst du dort runter und dann hast du
118 diese Energien und alle anderen Informationen weglöschen, damit sie sehen, dass ist der Teil,
119 den ich brauche und dann habe ich die Abbildung. Denn sonst schaffen sie das nicht.

120 I: Ja, das ist eine gute Idee.

121 B1: Also irgendwie die Abbildung so verändern, oder neu, dass (...) Also, das hat den Vogel
122 abgeschossen, das war (...) Die Sechstklässler sind ein bisschen destruktiv, die ich da habe
123 und dann wollten sie nicht mehr weiterlesen, das war zu viel. Die haben dann komplett
124 boykottiert.

125 I: Ok.

126 B1: Ja und da, die Achtklässler haben sich wirklich angestrengt, diesen Exkurs zu verstehen,
127 es hat sie WIRKLICH interessiert, vor allem, ja es hat ihnen gut gefallen. Sie haben gewusst,
128 man setzt die Frequenz da oben ein, dann kommt man auf das, der letzte Schritt ist dann nicht
129 mehr gegangen. Da sind sie dann gekommen und haben gefragt: „Ja wie geht das jetzt? Wo
130 muss ich das jetzt einsetzen, wo kommt das plötzlich her?“

131 I: Mhm, weil das kommt ja eigentlich nur von da oben.

132 B1: Richtig genau, da musste ich dann draufzeigen, wenn du das jetzt aber dazuschreibst: „im
133 nächsten Schritt verwenden wir die Formel 3“/

134 I: Aber, das habe ich ja eigentlich da oben geschrieben.

135 B1: Aber da haben sie drübergelesen. Ich glaube, dieser Satz müsste da dazwischen
136 noch einmal rein, weil sonst verstehen die nicht, was da gemeint ist. Irgendwie haben sie da

137 drübergelesen, dass du diese Formel verwenden musst und das haben sie komplett ignoriert
138 und dann haben sie nicht mehr gewusst, wo das herkommt. (...) Dann bei dem, „Zuordnung
139 verschiedener Spektren“, müsstest du wirklich hinschreiben „Ordne dem Spektrum die Art
140 des Spektrums zu!“. Obwohl es da steht, haben sie nicht gewusst, was sie da jetzt tun sollen.
141 Ich muss sagen, ich bin immer wieder verwundert, wie dumm sie sich stellen. (...) Die
142 Achtklässler haben sich dann hier bei der natürlichen Linienbreite erinnert, dass es so etwas
143 gibt wie eine Unschärferelation, aber alle anderen waren hilflos verzweifelt: „Was ist eine
144 Unschärfe?“ und „Wie kann man das verstehen?“ und da bin ich dann mit ihnen gesessen und
145 habe ihnen das erklärt. Also wenn du da einen Exkurs machst und du planst das für eine
146 andere Klasse als die achte, dann würde ich da noch ein bisschen mehr ausführen. (...) Und
147 der Rest hat ihnen SEHR gut gefallen. Und ich hatte wieder zwei Mädels dabei, die begeistert
148 waren, dass die Sonne ein Stern ist: „Die Sonne ist ein Stern.“ – „WAS, alle Sterne sind
149 Sonnen?“, aber sonst waren sie schwer begeistert und es hat ihnen gut gefallen.

150 I: Das Thema Spektroskopie, hast du das schon einmal unterrichtet?

151 B1: Nein.

152 I: Also das heißt, die Frage, wie du das normalerweise unterrichtest, erübrigt sich?

153 B1: Also ich muss sagen, ich habe denen in der siebten Klasse mal ein bisschen einen Input
154 gegeben zum elektromagnetischen Spektrum, weil ich einmal gefragt habe, was sie darüber
155 wissen und die mir erklärt haben, dass sie das noch nie gehört haben. Deshalb haben wir die
156 Strahlungsgesetze gemacht und das elektromagnetische Spektrum, wie das Zustände kommt,
157 also mit geometrischer Optik und solchen Geschichten. Also ich habe ihnen schon ein
158 bisschen Input gegeben, aber das macht man in der siebten Klasse die Spektroskopie und die
159 geometrische Optik wird bei uns überhaupt nicht mehr gemacht in der Oberstufe. Von dem
160 her habe ich mir gedacht, dass es nicht schlecht wäre, wenn sie wissen, dass man mit einem
161 Prisma Licht in seine unterschiedlichen Wellenlängen aufspalten kann. Das haben sie
162 eigentlich ganz gut aufgenommen, aber sonst (...)

163 I: Was hat dir eigentlich selbst gut gefallen und was hat dir nicht gut gefallen, du kannst ruhig
164 kritisch sein.

165 B1: Also, mir sehr gut gefallen, es ist sehr gut überlegt, es ist in sich geschlossen, ich sehe den
166 Sinn dahinter, ich glaube nur, dass es ein bisschen zu hoch ist für sie. Ich glaube, dass sie da
167 durchaus Hilfe vom Lehrer brauchen. Ich glaube nicht, dass sie das alleine durcharbeiten
168 könnten, ohne Hilfe/

169 I: Also es ist auch nicht komplett ohne Hilfe gedacht. Es ist so gedacht, dass die vor sich
170 hinarbeiten, die Lehrperson schon immer wieder die ganze Klasse zusammenfasst und schaut.
171 Nur ist es halt nicht so gedacht, dass der Lehrer das vorträgt.

172 B1: Also, nein, wenn das so ist, dann ist es durchaus geeignet. Ich würde an deiner Stelle
173 reinschreiben, dass sie nach jeder Unterrichtseinheit miteinander vergleichen und diskutieren
174 sollen. Das haben sie sich bei mir am Anfang nicht getraut, weil ich ihnen gesagt habe: „Bitte

175 schaut wirklich, dass ihr in der Gruppe arbeitet, macht das so gut wie möglich, damit wir
176 schauen können, wie weit ihr kommt.“ Und irgendwann bin ich dann mal hinausgegangen und
177 dann haben sie angefangen zu diskutieren, was denn da jetzt stehen soll. Und die Achtklässler
178 haben den Sechstklässlern erklärt. Sie haben dann angefangen miteinander zu reden und das
179 hat mir GUT gefallen, weil ich mir gedacht habe: Oh (...) über Physik haben sie noch nie bei
180 mir diskutiert!“ Das war ihnen bis jetzt egal. Und es ist wirklich so eine Art Streitgespräch
181 geworden: „Aber, kannst du dich nicht erinnern?“ und „Wusstest du nicht, dass?“ und „Denk
182 doch einmal nach, stell dich nicht so blöd!“ Und dann sind sie an die Tafel gegangen, es war
183 schon ein angeregtes Gespräch. Und sie haben von sich aus geredet und das hat mir gut
184 gefallen.

185 I: Mhm.

186 B1: Ein bisschen mühsam war dieses Handspektroskop und dementsprechend schauen sie
187 auch aus.

188 I: Genau, was hat denn nicht funktioniert?

189 B1: Auf jeden Fall einmal haben es von insgesamt vierzig, nein dreißig Leuten die fünf
190 braven Mädels geschafft, dass sie ihr Zeug mithaben. Das war einmal das erste Problem.
191 Dann bin ich gegangen und habe Karton organisiert. Dadurch, dass es relativ groß ist, was
192 man da ausschneiden muss/

193 I: Man braucht eigentlich eine ganze Cornflakes-Schachtel.

194 B1: Genau, und ich hab jetzt dann genommen, vom Kopierpapier dieses etwas dickere und sie
195 sind dann SO geworden. Mit den Laschen, der Kleber hat nicht gehalten, jetzt haben wir das
196 mit Klebeband zugeklebt. Das heißt, so funktioniert das auch. Dann haben sie in der
197 Anleitung diesen Spalt nicht gesehen und haben das dann zugeklebt und mussten das dann
198 teilweise außen (...) Sie haben auch teilweise sicher die Anleitung nicht richtig gelesen. Sie
199 waren so in diesem Bastelfieber, dass sie diesen Spalt teilweise übersehen haben und den
200 teilweise auch und haben das zugeklebt. Dann haben wir das wieder auseinander nehmen
201 müssen.

202 I: Vielleicht sollte ich da extra nochmal darauf hinweisen.

203 B1: Die Abbildungen, die du reingegeben hast (...) übertragen auf den Karton, das /

204 I: Ja das hast du geschrieben, ich habe es überhaupt nicht glauben können.

205 B1: Ich habe es mir auch nicht gedacht. Eines der größten Probleme war, dass die Schüler der
206 Oberstufe kein Geodreieck mehr mithaben. Jetzt haben sie sich ein Geodreieck teilen müssen,
207 jetzt bin ich schnell rauf und habe Geodreiecke organisiert. Weil sie in der Oberstufe nicht
208 mehr konstruieren müssen, haben sie das nicht mehr und sie haben auch das Gefühl dafür
209 nicht mehr. In der Unterstufe könnten die das sicher, aber SO (...) Sechstklässler können das
210 nicht mehr. Wir sind dann gesessen und dann sind die teilweise mit Fragen gekommen: „Wie

211 breit muss jetzt diese Lasche sein?“ Dann habe ich gesagt: „Da kommt ein Kleber drauf, das
212 ist egal, wie breit die ist, damit du sie ankleben kannst.“ – „Naja, aber muss ich da jetzt fünf
213 Millimeter nehmen oder einen Zentimeter? Weil wir diskutieren schon seit Minuten.“

214 I (lacht)

215 B1: Und bei diesem Stück steht nicht wie lange das sein muss, sondern nur wie breit das sein
216 muss. Und dann sind sie gesessen und haben echt überlegt: Wie breit muss das jetzt sein?
217 Man glaubt das nicht. Also ich muss dir sagen, ich war echt schockiert, welche Fragen da
218 kommen. (lacht)

219 I: Ja, das hätte ich auch nie im Leben gedacht.

220 B1: Oder zum Beispiel eine ganz große Katastrophe war, wenn wir den Karton für diesen Keil
221 ausgeschnitten haben, wie muss der ausschauen, wenn der fertig ist? Die haben das nicht
222 verstanden, wie man den zusammenkleben muss. Der Keil war eine Katastrophe. Das ist
223 gegangen, weil das ist ein Prisma. Da habe ich gesagt: „Leute, schaut einmal her, das ist wie
224 eine Box. Das ist ein ganz normales Prisma.“ Aber der Keil (...) Da sind sie gesessen und sie
225 waren in Vierergruppen, haben das gedreht und nicht gewusst, wie man das zusammenklebt.
226 Das ist nicht leicht für sie.

227 I: Das ist vielleicht eh etwas, das man üben sollte.

228 B1: Ja vor allem, weil sie in der Oberstufe auch kein Werken mehr haben/

229 I: Ja.

230 B1: Und ich habe mit den Werkern gerätselt, was das sein könnte. Die waren alle total
231 schockiert. Weil ich habe mir dann im Endeffekt Scheren, Stanleymesser und alles mögliche
232 ausgeborgt und dann sind sie runtergekommen in den Physiksaal und wollten einfach wissen,
233 was wir da machen. Im Endeffekt funktionieren sie alle, aber nur damit du siehst, was sie
234 getan haben (...) Denn sie haben das nicht entziffern können. Das war eine Gruppe Burschen
235 (...) so sieht das aus. Das ist die Lasche, das sind Schwierigkeiten für sie. Und da steht nicht
236 dezidiert auf welcher Seite man das mit dem Stanleymesser einritzen muss, damit man das
237 biegen kann (...) Also die meisten haben dann im Endeffekt funktioniert. Diese Gruppe hat
238 auf diesen Keil draufgeschaut und gesagt: „Ja, ich sehe ein Spektrum.“ Da habe ich gesagt:
239 „Leute, ihr seht die CD glitzern, das ist ein Unterschied.“ Nein, sie sehen dieses Glitzern und
240 es ist total cool und sie sehen Absorptionslinien. Habe ich gesagt: „Leute ihr könnt DA nichts
241 sehen.“ Aber sie haben sie gesehen und sie waren total stolz und einer hat das sogar mit
242 Nachhause genommen um das seiner Mutter zu zeigen. Es gibt dann auch solche/

243 I: Das schaut super aus.

244 B1: Das schaut eh super aus, das hat auch gut funktioniert, das sind die braven Mädels
245 gewesen. Also ich hab die einfach mal alle mitgenommen (...) Also es funktioniert und es hat
246 ihnen furchtbar Spaß gemacht, dass es funktioniert hat. Die Achtklässler sind wirklich zu

247 Kindern geworden. Diese Gruppe hat dann aufgegeben, wie das mit dem Einritzen, auf der
248 falschen Seite eingeritzt, nicht funktioniert hat mit dem Biegen. Also, damit du siehst, die
249 hätten das hier einritzen sollen und die haben dann aufgegeben, weil sie konnten das nicht
250 biegen, ohne das hier einzureißen und die sind wirklich total verzweifelt. Außerdem hat ihr
251 Keil nicht reingepasst. Aber ich habe gesagt, sie waren brav und haben sich bemüht. Ich gebe
252 dir die einfach mal mit, sie haben gesagt, sie schenken mir das für die Kollegin mit der
253 Diplomarbeit.

254 I: Ja super.

255 B1: Weil die Hälfte hat sich eh die Handspektroskope mit Nachhause genommen, weil die
256 waren total stolz, also das ist/

257 I: Also, das heißt, es war schon so, dass sie gemeint haben ja ur cool/

258 B1: Nein, nein, sie waren voll begeistert, dass sie im Physikunterricht basteln dürfen. Vor
259 allem haben sie das das letzte Mal in der Unterstufe gemacht. Also sie waren voll dabei und
260 es hat ihnen sehr viel Spaß gemacht. Sie haben sogar in die Pause hineingearbeitet. Sie waren
261 total begeistert und sind dann wirklich zu jeder Lampe gelaufen und haben den Bildschirm
262 ausprobiert und das Handy und dann noch einmal den Bildschirm und dann haben sie
263 geschaut, ob sie irgendwo in der Schule eine andere Lampe finden und sie waren fasziniert,
264 wie das funktioniert mit dem Spektrum und, dass das tatsächlich geht, aber der Weg dorthin,
265 er war für sie nicht unangenehm, weil sie haben das gar nicht mitbekommen, aber er war
266 schon steinig. (lacht)

267 I: Ja, das hört sich so an.

268 B1: Ja, es ist jetzt nicht tragisch. Man rechnet nur einfach nicht damit, dass Siebzehnjährige
269 solche Probleme haben beim Basteln. Ich schiebe es jetzt einfach mal auf die moderne
270 Gesellschaft. Ich weiß nicht, wie viele von denen in ihrer Jugend wirklich mit ihrer Mama
271 gebastelt haben, aber (...) grobmotorisch und feinmotorisch eine Höchstleistung. (...)

272 I: Was gut und was schlecht funktioniert hat, haben wir eh schon besprochen.

273 B1: Du musst nur irgendwie, ich weiß nicht wie, aber wenn du irgendwie die Feinheiten raus
274 arbeitest, funktioniert das sicher richtig cool.

275 I: Ja, ich überarbeite das noch und schicke dir das dann auf jeden Fall nochmal.

276 B1: Mhm.

277 I: Würdest du den Lernertrag für den normalen Physikstoff einschätzen? Wie viel haben
278 sie mitgenommen?

279 B1: (...) Sie wissen, was ein Spektroskop ist, sie wissen, wie Spektroskopie funktioniert, sie
280 wissen, dass die Sonne ein Stern ist, wie die Sonne Licht produziert, aus was sie besteht. Das
281 mit den Energieniveaus haben sie nicht verstanden, aber das ist O.K. Sie haben dann

282 wiedergeben können, dass es unterschiedliche Arten von Spektren gibt, aber sie haben sie
283 nicht erklären können.

284 I: O.K.

285 B1: Also das, war ihnen glaube ich noch nicht so klar.

286 I: Das heißt, sie haben gewusst, es gibt verschiedene Arten, aber was ein Absorptions- und
287 was ein Emissionsspektrum ist, haben sie nicht gewusst?

288 B1: Sie haben draufzeigen können, aber sie haben nicht erklären können, wie man die jetzt
289 unterscheiden kann. Ich habe gesagt: „Ja was ist jetzt der große Unterschied?“ – „Ja, man
290 sieht Linien.“ – „Und wo siehst du welche Linien?“ Und das war dann halt, weiß ich nicht/
291 Und das, wo die Intensität aufgetragen wird, das ist komplett an ihnen vorbeigegangen. Ja,
292 dass Licht in die verschiedenen Komponenten aufgespalten werden kann. Sie haben sich dann
293 noch einmal angeschaut, wie das mit dem Prisma funktioniert. Sie haben sich noch einmal
294 erinnert an die wesentlichen Welleneigenschaften mit Amplitude, Frequenz, Wellenlänge, und
295 was noch? Ja aber wie gesagt, die Geschichte mit den Energieniveaus ist gar nicht gegangen.

296 I: Gut zu wissen. Aber das heißt, das ist eigentlich recht breit gefächert, was sie sich da
297 nochmal angeschaut haben.

298 B1: Jaja, also ich muss sagen, sie haben SEHR viel wiedergeben können, sehr viel (...) auch
299 nicht falsch. Und es ist immer wieder gekommen, dass sie gerne wieder basteln würden.

300 I: (lacht) Dass sie gerne wieder basteln würden, O.K.

301 B1: Ja, sie würden gerne wieder basteln.

302 I: Du hast vorher gesagt, wie du sie gefragt hast. Hast du eine Stundenwiederholung gemacht?

303 B1: Wir haben am Ende der Stunde gemeinsam wiederholt, was sie da hingeschrieben haben,
304 was sie glauben, das richtig ist und ein bisschen reflektiert, was haben sie gelernt. Und in der
305 Woche darauf, habe ich sie selbst zusammenfassen lassen, wo ich mir gedacht habe, schauen
306 wir einmal, was dabei rauskommt. Also ich habe nicht dezidiert irgendeine Frage gestellt (...)
307 typisch siebte Klasse: Ja, Physik halt. In der achten Klasse haben sie sich schon ein bisschen
308 mehr angestrengt, weil sie gewusst haben, sie möchten bei mir maturieren (lacht), und die
309 Sechsten waren sowieso brav dabei. Die haben das wiedergeben können, Pi mal Daumen.
310 Abgesehen von Formeln haben sie sagen können, was sie gemacht haben, wie sie es gemacht
311 haben, was der physikalische Hintergrund ist, also mit vereinten Kräften, ja.

312 I: Super. Allgemein zu Astronomie im Unterricht: Hast du das Gefühl, dass die Schüler
313 prinzipiell an Astronomie interessiert sind?

314 B1: Ich kann dir nur sagen, ich habe heute im Mathematikunterricht Asymptoten gemacht. Da
315 hat ein Schüler gefragt: „Ist das so etwas wie eine Singularität?“ Von Singularitäten sind wir
316 auf schwarze Löcher gekommen. Plötzlich war die Mathematikstunde aus und ich habe ihnen

317 erklärt, wie in der Sonne Energie produziert wird. Ich komme immer wieder in Mathematik
318 und Physik auf die Astronomie, aber das ist glaube ich eine Krankheit von mir (lacht). Bei uns
319 wird ein Astronomiemodul angeboten, das ist regelmäßig überbucht. Ich habe jetzt 35 Kinder
320 in meiner Klasse sitzen, aber das auch nur, weil ich so gutmütig bin. Ich darf nächstes Jahr
321 Astronomie 1 und Astronomie 2 machen. Ich darf ausbauen. Es besteht so extrem viel
322 Interesse an Astronomie in der Oberstufe, dass ich es ausbauen darf auf ein zweisemestriges
323 Modul, das ist immer überlaufen.

324 I: Sehr cool (...) Wie findest du die Idee astronomische Inhalte verstärkt im Physikunterricht
325 zu integrieren?

326 B1: Sehr gut, ich unterstütze das (lacht). Ich setze mich sehr dafür ein, dass Astronomie im
327 Unterricht verwendet wird um physikalische Themengebiete und Konzepte zu übermitteln.

328 I: Gut, irgendetwas, das du noch abschließend sagen willst?

329 B1: Ich finde die Unterrichtseinheit an sich sehr gut, du musst nur an den feinen Details
330 arbeiten und sie kindgerecht machen, weil sonst sind sogar die Achtklässler zu blöd.

331 I: Deswegen ist es super, dass du das ausprobiert hast.

332 B1: Also ich muss sagen, dass die Sechstklässler Probleme haben, weil da Formeln sind und
333 Wörter wie „Quantenzustände“ und überall wo Quanten vorkommen, das mögen wir
334 überhaupt nicht, weil das ist theoretische Physik und das können wir nicht, gleich einmal pro
335 forma. Aber beim Basteln haben sich die Achtklässler schwer getan. Sie waren alle motiviert,
336 sie waren alle bereit für Kritik und sie haben zum Beispiel gesagt, dass irgendeine Frage
337 zweimal vorkommt. Dass sie das in eigenen Worten noch einmal schreiben müssen, das ist ja
338 UNTERSTUFE. Da habe ich ihnen gesagt, dass sind eigentlich Grundkompetenzen, dass man
339 das in eigenen Worten zusammenfasst. Aber das ist Unterstufe, wir sind ja keine Kinder mehr.
340 Das war Babykram für sie. Da waren sie schon sehr konstruktiv. Sie waren total fleißig bei
341 der Sache, hat ihnen wirklich viel Spaß gemacht, nur dieses Basteln mit dem Kleber und der
342 Schere, das haben sie schon lange nicht mehr gemacht und das hat man auch mitbekommen.
343 (lacht)

344 I: Aber es hat ihnen anscheinend trotzdem richtig viel Spaß gemacht.

345 B1: Ja, das ist es gar nicht. Ich glaube einfach, dass Kinder in der Volksschule und in der
346 Unterstufe einfach mehr Gespür für eine Schere haben, das ist total tragisch. Ich war total
347 schockiert. (lacht) Ich glaube wirklich, dass das daran gelegen hat, dass sie keine Übung
348 haben. Die können nicht mit einem Karton umgehen, die können nicht mit einem
349 Stanleymesser und mit einer Schere umgehen. Also die haben, damit sie dieses kleine Kasterl
350 machen können (...) mit der Schere so reingestochen, damit sie ein Loch machen können und
351 wollten das dann ausschneiden. Dann bin ich hingeeilt und habe ihnen gesagt: „Leute, nehmt
352 euch bitte das Stanleymesser.“ Und auf die Idee wären sie nicht gekommen und das sind aber
353 wirklich intelligente Kinder. Da ist ein Mädels dabei, das hat in der achten lauter Einser. Aber

354 an dem soll es nicht scheitern, weil das ist eine Grundkompetenz. Mit einer Schere und einem
355 Stanleymesser muss man in der Achten umgehen können.

356 I: Ja, das finde ich auch.

357 B1: Aber sonst sehr gut, hat mir gut gefallen.

358 I: Noch irgendetwas, das die Schüler gemeint haben, das du mir ausrichten sollst?

359 B1: Nein, das habe ich dir alles aufgeschrieben. (...) Ja sie haben halt diesen Spalt. Wie ich
360 ihnen gesagt habe: „Leute, dieser Spalt, das muss so ein ganz kleines Eckerl sein.“ Dann
361 haben sie es gesehen, aber sie haben gesagt, das haben sie nicht gut erkennen können.
362 Vielleicht, wenn du die Anleitung so machst, dass die Fotos ein bisschen größer sind (...)
363 oder man muss es an die Wand projizieren, oder sonst was.

364 I: O.K. Vielen Dank für das Gespräch.

Anhang 3

Interview mit Lehrperson B2

1 I: Danke, dass du dir Zeit für mich genommen hast. Kannst du zuerst sagen, mit welcher
2 Klasse du das gemacht hast, wie viele Kinder waren dabei und wie lange hat es gedauert?

3 B2: Ok, ich versuche mich zu erinnern. Das war eine achte Klasse, die voriges Jahr schon
4 etwas vom Stoff gehört haben sollten, oder so irgendwie. Als Wiederholung würde ich es
5 nicht wirklich bezeichnen, weil sie haben schon (lacht) das meiste vergessen gehabt, sagen
6 wir es einmal so. Es war eine achte Klasse Gymnasium mit 20 Schülerinnen und Schülern.
7 Also sehr viel mehr Mädchen als Jungen, es sind in der Klasse nur vier oder fünf Jungen, also
8 hauptsächlich Mädchen. Und wie gesagt eine Gymnasiumklasse, die prinzipiell über
9 Lichtentstehung schon etwas gewusst hat und ein bisschen schon was über Spektroskopie
10 gehört hat letztes Jahr und mit denen haben wir das gemacht.

11 I: Wie lange hat es gedauert?

12 B2: Dauer war, würde ich meinen, also die Durcharbeitung des Skripts, wobei ich dazusagen
13 muss, dass ich die Exkurse und das Vertiefende nicht mit ihnen durchgemacht habe, vier
14 Unterrichtseinheiten, ohne Bau des Spektroskops. Weil das haben sie freundlicher Weise
15 schon Zuhause gebastelt. Also wir haben es nur besprochen und das haben sie aber schon
16 Zuhause gemacht.

17 I: Wie hat das Zuhause basteln funktioniert?

18 B2: Das Zuhause basteln hat super funktioniert. Also wir sind so gegangen: Die erste Stunde
19 haben wir das ausgedruckt dieses Skriptum und dann habe ich mit ihnen deine Anleitung zum
20 Bau des Spektroskops besprochen. Ich habe ihnen genau erklärt, beziehungsweise, haben sie
21 es dann eigentlich eh selbst verstanden, wie es funktionieren sollte. Und nach dem haben sie
22 es dann selbst gebaut und auch das mit dem Spalt und dem Schlitz, den sie gebaut haben, das
23 ist eigentlich ganz selbstständig passiert. Das war gar kein Problem, das war wirklich
24 problemlos. Also weil du gesagt hast, die Oberfläche und den Mantel zu zeichnen, das wäre
25 ein Problem gewesen, das konnten sie echt problemlos. Ich war eigentlich überrascht, denn
26 ich wollte das mit ihnen noch in einer Unterrichtsstunde machen, aber sie haben das dann
27 schon alle fertig gehabt. Also bis auf zwei haben es alle gemacht und die Zwei haben es dann
28 eigentlich ganz schnell mit Hilfe der anderen im Unterricht aufgebaut. Das war super.

29 I: Super.

30 B2: Das Problem war nur das fehlende Sonnenlicht. Sie konnten das Sonnenspektrum nicht
31 wirklich/ Also es war wirklich immer neblig jetzt in der Zeit.

32 I: Ja, ich hab das entwickelt, wie es August war und da war jeden Tag sehr viel Sonnenlicht
33 und jetzt /

34 B2: Es war wirklich, wie gesagt, am einzigen Tag, an dem es einmal gegangen wäre, haben
35 sie bis um fünf Nachmittagsunterricht gehabt und sie haben immer gesagt: „Es ist wirklich
36 immer nur schirch.“. Ich habe ihnen gesagt, dass wir das noch nachholen können. Wie gesagt,
37 das Sonnenlicht hat uns gefehlt, aber das andere haben sie ganz gut gesehen. Sie haben auch
38 die verschiedenen Lampen angeschaut. Die Quecksilberdampfampe und die
39 Natriumdampfampe habe ich im Unterricht, aber das andere haben sie Zuhause angeschaut,
40 also Energiesparlampen und diese Spektren haben sie sich selbst schon Zuhause angeschaut
41 gehabt. Also das hat eigentlich gut funktioniert.

42 I: Cool, dass das wirklich alle Zuhause gemacht haben.

43 B2: Na wirklich, das hätte ich nie gedacht, weil die sind so träge und Physik interessiert sie
44 überhaupt nicht und dann sind sie alle mit ihrem Spektroskop daher gekommen. Also die eine
45 war ganz fertig, weil sie am Morgen irrtümlich darauf gestiegen ist (I lacht) und sie hat es
46 zerstört. Und ich habe es ihr sogar geglaubt, weil sie das sehr überzeugend gebracht hat, das
47 war wirklich so. Und die anderen haben es auch gemacht, das war also super. Und mit deiner
48 Anleitung haben sie kein Problem gehabt. Das war O.K.

49 I: Hast du das Gefühl, dass ihnen das Basteln Spaß gemacht hat?

50 B2: Das Basteln hat ihnen total viel Spaß gemacht. Sie haben die verschiedensten Modelle
51 gehabt und das schon zur Perfektion treiben wollen. Das hat ihnen glaube ich ziemlich viel
52 Spaß gemacht. Weil wir haben voriges Jahr nur mit dem kleinen Spektroskop in die
53 Gasdampfampen geschaut. Das heißt sie haben jetzt wirklich was anderes in der Hand
54 gehabt. Und ich glaube, sie haben auch etwas gelernt dabei: Wo jetzt das Licht einfallen
55 muss, wie groß der Spalt ist. Weil die einen haben dann einen zu kleinen Spalt gehabt, die
56 anderen einen zu großen. Da waren sie dann eigentlich relativ selbstständig und das habe ich
57 ihnen gar nicht zugetraut. Das war super, sehr positiv.

58 I: Also das heißt, ihr habt euch das letztes Jahr schon angeschaut. Hast du das Gefühl gehabt,
59 dass sie, wie sie in die Energiesparlampe geschaut haben und gesehen haben, dass das nur
60 farbige Streifen sind und kein durchgehendes Spektrum, überrascht waren?

61 B2: Das hat sie eben glaube ich nicht so wirklich überrascht, weil wir eben voriges Jahr schon
62 kontinuierliche und diskrete Spektren besprochen haben. Und sie haben ja auch schon bei der
63 Quecksilberdampfampe gesehen/ Überrascht, ja natürlich ist es auch so: „Ah, da sieht man
64 nur das.“ Das schon, aber sie waren ja mit dem Thema schon ein bisschen vertraut. Das war
65 das unter Anführungszeichen Problem.

66 I: Wie ist das Durcharbeiten von den Unterlagen dann gewesen?

67 B2: Das haben wir im Prinzip so gemacht: Ich hatte dein Skriptum über den Beamer
68 projiziert. Das ist sowohl in der Klasse als auch im Physiksaal möglich. Überhaupt das
69 Smartboard ist super, weil man dann noch etwas dazuschreiben kann. Die Schüler hätten das
70 vor sich in Papierform haben sollen, beziehungsweise zwei haben es dann am Laptop

71 übertragen, weil die haben dann so eine Umwandlung in PDF, wo sie dann gleich
72 hineingeschrieben haben.

73 I: Ja genau.

74 B2: Teilweise habe ich es dann so gemacht, dass ich gesagt habe: „So, jetzt lest euch
75 „Sonnenaufbau“ beispielsweise selbstständig durch und wir besprechen es dann.“ Oder ich
76 bin es mit ihnen durchgegangen. Das war vielleicht auch Zeit zu sparen. Das war vielleicht
77 nicht so gut, mag sein. Und diese Arbeitsaufgaben, die du dann gehabt hast, wo sie etwas
78 ausfüllen müssen/ Das haben wir entweder als, unter Anführungszeichen, Hausübung
79 gemacht, also dass ich ihnen gesagt habe: „Überlegt euch das einmal!“ Und wir haben das
80 dann gemeinsam besprochen. Oder ich habe ihnen einfach Zeit gegeben im Unterricht, dass
81 sie selber überlegen oder zu zweit oft, dass sie das dann ausgefüllt haben und dann haben wir
82 es verglichen.

83 I: Hat es bei irgendetwas Probleme gegeben? Ist dir etwas aufgefallen, das ich ändern sollte?

84 B2: Du hast das eigentlich alles sehr gut erklärt. Wo ich ihnen das dann schon noch genauer
85 erklärt habe, das waren die Rechnungen, wo man die Frequenzbereiche ausrechnet. Aber sie
86 sind wie gesagt ein bisschen träge bei solchen Rechenaufgaben. Das habe ich zum Beispiel
87 noch einmal an der Tafel vorgerechnet. Das sind wir noch einmal gemeinsam durchgegangen.
88 Aber sonst hat das auch funktioniert. Was wir dann nicht mehr gemacht haben, war dann alle
89 Frequenzbereiche auszurechnen. Weißt eh die Parallelen, da haben wir dann besprochen, wie
90 das dann aussieht und dann habe ich sie wieder ausfüllen lassen, wie man die Sonne dann
91 mit diesem Gedankenmodell beschreiben könnte. Also das habe ich sie eigentlich im Prinzip
92 immer selbst zusammenfassen lassen und dann gemeinsam mit ihnen besprochen.

93 I: O.K. Ja.

94 B2: Aber es hat ihnen so gefühlsmäßig Spaß gemacht. (lacht) Also mehr, als wie wenn ich
95 ihnen etwas erkläre. Das war super. Also was man anders machen könnte/ Wie gesagt, du hast
96 das sehr ausführlich gemacht. Die Exkurse haben wir, wie gesagt, jetzt nicht im Detail so
97 genau gemacht.

98 I: Das passt eh. Deshalb habe ich sie ja als Exkurs gemacht.

99 B2: Mit einer RG Klasse wäre es vielleicht etwas anderes und wenn man mehr Zeit hat.

100 I: Wo waren die Unterschiede zu dem, wie du zum Beispiel das Thema letztes Jahr gemacht
101 hast?

102 B2: Also unterschiedlich, ich würde sagen, das ist jetzt eine Kritik für an meinem Unterricht
103 und positiv für dich, ich habe es sicher nicht SO ausführlich gemacht. Es war der Umfang
104 dieses Themengebiets. Es war einfach viel umfangreicher. Ich habe das sicher viel schneller
105 gemacht und sie haben nicht so viel Input bekommen. Aber man hat halt nur eine gewisse Zeit
106 zur Verfügung und deshalb habe ich das etwas flotter gemacht.

107 I: Ja, ist eh klar. Beziehungsweise wird man nicht jedes Thema wie eine Diplomarbeit
108 aufbauen (lacht).

109 B2: Ja, das ginge sich dann auch gar nicht aus, wenn man jedes Thema so ausbreiten würde.
110 Wobei es kurzweilig war. Es ist ihnen dabei nicht langweilig geworden. Wir haben doch vier
111 Stunden daran gearbeitet, das war kein Problem.

112 I: Was war dann genau bei mir viel ausführlicher als bei dir?

113 B2: Das muss ich mir mal anschauen. Das haben wir noch gleich gemacht, das mit der
114 Absorption habe ich auch gemacht. Wir haben damals nichts gerechnet, was aber gut ist, dass
115 man es macht. Und was wir wahrscheinlich zu wenig gemacht haben, das war beim
116 Wasserstoff die verschiedenen Serien. Das habe ich ein bisschen kürzer gemacht, also vom
117 Wasserstoffatom die Spektren.

118 I: Hast du das Gefühl gehabt, dass die Schüler ein Problem hatte, von der einen Abbildung
119 das auf das zu übertragen?

120 B2: NEIN, das ist gut gegangen. Ich habe das erste mit ihnen gemeinsam gemacht und gesagt:
121 „Schaut einmal, da!“ Und dann haben sie die anderen eigentlich selbstständig machen
122 können. Das habe ich ihnen schon einmal erklärt. Die erste Möglichkeit sind wir gemeinsam
123 durchgegangen und dann haben sie die anderen beiden Möglichkeiten aber selbst gefunden.
124 Das habe ich letztes Jahr zum Beispiel auch nicht so genau mit ihnen gemacht. Ich meine, das
125 ist aber wirklich durchaus angebracht. Das machen andere Lehrer sicher auch. Rydberg-Ritz
126 Formel habe ich gar nicht erwähnt. Das ist bei der Exkurs, aber/

127 I: Ich habe die Formel gar nicht gekannt, bevor ich das geschrieben habe.

128 B2: Und für die verschiedenen Spektren habe ich nur eine Präsentation, wo ich ihnen das
129 gezeigt habe. Die Idee mit dem Gedankenexperiment ist auch gut, habe ich gefunden. Das hat
130 ihnen zum Verständnis auch geholfen. Das war O.K. Du hast das so schön ausführlich erklärt
131 und immer wieder erklärt und im Unterricht waren das vielleicht zwei Präsentationen und da
132 war natürlich viel weniger Input. Sie haben sich sicher auch viel weniger aufgeschrieben, als
133 wie wenn sie jetzt dieses Skriptum in der Hand haben, wo sie alles durchlesen können. Weil
134 du hast da ja sehr viel Text, wo du immer wieder erklärst. Das ist ja sehr gut, deshalb können
135 sie sich das auch vorstellen. Was ich vielleicht weniger gemacht habe, waren die
136 Spektralklassen. Das haben wir nur kurz angerissen, aber, wie gesagt, alles aus Zeitgründen.
137 Ich finde das sehr gut, wenn man es macht. Auch die Interpretation des Spektrums war gut.
138 Das war das Problem mit dem Sonnenspektrum, das konnten wir dann eigentlich nicht mehr
139 wirklich machen.

140 I: Klar, wenn man die Sonne nicht sieht.

141 B2: Schade, wobei ich mir denke, dass man das Thema auf jeden Fall einmal wieder
142 aufgreifen könnte, wenn die Sonne scheint.

- 143 I: Wie würdest du den Lernertrag für den normalen Physikstoff einschätzen?
- 144 B2: Dadurch, dass sie das schon einmal gehört haben/ Dadurch, dass sie das jetzt ein zweites
145 Mal gehört haben, und sie sich jetzt länger damit beschäftigt haben, hoffe ich schon mehr als
146 eine normale Beschäftigung mit dem Thema, weil es schon intensiver war. Auch durch das
147 Basteln, wo sie selbst etwas machen, kriegen sie/ Weil wie gesagt, ihnen ein Spektroskop in
148 die Hand zu geben und zu sagen: „Da, schaut durch!“ Und „Ah ja, da sieht man ein
149 kontinuierliches Spektrum, da sieht man Linien.“ Wie gesagt ich hoffe, sie merken sich das
150 jetzt schon.
- 151 I: Hast du irgendwelche Stundenwiederholungen oder so gemacht?
- 152 B2: Noch nicht, wir haben erst einen Test. Also Stundenwiederholungen schon, aber auf
153 freiwilliger Basis. Insofern habe ich sie nicht abgeprüft, sondern freiwillig, wer sich melden
154 wollte. Aber da muss ich sagen, dass ich das Gefühl habe, dass sie da auch mehr
155 mitgenommen haben, als sonst. Sie haben sich mit dem intensiver beschäftigt als
156 normalerweise. Wir haben vorher Kernkraft und Kernenergie und die ganzen Atomkraftwerke
157 gemacht und das hat sie auch interessiert, aber da habe ich das Gefühl gehabt, wahrscheinlich
158 auch dadurch, dass wir das zum zweiten Mal gemacht haben und, dass wir es immer am
159 Stundenanfang wiederholt haben/ Also erwarte ich mir wirklich, dass der Ertrag höher ist.
- 160 I: Das heißt, du machst jetzt noch irgendwann einen Test?
- 161 B2: Genau, der Test ist glaube ich in drei Wochen. Da werde ich dann bitter enttäuscht sein,
162 dass das, was ich mir einbilde, dann nicht so ist (lacht). Nein, aber irgendwie habe ich schon
163 das Gefühl gehabt/ Weil wir uns wirklich intensiver beschäftigt haben, als du es
164 normalerweise machst.
- 165 I: Klar. Hast du das Gefühl, dass deine Schüler prinzipiell an Astronomie interessiert sind?
- 166 B2: Ja genau. Das ist eine Klasse, die nicht physikalisch interessiert ist, aber Astronomie
167 interessiert sie schon. Das war auch das Positive daran. Das ist etwas, das ihnen gefällt. Wir
168 machen jetzt auch Sternentstehung, Sternentwicklung und so. Das interessiert sie mehr. Das
169 ist ein Thema, das, glaube ich, zieht.
- 170 I: Das heißt, ich habe das ja auch auf Astronomie bezogen, mit dem Aufbau der Sonne, hast
171 du schon das Gefühl gehabt, dass /
- 172 B2: Richtig, richtig. Da springt dann auch irgendwo der Funke über, weil das interessiert sie.
173 Wir wollten mit der Sternentstehung und der Sternentwicklung/ Da habe ich nur eine Stunde
174 vorher gemacht, bevor wir mit dem begonnen haben, ich habe nur so ganz kurz erzählt. Wie
175 gesagt, es war dann auch gut, dass man sagt: „Das kommt dann eh noch alles.“ Oder wo du
176 den Sonnenaufbau beschreibst, das machen wir eh noch. Weil die Sternentstehung am
177 Beispiel der Sonne möchte ich noch mit ihnen machen.
- 178 I: Sonst noch etwas, das du dazu sagen willst?

- 179 B2: Noch einmal herzlichen Dank für die perfekte Vorbereitung von dem Ganzen.
- 180 I: Nein, ich sage Danke.
- 181 B2: Nein, es war wirklich leicht danach zu unterrichten, weil du das schon so toll
182 ausgearbeitet hast. Es war kein Problem mehr und es waren wirklich nette Stunden mit ihnen.
183 Das war super. Ich hoffe, dass du das selbst auch einmal einsetzen kannst, wenn du dir schon
184 so viel Arbeit gemacht hast.
- 185 I: Ganz sicher. Danke für das Interview.

Anhang 4

Interview mit Lehrperson B3

- 1 I: Danke zuerst einmal für das Interview. Wie lange hat der Bau des Spektroskops gedauert?
- 2 B3: Ich habe gemerkt, dass man doch drei Stunden einrechnen muss, dass es einen Sinn
3 macht.
- 4 I: Gut zu wissen, weil ich habe es natürlich schon öfter zusammengebaut und ich habe dann
5 gestoppt, wie lange ich brauche, wenn ich es in Ruhe zusammenbaue. Das waren zwanzig
6 Minuten.
- 7 B3: Also sie waren sozusagen nicht so klar, gehört das da her, gehört das da her. Sozusagen,
8 wo baue ich das ein. Wie ist das mit dem Schlitz? Wo sollte der genau sein? Wie mache ich
9 das? Das waren so die Dinge bei den Schülern, die dann so überlegt haben. Und wenn ich
10 dann so schaue, soll ich etwas sehen, soll ich oben schauen? Und wozu brauche ich das da
11 noch einmal? Reicht es nicht ganz? Reicht es nicht klein?
- 12 I: Würdest du empfehlen, dass ich die Anleitung noch genauer machen soll?
- 13 B3: Die Anleitung hat perfekt gepasst, bis auf den allerletzten Schlitz, also sozusagen den
14 Sehschlitz. Das war für sie nicht klar. Das war bei der Anleitung nicht klar für die Schüler,
15 wie sie es gebaut haben. Das war noch klar, dass das über der CD sein muss. Es war auch
16 klar, und ich glaube, das sollte auch Sinn der Sache sein, dass man sich überlegt, wie man es
17 wirklich baut. Da war die Anleitung gut genug. Der letzte Sehschlitz war dann irgendwie ein
18 bisschen/ Muss das verschiebbar sein, muss das kleiner sein, warum reicht es nicht einfach
19 groß?
- 20
- 21 I: Warum braucht man überhaupt noch einen Schlitz?
- 22 B3: Ja genau, warum braucht man überhaupt noch einen Schlitz? Das waren die Fragen, die
23 die Schüler gestellt haben.
- 24 I: Ja, ich bin auf die Funktionsweise von dem Spektroskop eigentlich nicht in der Einheit
25 eingegangen. Deshalb habe ich auch nicht beschrieben, warum man den Schlitz braucht. (...)
- 26 B3: Aber für das Bauen, war es natürlich interessant. Ich habe es ein bisschen anders gemacht
27 und habe sie zuerst BAUEN lassen. Dann habe ich sie durchschauen lassen und habe immer
28 festgestellt, wie immer, sie gehen nur auf die Farben, sie blenden die schwarzen Linien
29 komplett aus. Das ist etwas, auf das schauen sie nicht, das sehen sie nicht. Das kann man sie
30 fünf Mal fragen: „Schreib mir das genau auf, zeichne mir das auf! Was siehst du?“ Sie gehen
31 immer nur auf die Farben und lassen die schwarzen Linien aus. Was natürlich, wenn man eine
32 Energiesparlampe hat, sehr offensichtlich ist. Das erste, was mir auffällt ist, wie breit diese
33 schwarzen Stellen dazwischen sind. Aber sie sehen es nicht, sie sehen es gar nicht. Und dann,

34 das war eben eine Unterrichtserfahrung, habe ich es noch anders gemacht, dass ich sie in das
35 Internet geschickt habe, einfach nur Bilder von Spektren anschauen. Wenn ich sie also
36 fotografiere, wie schauen die aus. Dann sind manche schon draufgekommen, dass ihr
37 Spektroskop gar nicht so gut ist. Dass man es schon besser sieht, wenn man es professionell
38 sieht. Dann haben sie das professionelle Bild von ihnen gesehen und dann haben wir auch
39 über die schwarzen Linien gesprochen, dass es manche Farben gibt, die dann gar nicht da
40 sind. Dass das Sonnenlicht mit allen Regenbogenfarben gar nicht immer künstliches Licht ist.
41 Das war schon ein Aha-Erlebnis für sie. Weil sie von der Glühbirne noch gewohnt sind: Naja,
42 da gibt es ähnlich wie bei der Sonne alle Farben. Dass das bei den LED, bei den
43 Energiesparlampen gar nicht so ist, das war für sie sehr neu. Dafür war es sehr interessant, das
44 einmal so zu haben und ich habe mir gedacht, vielleicht bleibt das mehr hängen als von einem
45 Lehrervortrag.

46 I: Ja hoffentlich. Aber es ist ganz interessant, dass die Schüler diese schwarzen Stellen gar
47 nicht sehen. Wie ich mir das Spektroskop gebastelt habe, habe ich auch zum ersten Mal das
48 Spektrum einer Energiesparlampe angeschaut und das war für mich total das Aha-Erlebnis.

49 B3: Man würde so meinen, das sieht man sofort, das ist so offensichtlich. Wir haben,
50 irgendwo steht das eh, wir haben so eine Halterung für die normale Energiesparlampe,
51 normale Glühbirne, so verschiedene normale Lampen, die es im Handel gibt. Da kann man es
52 hinhalten und anschauen. Das hätten wir eh gehabt.

53 I: Ja, sehr interessant. Du hast dir die restliche Unterrichtseinheit schon angeschaut, oder?
54 Gut, kann ich zu dem auch noch ein paar Sachen fragen?

55 B3: Ja, freilich. Was ich gemacht habe, das siehst du dann eh. Ich habe meines, sehr einfach,
56 ich habe mir da nicht so viel Arbeit angetan. Ich habe es so genommen wie du, und habe diese
57 Unterrichtseinheit dann vier Mal kopiert, weil es keine so große Klasse ist und habe dann
58 gesagt, sie müssen sich in vier Gruppen zusammensetzen. Das habe ich mir noch einmal einfach
59 nur die Fragen für jeden kopiert, weil ich mir gedacht habe, das ist zu teuer, das mag ich nicht
60 jedem in die Hand geben. Aber DAS geht auch schwarz-weiß für die Schüler. Vor allen
61 Dingen ich habe sie ja zuerst im Internet die professionellen Spektren anschauen lassen. So
62 viel Abstraktionsvermögen erwarte ich dann schon. Dann habe ich ihnen gesagt, dass ich
63 erwarte, dass mir das jeder ausfüllt, aber ich habe gesagt, dass nicht jeder den gleichen Text
64 haben darf. Sie könne dann auch wieder auf Internet zurückgreifen, wenn sie es anderes
65 formuliert haben wollen, als da, wenn sie zu wenig Phantasie haben, aber ich möchte nicht,
66 dass sie es nur abschreiben.

67 I: Das sollen sie jetzt unter der Stunde machen?

68 B3: Ja, das machen sie jetzt. Ich habe jetzt gesehen, dass die Woche, ich bin ich zwar nicht da,
69 aber ein Kollege, der Biologie und Physik hat und sowieso auch gerne Spektren hat, dem habe
70 ich das schon gesagt und der hat gesagt: „Jö schön, das gefällt mir eh gut.“

71 I: Super.

72 B3: Der wird mit ihnen weitermachen. Das habe ich ziemlich gelassen, wie du das
73 vorgegeben hast. Das habe ich einfach nur billiger in der Version für jeden Schüler und ich
74 habe gesagt Name drauf und ich sammle es ab und benote es auch.

75 I: Das ist eine gute Idee.

76 B3: Da gibt es eine Note, aber ich möchte nicht das gleiche zehn Mal lesen. Ihr könnt euch
77 überlegen, wie man es formuliert. Es kann der gleiche Inhalt sein, es kann die gleiche Sache
78 sein, aber das muss man nicht wortwörtlich gleich aufschreiben. Man kann auch ein bisschen
79 mehr zusammenfassen und vielleicht nicht nur einen Satz nehmen und dann klingt es bei
80 jedem anders.

81 I: Wie haben dir die Aufgaben gefallen? Gibt es etwas, das du verbessern würdest?

82 B3: Es ist so, ich habe es in einer siebten Klasse gemacht und was sie nicht gehabt haben, ist
83 die Quantenphysik. Das heißt, diese Termspektren und so, das war natürlich/ Da habe ich mir
84 gedacht, da war ich zwar jetzt noch nicht, aber mal sehen, wie viel sie mit dem Text anfangen.
85 Mal sehen, wieviel ich ihnen dazu erklären muss. Wenn das sozusagen das erste Mal ist, dass
86 sie von diesen Übergängen hören. Erfahrungsgemäß erfahren sie auch erst in der achten
87 Klasse von der Chemie her über die Orbitale. Sie sind schon noch ein diesem Bohr'schen
88 Atommodell drinnen, was ja für das Spektrum sehr vorteilhaft ist. Deshalb würde es für die 7.
89 Klasse sprechen, weil das Bohr'sche Atommodell für Spektren optimal ist. Ich halte mich an
90 den Pietschmann und finde, man braucht immer noch beide Modelle. Das Bohr'sche
91 Atommodell für die Spektren und die Orbitale für alle andere.

92 I: Ich habe absichtlich (...) keines der beiden Atommodelle explizit angesprochen und bin da
93 eher bei „Quantenzuständen“ geblieben, wobei der Begriff natürlich, wenn man das noch nie
94 gehört hat/ Das ist halt die Frage, entweder, man akzeptiert den Begriff, oder man denkt sich:
95 „HILFE!“

96 B3: Das war eben das, wo ich mir gedacht habe, das lasse ich jetzt darauf ankommen. Ich
97 habe mir gedacht, schauen wir einmal wie das ist, wie sie sich tun und ich beobachte dann
98 auch ihre Reaktion. (...) Aber, was mir wirklich gut gefallen hat, das sich wirklich
99 auseinanderzusetzen, weil ich mir gedacht habe, im Unterricht ist man dann manchmal
100 versucht es zu streichen oder zu schnell zu machen und dann bleibt erfahrungsgemäß GAR
101 nichts hängen. Besser gründlich oder gar nicht. Schnell, schnell ist meistens immer schlecht.
102 (lacht)

103 I: Aber man ist einfach oft versucht das so zu machen, auch wenn man es schon aus
104 Erfahrung weiß, dass es nichts bringt.

105 B3: Das hat mir eben wirklich gut gefallen, sozusagen auch mit der Energie und mit der
106 Energiedifferenz. Und, dass man diese Wellenlänge ausrechnet. Erfahrungsgemäß akzeptieren
107 die Zahlenwerte, gefällt ihnen. Wie weit es dann ist, da habe ich mir gedacht, da bin ich dann
108 einmal gespannt, wenn sie dann auf die hinteren Seiten kommen. Seite 12 und so, ob sie dann
109 noch dabei sind oder nicht. Aber ich habe es schon ein paar Mal/ Es gibt ja ein HTL-Buch und

110 in einem HTL-Buch/ (...) Genau, das ist das Buch von der HTL. Die rechnen das auch vor,
111 das ist ähnlich wie bei dir. Da habe ich/
112 I: Das kenne ich gar nicht.
113 B3: Da habe ich eben die Erfahrung gemacht, weil die haben auch den Grundzustand, dann
114 die Übergänge. Die haben auch genau diese Spektren und welcher Wellenlänge das
115 entspricht. Da war meine Erfahrung, dass die Schüler, die „Sehr gut“ und „Gut“ sind, DAS
116 können. Dass man da wirklich eine Selektion im Unterricht hat, die nur auf „Genügend“
117 gerade durchkommen, die verweigern komplett.
118 I: Das ist aber meistens so, dass die die Mathematik komplett verweigern in der Physik, oder?
119 B3: Die, die aber „Sehr gut“ und „Gut“ sind, die können das. Ich habe das immer wieder mal,
120 wenn ich das gemacht habe, habe ich das vorgerechnet bekommen, bei mir an der Tafel, der
121 gesagt hat: „Frau Professor, ich kann es.“
122 I: Super.
123 B3: Also, glaube ich schon, dass man es machen kann, aus dieser Erfahrung heraus. Weil ich
124 es früher gesehen habe, aus diesem Buch manchmal. Wenn ich mir gedacht habe: Da gibt es
125 ein paar Gute ein der Klasse, machst du es.
126 I: Man muss es eben immer auf die Klasse abstimmen. Wo sind die Unterschiede zwischen
127 der Unterrichtseinheit und der Art, wie du das Thema normalerweise unterrichtest?
128 B3: Ich mache beim Thema Spektroskopie meistens sehr viel Lehrervortrag, irgendein
129 Schülerversuch, Lehrervortrag, eine gezielte Internetrecherche, Lehrervortrag und wieder eine
130 Schüleraktivität. Während da ist es doch mehr, dass sie das lesen, selber machen. Und da habe
131 ich mir gedacht, mal schauen, ob es geht. (...) Meine Erfahrungen sind oft, dass gerade in
132 Physik und Mathematik die Schüler schneller aufgeben. Es wird schwieriger und sie lesen
133 nicht weiter.
134 I: Hoffentlich (lacht) ist es nicht so der Fall. Mal schauen. Was ist in meiner Einheit genauer
135 oder weniger genau behandelt als in deinem Unterricht normalerweise?
136 B3: Genauer sind schon diese Serien genauer drinnen. Die Balmer-Serie oder die Lyman-
137 Serie oder so. Weil ich gehe dann gerade auf eines ein und das war es. Was aber sehr
138 interessant ist. Ich habe mir gedacht, weil man es ja genau dafür braucht. Das ist ja der Sinn
139 und die Anwendung.
140 I: Ich habe diesen Bezug zur Astronomie hergestellt, machst du das normalerweise im
141 Unterricht auch, dass du Bezug auf die Sonne nimmst?
142 B3: Oja, aber ich habe festgestellt, dass das Interessante ist, dass ich es drei Mal getrennt
143 mache. Ich mache es nicht in einem, sondern ich unterrichte einmal die Sonne, meistens schon
144 in der sechsten Klasse, und unterrichte dann die Spektren in der siebten Klasse und unterrichte

145 die Astronomie in der achten Klasse und hoffe dass man das von der Sonne und den Spektren
146 das nur noch kurz wiederholen müssen um dann genau auf das zurückzugreifen.

147 I: Und wie funktioniert das normalerweise?

148 B3: Also normalerweise funktioniert das sechste, siebente Klasse sehr gut. Das von der Sonne
149 interessiert sie einfach, das gefällt ihnen. Sie ist ja auch groß vor der Nase von jedermann.
150 Und in der achten Klasse dann auf die Spektren zurückzugreifen, ist dann meistens doch so,
151 dass man es ihnen als Hausübung aufgeben muss: „Jetzt müsst ihr euch das ganze noch
152 einmal anschauen.“ Und ich habe es dann in irgendeiner Form meistens doch kopiert, wo es
153 drinnen ist. Weil es doch ganz weit weg ist. Obwohl das immer das Interessante ist, sie
154 wünschen sich in der achten Klasse/ Ich sage immer, ein Thema könnt ihr streichen und ein
155 Thema könnt ihr von der Wunschliste hingeben. Und sie wünschen sich IMMER Astronomie.
156 Astronomie ist JEDES Jahr das Wunschthema in der achten Klasse. Ich habe noch keine achte
157 Klasse gehabt, die sich nicht Astronomie gewünscht hat. Aber das Interessante ist dann
158 immer, dass sie sagen: „Ja, wenn wir gewusst hätten, dass das so schwer ist und, dass man so
159 viel lernen muss, hätten wir es nicht genommen. (lacht) Wir hätten gedacht, das ist mehr
160 Geschichten erzählen.“

161 I: Also, du hast schon das Gefühl, dass deine Schüler prinzipiell an Astronomie interessiert
162 sind.

163 B3: Ja, und eigentlich haben sie dann nie hinterfragt: Woher weiß ich etwas über Sterne? Man
164 liest das irgendwo oder ein paar sieht man im Jahr auch. Der Sirius als heller Stern ist
165 offensichtlich am Winterhimmel, den kennt auch jeder, oder im Sommer Deneb im Schwan,
166 der gerade oben drüber steht und relativ hell ist, den findet dann auch jeder. Es gibt ja so ein
167 paar Sterne, die bekannt sind und/ „Naja, sieht man alles.“ Und wenn man dann sagt: „Sieht
168 man leider nicht alles.“, ist das nie hinterfragt worden und das ist dann ganz interessant,
169 woher bekommen wir unser Wissen über die Sterne.

170 I: Das heißt, die Schüler meinen dann, auf der einen Seite war es ist viel schwerer als sie
171 gedacht hätten, aber auf der anderen Seite ist es schon so, dass es ihnen dann doch gefallen
172 hat.

173 B3: Es gefällt ihnen, weil sie es dann doch interessant finden.

174 I: Das ist auch meine Erfahrung und deswegen habe ich versucht die Physik mit der
175 Astronomie zu verknüpfen.

176 B3: Was ich eigentlich sehr interessant gefunden habe. Das habe ich bis jetzt noch nicht so
177 gemacht, aber es hat mir gefallen.

178 I: Ja, hoffentlich funktioniert es gut. (...) Eine letzte Frage zum Lernertrag für den normalen
179 Physikstoff, eben weil ich teilweise Sachen genau ausgeführt habe oder andere Sachen
180 verknüpft habe. Wie würdest du den Ertrag für den Lehrplanphysikstoff einschätzen?

181 B3: Ich würde den schon als hoch einschätzen.

182 I: Es wird sich dann zeigen. (lacht)

183 B3: Es wird sich zeigen, ob es das wirklich ist. Auf der anderen Seite habe ich gerade im
184 Wahlpflichtfach auch gehört, dass zum Beispiel ein Spektroskop von der Chemie schon jeder
185 in der Hand gehabt hat. Das sind die, die interessiert sind und die haben das in der Chemie
186 schon einmal in der Hand gehabt. Für die war es interessant dann eines zu bauen und zu
187 sagen: „O.K., wie macht man das? Wir haben es nur fix-fertig gehabt, so wie man halt ein
188 anderes Analyseinstrument fertig in die Hand bekommt.“ Das hat ihnen gefallen, sich auch
189 etwas genauer damit auseinander zu setzen.

190 I: Gibt es noch etwas von deiner Seite, das du sagen willst, weil von meiner Seite war das
191 eigentlich alles, was ich wissen wollte.

192 B3: Ich habe es gerne ausprobiert. Es hat Spaß gemacht. Es war für mich interessant das
193 gleich zu verbinden. Ich werde jetzt schauen, wie sie sich mit der Quantenphysik und dem tun
194 und einmal auch schauen im Vergleich zu dem wie ich es früher gemacht habe. Wenn jetzt
195 alle gebastelt haben und das Basteln leicht war und nett war und sie natürlich schon in der
196 Oberstufe ahnen, dass die Theorie noch hinten drankommt. Es ist nicht mehr die Unterstufe.
197 Ob vielleicht ein paar mehr sich noch genau mit der Physik dahinter beschäftigen als sonst,
198 wenn ich es nur in der achten noch einmal bei der Astronomie gemacht habe, oder in der
199 siebten nur die Spektren, wo dann nur die „Sehr gut“ und „Gut“-Schüler waren, die das dann
200 wirklich mit Begeisterung gelernt haben und präsentiert haben.

201 I: Wenn du fertig bist, wäre es super, wenn du mir ein E-Mail schreiben könntest, wie
202 es funktioniert hat.

203 B3: Ja, kann ich machen.

204 I: Und noch ganz kurz, das habe ich vergessen zu fragen. Du hast schon gesagt, es war eine
205 kleine Klasse mit der du das durchgeführt hast. Siebte Klasse?

206 B3: Siebente Klasse, das sind/ Ich schaue kurz. Wir haben zum Teil 28 Schüler in der
207 Oberstufe. Klein ist jetzt auch/ (...) Achtzehn sind es.

208 I: Achtzehn ist wirklich klein. Das ist siebte Klasse Gymnasium oder Realgymnasium?

209 B3: Realgymnasium.

210 I: Siebte Klasse Wahlpflichtfach oder normaler Unterricht?

211 B3: Das war normaler Unterricht und ich habe es dann auch in drei Einheiten ein bisschen
212 kürzer im Wahlpflichtfach gemacht, das ist siebte, achte Klasse. Aber mehr achte Klasse als
213 siebte Klasse Wahlpflichtfach Physik. Die waren eben in zwei Stunden fertig. Dann haben sie
214 sich das angeschaut, dann haben sie sozusagen von den verschiedenen Lampen und so/ Die
215 haben es natürlich schon in Chemie mehr so ein Spektroskop in der Hand gehabt, das war

216 dann klar. Das Termschema, da sind sie ein bisschen von den Atomübergängen/ Das war
217 ihnen von Orbitalen: „Wie ist das?“/ Das war dann ein bisschen wieder wie: „Wie komme ich
218 von diesen Wahrscheinlichkeiten doch wieder auf konkrete Zahlen?“ Mit dem haben wir uns
219 ein bisschen beschäftigt.

220 I: Ich bin schon gespannt, wie das funktioniert.

221 B3: Vielen, vielen Dank. Ich habe noch etwas Kleines.

222 I: Das wäre aber nicht notwendig gewesen. Ich habe ja auch deine Arbeit und es hat auch
223 Spaß gemacht, das so auszuprobieren.

224 B3: Trotzdem danke. Ich bin ja auch auf Lehrer angewiesen, die so offen sind, das
225 auszuprobieren.

Anhang 5

Interview 1 mit Lehrperson B4

- 1 I: Danke, dass du dir Zeit genommen hast.
- 2 B4: Gut, ich kann dir gleich sagen, wo es ein paar Probleme gegeben hat: Das größte Problem
3 bezieht sich auf folgenden Punkt und der zieht sich dann gleich auf zwei hin. Das ist auf der
4 Seite neun. Dieses Teil hier, die Beschreibung zuerst einmal, was zu machen ist, wenn man
5 sich das durchliest, durchaus kein Problem. Bei Schülern ist das allerdings nicht zwingend der
6 Fall. Das heißt, die übersehen gerne einmal etwas. Und sie verstehen folgendes nicht sofort,
7 das hat eigentlich bis jetzt bis auf eine Gruppe keine einzige gleich zusammengebracht: Dass
8 es um diese drei vierer geht auf der oberen Leiste und nur die Pfeile dieser drei Punkte
9 gemeint sind, Möglichkeit 1, Möglichkeit 2, Möglichkeit 3. Man könnte das A verbessern,
10 indem man eben statt Möglichkeit 1 das identifiziert. Dass DAS der erste vierer, der zweite
11 vierer und der dritte vierer in dieser Liste da oben ist. Weil das ist ja als Möglichkeit 1, darf
12 ich einmal?
- 13 I: Ja klar, bitte zeichne etwas darauf ein.
- 14 B4: Es sind diese drei Striche zum ausrechnen, die Energiedifferenz dieser drei Striche. Das
15 verstehen sie nicht sofort, das habe ich ihnen jedes Mal sagen müssen. Wie sie die Energie
16 des ausgesendeten Photons ausrechnen, das hat sie ein wenig überfordert. Welche Striche sie
17 nehmen müssen und was sie dann machen müssen, das hat sie überfordert. Das habe ich ihnen
18 beim ersten gezeigt und danach wussten sie es. Das heißt wenn man von 12, 75 eV auf 0
19 runter geht und damit die gesamte Energie 12, 75 eV ist. Wellenlänge des ausgesendeten
20 Photons zu errechnen, hast du zwar vorher drinnen, den gesamten Weg, dass das die erste
21 Formel ist und das dann die zweite ist, in die ich da einsetze, das bringen die im Kopf nicht
22 zusammen. Das bringen die nicht hin, dass sie sagen: Diese beiden Formeln in diese Arbeit
23 hier/
- 24 I: Habe ich da nicht geschrieben „mit Formel X“?
- 25 B4: Ja, das hast du geschrieben, und die Formel 1 finden sie auch, nur wissen sie nicht, wie
26 sie damit auf die Wellenlänge kommen sollen, weil sie den Punkt, der hier oben ist, nicht mit
27 dem da oben verbinden. Dass das dasselbe f sein muss. Dass ich damit die Frequenz
28 ausrechne und dann im Nachhinein mit dieser Frequenz und dem Wissen wie schnell die
29 Lichtgeschwindigkeit ist mir natürlich die Wellenlänge auch ausrechnen kann. Das musste ich
30 ihnen regelmäßig sagen.
- 31 I: Die Sarah Mirna hat mir auch gesagt, dass das ihre Schüler überfordert hat.
- 32 B4: Und das Ganze zieht sich dann/
- 33 I: Das Rechenbeispiel, das ganz zum Schluss ist?

34 B4: Das ganz zum Schluss ist, das Rechenbeispiel mit dem H alpha, H beta, etc. Das zieht
35 sich dann bis hierher, weil sie dann nicht verstehen, dass diese eins, zwei drei, vier, fünf
36 Größen DIESE Größen hier sind. Dass sie sozusagen hier diese Energiedifferenz ausrechnen
37 müssen. Also für H alpha dieses Alpha E 1 einsetzen müssen. Und wenn sie es verstanden
38 haben, dann sind sie sich nicht ganz sicher, ob der Strich genau bis zu diesem Energieniveau
39 raufgeht. Sie haben dann jedes Mal geschätzt. Sie haben zum Beispiel zwischen 12,5 und 12,
40 9 alles mögliche an Variationen reingebracht, weil das ist nicht genau drauf und das könnte
41 ein bisschen weniger sein. Dann haben sie angefangen zu zählen: Es sind ja vom obersten
42 Strich bis zum nächsten Strich usw. Es sind aber nur fünf Werte, aber es sind sechs Striche.
43 Der oberste, und der hier geht vom obersten Strich weg. Und dann haben sie angefangen zum
44 Extrapolieren. So 13,66 oder 13,62 zu nehmen und haben ein bisschen herum variiert und sind
45 dann natürlich nicht auf die exakten Ergebnisse gekommen. Dann haben sie es aufgegeben.
46 Sie haben es zuerst probiert und dann sind sie irgendwann verärgert zu mir gekommen: Das
47 haut nicht hin, da hat sie die Universität vertan. Das sind eigentlich die zwei. Bei den anderen
48 haben sie KAUM Schwierigkeiten gehabt. Da kam selten irgendetwas. Das haben sie sonst
49 alles schön hinbekommen. Der beim vom Spektroskop: Also es müssen auf jeden Fall
50 Farbfotos sein. Ich habe es zuerst auf schwarz weiß kopiert und da hatten sie Schwierigkeiten.
51 Ich habe ihnen dann die E-Mail Datei von der Bauanleitung auf die Dropbox stellen lassen
52 vom Klassenvorstand, wo sie das ganze als Farbfotos haben, da haben sie es dann
53 hinbekommen. Bei schwarz-weißen Fotos ist es zu ungenau, dass sie es nicht ganz
54 hinbekommen. Ich habe einen jungen Mann, der ein bisschen eigenwillig ist, liebenswürdig,
55 aber recht eigenwillig, der die ganzen Semesterferien gebaut hat. Der ist wutentbrannt
56 gekommen: Das ist ein Blödsinn, das kann überhaupt nicht funktionieren. Diese Anleitung ist
57 ein absoluter Blödsinn. Da habe ich EWIG nachdenken müssen, bis ich dann das
58 hinbekommen habe. Er hat ein WUNDERSCHÖNES Spektroskop zusammenbekommen. Das
59 war kein Problem. Er hat sich nur darüber aufgeregt, dass er nachdenken musste. Das ist das
60 größte Problem ist eigentlich nicht so sehr, dass es nicht geht, sondern, dass sie schon
61 nachdenken müssen, was im Großen und Ganzen nicht falsch ist. Mir ist es lieber, die
62 Anleitung ist nicht so detailreich/

63 I: Bei was hat er nachdenken müssen?

64 B4: Er hat gemeint, wo die einzelnen Bauteile dann zusammenkommen: Auf welcher Seite sie
65 sind und wo die Öffnung ist etc. „Weil da musst ja nachdenken, wie denn der Lichteinfall ist
66 und wie das mit dem Licht dann weitergeht und dann war es mir klar, wo das hingehört. Aber
67 das musste er sich zuerst mal logisch vorstellen.“ Wo ich als Lehrer ganz ehrlich sage:
68 Perfekt, super. Mir ist eine Anleitung, wo sie nachdenken müssen, die sie zwingt
69 nachzudenken, lieber. Grundsätzlich wird es bei den Schülern immer Beschwerden wegen der
70 Anleitung geben. Man kann mit der Anleitung hinkommen, das ist gar kein Problem. Man
71 sollte es auch gar nicht genauer machen, weil die Schüler auch denken sollen.

72 I: Ich wüsste auch keinen Weg, wie man das genauer macht.

73 B4: Ich denke auch nicht, dass es da allzu viele Möglichkeiten gibt. Man muss nur damit
74 rechnen, denn das kommt von den meisten Schülern: „Damit komme ich nicht klar.“ Aber das
75 sagen sie sowieso sobald ihnen die Situation aufgezwungen wird, dass sie mal nachdenken
76 müssen. Dann sagen sie sofort: „Das ist mir nicht klar, das funktioniert nicht.“ So, das war
77 einmal das eine.

78 I: Das werde ich jetzt auf jeden Fall überarbeiten.

79 B4: Das mit dem Optional, die Zeile haben sie gar nicht verstanden, was sie damit anfangen
80 sollen. Was soll „optional“ sein? Was will man da von ihnen haben?

81 I: „Freiwillig“? Ist „freiwillig“ besser?

82 B4: „Freiwillig“ was?

83 I: Freiwillige Aufgabe?

84 B4: (lacht) Aso, freiwillige Aufgabe das zu rechnen. Ich habe „optional“, falls ihnen sonst
85 noch Informationen, die sie da rauslesen können/ Weil ich habe ihnen gesagt „optional“ heißt
86 „muss nicht gemacht werden“. Wenn sie da noch eine Information eintragen möchten, die
87 sonst nirgends dazu passt, die sie allerdings für ihren Lerneffekt, die sie als Information
88 hingeschrieben haben wollen, ist hier die Möglichkeit das hinzuschreiben. Weil ich hab das
89 ganze ein bisschen anders gemacht, ich habe das ganze in Gruppen gemacht.

90 I. Kannst du das genauer erklären? Das würde mich interessieren.

91 B4: Ich habe grob eingeteilt und zwar ganz bewusst so, dass sich die Leute das nicht selbst
92 ausgesucht haben, wer wo sitzt. Es ist durchgelost worden. Einer bzw. eine in der Gruppe ist
93 als Kommandant eingeteilt, die ist für alles verantwortlich. Die ist auch dafür verantwortlich,
94 dass das gesamte Material da ist. Dass das ganze Material, bis wir es im März, April wieder
95 brauchen, verwaltet wird und nicht verschwindet. Weil im April, wenn ich das Licht wieder
96 habe, hole ich mir die Sachen dann wieder raus. Zusätzlich bekommen sie am Ende einen Test
97 mit zwei, drei Fragen aus diesem Stoffgebiet, zum Beispiel „Was sind Fraunhofer’sche
98 Linien“ etc. Wobei die Note jeder als Einzelnote bei sich eingetragen bekommt. Aber in den
99 Gruppen werden die Noten zusammengezählt, durch die Anzahl der Gruppenmitglieder durch
100 dividiert und die Gruppe mit dem niedrigsten Notendurchschnitt kriegt von mir einen Preis.
101 Und die Gruppenkommandanten sind dafür verantwortlich, dass ihre Gruppenmitglieder
102 etwas lernen.

103 I: Wie groß sind die Gruppen gewesen?

104 B4: Zwischen zwei und vier Personen pro Gruppe. Also es gibt Vierergruppen, aber es gibt
105 auch eine Zweiergruppe, weil es sich einfach so ergeben hat. Einer ist krank geworden, einer
106 ist vor den Semesterferien ausgestiegen aus der Schule.

107 I: Wie hast du den Kommandanten bestimmt?

108 B4: Ebenfalls durch Los. Das mache ich bei allen meinen Projekten, dass immer einer
109 eingeteilt ist, der mir gegenüber verantwortlich ist, weil ich nicht immer mit allen Gruppen
110 gleichzeitig reden möchte. Bei mir heißt es dann einfach nur „Kommandat Marsch“ oder
111 „Kommandat hierher“, vier, fünf Leute nach vor und ich erkläre ihnen die Punkte, die strittig
112 sind. So habe ich dann zum Beispiel bei einer Klasse, DIESEN Punkt allen Kommandanten
113 einmal erklärt und damit hat das funktioniert. Sobald ich gesehen habe, dass es bei zwei, drei
114 nicht funktioniert hat. „Alle zu mir“, diesen einen Punkt durchgegangen und Abmarsch
115 machen. Sonst habe ich noch irgendetwas? Vom Inhaltlichen her verstehen sie es, damit gibt
116 es eigentlich gar keine Probleme.

117 I: Hat es Probleme bei dem Begriff „Quantenzustand“ gegeben?

118 B4: Nein, den haben sie einfach ignoriert. Was ein Quantenzustand ist, sie haben kurz einmal
119 darüber nachgedacht, ich habe das bei den Diskussionen gehört. Aber sie haben festgestellt,
120 man kann das auch verstehen, ohne den Begriff „Quantenzustand“ zu verstehen, also müssen
121 sie da jetzt nicht herumpicken. Und das werden sie sicher noch in meinem Unterricht noch
122 erfahren, was das ist. Und dann wird sich vielleicht das eine oder andere, wo sie sich jetzt
123 nicht sicher sind, auch klären. Aber es hat sich im Endeffekt herausgestellt, dass sie den
124 Begriff einfach nicht brauchen. Dass der nicht zwingend von Bedeutung ist.

125 I: So war es auch gedacht.

126 B4: Ja, sie freuen sich immer, wenn sie einen Rechtschreibfehler finden.

127 I: Und?

128 B4: Angeblich einige, aber/

129 I: Also, wie du siehst, habe ich auch schonwieder einige gefunden. Jedes Mal, wenn ich es
130 durchlese, finde ich noch etwas.

131 B4: Ja, das ist eh normal. Das Absorptions- und Emissionsspektrum: Sie lesen sich es
132 regelmäßig durch, sie lesen sich es zwei Mal durch und kommen dann immer zu mir fragen:
133 „Das Absorption ist wenn schwarze Striche sind und Emission ist, wenn es bunte Striche
134 sind?“ – „Das ist richtig.“ – „O.K, gut, dann haben sie es verstanden.“ Also da sind sie sich
135 nicht ganz sicher, aber sie ahnen es, dass es richtig sein müsste, aber sie brauchen noch eine
136 letzte Bestätigung vom Lehrkörper her. Die letzten paar Seiten, da habe ich noch nicht alle
137 Gruppen durch, das müsste dann am Freitag fertig sein, da kann ich dir dann am Freitag
138 genaueres sagen. Aber ich weiß eben schon von einigen Gruppen, die so weit sind, dass sie
139 genau dasselbe Problem bei der Aufgabe ist, wie bei der vorne. Dass sie da nach vorne
140 blättern müssten, dass sie rausfinden müssen, was sind diese Werte überhaupt? Welche Werte
141 müssen sie dafür verwenden? Und dass diese Werte nicht hundertprozentig nicht aus dem
142 Kontext ablesbar sind. Da hätte ich dich ganz gerne gefragt, welche Werte du hier konkret
143 gemeint hättest? Weil ich bin mir bei diesem Punkt selbst nicht sicher. Beim ersten Strich, ob
144 der bis drei raufgeht, oder ob der bis knapp darunter/

145 I: Nein, der geht immer genau bis zum Strich.

146 B4: Und das oberste Energieniveau? Weil dann habe ich hier für die letzte?

147 I: Ich glaube, ich bin einfach immer eines raufgegangen. Von 10,2 auf 12,09 dann 12,75 bis
148 13,8 auf 13,6.

149 B4: Wart einmal, eins, zwei, drei, vier, fünf, sechs, sieben. Eins, zwei, drei, vier, wobei zwei
150 an derselben Stelle aufhören. Das heißt es müsste ein Wert zu wenig sein?

151 I: Hmm.

152 B4: Es müssten fünf Werte sein, es sind aber nur vier.

153 I: Habe ich das in den Antwortmöglichkeiten nicht genau beschrieben?

154 B4: Aso, du hast fünf Werte, deswegen. Der letzte Wert wird/ Entschuldigung. Es geht sich
155 doch aus. Die Angaben sind so gemacht, dass sie ausreichen. Weil du hast den letzten von der
156 Balmer-Linie nicht. Deswegen geht es sich aus.

157 I: Aber schau einmal bei den Antwortmöglichkeiten, ich glaube, dass ich das ziemlich genau
158 aufgeschrieben habe, wie das berechnet gehört.

159 B4: Du, das ist ja drinnen. Bei dem, was du mir als Antwortmöglichkeit gegeben hast, steht es
160 dabei. Aber ich hab dann heute das in der Schule nicht mitgebracht und habe dann selbst kurz
161 nachdenken müssen.

162 I: Aber ich denke mir, dass man öfter kurz nachdenken muss als Lehrer.

163 B4: Das ist richtig. Eine Möglichkeit, die du hast, ist, wenn du dieses Spektrum hinten noch
164 einmal aufträgst.

165 I: Und diesen Teil rausnehmen?

166 B4: Genau, diesen Teil fettgedruckt oder sonst irgendwie, damit sie gleich sehen: Aha, da ist
167 ein Alpha, da ist ein Alpha. Das gehört zusammen.

168 I: Das ist eine gute Idee. Ich schreibe mir das auf. Was hast du sonst für ein Gefühl gehabt,
169 wie hat es ihnen gefallen?

170 B4: Gefallen hat es ihnen. Sie fanden es sehr angenehm und interessant einfach für ein paar
171 Stunden, vier bis sechs Stunden, als zwei bis drei Wochen. Sie fanden es sehr interessant sich
172 einfach mal zwei, drei Wochen lang durchgehend mit einem Projekt zu beschäftigen und
173 dabei in ihrer eigenen Geschwindigkeit vorgehen zu können. Sich die Informationen selbst ein
174 bisschen zusammen suchen. Sie müssen sich ja auch die Informationen bei anderen Sachen
175 zusammensuchen. Wenn sie nicht zu viel suchen müssen. Wenn sie über zu viele Blätter
176 hinwegblättern müssen, dann wird es ihnen wieder? . Ansonsten kann man es ihnen, wie es

177 ist, in die Hand drücken. Nur diese Punkte musst du entweder als Lehrer wissen, denn sie sind
178 schnell erklärt. Oder eben konkreter hingeben.

179 I: Die Vorschläge werde ich auf jeden Fall noch einarbeiten, dass ich das etwas
180 übersichtlicher gestalte. Hast du die Schüler das Spektroskop in der Stunde bauen lassen?

181 B4: Ich habe es in der Stunde bauen lassen.

182 I: Wie lange hat es gedauert?

183 B4: Sie sind in einer Stunde nicht fertig geworden. Ich habe ihnen dann gesagt: „Bis zur
184 nächsten Stunde fertig bauen.“ Bei einer Gruppe ist es sich ausgegangen, dass sie es über die
185 Semesterferien hinweg bauen konnte. Die zweite Klasse hat es innerhalb von zwei Tagen
186 machen müssen und die haben dann auch hinbekommen. Wichtig ist nur, dass es ein absolut
187 blickdichter Karton ist. Sie haben es dann einfach gebaut und danach mit Tesafilm umwickelt,
188 sodass kein Licht mehr hineingeht und dann hat es tadellos funktioniert.

189 I: Wie groß war die Klasse genau?

190 B4: Die eine Klasse besteht aus 28 Schülern und die andere aus 22 Schülern. Bei den 28
191 Schülern/

192 I: Das ist beides eine siebte Klasse?

193

194 B4: Das ist beides siebte Klasse. Die mit den 28 Schülern ist eine sehr disziplinierte Klasse.
195 Daher hat es trotz dieser Größe funktioniert. Allerdings alles, was über 24 Leute hinausgeht,
196 ist schon sehr hart. Da bist du dann schon platzmäßig sehr eingeengt. Weil du brauchst ein
197 bisschen einen Platz, damit sie sich ausbreiten können, damit sie anfangen können zum
198 rumwerken. Zum Teil ist es nicht schlecht, wenn sie nicht nur ein Spektroskop, sondern
199 vielleicht zwei in der Gruppe bauen, wenn die Gruppe größer ist. Bis sich alle die Spektren
200 von einem Handybildschirm, von der Sonne, angeschaut haben und dann auch mitdiskutieren
201 können, dauert es eine Zeit. Sonnenlicht ist schwierig im Winter. Da kann es echte Probleme
202 geben. Die sind zwei Stunden lange gesessen und haben darauf gewartet, dass die Sonne
203 einmal rauskommt, damit sie es sehen können. Ich habe dann ein Spektroskop von unserem
204 Physikkabor genommen. Weil du dort auch trotz wolkenverhangenem Himmel das
205 Sonnenspektrum halbwegs sehen kannst, weil es auch ein entsprechend gutes Spektroskop ist.
206 Damit habe ich es ihnen dann gezeigt. Das ist das einzige Problem, aber da kannst du nichts
207 machen. Ich finde, dass die Erfahrung ein Spektroskop einmal selbst gebaut zu haben und zu
208 sehen, es funktioniert wirklich/ Beim ersten Mal durchschauen und eine Neonröhre
209 anschauen, kommen sie alle sofort mit: „Das ist kaputt.“ Ihres funktioniert nicht. Sie haben
210 nur die Hälfte der Farben drinnen. Bis ich ihnen sage: „Ja, das ist richtig, weil sie nur die
211 Hälfte des Spektrums sehen.“ Dass eine Neonlampe eben nur das halbe Spektrum der Sonne
212 zeigt „Aso das gehört so?“ – „Ja, wenn Sie da schwarze Striche sehen, haben sie das
213 Spektroskop richtig gebaut.“ – „Super!“ Aber erst brauchen sie die Bestätigung. Zuerst gehen
214 sie davon aus, dass das Gerät, das sie gebaut haben, kaputt ist.

215 I: Das heißt, es war schon so ein Aha-Effekt?

216 B4: Ja, bevor sie nicht von mir das OK bekommen haben, das funktioniert tatsächlich, das soll
217 auch so ausschauen, sind sie nicht davon überzeugt, dass das Spektroskop funktioniert. Und
218 dann sind sie allerdings stolz darauf. Dann sind sie sehr zufrieden, es bekommen zu haben.
219 Mein Querkopf hat dann gleich auf allen draufgeschrieben: Sponsored by SPÖ, by Grünen, by
220 ÖVP. Was hat er sich noch sponsoren lassen? Er hat gleich Sponsoring draufgeschrieben, das
221 ganze mit Unterschriften bemalt und ein wirkliches Kultobjekt daraus gemacht.

222 I: Ja cool.

223 B4: Ansonsten bin ich sehr zufrieden und ich werde es mit dem Wissen dieser Punkte mit
224 Sicherheit wieder in meinen siebten Klassen verwenden.

225 I: Super, das freut mich sehr. Gibt es einen Bereich, der ihnen besonders gut gefallen hat?

226 B4: Was ihnen besonders gut gefallen hat, ist das mit dem/ Da sind sie leidenschaftlich am
227 diskutieren gewesen. „Lichtquellen, wie das Spektrum aussieht“, dieser Teil hier, der
228 gesamte Block hier, der hat ihnen am allermeisten Spaß gemacht. Wie sie das Spektroskop
229 zum ersten Mal in der Hand gehabt haben und dann selbst überlegen müssen. Wobei sie „Wie
230 würdest du die Spektren kategorisieren, einteilen?“ Da überlegen sie jetzt, was heißt
231 kategorisieren und was könnte damit gemeint sein? Ich habe ihnen gesagt: „Beschreiben Sie
232 es. Versuchen Sie eine qualitative Beschreibung, die Sie auf alle verwenden oder anwenden
233 können, herzunehmen. Welche Farben sehe ich? Sind schwarze Striche drinnen oder sind
234 keine schwarzen Striche? Sind die Übergänge sehr deutlich, sind sie scharf abgegrenzt? Das
235 nennt man kategorisieren.“ Lass es so drinnen! Es ist nicht schlecht, wenn die Schüler
236 merken, was kategorisieren bedeutet und dass man sich selbst einmal eine Kategorisierung
237 einfallen lassen muss.

238 I: Ich finde, man kann sich ja zuerst einmal darüber Gedanken machen und wie es dann
239 wirklich ist, kommt später. Es geht darum, dass man sich damit bewusst beschäftigt, dass es
240 verschieden Arten gibt.

241 B4: Da sind sie dann fasziniert. Wenn sie dann merken, es gibt welche und die sind nicht
242 immer sofort erkennbar. Denn zwischen Glühbirne und Sonne sehen sie den Unterschied am
243 Anfang nicht. Aber nachdem sie mitbekommen haben, dass ein Unterschied sein muss,
244 suchen sie ihn und dann finden sie auch plötzlich, dass da bei der Glühbirne keine schwarzen
245 Striche sind. Dass bei der Sonne ganz deutlich schwarze Striche sind, wenn man genau
246 schaut. Da sind sie auch stolz darauf: „Ha, sie haben doch einen Unterschied gefunden.“ Ich
247 habe ihnen auch gesagt: „Kann nicht sein, Glühbirnen sind ja keine kleinen Sonnen.“

248 I: Ich habe da versucht Astronomie mit Physik zu verbinden. Hast du das Gefühl, dass das gut
249 angekommen ist?

250 B4: Ja, es kam in der dritten Stunde jemand zu mir und hat mich so ganz verträumt gefragt:
251 „Sagen Sie einmal, kann das sein, dass jede Sonne ein ganz ein eigenes Spektrum hat?“ Ich

252 habe gesagt: „Ja schon.“ – „Könnte man nicht eigentlich Sonnen damit identifizieren? Dass
253 man sagt, das muss die eine ganz spezielle Sonne sein?“ – „Ja grundsätzlich weiß man eh,
254 welche Sonne das ist, weil ihre Position berechenbar ist. Aber was man damit machen kann
255 ist, dass man feststellen kann, um welches Material handelt es sich bei der Sonne. Was ist bei
256 der Sonne schon an Material vorhanden. Welche Art von Brenner ist es? Heliumbrenner,
257 Wasserstoffbrenner? Das heißt, ich kann die Sonne ein bisschen näher charakterisieren.“ –
258 „Ah, das ist ja cool.“ Da war er ganz fasziniert. Diese Verbindung hat er nicht direkt
259 rausgelesen, aber er hat sofort verstanden, dass man etwas damit machen können muss, wenn
260 die alle unterschiedlich sind. Das haben sie verstanden, dass ich das für astrophysikalische
261 Untersuchungen verwenden kann. Und dass man natürlich auch außerirdisches Leben suchen
262 kann. Sie wollen immer außerirdisches Leben suchen.

263 I: Ich finde, das ist eine ziemliche Leistung, diesen Zusammenhang herzustellen. Das hätte ich
264 nicht als selbstverständlich angenommen.

265 B4: Das ist auch nicht bei allen so. Bei der Hälfte der Gruppen ist einer, der mit dieser Idee
266 kommt. Sobald diese Idee geboren ist, wird sie fest diskutiert. Sobald eine andere Gruppe das
267 hört, nehmen sie das auf. Es geht dann so quer durch.

268 I: Baust du auch manchmal Astronomie ein?

269 B4: Ja, andauernd. Wann immer ich kann. Ich komme mit allen praktischen Beispielen, die
270 mir irgendwo einfallen, für jeden Versuch. Und wenn es Impuls ist, dann erkläre ich, dass der
271 Impuls auch dafür verantwortlich ist, dass unser Sonnensystem überhaupt existiert, weil es
272 irgendwann einmal einen Pulsar gegeben hat, der explodiert ist und dadurch diese Staubwolke
273 in Schwingung versetzt hat. Ich versuche nur mit praktischen Beispielen zu arbeiten und
274 Astrophysik bietet halt sehr viele Möglichkeiten gewisse Energien auch in Extremformen
275 aufzuzeigen.

276 I: Das heißt, deine Schüler sind prinzipiell schon an Astronomie interessiert?

277 B4: Ja.

278 I: Und wie äußert sich das Interesse?

279 B4: (lacht) Man könnte böse sagen, indem sie versuchen vom Unterricht abzulenken und
280 sobald es etwas mit Sternen zu tun hat, fragen sie schon gerne nach und wollen das etwas
281 genauer erklärt haben. Also unter den Schülern ist die Astrophysik sicher die Physik, die am
282 faszinierendsten für sie ist. Das ist etwas, mit dem sie am ehesten Faszination und Interesse
283 verbinden. Es ist bei mir auch immer der Endpunkt des gesamten Physikunterrichts. Vor der
284 Matura die letzten drei Stunden mache ich immer „Physik zum Wohlfühlen“. Da dürfen sie
285 sich einen Polster mitnehmen. Ich mache den Physiksaal dunkel. Ich werfe mit dem Beamer
286 Bilder vom Sonnensystem drauf und setze mich gemütlich hin und erzähle ihnen, wie das
287 Sonnensystem entstanden ist, wie das mit Sonnensystemen so funktioniert. Da sind sie auch
288 immer/ Das ist für sie das letzte Mal in ihrer Karriere, wo sie etwas mit Physik zu tun haben
289 und dann etwas, das wirklich SCHÖN ist. Astrophysik hat etwas Romantisches an sich. Das

290 ist bei jedem Schüler drinnen. Du findest kaum einen Schüler, der bei der Astrophysik nicht
291 eine gewisse romantische Ader entwickelt.

292 I: Ja, das ist auch meine Erfahrung. Wie schätzt du den Lernertrag von der Unterrichtseinheit
293 ein? Es geht ja praktisch schon über den normalen Physikstoff hinaus und wie ist dann der
294 Ertrag für den Lehrplan-Physikstoff?

295 B4: Das ist momentan noch etwas schwer abzuschätzen. Die sind gerade fertig geworden oder
296 sind gerade am fertig werden und ich verifiziere das erst in den nächsten ein bis zwei
297 Wochen, wie viel sie davon in den Regelunterricht mitnehmen. Der Punkt ist, dadurch, dass
298 das eine eigenständige Einheit bildet, die über mehrere Stunden geht, heben sie es im Kopf
299 auch aus dem Unterricht geht. Das ist ein eigenes Projekt, das sie machen müssen, das mit
300 dem Unterricht nicht zwingend etwas zu tun hat. Dass der Stoff auch eins zu eins im
301 Unterricht nur auf andere Art und Weise gebracht wird, das haben sie NOCH nicht begriffen.
302 Das werde ich dann erst sehen, wie stark sie das ganze tatsächlich dann herleiten können.
303 Dann, wenn es Fragen gibt, die damit zu tun haben. Wenn ich dann bei Brechung und
304 Beugung etc. bin und das ganze mit Huygen erkläre, dass ich dann dieses Bild auf der zweiten
305 Seite/ „Ah Moment, das war das mit den Pfeilen, das sollte das darstellen. So können wir das
306 auch zeichnen, das ist ja dasselbe.“ Den sehe ich dann erst in den nächsten zwei Wochen.

307 I: Du hast gesagt, du wirst am Freitag fertig. Vielleicht können wir uns dann eben in zwei
308 Wochen noch einmal treffen.

309 B4: Ja, gerne. Bin ich gerne bereit. Dann kann ich dir auch darüber, wie das ganze in den
310 Lehrstoff hineingegriffen hat, genaueres sagen. Da habe ich dann auch die Auswertung vom
311 Test. Wie sie eben vom Test abgeschnitten haben. Falls du irgendwelche Testfragen speziell
312 abgefragt hättest, kannst du mir die gerne jeder Zeit sagen.

313 I: Eine, die mir auf jeden Fall einfällt ist, dass sie den Unterschied zwischen einem Emissions-
314 und Absorptionsspektrum beschreiben können.

315 B4: Gut, das ist eine super Frage. Die bekommen sie auf jeden Fall gestellt.

316 I: Das ist auf jeden Fall das wichtigste nach der Einheit, dass man das wissen sollte.

317 B4: Ja, ich denke, dass sie es hinkriegen werden. Ich bin mir nur nicht sicher, wie genau sie es
318 hinkriegen werden. Aber ich werde die Antworten kopieren und du bekommst die Antworten
319 eins zu eins wortwörtlich von mir.

320 I: Vielen Dank. Hast du das Thema letztes Jahr schon einmal unterrichtet?

321 B4: In der siebten Klasse, ja. Spektroskopie habe ich letztes Jahr schon gemacht, aber nur auf
322 eineinhalb, zwei Stunden zusammengekürzt im Mai. Wie viel davon hängen geblieben ist,
323 sehe ich jetzt in den nächsten Tagen in einer achten Klasse.

324 I: Du hast es auf jeden Fall kürzer gemacht. Was ist bei mir genau ausführlicher gewesen?

325 B4: Zum Beispiel Absorptions- und Emissionsspektrum. Die genaue Differenzierung, was das
326 ist. Die Fraunhofer'schen Linien, was die genau sind. Ich habe sie angesprochen, allerdings
327 nicht in dieser Klarheit. Die praktische Anwendung. Wie kann ich aus Energiedifferenz eine
328 Frequenz rausarbeiten, wie kann ich aus einer Frequenz eine Wellenlänge rausarbeiten. Das
329 haben sie bei mir einmal gesehen, das habe ich ihnen vorgerechnet, aber sie haben es selbst
330 nie handschriftlich rechnen müssen. Und für diese Rechnungen brauchen sie sicher schon
331 einmal 20 Minuten. Das heißt eine halbe Unterrichtseinheit ist schon mit diesem Punkt und
332 hier das ausrechnen ausgebucht.

333 I: Ich habe versucht, das ein bisschen an den Kompetenzen von der Matura zu orientieren. Die
334 müssen jetzt rechnen und ein Diagramm interpretieren können.

335 B4: Das ist etwas, das ich zum Beispiel letztes Jahr aus Zeitmangel nicht machen konnte und
336 dieses Mal mit dieser Einheit ist das drinnen und ist das auch so, dass sie wirklich damit
337 arbeiten MÜSSEN. Und sie gewöhnen sich auch an, damit zu arbeiten. Mit unterschiedlichen
338 Informationsmöglichkeiten, oder Möglichkeiten eine Information rauszuholen und
339 darzustellen. Dass sie mit denen auch arbeiten lernen. Weil das eben auf der Seite 10/

340 I: Du kannst es schon auswendig? (lacht) Ich bin beeindruckt.

341 B4: Seite 9, da. Wenn sie verstanden haben, wie viel Information man aus dem rausholen
342 kann, finden sie es ganz witzig. Aber vorher schauen sie sich das an und verstehen gar nichts.
343 Sie sind aber auch zu faul zum Nachdenken. Dass man sich sämtliche Seiten einmal
344 anschauen kann. Da hast du einen Lerneffekt, weil sie merken, dass man eben nicht nur eine
345 x- und eine y-Achse machen kann. Dass man das ganze variieren kann. Dass ich zusätzliche
346 Informationen einbauen kann, die man später auch rausholen kann. Das sehen sie erst mit
347 solchen Dingen. Insofern gefällt mir das auch sehr gut. Genau dieses Diagramm finde ich
348 insofern echt spannend, weil sie da zum ersten Mal merken, wie viel Information ich in ein
349 einfaches x-y-Koordinatensystem einbauen kann. Das verstehen sie am Anfang nicht.

350 I: Ich kann mir auch vorstellen, dass das am Anfang etwas Probleme macht, wo man immer
351 nur gewöhnt ist, dass man auf der x-Achse die Zeit aufträgt und auf der y-Achse den Weg.

352 B4: Richtig, genau.

353 I: Gibt es sonst noch etwas von deiner Seite, weil von mir wäre es das.

354 B4: Nein. Ich kann nur sagen, dass sie sehr fröhlich beim Arbeiten gewesen sind, recht
355 intensiv dabei. Und vor allem die Diskussionsrunden, wo sie zusammensitzen und zuerst
356 einmal „Wie würdest du das machen?“ Und was ist dann auf Grund der Untersuchungen
357 rausgekommen, da diskutieren sie LEIDENSCHAFTLICH gerne, irrsinnig gerne. Und auf gar
358 keinen Fall mit der Sprache nach unten gehen. Ich musste hin und wieder mal einen Satz für
359 sie übersetzen, von dem ich ausging, das müsste eigentlich klar sein. Mein Lieblingsbeispiel:
360 „Wie erwartest du, dass diese ausschauen?“ – „Sollen wir hinschreiben, wie wir glauben, dass
361 das ausschauen könnte?“ – „Ach so, wie erwartest du, dass du ausschauen? Das heißt also:
362 Was glaubst du, wie das ausschaut?“ Hätte ich gedacht, das ist ein simpler Satz. Aber bitte

363 nicht verändern, die sollen das lernen. Die sollen ruhig mit solchen Sätzen kommen. Und in
364 der Sprache ist es wirklich schön. Es ist nicht Alltagssprache, es ist schon eher im
365 wissenschaftlichen Bereich angesiedelt von der Sprache her, mit der sie sich schwer tun, mit
366 der sie den einen oder anderen Satz mehrmals lesen müssen, damit sie ihn verstehen. Aber sie
367 kommen immer dahinter und verstehen dann auch, was das Wort heißt. Sobald sie einmal
368 einen Begriff begriffen haben, können sie ihn auch in anderen Punkten wieder verwenden und
369 da verstehen sie ihn auch.

370 I: Hast du das Gefühl, dass es schwerer als ein Schulbuch geschrieben ist?

371 B4: Ja, und das ist gut so. Das ist ganz, ganz wichtig. Denn mit den Schulbüchern bin ich
372 mittlerweile nicht mehr glücklich. Das ist ein echtes Deppendeutsch und dann brauche ich
373 mich nicht wundern, wenn die Leute bei der Kronenzeitung ein Vokabular von 500 Worten
374 vorgeschrieben bekommen, über das sie nicht hinausgehen dürfen, damit die Leser sie
375 verstehen.

376 I: Super. Dann meldest du dich, nach dem Test?

377 B4: Ich melde mich nach dem Test, den bekommst du anonymisiert ausgehändigt und du
378 kannst dann die Antworten von knapp 50 Schülern auswerten.

379 I: Super, vielen Dank für das Interview, bis zum nächsten Mal.

Anhang 6

Interview 2 mit Lehrperson B4

- 1 I: Danke, dass du dich noch einmal mit mir getroffen hast.
- 2 B4: Da hast du einen Stapel an Tests, der zu diesem Thema erfolgt ist. Nicht schrecken, das
3 ist ganz normal in einer Schulklasse. Du brauchst jetzt nicht der Meinung sein, dass dein
4 Unterricht schlecht gewesen ist.
- 5 I: Das hört sich doch nicht so schlecht an.
- 6 B4: Stimmt.
- 7 I: Ja, ich finde, das ist nicht so schlecht.
- 8 B4: Ich habe dir den zweiten Test nicht mitgebracht, um dich nicht zu deprimieren. Die
9 zweite Klasse war der Meinung, dass sie sich jetzt fünf Stunden damit beschäftigt haben, jetzt
10 super auskennen und deshalb nichts lernen müssen. Anwendungsmöglichkeit der
11 Spektroskopie: „Man spaltet damit das Sonnenlicht auf.“ Die gebe ich dir gerne mit, ich
12 brauche sie dann nur wieder zurück. Dann habe ich meine Gruppen Verbesserungsvorschläge
13 geschrieben lassen, die gehört dir. Altersdurchschnitt zwischen 16 und 18, männlich, weiblich
14 zirka Hälfte, Hälfte. Mittlerweile habe ich schon zwei Stunden nach dem Test unterrichtet und
15 habe das, was in der Unterrichtssequenz vorkommt, immer wieder einfließen lassen. Zum
16 Beispiel beim Dopplereffekt, dass sich der Schall auseinanderdehnt und dadurch ein tieferes
17 Geräusch entsteht: „Geben Sie mir ein Beispiel, wo das bei anderen Wellen vorkommt!“
18 Immerhin fünf von 25 haben sofort gesagt: „Farbe verändert sich beim Licht.“ Das heißt, auch
19 wenn der Test jetzt nicht grandios ausgefallen ist, in der einen Klasse, haben sich gewisse
20 Grundkenntnisse manifestiert. Und sie haben durchaus die Fähigkeit gewonnen, das was sie
21 dort gelernt haben, mit anderen Sachen zu verbinden. Man muss allerdings als Lehrer immer
22 die paar, die das können, dazu hernehmen zu sagen, das steckt da drinnen, das müssen sie nur
23 nachlesen. Man muss dann im Nachhinein dieses selbstständige Arbeiten in den
24 Unterrichtsprozess integrieren.
- 25 I: Ist die andere Klasse normalerweise auch so schlecht?
- 26 B4: Nein, eigentlich nicht.
- 27 I: Sie haben sich also auf Grund dessen, dass sie sich so lange mit einer Einheit beschäftigt
28 haben, überschätzt?
- 29 B4: Ja, richtig. Das wären die Noten mit der Punkteanzahl der einzelnen Schüler. Das gibst du
30 mir dann einfach mit dem Test zurück.
- 31 I: Aber das ist die Klasse, bei der es besser ausgefallen ist?

32 B4: Das ist die Klasse, bei der es besser ausgefallen ist. Bei der anderen waren von 26
33 Schülern 6 Nicht genügend, 12 Vierer, drei Dreier, drei Zweier, zwei Einser. Also deutlich
34 schlechter. Die habe ich erst zwei Tage später den Test gehabt und da habe ich gesagt: „Wenn
35 Sie sich das nicht nochmal anschauen, dann werde ich böse.“ Und das dürften sie dann auch
36 gemacht haben.

37 I: Also der Test, bei dem sich die Schüler den Stoff vorher nochmal angeschaut haben, ist
38 finde ich wirklich positiv ausgefallen.

39 B4: Sie haben sich wirklich etwas gemerkt. Also, dass die Verkürzung der Wellenlänge eine
40 andere Frequenz ergibt, dass sich die Farbe verändert. Das ist geblieben. Diese Klasse hat sich
41 das sehr eingepägt mit dem Elektron rauf und fällt wieder zurück, was ist Absorption, was ist
42 Emission.

43 I: Man merkt, sie haben es nicht auswendig gelernt, sondern sie haben versucht es zu
44 verstehen. Und das ist viel positiver, als wie wenn ich genau den gleichen Satz lese, der bei
45 mir im Skriptum steht.

46 B4: Richtig.

47 I: Genau, ich habe mir noch ein paar Dinge aufgeschrieben, die ich dich noch fragen wollte.
48 Hat es Schüler gegeben, die normalerweise bei dir besser oder schlechter waren?
49

50 B4: Ja, bei der Klasse, die so schwach war, war eine Gruppe von Schülerinnen, die deutlich
51 nachgelassen haben. Ich bin mir allerdings nicht sicher, ob das am Unterricht selbst liegt oder
52 ob das daran liegt, dass diese Schülerinnen sich grundsätzlich sehr zurück halten und für den
53 Test dann ein paar Tage lernen und deswegen beim Test relativ gut sind. Das kann ich nicht
54 wirklich sagen. Aber umgekehrt gab es eine Schülerin, die an sich nicht so gut ist, die immer
55 ein bisschen dahinschwächelt, die aber der Umstand, dass sie etwas für sich selbst erarbeiten
56 kann, sehr motiviert hat, um sich in die Sache mehr einzubringen. Der Unterricht hängt sehr
57 davon ab, ob das jemand ist, der sich gerne selbst etwas erarbeitet, oder ob das Leute sind, die
58 das gerne vorgesetzt bekommen wollen. Die Leute, die das vorgesetzt bekommen wollen, für
59 die ist das Hardcore-Arbeit. Das müssen sie aber lernen. Da müsste man solche Projekte mehr
60 machen und sie dazu zwingen, dass sie sich das angewöhnen. Aber für die Leute, die von sich
61 aus eher zurückhaltend sind und sich eher gerne alleine und selbstständig etwas erarbeiten, für
62 die ist dieses Konzept besser. Beim anderen muss man das einfach erzwingen, indem man das
63 mehrfach anwendet.

64 I: Ich glaube, das ist eh etwas, das bei uns in der Schule zu kurz kommt. Dass man sich selbst
65 Sachen erarbeiten muss.

66 B4: Das kommt jetzt immer mehr. Das kompetenzorientierte Unterrichten ist jetzt das Ziel,
67 das immer mehr notwendig ist.

68 I: Das Problem ist, etwas so aufzubereiten, dass die Leute selbstständig damit arbeiten
69 können, ist meiner Erfahrung nach viel mehr Arbeit. Das glaubt ja kein Mensch.

70 B4: Ja, ich möchte nicht wissen, wie viele Stunden und Tage du an dem gesessen bist.
71 Deshalb finde ich das sehr angenehm, das zu haben. Das hast du dann in der Schublade und
72 kannst es rausnehmen und verwenden.

73 I: Sonst, weil du vorher gesagt hast, wegen dem Dopplereffekt, hast du sonst noch auf etwas
74 bei den Wellen zurückgegriffen.

75 B4: Was war da noch, lass mich einmal überlegen. Genau, dass Materie ganz spezifische
76 Schwingungen hat. Die Eigenschwingung einer Materie, das haben sie erstmals WIRKLICH
77 begriffen. Dass jede Materie eine ganz spezifische Frequenz hat. Das habe ich ihnen vorher
78 oft erklärt, das habe ich ihnen mehrfach vorgerechnet, weil das kann man aus der
79 Schwingungsdauer vom Faden- und Federpendel ja jeder Zeit rausholen, zumindest vom
80 Federpendel kann man das eindeutig rausholen. Aber das ist ihnen nicht so ganz klar
81 gewesen, dass ein Ding immer nur mit derselben Frequenz schwingt. Nach der Sequenz war
82 das für sie klar: Wasserstoff schwingt immer so.

83 I: Ja, das haben sie auch in den Antworten öfter geschrieben.

84 B4: Dass ich sozusagen dadurch die Materie erkennen kann, durch die das Licht
85 durchgetreten ist und, dass ich dann auch sagen kann/ Ich muss zugeben, dass ich dann das
86 Beispiel gebracht habe, dass man erkennen kann, ob ein anderes Sonnensystem Leben
87 möglich macht oder nicht. Weil da brauchst du gewisse Grundbausteine dafür, sind die im
88 Spektrum von der Frequenz absorbiert, dann weiß ich, die sind dort vorhanden, es könnte dort
89 Leben sein. Das hat ihnen unglaublich gut gefallen, weil Außerirdische sowieso immer etwas
90 Faszinierendes sind. Das kommt sicher in den Antworten öfter vor. Was macht man mit der
91 Spektroskopie? – Leben in anderen Planeten suchen. Sie haben es jetzt verstanden: Jeder Stoff
92 hat eine ganz spezifische Schwingung. DAS hat sich wirklich festgesetzt, das haben sie
93 verstanden.

94 I: Ich finde auch nicht, dass das so ein leicht verständliches Konzept ist.

95 B4: An sich nicht. Aber zum Beispiel die Dame, die sich sonst in Physik so schwer tut/ Ich
96 habe die Frage gestellt: „Bei einem Erdbeben könnten sich ja Eigenfrequenz und Frequenz
97 des Erdbebens so überlagern, dass die Erde so zum Schwanken anfängt, dass es bei einem
98 Erdbeben zu einer Resonanzkatastrophe kommt?“ Hat sie dann sofort darauf gesagt: „Das
99 kann ja gar nicht sein, weil jede Materie hat eine unterschiedliche Frequenz. Da die Erde nicht
100 aus einer Materie-Art besteht, sondern aus vielen verschiedenen, kann ich diese
101 Erregerfrequenz gar nicht auf eine einzige Eigenfrequenz abstimmen, weil das von den
102 anderen dann wieder gedämpft wird.“ Also es sind ein paar Punkte dabei, wo sie gar nicht
103 glauben, dass sie etwas gelernt haben, aber sie haben etwas gelernt.

104 I: Vielen, vielen Dank, heute habe ich nicht auf deine Schokolade vergessen.

105 B4: Danke, das wäre nicht notwendig gewesen.

106 I: Ich sage nochmal Danke.

Anhang 7

Feedback der SchülerInnen

1. Feedback

- Nicht ideal strukturiert
- Es sollte kompakter sein
- Mehr Skizzen
- Unwichtige Informationen weglassen

2. Feedback

In den letzten paar Wochen machten wir ein Projekt für die Universität Wien. Der Themenbereich war „die Unterrichtseinheit Spektroskopie“.

Die Gruppenmeinung über dieses Projekt ist sehr positiv ausgefallen. Natürlich gingen die Meinungen auch auseinander und es gab auch negative Aspekte. Positiv fanden wir, dass wir uns alles selbst in der Gruppe erarbeiten konnten und, dass wir uns alles selbst erarbeiten konnten, wie zum Beispiel die Arbeitsbereiche, was zu machen hat und wie viel Zeit man dafür in Anspruch nehmen darf. Außerdem wurde es gut organisiert. Es wurden Gruppenleiter ernannt, welche die volle Verantwortung für die Gruppe trugen. Die Gruppenleiter waren dafür zuständig, dass die Materialien und sonstige Lernmittel vorhanden sind. Negativ war, dass es sehr viel Stoff zum Erarbeiten gab und dass dieser sehr wissenschaftlich aufgebaut war, deshalb fiel uns das Arbeiten nicht besonders leicht. Ein weiterer positiver Aspekt war, dass wir unterschiedliche Arbeitsbereiche hatten, wie basteln, lesen und ausfüllen.

Verbesserungsvorschläge fallen mir und meinem Team kaum ein, weil das Projekt wie gesagt sehr gut vorbereitet war. Ein Vorschlag wäre, wenn die Texte nicht so „trocken geschrieben wären“ und wenn es ein bisschen mehr Zeit gäbe.

Trotz der negativen Aspekte überwiegen die positiven im Allgemeinen sehr deutlich.

3. Feedback

Kritikpunkte von der Unterrichtseinheit Spektroskopie:

- Bei der Zuordnung von verschiedenen Spektren ist uns nicht ganz klar gewesen, welche Art von Spektren gemeint sind
- Beim Bau des Spektroskops wäre eine Information, dass man einen Information nützlich, dass man einen dunklen Karton wählen sollte, um das seitlich eindringende Licht zu vermeiden.

4. Feedback

Zu den Verbesserungsvorschlägen fallen uns schon ein paar Kriterien ein, wie z.B. dass der Stoff, den wir lesen b.z.w. lernen anschließend, eindeutig zu viel ist, denn 1. Hatten wir nicht alle die Zetteln zum selbstständig Lernen und 2. Sind die 28 Seiten eindeutig zu viel.

Sehr gut ist, dass wir die Arbeit in Gruppen machen dürfen und, dass wir ein bisschen Praxis hatten.

Negativ, aber natürlich sich so ausschlaggebend waren die fehlenden Utensilien zum Arbeiten. Positiv war, dass wir viel Zeit hatten. Negativ war auch, dass wir keine Antworten zu den Fragen hatten, die gestellt waren. Man kann überhaupt nicht sagen, was wichtig sein könnte zum Lernen und was zum Test kommen könnte. Positiv war einfach, dass wir in einer Gruppe arbeiten durften und so gemeinsam „versuchten“ es zu lösen.

5. Feedback

Wir empfanden das Projekt als sehr schwierig weil:

- Angabenschlechtgestellt
- Bauanleitung des Spektroskops zu ungenau
- Rechnungen für 7. Klasse AHS zu schwer
- Verwirrend gestaltet
- Fehlende Angabe zum Plank'schen Wirkungsquantum

6. Feedback

Ich habe die Stunde mit der Spektroskopie sehr gut gefunden. Dieses Thema hat mich wirklich interessiert. Die Spektroskopie wurde mit Versuchen sehr gut erklärt.

7. Feedback

Ich fand es ein bisschen schade, dass wir sehr viel lesen mussten und, dass du nicht so viel erzählt hast. Der Text war verständlich und ich fand es gut, dass wir nicht nur theoretisch sondern auch praktisch etwas gemacht haben.

8. Feedback

Der Text, finde ich, war sehr gut zu lesen, also nicht zu kompliziert und sehr verständlich. Ich hätte es jedoch sehr nett gefunden, wenn Sie auch so eine Art Vortrag gehalten hätten und wir nicht nur gelesen hätten.

9. Feedback

Die Experimente waren interessant, das "Basteln" des Spektroskops brachte uns das Thema noch näher. Der Text war für den Nachmittag ein bisschen zu lange, als ich die Arbeitsblätter dann Zuhause „nachgeholt“ (fertig gemacht) habe, fand ich die Arbeitsblätter sehr interessant und informativ.

10. Feedback

Im Allgemeinen war die Unterrichtseinheit gut organisiert. Es war auch angenehm zwischendurch das Spektroskop zu bauen und nicht nur das Skript zu lesen. Der Text war ein bisschen zu lange und es waren meiner Meinung nach einige nicht so wichtige Informationen enthalten.

11. Feedback

Im Allgemeinen war es super und gut organisiert. Es waren ein bisschen viele Informationen aber nicht sehr schlimm. Du warst sehr freundlich und hilfsbereit. Es hat Spaß gemacht zu basteln ☺. Ich denke, ich habe mir viel gemerkt und habe mir einiges an Wissen angeeignet.

12. Feedback

Sehr informativ, das "Basteln" war lustig, fast zu viele verschiedene Informationen, trotzdem gute Bandbreite der Themen, gut zu verstehen, schlüssige Übergänge/ Herleitungen der Themen, jeder kann in seinem eigenen Tempo arbeiten.